

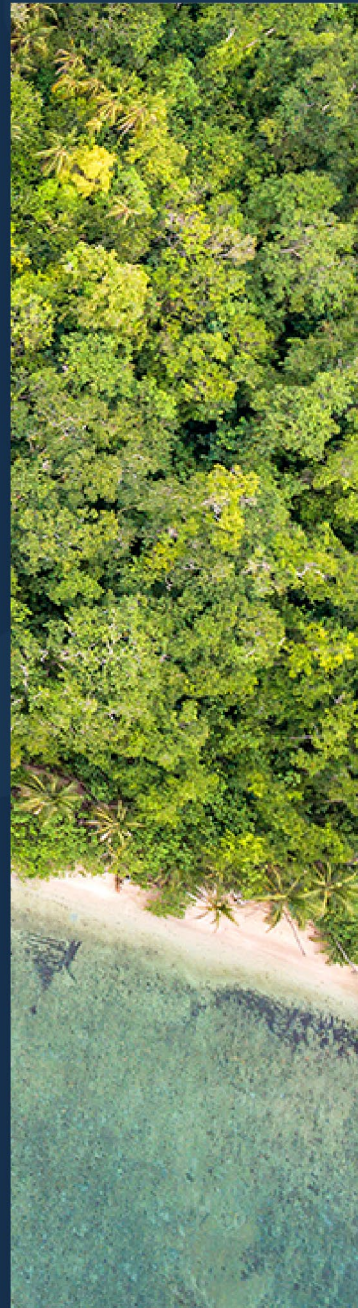
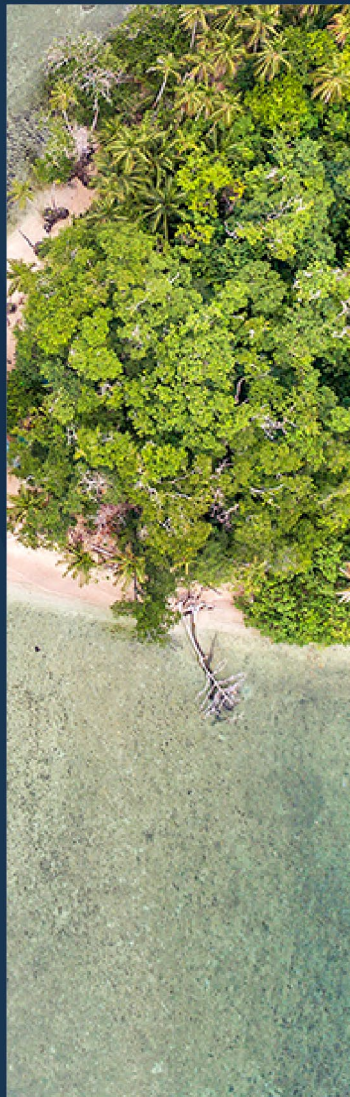


DOCUMENTO DE TRABAJO

DISEÑO DEL

# NUEVO PROGRAMA DE PAGO POR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE COSTA RICA

VOL I. CAPITAL NATURAL



DOCUMENTO DE TRABAJO

**DISEÑO DEL**  
**NUEVO PROGRAMA DE PAGO**  
**POR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**  
**DE COSTA RICA**

**VOL I. CAPITAL NATURAL**



**DICIEMBRE, 2020**

# CRÉDITOS

## Personas autoras / consultoras

Marcello Hernández-Blanco, Ph.D.

Mónica Moritsch, Ph.D.

## Revisión

Jorge Mario Rodríguez, Director Ejecutivo, FONAFIFO

Gilmar Navarrete, FONAFIFO

Hector Arce Benavides, FONAFIFO

Ana Lucia Orozco Rubio, Coordinadora BIOFIN-PNUD

Fernando Rodríguez Garro, Asesor Financiero  
BIOFIN-PNUD

## Edición

Ana Lucia Orozco Rubio, Coordinadora BIOFIN-PNUD

## Diseño de Portada

Diana Garro Solórzano, Diseñadora Gráfica y  
Community Manager BIOFIN-PNUD

## Fotografía de Portada:

Marcello Hernández Blanco

## Agradecimiento

Especial agradecimiento al Prof. Robert Constanza, VC's Chair en Política Pública, The Australian National University y el Natural Capital Project de la Universidad de Stanford.

## Citar como

**Hernández-Blanco, M y M. Moritsch (2020)**

**Modelo general de un nuevo programa de pago por servicios ecosistémicos para Costa Rica, Vol 1. Capital Natural. BIOFIN-PNUD. San José, Costa Rica.**

El PNUD forja alianzas con todos los niveles de la sociedad para ayudar a construir naciones que puedan resistir las crisis; promueve y sostiene un tipo de crecimiento que mejora la calidad de vida de todas y todos. Presentes sobre el terreno en unos 170 países y territorios, ofrecemos una perspectiva global y un conocimiento local al servicio de las personas y las naciones. Derechos de propiedad intelectual © 2021 Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - Costa Rica (PNUD-Costa Rica) | Está autorizada la reproducción total o parcial de esta publicación con propósitos educativos y sin fines de lucro, con la condición de que se indique la fuente. PNUD-Costa Rica agradecerá que se les remita un ejemplar de cualquier texto elaborado con base en la presente publicación. El contenido de este volumen no refleja, necesariamente, las opiniones o políticas de PNUD-Costa Rica, o de sus organizaciones contribuyentes.

Producido en Costa Rica. Dirección: Oficentro La Virgen 2, de la Embajada Americana 300m sur y 200m sureste, Pavas, San José, Costa Rica. Teléfono: (506) 2296-1544 | Web: <http://www.pnud.or.cr> | E-mail: [comunicaciones.cr@undp.org](mailto:comunicaciones.cr@undp.org)

## **BIOFIN-PNUD**

La Iniciativa Finanzas para la Biodiversidad (BIOFIN) es la alianza mundial para abordar el desafío del financiamiento de la biodiversidad de una manera integral, bajo una metodología que se desarrolla en 30 países del mundo. BIOFIN ha ayudado a los gobiernos a elaborar una sólida justificación en favor de un aumento de la inversión en la conservación, el uso sostenible y la distribución equitativa de los beneficios de los ecosistemas y la biodiversidad, con un enfoque dirigido a determinar y cubrir las necesidades de financiación de la Estrategia Nacional de Biodiversidad y sus metas globales.



# TABLA DE CONTENIDOS

1. Introducción .....	10
2. Programa de PSA actual.....	12
3. Ruta para el rediseño del programa actual de PSA .....	16
4. Descripción general del capital natural, sus servicios ecosistémicos y sus amenazas.....	18
Capital natural del nuevo PSE.....	18
Servicios ecosistémicos del nuevo PSE .....	20
Amenazas al capital natural .....	31
5. Bosques .....	33
6. Manglares.....	38
7. Humedales.....	42
8. Arrecifes de coral.....	45
9. Mar abierto y estuarios.....	48
10. Fincas agropecuarias.....	53
11. Metodología para priorizar Pago por Servicios Ecosistémicos del nuevo programa .....	58
Estudios de caso.....	61
12. Conclusión .....	77
Referencias.....	78
Apéndice 1: Mapas de servicios ecosistémicos modelados para cada uno de los casos de estudio. ....	82
Apéndice 2: Mapas de las amenazas modeladas para cada uno de los casos de estudio.....	88



# LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área cubierta y número de contratos por año de 1997 al 2018 del actual esquema de PSA.....	14
Figura 2. Método para el desarrollo de programas de Pago por Servicios Ecosistémicos. ....	16
Figura 3. Fases de incorporación del nuevo capital natural.....	20
Figura 4. Visión general de los servicios ecosistémicos que serán incluidos en el nuevo PSE. ....	21
Figura 5. Expansión del nuevo PSE hacia 12 servicios ecosistémicos. El actual solo contempla 4 servicios. ....	31
Figura 6. Bosques de Costa Rica.....	34
Figura 7. Distribución de los manglares de Costa Rica en 2013.....	39
Figura 8. Distribución de los humedales (en azul) de Costa Rica.....	42
Figura 9. Distribución de los corales de Costa Rica. ....	46
Figura 10. Superficie marina patrimonial de Costa Rica y Unidades Ecológicas Marinas.....	50
Figura 11. Distribución de la cantidad de fincas con actividad principal de ganado vacuno por cantón. ....	54
Figura 12. Distribución de los cultivos de café en Costa Rica para el año 2005.....	54
Figura 13. Mapa de puntos adicionales asignados a ELSAs, humedales Ramsar, corredores biológicos y brechas de conservación.....	60
Figura 14. Mapa de ubicaciones de fincas cafetaleras, manglares y bosques en relación con las áreas protegidas de Costa Rica. ....	62
Figura 15. Mapas de valores promedio de servicios ecosistémicos para fincas de café. ....	65
Figura 16. Mapas de valores promedio de servicios ecosistémicos para manglares. ....	66
Figura 17. Mapas de valores promedio de servicios ecosistémicos para bosques.....	66
Figura 18. Mapas de valores promedio de las amenazas para fincas de café.....	69
Figura 19. Mapas de valores promedio de las amenazas para manglares.....	70
Figura 20. Mapas de valores promedio de las amenazas para bosques. ....	70
Figura 21. Mapa del Índice de Priorización de las fincas de café y un buffer de 3km alrededor de ellas.....	73
Figura 22. Mapa del Índice de Priorización de manglares. Los segmentos costeros se muestran en el recuadro.....	73
Figura 23. Mapa del Índice de Priorización para bosques.....	74
Figura 24. Mapa de hábitats clave y ubicaciones de contratos de PSA. Cada punto representa un contrato que comenzó entre 2016 y 2018. Las ubicaciones de los contratos se representan como puntos en sus centroides. ....	75
Figura 25. Mapa de puntos clave de bonificación de hábitat (púrpuras). Los polígonos que representan la densidad de los contratos de PSA que comienzan entre 2016 y 2018 se superponen (rojos). Se estimó la densidad de PSA utilizando un radio de 10 km en movimiento.....	76

Figura 26. Mapa de valores escalados de la polinización de café. Los valores rojos más oscuros representan niveles más altos del servicio ecosistémico. La superposición de color púrpura pálido resalta las ubicaciones de los hábitats clave. ....	82
Figura 27. Mapa de valores escalados del turismo basado en aves. Los valores rojos más oscuros representan niveles más altos del servicio ecosistémico. La superposición de color púrpura pálido resalta las ubicaciones de los hábitats clave. ....	83
Figura 28. Mapa de valores escalados de retención de sedimentos. Los valores rojos más oscuros representan niveles más altos del servicio ecosistémico. La superposición de color púrpura pálido resalta las ubicaciones de los hábitats clave. ....	84
Figura 29. Mapa de valores escalados del almacenamiento de carbono en bosques. Los valores rojos más oscuros representan niveles más altos del servicio ecosistémico. La superposición de color púrpura pálido resalta las ubicaciones de los hábitats clave. ....	85
Figura 30. Mapa de valores escalados del almacenamiento de carbono azul en manglares. Los valores rojos más oscuros representan niveles más altos del servicio ecosistémico. La superposición de color púrpura pálido resalta las ubicaciones de los hábitats clave. ....	86
Figura 31. Mapa de valores escalados de la protección costera. Los valores rojos más oscuros representan niveles más altos del servicio ecosistémico. La superposición de color púrpura pálido resalta las ubicaciones de los hábitats clave. ....	87
Figura 32. Mapa de valores escalados de la Huella Humana. Los valores rojos más oscuros representan niveles más altos de la amenaza. La superposición de color púrpura pálido resalta las ubicaciones de los hábitats clave. ....	88
Figura 33. Mapa de valores escalados del estrés hídrico. Los valores rojos más oscuros representan niveles más altos de la amenaza. La superposición de color púrpura pálido resalta las ubicaciones de los hábitats clave. ....	89
Figura 34. Mapa de valores escalados de la deforestación. Los valores rojos más oscuros representan niveles más altos de la amenaza. La superposición de color púrpura pálido resalta las ubicaciones de los hábitats clave. ....	90
Figura 35. Mapa de valores escalados de la pérdida de manglares. Los valores rojos más oscuros representan niveles más altos de la amenaza. La superposición de color púrpura pálido resalta las ubicaciones de los hábitats clave. ....	91
Figura 36. Mapa de valores escalados del Impacto Oceánico Acumulativo. Los valores rojos más oscuros representan niveles más altos de la amenaza. La superposición de color púrpura pálido resalta las ubicaciones de los hábitats clave. ....	92

# LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Actividades que son financiadas bajo el actual programa de PSA .....	13
Tabla 2. Sistemas que conformarán el nuevo esquema de PSE de Costa Rica.....	19
Tabla 3. Tendencias de los ecosistemas del nuevo esquema de PSE.....	32
Tabla 4. Servicios ecosistémicos objetivo de los bosques y sus beneficiarios .....	35
Tabla 5. Servicios ecosistémicos objetivo de los manglares y sus beneficiarios .....	39
Tabla 6. Servicios ecosistémicos objetivo de los humedales y sus beneficiarios.....	43
Tabla 7. Servicios ecosistémicos objetivo de los arrecifes de coral y sus beneficiarios .....	47
Tabla 8. Servicios ecosistémicos objetivo del mar abierto y los estuarios y sus beneficiarios.....	51
Tabla 9. Servicios ecosistémicos objetivo de las fincas agrícolas y sus beneficiarios.....	55
Tabla 10. Descripción del índice de prioridad para la inclusión de PSE según el nivel de servicios ecosistémicos, ubicaciones de hábitats clave y amenazas. ....	61
Tabla 11. Variables utilizadas en cada uno de los casos de estudio de la metodología de priorización. ....	71
Tabla 12. Media, desviación estándar (DE), mínimo, y máximo índice de priorización por ecosistema. ....	72



# ABREVIACIONES

**ELSAs (por sus siglas en inglés):** Áreas Esenciales de Soporte de la Vida

**ASP:** Áreas Silvestres Protegidas

**CBD:** Convención de Diversidad Biológica

**FONAFIFO:** Fondo Nacional para el Financiamiento Forestal

**km:** kilómetro

**INCOPESCA:** Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura

**m:** metro

**msnm:** metros sobre el nivel del mar

**MINAE:** Ministerio de Ambiente y Energía

**MgC ha-1:** Mega gramos de Carbono por hectárea

**FAO (por sus siglas en inglés):** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

**PSA:** Pagos por Servicios Ambientales

**PSE:** Pagos por Servicios Ecosistémicos

**PIB:** Producto Interno Bruto

**SINAC:** Sistema Nacional de Áreas de Conservación

# 1. INTRODUCCIÓN

Para apoyar la economía y su meta de proveer bienestar humano, se requiere cuatro tipos de capital: **el capital natural** (i.e. el ambiente natural y su biodiversidad, es el stock del planeta de recursos naturales, los ecosistemas que proveen beneficios a las personas), **el capital social** (la red de conexiones interpersonales, redes sociales, patrimonio cultural, conocimiento tradicional, y los arreglos institucionales, reglas, normas, y los valores que facilitan las interacciones humanas y la cooperación entre las personas), **el capital humano** (los seres humanos y sus atributos, incluyendo la salud física y mental, **el conocimiento**, y otras capacidades que le permiten a las personas ser miembros productivos de la sociedad), y **el capital construido** (maquinaria, infraestructura para transporte, y todos los artefactos y servicios producidos por el humano) (Costanza et al., 2014).

El capital natural (i.e. los ecosistemas) no puede proveer beneficios a las personas sin interactuar con los otros tres tipos de capital. Los servicios ecosistémicos no fluyen directamente del capital natural al bienestar humano. Por lo tanto, “los servicios ecosistémicos son la contribución relativa del capital natural a la producción de varios beneficios humanos, en combinación con las otras tres formas de capital” (Costanza, 2012). A pesar de proveer servicios esenciales al bienestar humano, el capital natural a nivel global sufre de amenazas antropogénicas que degradan su salud y por lo tanto su capacidad de proveer estos beneficios. Lo anterior en gran medida se debe a que los mercados fallan en incorporar parcialmente o enteramente el valor económico de los servicios ecosistémicos, y las instituciones que pueden internalizar este valor no existen en la mayor parte del mundo. Una solución directa a este problema puede ser la creación de incentivos económicos capaces de incorporar externalidades ambientales (externalidades positivas en el caso de los servicios prestados por los ecosistemas), en los que los beneficiarios de estos servicios pagan a los administradores de ecosistemas para conservar, mejorar o restaurar los ecosistemas con el fin de mantener el flujo de servicios (Schomers & Matzdorf, 2013) un mecanismo financiero conocido como Pago por Servicios Ecosistémicos o Ambientales (PSE o PSA).

Los Pagos por Servicios Ecosistémicos se definen como “una transferencia de recursos entre actores sociales, que tiene como objetivo crear incentivos para alinear decisiones individuales y/o colectivas sobre el uso del suelo con el interés social en el manejo de los recursos naturales” (Muradian et al., 2010), lo que significa que las transferencias pueden ocurrir bajo un mercado o algo similar, o a través de otros mecanismos financieros como incentivos (no restringidos a los económicos) o subsidios públicos. Otra definición apropiada de los PSE es “un sistema transparente para la provisión adicional de los servicios ecosistémicos a través de pagos condicionales a proveedores voluntarios” (Tacconi, 2012).

En el proyecto que se propone aquí, el concepto de PSE más apropiado podría ser un híbrido de las dos definiciones anteriores, porque la primera es lo suficientemente general para permitir un enfoque más flexible y moderno en el diseño del mecanismo financiero, y la segunda porque menciona la importancia de la adicionalidad (ausente significativamente en el actual PSA de Costa Rica) y condicionalidad.



## 2. PROGRAMA DE PSA ACTUAL

Costa Rica es conocida mundialmente por su alta biodiversidad y sus políticas ambientales para proteger este tesoro nacional. El país tuvo una de las tasas de deforestación más altas del planeta durante la segunda mitad del siglo XX. En 1950 tenía una cobertura forestal del 72% y en 1987 disminuyó drásticamente al 21%, principalmente debido a un auge de la agricultura y la ganadería que apoyó gran parte del desarrollo del país durante ese período (FONAFIFO, 2012).

Para detener y revertir la deforestación, Costa Rica ha implementado una serie de políticas y programas de conservación en las últimas décadas, como su Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), que ahora cuenta con 140 Áreas Silvestres Protegidas que cubren el 26% del territorio continental. Además, en 1996 instituyó una Ley Forestal histórica, que, entre otras mejoras importantes al manejo forestal nacional, estableció dos medidas clave: 1) prohibir el cambio de uso de la tierra (i.e. la deforestación); y 2) la creación de un programa a nivel nacional de Pago por Servicios Ambientales<sup>1</sup> (PSA) administrado por el Fondo Nacional para el Financiamiento Forestal (FONAFIFO). Juntos, estos y otros esfuerzos no solo han detenido la deforestación, sino que han incrementado la cobertura forestal año con año, alcanzando en 2018 el 52% del país (Corrales-Chaves, 2019).

Para establecer el programa de PSA, la Ley Forestal identificó cuatro servicios ecosistémicos proporcionados por los bosques y las plantaciones forestales: 1) mitigación de gases de efecto invernadero (fijación, reducción, secuestro, almacenamiento y absorción), 2) protección del agua para uso urbano, rural o hidroeléctrico, 3) protección de la biodiversidad para su conservación y uso sostenible, uso científico y farmacéutico, investigación y mejora genética, protección del ecosistema y formas de vida, y 4) belleza natural escénica para fines turísticos y científicos (artículo 3 de la Ley Forestal). No está claro por qué estos servicios se eligieron de la amplia lista de servicios que brindan los bosques, tal vez se debió al conocimiento incipiente de hace 24 años sobre los servicios ecosistémicos, donde artículos científicos, libros y reportes que revolucionaron el campo de estudio del capital natural como Costanza et al., 1997; Daily, 1997; Millennium Ecosystem Assessment, 2005; and TEEB, 2010, estaban en desarrollo o no se han llevado a cabo.

Esta ley también creó el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) para administrar el programa de PSA<sup>2</sup>. El programa recibe la gran mayoría de sus fondos a través de un impuesto a los combustibles fósiles que asigna el 3.5% de los ingresos al FONAFIFO, y en un porcentaje menor el 25% de los ingresos recaudados

---

<sup>1</sup> En este documento se usa servicios ecosistémicos como sinónimo de servicios ambientales, tal y como lo está establecido en la literatura científica (Costanza et al., 1997) (Daily, 1997) (TEEB, 2010) (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

<sup>2</sup> Además del programa de PSE, FONAFIFO también provee créditos para actividades forestales sostenibles.

a través del canon de agua que cada persona o institución tiene que pagar si tienen una concesión de agua<sup>3</sup>. En 2018, el impuesto a los combustibles fósiles representó el 89% del financiamiento total del FONAFIFO, y la tarifa de agua el 7.5%<sup>4</sup>. FONAFIFO también ofrece otros servicios relacionados con los servicios ecosistémicos que generan algunos fondos, como la venta de créditos de carbono que se producen a través de plantaciones forestales bajo el esquema de PSA a personas y organizaciones que buscan compensar su huella de carbono, pero actualmente estos créditos solo proporcionan 1 % del financiamiento total.

Los fondos recaudados a través de estos mecanismos se utilizan para financiar 2 actividades generales en fincas agropecuarias, 1) el mantenimiento de la cobertura forestal y 2) la recuperación de la cobertura forestal, y cada una de ellas se desglosa en subactividades. Una tercera categoría son los sistemas mixtos, para fincas pequeñas con un área de 10 hectáreas o menos, en las que se puede considerar un máximo de 3 actividades de PSA (Tabla 1).

Tabla 1. Actividades que son financiadas bajo el actual programa de PSA

Mantenimiento de la cobertura boscosa	Recuperación de la cobertura boscosa
Protección del bosque	Reforestación
Recurso hídrico	Reforestación con especies en vías de extinción
Protección Post Cosecha	Regeneración natural
	Sistemas agroforestales
	Sistemas agroforestales en fincas de café
	Sistemas agroforestales con especies en vías de extinción
	<b>Sistemas mixtos</b>

El programa actual funciona de una manera *pigouviana*, donde el gobierno, a través de FONAFIFO, sirve como intermediario entre los vendedores (i.e. los propietarios que implementan las actividades mencionadas anteriormente) y los beneficiarios, que pueden variar significativamente, de escalas locales a globales. Como único intermediario, el gobierno es el único comprador de servicios ecosistémicos y, por lo tanto, de sus derechos de propiedad, creando un monopsonio. Este esquema es contrario a uno *coaseano*, en el cual existe una relación directa entre productores de servicios ecosistémicos y los compradores, por ejemplo, en el caso en donde una empresa embotelladora de agua paga a los agricultores cuenca arriba para implementar buenas prácticas agrícolas para asegurar la cantidad y calidad del agua de la cual depende la empresa.

<sup>3</sup> Decreto Ejecutivo 32868.

<sup>4</sup> Los fondos recolectados del canon de aguas deben ser invertidos en tierras privadas que están localizadas en la cuenta hidrográfica en la que el servicio ecosistémico de protección de cuencas es producido, y en zonas de importancia hidrológica (Artículo 14 del Decreto Ejecutivo 32868).

Otro aspecto clave es que este esquema de PSE es un programa basado en insumos (*input-based*), en el cual la base de los pagos es la implementación de usos particulares de la tierra, en lugar de pagos basados en resultados (*output-based*) en los que los compradores pagan directamente por la prestación de un servicio ecosistémico específico (e.g. pagos por toneladas de carbono secuestrado, o metros cúbicos de agua producida o mejorada) (Engel et al., 2008). Además, bajo la misma lógica, los pagos se realizan dentro de un enfoque en “bulto” (*bundled*) o integrado, donde las actividades se financian para proteger, mejorar o restaurar cuatro servicios ecosistémicos al mismo tiempo (secuestro de carbono, provisión de agua, belleza escénica y protección de la biodiversidad), en lugar de un enfoque de capas o apilamiento (*layering and stacking*) en el que los pagos se realizan por servicios ecosistémicos separados (Lau, 2013).

A lo largo de su historia<sup>5</sup>, el área promedio de tierras privadas que FONAFIFO ha financiado anualmente es de 57,400 hectáreas, con un promedio anual de 808 contratos (Figura 1). Es importante tener en cuenta que aproximadamente el 90% de toda el área del programa se encuentra bajo la modalidad de conservación forestal (FONAFIFO, 2019), lo que plantea preocupaciones sobre la adicionalidad del programa si ya está prohibido deforestar.

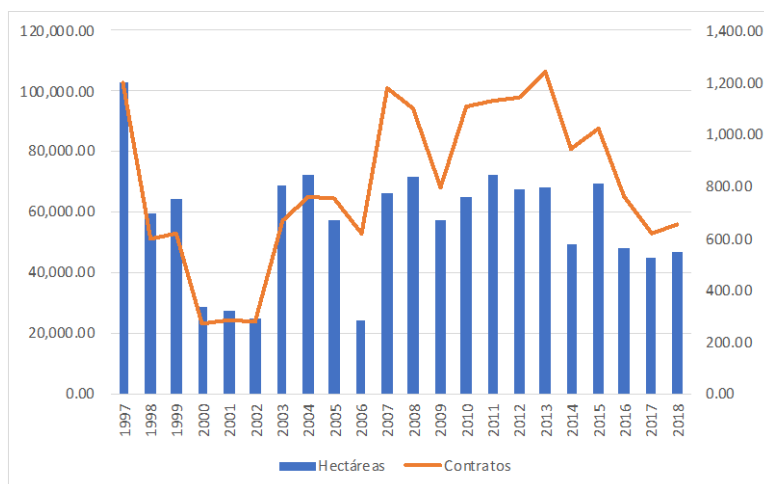


Figura 1. Área cubierta y número de contratos por año de 1997 al 2018 del actual esquema de PSA.  
Fuente: Elaboración propia con datos de FONAFIFO, 2019.

<sup>5</sup> Periodo evaluado: 1997-2018



En el año 2021, el actual programa de PSE de Costa Rica cumplirá 25 años, lo que demuestra su éxito en la asignación de un flujo constante de fondos en todo momento, así como en la inversión de esos fondos en todo el país para la protección de los bosques. El programa se ha convertido en el programa emblemático de conservación de Costa Rica y ha inspirado la creación de esquemas similares en muchas partes del mundo. Considerando la experiencia y el éxito de este esquema de PSE, es hora de que Costa Rica retome el liderazgo mundial en la propuesta de ideas innovadoras para la gestión del capital natural, rediseñando este programa para reflejar el nuevo contexto nacional e internacional, así como aumentando su nivel de ambición.



### 3. RUTA PARA EL REDISEÑO DEL PROGRAMA ACTUAL DE PSA

Para proponer un nuevo diseño del programa de Pago por Servicios Ecosistémicos actual, se puede utilizar un método como el propuesto por Hernández-Blanco, 2019, que consiste en 6 pasos secuenciales que permiten guiar a los tomadores de decisiones e investigadores a cargo del proceso considerar los elementos fundamentales de este tipo de programas (Figura 2). Esta sección describe cada paso o elemento clave del nuevo esquema de PSE que se propone aquí.

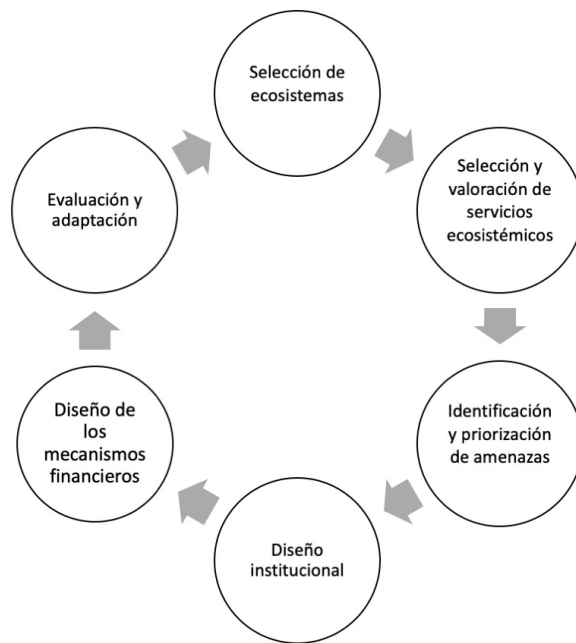


Figura 2. Método para el desarrollo de programas de Pago por Servicios Ecosistémicos.  
Fuente: Hernández-Blanco, 2019

De acuerdo con la metodología de Hernández-Blanco (2019), el diseño del nuevo programa de PSE de Costa Rica se dividirá en los siguientes 3 volúmenes principales:

**VOL I. Capital Natural (este volumen):** El núcleo de este documento será la selección de los ecosistemas que van a ser sujetos del nuevo esquema de PSE. Luego se identificarán los servicios ecosistémicos que este capital natural produce y que serán “vendidos” a través del programa. Como parte de la descripción de los servicios ecosistémicos, se mencionarán los compradores o beneficiarios directos.

**VOL II. Mecanismo Financiero<sup>6</sup>:** El punto de partida de este volumen será la descripción del mecanismo financiero de FONAFIFO, identificando y cuantificando las fuentes de financiamiento, así como las modalidades de inversión/pago que se realizan. Este volumen además contendrá un análisis de literatura revisada por pares y gris sobre mecanismos de Pago por Servicios Ecosistémicos en otras partes del mundo, con énfasis en los ecosistemas y servicios ecosistémicos identificados en el volumen anterior, de manera que permita establecer una serie de lecciones aprendidas sobre lo que más funciona y en qué condiciones. El desarrollo de mecanismos financieros estará basado en las externalidades positivas (i.e. servicios ecosistémicos) y en las externalidades negativas (amenazas de actividades antropogénicas sobre los ecosistemas seleccionados). Basado en la información recopilada a través de las actividades anteriores, se identificarán las nuevas fuentes de financiamiento del programa, así como una serie de medidas de inversión o de pago a diversos actores para que puedan realizar las actividades de conservación o restauración necesarias para eliminar o mitigar las amenazas que se identificaron anteriormente.

**VOL III. Arreglo institucional:** El último volumen consiste en un análisis del actual arreglo institucional de FONAFIFO para comprender mejor su estructura, y así identificar las áreas que son prioridad actualizar de manera que puedan gestionar efectiva y eficientemente el conjunto de mecanismos financieros diseñados para el nuevo programa de PSE. También se proveerán recomendaciones en términos del personal científico que podría ser necesario para el monitoreo y evaluación del programa, de manera que el nuevo esquema pueda cumplir con los principios de adicionalidad y condicionalidad.

Adicionalmente, se va a desarrollar un volumen complementario sobre el valor económico de los servicios ecosistémicos que formarán parte del programa, con el objetivo de apoyar cuantitativamente el mecanismo financiero del esquema, así como para poder realizar análisis costo-beneficio de las inversiones en capital natural.

---

<sup>6</sup> Aunque en la metodología mencionada el diseño del mecanismo financiero es un paso posterior al arreglo institucional, por practicidad y viabilidad política del desarrollo de este proyecto se determinó que era más apropiado desarrollar los volúmenes de esta forma, lo cual no altera en ninguna manera la lógica o calidad de los demás volúmenes.

## 4. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CAPITAL NATURAL, SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y SUS AMENAZAS.

Como se mencionó en la Introducción de este volumen, **el capital natural** es el stock de recursos naturales (i.e. ecosistemas) que producen un flujo de bienes y servicios. Estos bienes y servicios son llamados **servicios ecosistémicos**<sup>7</sup>, que de manera general se pueden definir como los beneficios que la sociedad recibe de los ecosistemas (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

### Capital natural del nuevo PSE

El primer elemento clave del nuevo mecanismo de PSE son los ecosistemas que se considerarán como parte del programa, el cual idealmente deberá contemplar la totalidad del capital natural del país. Sin embargo, el nuevo programa podría iniciar con una porción del capital natural nacional, centrándose en los ecosistemas que tienen una cobertura del suelo significativa en el país, así como aquellos que han sido más estudiados, dejando abierto el programa para la incorporación de otros ecosistemas cuando se considere científica y políticamente adecuado. Adicionalmente, el nuevo esquema considerará sistemas antropogénicos debido al potencial que estos tienen para ser transformados en sistemas que no solo dependen de los servicios ecosistémicos del capital natural, sino que a través de un nuevo enfoque basado en ecosistemas y visión del paisaje puedan ser proveedores de estos servicios. La Tabla 2 lista los ecosistemas que se proponen para el nuevo PSE.

---

<sup>7</sup> Por practicidad se usa solo el término de servicios, pero por definición considera también los bienes.

Tabla 2. Sistemas que conformarán el nuevo esquema de PSE de Costa Rica.

Ecosistemas naturales	Ecosistemas antropogénicos
– Bosques privados y públicos (secos, estacionales, lluviosos, nubosos)	– Zonas agropecuarias (rurales <sup>8</sup> y urbanas)
– Humedales (ríos, lagunas, lagos <sup>9</sup> )	– Bosques urbanos
– Manglares	– Humedales urbanos
– Arrecifes de coral	
– Mar abierto y estuarios	

Fuente: Elaboración propia.

La ampliación del sistema a bosques públicos, así como otros ecosistemas, tanto terrestres como marino-costeros, representa el primer cambio significativo del nuevo esquema. Es importante tener en cuenta que algunos de estos ecosistemas que se sugerirán en las siguientes páginas son propiedad pública, ninguno puede ser propiedad de una parte privada, y por lo tanto la necesidad de rediseñar el arreglo institucional (Volumen III) del actual programa de PSE para poder incorporarlos adecuadamente. Actualmente, estos activos naturales públicos son de uso gratuito, y su daño a menudo también no tiene un costo asociado, por varios sectores económicos que obtienen beneficios económicos de ellos. Ampliar el alcance de la implementación en este sentido será un paso clave para reimaginar el esquema actual centrado en bosques privados.

Debido al grado significativo de ambición de la presente propuesta de rediseño del PSA, se recomienda que la incorporación del nuevo capital natural que se va a contemplar en el programa se realice en dos fases (Figura 3). La primera fase, llamada la Fase Verde, aprovechará la experiencia y línea de acción que ha venido siguiendo el actual esquema en bosques, de manera que se sugiere empezar con la expansión a los bosques públicos y la inclusión de manglares, fincas agropecuarias y sistemas urbanos (actividades de conservación y restauración en ciudades) en esta primera fase. Se estima que esta primera fase puede ser implementada en aproximadamente 1 año, tomando en consideración los ajustes técnicos, políticos y administrativos que deban realizarse. Adicionalmente, la fase verde requerirá una reforma institucional y legal mediana debido a que en la actual Ley Forestal no se contemplan bosques públicos y el resto de los ecosistemas que se proponen para esta fase.

La fase 2, llamada la Fase Azul, significará el mayor cambio respecto al actual PSE, ya que incorpora ecosistemas acuáticos y marino-costeros, por lo que se espera que su implementación tome más tiempo que

<sup>8</sup> Café y ganadería pueden tener el mayor potencial de incorporación en una primera fase, luego se pueden incorporar cultivos como caña, banano, arroz, piña y palma (Mario Chancón, comunicación personal, 2020)

<sup>9</sup> Bajo algunas definiciones y criterios, los manglares y arrecifes de coral son considerados humedales. Sin embargo, debido a los servicios ecosistémicos tan particulares que estos dos ecosistemas proveen, se enlistan y describen por separado para un mejor análisis.

la fase anterior, que se visualiza podría ser de aproximadamente 3 años debido a que el actual arreglo institucional (i.e. FONAFIFO) no está diseñado para gestionar un programa de capital natural azul, que implica una diversidad de aspectos diferentes a la gestión de bosques, como los actores sociales involucrados, una naturaleza totalmente pública del recurso y el *expertise* del recurso humano por supuesto es distinto (e.g. sustituyendo ingenieros forestales por biólogos marinos), entre otros. Consecuentemente, se requerirá una reforma institucional y legal alta, con el propósito de articular esfuerzos entre instituciones gubernamentales como el Viceministro de Agua y Mares, el FONAFIFO, el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INCOPESCA) y el SINAC, entre otros.

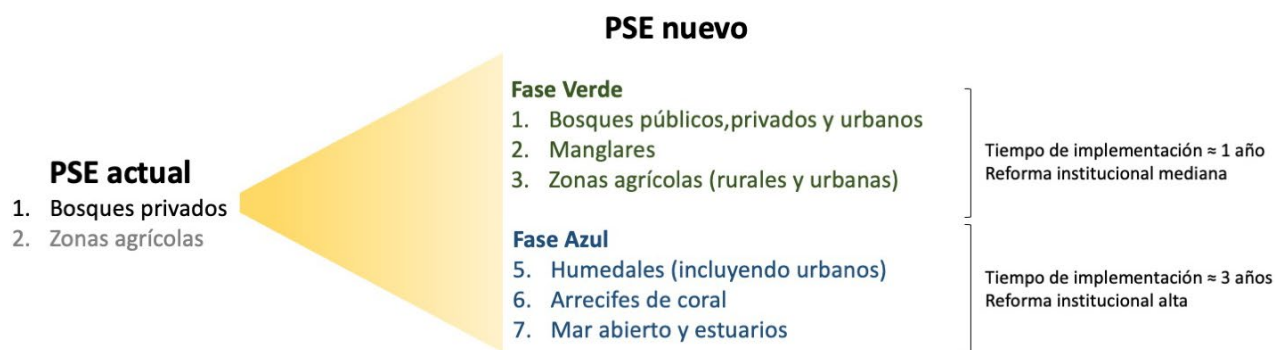


Figura 3. Fases de incorporación del nuevo capital natural.

Fuente: Elaboración propia.

### Servicios ecosistémicos del nuevo PSE

El segundo elemento del nuevo esquema son los servicios ecosistémicos clave de los ecosistemas anteriormente identificados, los cuales serán el objetivo de conservación y restauración del programa. El programa actual de PSE funciona como un **esquema basado en insumos**<sup>10</sup> (*input based*) que se enfoca en 4 servicios ecosistémicos de los bosques **bajo un enfoque integrado** (*bundled approach*) (Lau, 2013), que ha demostrado funcionar a través de la historia del actual esquema y, por lo tanto, se propone que el nuevo PSE continúe bajo esta misma lógica, pero expandiéndolo a más servicios ecosistémicos para abrir el programa a nuevas actividades o modalidades y mecanismos financieros, de los cuales algunos estarán enfocados en conservar o restaurar un servicio ecosistémico en particular (e.g. polinización en fincas agrícolas), así como otras en dos o más servicios (e.g. carbono azul y protección costera en manglares); reconociendo a su vez que aunque el nuevo esquema se centre en ciertos servicios ecosistémicos priorizados, otros servicios serán mejorados de manera colateral a través de las modalidades que se desarrollen (Figura 4).

<sup>10</sup> Se paga por actividades de conservación y restauración enfocados en 4 servicios ecosistémicos, en lugar de hacer pagos por resultados directamente relacionados con cada servicio (e.g. pago por tonelada de CO<sub>2</sub> secuestrada).



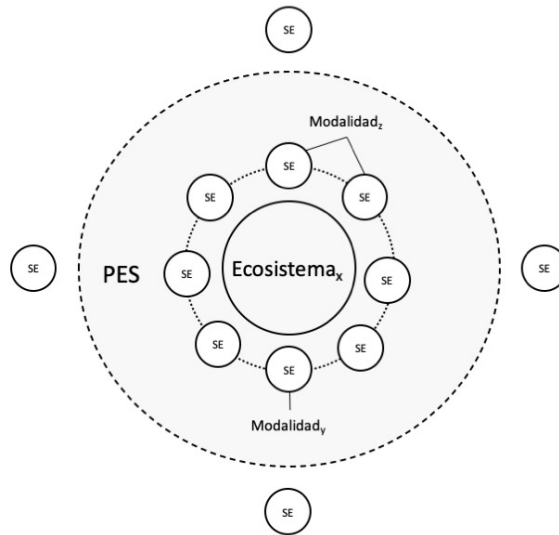


Figura 4. Visión general de los servicios ecosistémicos que serán incluidos en el nuevo PSE.  
Fuente: Elaboración propia.

Por el contrario, un enfoque basado en resultados y capas sería impráctico y prohibitivamente caro, especialmente debido a los altísimos costos de transacción relacionados con las actividades de evaluación y monitoreo. La incorporación de nuevos servicios ecosistémicos significará incorporar nuevos beneficiarios, que algunos serán los compradores de estos servicios y, por lo tanto, serán parte de las nuevas fuentes de financiamiento para el sistema.

Los servicios ecosistémicos que se proponen como objetivo del nuevo esquema se seleccionaron basados, entre otras cosas, en el valor económico de cada uno de ellos para cada ecosistema, lo cual representa un indicador directo de la demanda de los mismos y la disposición a pagar de los posibles compradores o beneficiarios (de Groot et al., 2010; Van der Ploeg et al., 2010). Una idea central en la selección de los servicios ecosistémicos clave es poder ir “más allá del carbono”, que es el servicio en el que se centra el actual esquema de PSE, con el objetivo de elevar el nivel de ambición e innovación del nuevo PSE.

En total se propone la inclusión de 11 servicios ecosistémicos que serán el objetivo de conservación y restauración del nuevo programa. Las nuevas modalidades y actividades (Ver Volumen II) estarán dirigidos a ciertos de estos servicios para cada ecosistema. A continuación se provee una descripción de estos servicios ecosistémicos según el estudio “La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad (TEEB por sus siglas en inglés)” (Elmqvist et al., 2010) (a menos que se indique alguna otra referencia), los cuales serán los servicios objetivo para la próxima generación de PSE en Costa Rica.

## *1. Suministro de agua*

Los ecosistemas desempeñan roles importantes en el ciclo hidrológico global, contribuyendo a la provisión de agua (cantidad, definida como rendimiento total de agua), regulación (tiempo, la distribución estacional de flujos) y purificación (calidad, incluida la pureza biológica y la carga de sedimentos). El uso global del agua está dominado por las extracciones agrícolas (70% de todo el uso y 85% del consumo), incluida la producción ganadera, seguida de aplicaciones industriales y domésticas. La vegetación, particularmente los bosques, influye significativamente en la cantidad de agua que circula en una cuenca. Comúnmente se asume que los bosques generan lluvia y, en comparación con los pastos y la agricultura, promueven mayores tasas de evapotranspiración y mayor aspereza aerodinámica, lo que produce un aumento de la humedad atmosférica y la convergencia de la humedad, y por lo tanto mayores probabilidades de formación de nubes y generación de lluvia.

Además de la producción de agua, la vegetación, los microbios y los suelos eliminan los contaminantes del flujo superficial y del agua subterránea a través de diversos medios, que incluyen: atrapar físicamente el agua y los sedimentos; adherirse a contaminantes; reducir la velocidad del agua para mejorar la infiltración; transformación bioquímica de nutrientes; absorber agua y nutrientes de la zona de la raíz; estabilizar bancos erosionados; y diluyendo agua contaminada.

El agua llega a las reservas de agua dulce (lagos, ríos, acuíferos) por una variedad de rutas, que incluyen precipitación directa, flujos superficiales y subterráneos, e intervención humana. En todos los casos, la calidad del agua se ve alterada por la adición y eliminación de organismos y sustancias como se mencionó anteriormente. Los ecosistemas, por lo tanto, juegan un papel importante en la determinación de la calidad del agua. Aún más, la mayoría de los cambios en la capacidad de los ecosistemas para regular y proporcionar agua dulce se producen por el cambio en el uso del suelo.

## *2. Alimento*

Los agroecosistemas proporcionan alimentos para el consumo humano y, junto con los ecosistemas asociados que respaldan la pesca marina y de agua dulce, respaldan la seguridad alimentaria mundial. Los alimentos se producen principalmente en agroecosistemas gestionados de manera intensiva, pero aparte de las áreas dedicadas a la conservación de la vida silvestre o a la recreación, y aquellos utilizados para otros sistemas de producción (e.g. silvicultura), la mayoría de los paisajes terrestres y marinos están involucrados en la producción de alimentos en cierta medida. Incluso las áreas urbanas y suburbanas tienen parcelas y otras formas de jardines que se utilizan para la producción de alimentos, particularmente en los países en desarrollo.

Un aspecto importante de la producción alimentaria es que el mantenimiento de una alta productividad a lo largo del tiempo en monocultivos casi siempre requiere de subsidios de productos químicos, energía y capital financiero, lo cual evidencia la necesidad económica y ambiental de aumentar la diversidad biológica en estos sistemas como una estrategia de manejo. Aunque los rendimientos de los cultivos pueden ser 20% más bajos en los sistemas de agricultura orgánica (con una mayor biodiversidad), los aportes de fertilizantes y energía pueden reducirse en un 30-50%, y los aportes de pesticidas en más del 90%, lo que sugiere que la una fertilidad del suelo mejorada y una mayor biodiversidad en las parcelas orgánicas pueden hacer que estos sistemas sean menos dependientes de entradas externas que comúnmente tiene impactos ambientales significativos. Sin embargo, los rendimientos reducidos en la agricultura orgánica dan como resultado un intercambio (*tradeoff*) entre la tierra para la agricultura y la tierra para mantener la biodiversidad silvestre.

### 3. Regulación del clima

El clima está regulado en la Tierra por un "efecto invernadero" natural que mantiene la superficie del planeta a una temperatura propicia para el desarrollo y mantenimiento de la vida. Numerosos factores interactúan en la regulación del clima, incluido el reflejo de la radiación solar por nubes, polvo y aerosoles en la atmósfera.

El principal gas de efecto invernadero ( $\text{CO}_2$ ) es absorbido directamente por el agua e indirectamente (a través de la fotosíntesis) por la vegetación, lo que lleva al almacenamiento en la biomasa y en los suelos como materia orgánica. Además, la capacidad de los suelos para almacenar carbono es un importante regulador del clima. Otros gases de efecto invernadero, especialmente el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) están regulados por los microbios del suelo. Los organismos en el medio marino juegan un papel importante en el control del clima a través de su regulación de flujos de carbono, actuando como reserva o sumidero de  $\text{CO}_2$  (i.e. carbono azul) en los tejidos vivos y facilitando el entierro de carbono en los sedimentos del fondo marino. De hecho, el intercambio de  $\text{CO}_2$  entre la atmósfera y el océano es mayor que el existente entre la atmósfera y los ecosistemas terrestres.

Todos los suelos almacenan carbono, pero en grados muy variados. Las existencias más grandes se encuentran en turberas, pero los suelos ricos en materia orgánica se encuentran en muchos ecosistemas, especialmente donde la baja temperatura, el pH bajo o el anegamiento inhiben la descomposición. Los bosques son los únicos ecosistemas importantes donde la cantidad de carbono almacenada en la biomasa de las plantas excede la del suelo, y por lo tanto, la deforestación afecta la regulación climática. Los ecosistemas agrícolas tienen actualmente reservas bajas de carbono en el suelo debido a los métodos de producción intensiva, por lo que hay un margen importante para mejorar esas existencias de carbono. Los ecosistemas marinos también juegan un papel importante en la regulación climática a través del secuestro de carbono y la emisión de aerosoles.

#### *4. Regulación de la calidad del aire*

Los bosques y otros tipos de vegetación pueden reducir significativamente la contaminación del aire y el ruido, mitigar el efecto de “isla de calor urbana” y reducir los impactos relacionados con el cambio climático. Por ejemplo, en Chicago se descubrió que los árboles eliminan unas 5,500 toneladas de contaminantes del aire por año, lo que proporciona una mejora sustancial en la calidad del aire. La vegetación reduce los niveles de ruido, y los arbustos densos (al menos 5 m de ancho) pueden reducir los niveles de ruido en 2 dB, mientras que una plantación de 50 m de ancho puede reducir los niveles de ruido en 3–6 dB. Se prefieren los árboles de hoja perenne porque contribuyen a la reducción de ruido durante todo el año. Los parques y la vegetación urbanos reducen el efecto de “isla de calor urbano” y tienen un potencial importante para reducir las temperaturas urbanas cuando los edificios cuentan con una cubierta de vegetación, como techos y paredes verdes, con el mayor efecto en un clima cálido y seco.

Además se han observado vínculos entre el acceso a espacios verdes y una gran cantidad de beneficios a la salud humana, como por ejemplo manejar mejor la ansiedad y el estrés, tratamiento para niños con poca autodisciplina, hiperactividad y trastorno por déficit de atención, el tratamiento de personas mayores con demencia, trabajadores de oficina, mejor desarrollo cognitivo de los niños, y una mayor sensación de bienestar y salud mental.

Los servicios ecosistémicos urbanos pueden generarse en un conjunto diverso de hábitats, incluidos parques, cementerios, lotes baldíos, arroyos, lagos, jardines y patios, áreas de campus, campos de golf, puentes, aeropuertos y vertederos, entre muchos otros. En las zonas urbanas, el nuevo PSE de Costa Rica se centrará en áreas con bosque o vegetación y humedales.

#### *5. Prevención de la erosión*

La cobertura vegetal es el factor clave que previene la erosión del suelo. La frecuencia de deslizamientos parece estar aumentando, y se ha sugerido que el cambio en el uso del suelo, particularmente la deforestación, es una de las causas. En terrenos empinados, los bosques protegen contra deslizamientos de tierra al modificar el régimen de humedad del suelo. Por ejemplo, en Nepal el Departamento de Conservación de Suelos y Agua estima que entre 30 y 75 toneladas de suelo son arrastrados o “lavados” de cada hectárea de tierra deforestada cada año. Esto significa que el país en total pierde aproximadamente 240 millones de metros cúbicos de suelo cada año, lo que tiene por supuesto un alto costo económico, especialmente para el sector agrícola (Daily, 1997).

## 6. Polinización

Aproximadamente el 75% de las plantas de cultivo del mundo, así como muchas plantas que son especies fuente de productos farmacéuticos, dependen de la polinización por vectores animales. En muchos sistemas agrícolas, la polinización se gestiona activamente mediante el establecimiento de poblaciones de polinizadores domesticados, particularmente la abeja melífera (*Apis mellifera*). Sin embargo, la importancia de los polinizadores silvestres para la producción agrícola se reconoce cada vez más y los polinizadores silvestres también pueden interactuar sinérgicamente con las abejas manejadas para aumentar los rendimientos de los cultivos.

Las abejas son el taxón dominante que proporciona servicios de polinización de cultivos, pero las aves, los murciélagos, las polillas, las moscas y otros insectos también pueden ser importantes proveedores de este servicio ecosistémico. Los estudios en paisajes agrícolas muestran que las distancias cada vez mayores entre fragmentos de bosque dan como resultado una disminución tanto en la abundancia como en la riqueza de especies de las abejas visitantes de flores, lo que causa una disminución exponencial en la riqueza de polinizadores y la tasa de visitas de polinizadores nativos a las fincas agrícolas respecto con la distancia ecosistemas naturales como los bosques. La pérdida de biodiversidad en los agroecosistemas a través de la intensificación agrícola y la pérdida de hábitat afecta negativamente el mantenimiento de los sistemas de polinización.

Por lo tanto, la conservación de los polinizadores silvestres en los hábitats adyacentes a la agricultura mejora tanto el nivel como la estabilidad de los servicios de polinización, lo que lleva a mayores rendimientos e ingresos. Además, un conjunto diverso de polinizadores nativos proporciona un seguro contra la variabilidad de la población de un año a otro o la pérdida de especies específicas de polinizadores, y podría servir mejor a las flores debido a las preferencias espaciales específicas entre polinizadores y plantas con flores o campo de cultivo.

## 7. Moderación de eventos extremos

Los eventos extremos o "peligros naturales" se definen aquí como fenómenos poco frecuentes que pueden representar un alto nivel de amenaza para la vida, la salud o la propiedad. Los organismos vivos pueden formar y crear barreras naturales o amortiguadores, como los bosques (incluidos los manglares), arrecifes de coral, pastos marinos, bosques de algas marinas y humedales, y estos pueden mitigar los efectos de algunos peligros naturales como las tormentas costeras, los huracanes, las inundaciones transmitidas por cuencas, los tsunamis, las avalanchas, los incendios forestales y los deslizamientos de tierra. Muchos peligros surgen de la interacción humana con el ambiente y son sensibles al cambio ambiental. Ejemplos incluyen:

- inundaciones repentinas debido a eventos extremos de lluvia en ecosistemas altamente intervenidos que no pueden retener agua de lluvia,
- deslizamientos de tierra,
- marejadas debido al aumento del nivel del mar,
- contaminación del aire debido al uso intensivo de combustibles fósiles,
- incendios causados por sequías prolongadas, con o sin intervención humana.

Las inundaciones son un problema en una amplia gama de ecosistemas, que incluyen cuencas empinadas deforestadas, llanuras aluviales planas y ecosistemas urbanos con flujos de agua limitados. Las inundaciones también pueden ocurrir debido a mareas excepcionalmente altas y mareas de tormenta, un problema que se verá exacerbado por el aumento del nivel del mar, y en donde se sabe que los humedales costeros (e.g. manglares) desempeñan un papel importante en la defensa contra estos eventos hidrometeorológicos. La acción "rompe viento" provista por bosques o por el uso de características forestales naturales son un medio tradicional de proteger los cultivos y las propiedades contra tormentas violentas y daños generales por la exposición a fuertes vientos.

### *8. Tratamiento de desechos/purificación del agua*

La Evaluación del Milenio de los Ecosistemas provee la siguiente descripción del servicio ecosistémico de tratamiento de desechos y purificación del agua (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Primero es importante decir que el término "desechos" se entiende en este Volumen por materiales para los que no hay un uso inmediato y que pueden descargarse al ambiente. Incluye materiales que de otro modo podrían ser útiles si no estuvieran en el ambiente, como el petróleo después de un derrame de petróleo o pesticidas una vez que ya no estén en su sitio de aplicación. El término "contaminante" no se usa generalmente aquí. Un desperdicio en el ambiente es un contaminante pero no necesariamente un contaminante en el sentido de pérdida de uso de los servicios ecosistémicos.

Las actividades humanas descargan muchos tipos de materiales al ambiente, principalmente:

- Subproductos industriales resultantes de la producción de bienes duraderos, productos farmacéuticos y otros bienes manufacturados utilizados por la sociedad: algunos de estos materiales son nuevos para los sistemas naturales (xenobióticos), lo que significa que no existían en la Tierra antes de ser fabricados por humanos. Los ecosistemas pueden ser muy ineficaces para desintoxicar nuevos productos químicos, por lo que pueden ser particularmente persistentes y, por lo tanto, acumularse en el ambiente.
- Desechos no degradables, que no pueden descomponerse en materiales inofensivos y que por lo tanto solo pueden diluirse. Esta categoría incluye metales y desechos de sal. Por lo general, las sales no son un problema una vez que llegan al océano, pero los metales causan problemas en cualquier ecosistema.



- Pesticidas: estos pueden matar indiscriminadamente incluso insectos beneficiosos, y los pesticidas persistentes pueden acumularse en los organismos y tener efectos nocivos sobre otros organismos en la red alimentaria.
- Fertilizantes que principalmente son compuestos de nitrógeno y fósforo.
- Excrementos o desechos de aguas residuales, ricos en materia orgánica y en nitrógeno y fósforo (fertilizantes o nutrientes para plantas) y agentes patógenos: la materia orgánica en las aguas residuales puede eliminar el oxígeno de los sistemas acuáticos, y los nutrientes pueden estimular el crecimiento de las plantas y alterar la estructura del ecosistema y su función.
- Materiales naturales, que a menudo se liberan a velocidades que aumentan en gran medida las concentraciones ambientales, lo que a menudo daña los ecosistemas y la salud humana: aquí se incluyen metales tóxicos, desechos de sal, desechos ácidos, nitrógeno reactivo, hidrocarburos aromáticos policíclicos cancerígenos (que se encuentran en el humo y el escape) y productos derivados del petróleo.
- Los subproductos de las actividades humanas cotidianas: esta categoría incluye materiales hechos de papel, plásticos, vidrio, metales y productos como productos químicos domésticos y productos farmacéuticos, que se convierten en desechos después de su uso y, de una forma u otra, terminan en el ambiente.

La capacidad de un ecosistema para reducir las concentraciones de estos desechos depende tanto de las propiedades de los desechos como de las propiedades del ecosistema. Para comprender el daño potencial de un desecho o determinar cuánta capacidad tiene un ecosistema para asimilar un desecho particular, es necesario examinar los procesos del ecosistema que son responsables del destino de los desechos. Aunque existen miles de tipos de materiales en los desechos, los procesos de los ecosistemas son relativamente pocos. Hay dos tipos de procesos fundamentalmente diferentes:

- Procesos que actúan para cambiar los desechos a formas menos tóxicas (i.e. desintoxicación): Algunos tipos de desechos pueden ser completamente destruidos por procesos en el ambiente o usados en el ambiente de una manera que los hace inofensivos. Debe reconocerse que si bien los procesos que alteran los materiales de desecho a menudo están en el camino hacia la desintoxicación, la alteración inicial de un desecho puede no reducir el potencial del desecho de causar daño.
- Procesos que mueven y transportan desechos: Estos procesos reducen las concentraciones de desechos al diluirlos en áreas más grandes o volúmenes de agua más grandes. Sin embargo, algunos procesos de transporte de desechos también pueden concentrar los desechos en "puntos calientes" de concentraciones de desechos relativamente altas.

## *9. Recreación y turismo*

La recreación y el turismo son componentes importantes de muchas economías nacionales y locales y contribuyen de innumerables maneras a la calidad de vida, el sentido del lugar, la conexión social, el bienestar físico, el aprendizaje y otros intangibles. La contribución total de los viajes y el turismo al Producto Interno Bruto (PIB) mundial en 2011 fue de aproximadamente \$6 billones (9% del PIB), con un crecimiento esperado de \$10 billones en 2022. Por supuesto, los impactos económicos son solo una forma de medir la importancia de la recreación y el turismo. Estas actividades contribuyen de manera crítica a diversos aspectos del bienestar humano, por ejemplo, la recreación al aire libre es una experiencia espiritual para muchas personas, y las interacciones sociales en la naturaleza contribuyen a crear un sentido de lugar (Sharp et al., 2016).

Una parte importante y creciente de la recreación está "basada en la naturaleza", que implica interacciones o apreciación del ambiente natural. Para este tipo de actividades, las características del entorno influyen en las decisiones de las personas sobre dónde, cuándo y cómo recrearse. Los buceadores, por ejemplo, seleccionan destinos en función de la claridad del agua, la temperatura del agua y la diversidad de la vida marina. Los observadores de aves se sienten atraídos por los mejores lugares para ver especies objetivo, que inevitablemente son lugares donde los sistemas naturales sostienen poblaciones de aves deseables. Algunas actividades recreativas dependen de atributos ambientales como la riqueza de especies, la diversidad de hábitats, la precipitación y la temperatura, así como a otros atributos como la infraestructura y las atracciones culturales (Sharp et al., 2016).

En Costa Rica, el aumento sostenido a lo largo de los años de la extensión de las Áreas Silvestres Protegidas (ASP) ha sido en gran parte la razón de que el país se haya convertido en un destino turístico de clase mundial. La visitación turística se sextuplicó en los últimos 30 años, con una visitación al 2018 de poco más de 3 millones de turistas (Programa Estado de la Nación, 2019), lo que generó para el mismo año \$3,824 millones en divisas para el país (Banco Central de CR, 2019), empleando a 469,576 personas directa e indirectamente (INEC, 2019). Según el Instituto Costarricense de Turismo, entre el 2016 y el 2018, aproximadamente el 64% de todos los turistas que visitaron Costa Rica lo hicieron para realizar actividades relacionadas con el ecoturismo (Instituto Costarricense de Turismo, 2019).

## *10. Mantenimiento de la fertilidad del suelo*

El proceso de formación del suelo se rige por la naturaleza de los materiales parentales, los procesos biológicos, la topografía y el clima. Implica la conversión de una matriz mineral, que tiene una capacidad limitada para soportar ciclos de nutrientes, en un medio complejo con componentes inorgánicos y orgánicos, y fases sólidas, líquidas y gaseosas en las que tienen lugar transformaciones químicas y biológicas. La acumulación progresiva de materiales orgánicos es característica del desarrollo de la mayoría de los suelos

y depende de la actividad de una amplia gama de microbios, plantas y organismos asociados. La calidad del suelo se basa en el ciclo de nutrientes, que ocurre en todos los ecosistemas y está fuertemente relacionado con la productividad. Un elemento clave es el nitrógeno, que se produce en enormes cantidades en la atmósfera y se convierte en una forma biológicamente utilizable (amonio) por las bacterias.

Muchas especies diferentes están implicadas en el ciclo de nutrientes. El ciclo del nitrógeno puede depender de la diversidad de comunidades vegetales y particularmente de la presencia de grupos funcionales particulares. La biodiversidad del suelo tiene un impacto particularmente fuerte en el ciclo de nutrientes. Aún más, es importante hacer notar la importancia de la biota del suelo para los servicios ecosistémicos y la productividad de la tierra, haciendo énfasis en los impactos positivos de los simbioses microbianos en los rendimientos de los cultivos, como resultado del aumento de los nutrientes disponibles para las plantas, especialmente nitrógeno, a través de la fijación biológica del nitrógeno por las bacterias del suelo como *Rhizobium* y fósforo a través de hongos micorrízicos arbusculares.

En los ecosistemas naturales, los hongos micorrízicos simbióticos son la ruta principal de transferencia de fósforo del suelo a la planta, y la diversidad de hongos micorrízicos puede regular tanto la diversidad de las plantas como la eficiencia de los nutrientes, y posiblemente la eficiencia del uso del agua. Por lo tanto, los sistemas agrícolas sostenibles deberán hacer un mayor uso de los hongos micorrízicos, cuya diversidad es actualmente muy baja en los sistemas de cultivo.

## 11. Biodiversidad

Es importante primero definir el concepto de “biodiversidad”. En este documento se utiliza la definición provista por el Convenio de Diversidad Biológica de las Naciones Unidas, que la define como “la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas” (Naciones Unidas, 1992).

En segundo lugar, es necesario hacer notar que la biodiversidad se incluye en las evaluaciones de los ecosistemas de maneras muy diferentes. En algunos casos, los términos biodiversidad y servicios ecosistémicos se usan casi como sinónimos, lo que implica que son efectivamente lo mismo y que si los servicios ecosistémicos se gestionan bien, la biodiversidad se mantendrá y viceversa. En el otro extremo, la biodiversidad en sí misma se considera a veces como un servicio ecosistémico, y el mantenimiento de especies silvestres (especialmente las de interés para la conservación) se trata como una de las cosas que el manejo del ecosistema puede y debe ofrecer.

Georgina Mace y colegas proponen que esta confusión del rol que la biodiversidad tiene en la provisión de servicios ecosistémicos puede resolverse reconociendo que existen principalmente 3 diferentes relaciones en diferentes niveles de la jerarquía de los servicios ecosistémicos<sup>11</sup>:

- La biodiversidad como regulador de los procesos del ecosistema: La biodiversidad es un factor que controla los procesos del ecosistema que sustentan los servicios ecosistémicos. Por ejemplo, la dinámica de muchos ciclos de nutrientes del suelo está determinada por la composición de las comunidades biológicas en él. Por lo tanto, la composición biológica de los ecosistemas, medida como biodiversidad, tiene un papel clave en la prestación de servicios ecosistémicos.
- La biodiversidad como un servicio final del ecosistema: La biodiversidad a nivel de genes y especies contribuye directamente a algunos bienes y sus valores. Por ejemplo, el valor potencial de las medicinas silvestres y los beneficios potenciales de la bioprospección aumentan directamente con el número y el carácter evolutivo de las especies.
- La biodiversidad como un bien: Aquí, la biodiversidad misma es el objeto valorado por los humanos. Muchos componentes de la biodiversidad tienen un valor cultural, incluida la apreciación de la vida silvestre y los lugares con belleza escénica, así como los valores espirituales, educativos, religiosos y recreativos (Mace et al., 2012).

Por lo tanto, la gestión eficaz del ecosistema actualmente y sobre todo en el futuro a medida que se intensifiquen las presiones, requerirá identificar y analizar todas las funciones tanto para la optimización de la prestación de servicios ecosistémicos como para la conservación de especies, hábitats y paisajes.

Finalmente, es importante resaltar que cuando se mencionen en las siguientes secciones los beneficiarios de la biodiversidad, se enlistarán algunos beneficiarios directos del uso antropocéntrico de la biodiversidad, lo cual es un elemento del gran universo de valores que tiene la biodiversidad en el soporte de la salud de los ecosistemas y por ende la provisión de los demás beneficios que recibe la sociedad, tal y como se describió en los párrafos anteriores.

La inclusión de estos 11 servicios ecosistémicos descritos anteriormente significa casi triplicar el actual programa en cuanto al alcance de servicios ecosistémicos objetivo (Figura 5), lo cual representa una señal clara del aumento de ambición del nuevo esquema y sobre todo la visión de abrir con esto un amplio abanico de posibilidades de nuevas modalidades de conservación y restauración que este esquema financiará, beneficiando así también a una mayor variedad de beneficiarios e implementadores, lo cual se traducirá en nuevos beneficios sociales, económicos y ambientales.

---

<sup>11</sup> Estructura del ecosistema → Funciones del ecosistema → Servicios ecosistémicos.



Figura 5. Expansión del nuevo PSE hacia 12 servicios ecosistémicos. El actual solo contempla 4 servicios.

Fuente: Elaboración propia.

### Amenazas al capital natural

El tercer elemento del nuevo PSE que se abordará en este Volumen son las amenazas a los ecosistemas seleccionados. Es crucial identificar y priorizar estas amenazas para invertir en las soluciones que más se necesitan, lo que aumenta la eficacia y la eficiencia del esquema (Schomers & Matzdorf, 2013). Además, la identificación y cuantificación de las amenazas formará parte de la línea base a partir de la cual se comparará el éxito de las soluciones implementadas, incorporando así en el esquema el principio central de adicionalidad (Engel et al., 2008). Finalmente, determinar las amenazas, y consecuentemente el impacto ambiental inducido por algún actor de la sociedad, será la base para la determinación de multas que recolectará el nuevo esquema con la idea de castigar a quienes deterioren el fideicomiso (i.e. capital natural), y así dirigir esos recursos a quienes lo mejoren.

Según el VI Informe para la Convención de Diversidad Biológica (CBD) de las Naciones Unidas sobre el estado de la biodiversidad de Costa Rica, los ecosistemas del país están siendo transformados principalmente debido a actividades relacionadas con el sector agropecuario, energético e infraestructura, sumado a la contaminación por químicos y el creciente desarrollo urbano sin planificación (MINAE et al., 2018). Dicho informe, evalúa de manera general la tendencia de la salud de los ecosistemas de Costa Rica, incluidos los seleccionados para que formen parte del nuevo programa de PSE (Tabla 3).

Tabla 3. Tendencias de los ecosistemas del nuevo esquema de PSE

Ecosistema	Tendencia
Bosque seco tropical	↑
Bosque húmedo tropical	↓
Bosque montano	→
Lagunas	↓
Ríos	→
Manglar	↓
Arrecifes de coral	↓
Mar abierto	↑

Nota: ↑= mejora en la salud del ecosistema, →= se mantiene la salud del ecosistema, ↓= disminuye la salud del ecosistema

Fuente: MINAE et al., 2018.

Es importante resaltar que la ubicación de las amenazas, junto con la ubicación de la oferta y demanda de servicios ecosistémicos, serán parámetros clave para determinar en qué lugares del país los pagos que realice el programa tendrán el mayor retorno económico y ambiental (Sección 11 de este Volumen). Aún más, es clave considerar las interdependencias entre los ecosistemas, y por lo tanto las conexiones e impactos relacionados entre amenazas. Por ejemplo, una de las principales amenazas a los arrecifes de coral es la sedimentación por la deforestación que ocurre en las montañas, por lo que las intervenciones necesarias para la conservación de un ecosistema deberán realizarse en otro ecosistema, lo cual también deberá ser considerado en los mecanismos de pago por servicios ecosistémicos que se desarrollarán en el Volumen II.

Las siguientes secciones describen de manera general cada uno de estos ecosistemas, por lo que no pretende hacer un análisis ecológico y taxonómico detallado, sino que el objetivo es proveer la información necesaria que le permita al lector conocer los detalles a gran escala para poder visualizar la relevancia de cada ecosistema dentro del nuevo programa de PSE. La información provista se basa principalmente en las descripciones Kappelle (2016) (a menos que se indique otra fuente) para los ecosistemas de Costa Rica. Además, en esta sección se enlistan los servicios ecosistémicos que el nuevo programa considerará como prioritarios de acuerdo con la lista y descripción presentada en la subsección anterior, indicando también los principales beneficiarios (que algunos serán potenciales compradores) de cada uno de estos beneficios. Finalmente, se señalarán de manera general las principales amenazas que cada ecosistema enfrenta con el objetivo de desarrollar las medidas de conservación y restauración más efectivas (las cuales serán desarrolladas en el Volumen II), sin pretender mencionar la totalidad de amenazas o realizar un análisis exhaustivo de cada amenaza<sup>12</sup>.

<sup>12</sup> Se recomienda realizar estudios biofísicos, ecológicos, sociales y económicos de las principales amenazas a cada uno de los ecosistemas y las personas que dependen de estos para sus medios de vida.

# 5. BOSQUES

## Descripción del ecosistema

El primer cambio importante en términos de capital natural del nuevo programa es que incluirá tanto bosques privados como bosques públicos, lo que representa una expansión significativa del área que se considerará para recibir algún tipo de incentivo en relación con los servicios ecosistémicos que los bosques proveen en estas ubicaciones.

Costa Rica tiene una alta variedad de bosques. En el noroeste del país se encuentra el sector más al sur de los bosques secos caducifolios de tierras bajas de Mesoamérica, el bosque seco de Guanacaste. Adyacente a estos bosques secos, se encuentran los bosques estacionales del norte y centro de Puntarenas y el Valle Central, los cuales son parcialmente secos y húmedos. El país tiene bosques lluviosos tanto de baja altura como de alta altura. Los de baja altura se encuentran en ambas cosas, en el Caribe se encuentran desde el Río San Juan en el límite con Nicaragua hasta el Río Sixaola en la frontera con Panamá, mientras que en la costa Pacífica están solo en el sector sur del país, desde Domatical hasta la Península de Osa y Golfo Dulce (Figura 6).

Los bosques lluviosos de altura (i.e. zonas más altas de 500 msnm) de Costa Rica soportan diferentes tipos de bosques tropicales perennifolios y pastizales naturales, desde bosques lluviosos húmedos de montaña hasta verdaderos bosques tropicales nubosos que se caracterizan por una niebla diurna, y praderas de páramos dominadas por matorrales de bambú y afloramientos de roca. Los bosques nubosos pertenecen a los bosques montañosos más ricos a nivel mundial y son parte del "hotspot" de biodiversidad Mesoamericano. En alturas subalpinas de aproximadamente 3,000 msnm los bosques nubosos son sustituidos por praderas sin árboles y matorrales dominados por *Chusquea subtessellata*, los llamados páramos, que son un bioma alpino tropical húmedo y frío parecido a la tundra, principalmente distribuido en el Parque Nacional Chirripó (66% de su cobertura total). La presencia de *Comarostaphylis arbutoides* representa el límite entre el bosque nuboso y el páramo.

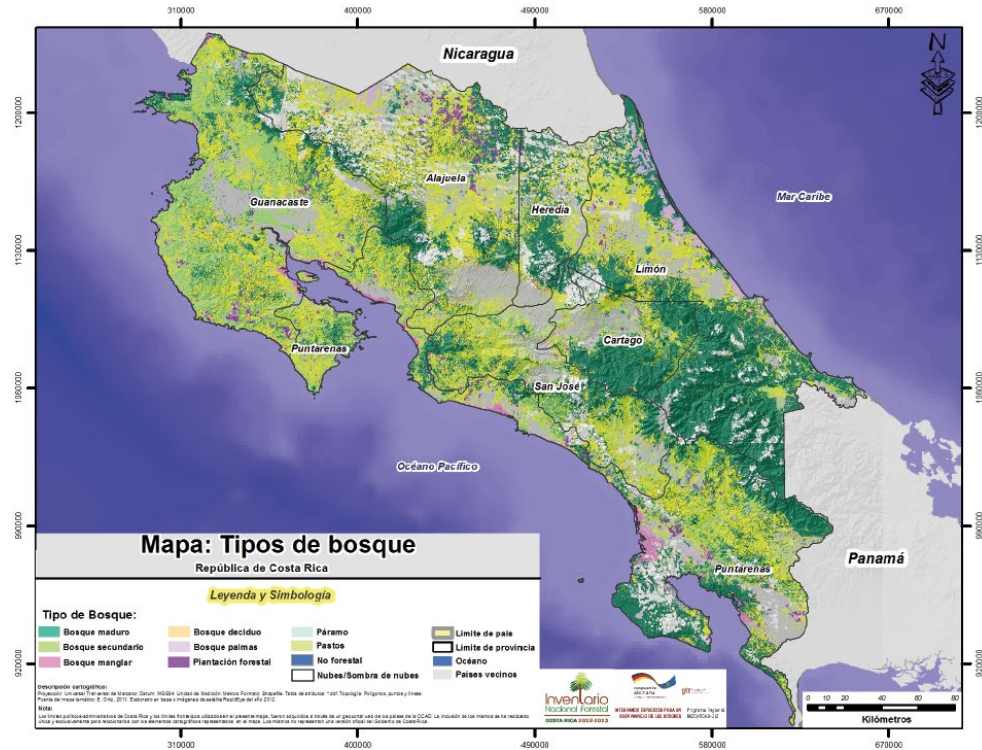


Figura 6. Bosques de Costa Rica.  
Fuente: Programa REDD/CCAD-GIZ - SINAC, 2015

### Servicios ecosistémicos objetivo del nuevo PSE

Aunque se sabe que la intensidad en la provisión de los servicios ecosistémicos varía de acuerdo con el tipo de bosque, a continuación se listan los servicios seleccionados para este ecosistema de manera general (Tabla 4). En este sentido, se puede evidenciar otro cambio sustantivo, en el que el nuevo programa amplía la cantidad de servicios ecosistémicos de los bosques en los que se va a enfocar. Además, como otro elemento innovador, se consideran los bosques urbanos actuales y/o futuros.





Tabla 4. Servicios ecosistémicos objetivo de los bosques y sus beneficiarios

Servicio ecosistémico objetivo	Beneficiarios
Regulación del clima (secuestro de carbono)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Gobierno de Costa Rica (especialmente para alcanzar metas de mitigación de cambio climático).</li> <li>– Población nacional y global que podrían beneficiarse de un cambio climático menos acelerado.</li> <li>– Gobiernos de otros países que necesiten compensar sus emisiones de gases de efecto invernadero)</li> <li>– Empresas nacionales e internacionales que necesiten compensar sus emisiones de gases de efecto invernadero.</li> </ul>
Biodiversidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Población nacional y global que valoran la biodiversidad de los bosques de manera intrínseca.</li> <li>– Investigadoras e investigadores en disciplinas relacionadas con la biología y otras ciencias ambientales.</li> <li>– Empresas farmacéuticas.</li> <li>– Usuarios de medicina natural (especialmente comunidades indígenas).</li> <li>– Educación ambiental.</li> </ul>
Suministro de agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Consumo poblacional.</li> <li>– Consumo agrícola.</li> <li>– Consumo industrial.</li> <li>– Otras actividades económicas (hoteles, restaurants, etc.)</li> <li>– Empresas de generación de energía hidroeléctrica.</li> <li>– Empresas gubernamentales de provisión de agua potable.</li> </ul>
Recreación y turismo	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Población residente del país que disfrutan de actividades en los bosques (incluidos los</li> </ul>

	<p>urbanos), y que por lo tanto reciben beneficios directos a su salud física, mental y espiritual.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Turistas nacionales e internacionales (e.g. avistamiento de fauna silvestre como aves, senderistas, camping, etc.) (incluidos los urbanos).</li> <li>– Áreas Silvestres Protegidas de Costa Rica, que financian parte de sus operaciones a través del cobro a la entrada de turistas.</li> <li>– Empresas nacionales e internacionales de turismo (e.g. hoteles, restaurantes, líneas aéreas, reservas biológicas privadas, empresas de aventura, etc.).</li> <li>– Empleos indirectos al turismo.</li> </ul>
Regulación de la calidad del aire	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Residentes de áreas urbanas que se benefician de una disminución de la contaminación sónica y atmosférica (tanto para viviendas como para personas que se trasladan por las ciudades).</li> <li>– Residentes de áreas urbanas que se benefician de una disminución de la temperatura o efecto “isla de calor” (tanto para viviendas como para personas que se trasladan por las ciudades).</li> <li>– Turistas en áreas urbanas.</li> <li>– Industrias.</li> </ul>
Prevención de la erosión	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Empresas gubernamentales de transporte y construcción de infraestructura, que se benefician de una reducción en los deslizamientos de tierra.</li> <li>– Sector agrícola.</li> <li>– Población general que se podría ver afectada por erosión de la tierra (e.g. deslizamientos).</li> </ul>
Polinización	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sector agrícola, especialmente cultivos que dependen altamente de este servicio para su productividad (i.e. café).</li> <li>– Población general que consume alimentos polinizados de forma natural, lo que tiene un</li> </ul>

	<p>impacto en el precio (más bajo) y calidad del producto.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Sector apícola.</li> <li>– Consumidores de miel y sus derivados.</li> </ul>
Moderación de eventos extremos	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sector agrícola, que reciben protección de sus cultivos a través de la acción rompe vientos de los bosques.</li> <li>– Empresas de turismo, que reciben protección de su capital construido (e.g. hoteles).</li> <li>– Empresas gubernamentales de transporte y construcción de infraestructura.</li> <li>– Instituciones gubernamentales de atención de emergencias, sobre todo hidrometeorológicas.</li> <li>– Población general (protección de residencias contra inundaciones).</li> <li>– Municipios y pueblos que se benefician de una reducción en las inundaciones.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

### Amenazas priorizadas

1. Deforestación para actividades agrícolas, maderas preciosas, desarrollo inmobiliario y turismo, entre otras.
2. Cacería ilegal.
3. Incendios forestales.
4. Cambio climático (aumento de la temperatura, cambios en la precipitación)
5. Especies invasoras.

# 6. MANGLARES

## Descripción del ecosistema

En Costa Rica, los manglares se definen de acuerdo con el Sistema de Clasificación de Tipos de Humedales propuesto por la Convención de Ramsar. Así son considerados “sistemas estuarinos” y, más específicamente “humedales intermareales arbolados”. Según el Decreto Ejecutivo 35803-MINAET, la presencia de un manglar se define en Costa Rica por la presencia de las siguientes especies: *Rhizophora mangle*, *R. racemosa*, *Pelliciera rhizophorae*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans*, *A. bicolor* y *Conocarpus erecta*<sup>13</sup>.

Costa Rica tiene extensas áreas de manglar a lo largo de su costa Pacífica. Aquí, los bosques de manglar están dentro de los mejores desarrollados, más diversos y grandes de América Central. Los manglares del Pacífico representan el 99% de la cobertura total de manglares del país, y consisten en las siguientes especies nucleares: manglar salado (*Avicennia bicolor*), manglar negro (*Avicennia germinans*), manglar botón (*Conocarpus erectus*), manglar blanco (*Laguncularia racemosa*), manglar piñuelo (*Pelliciera rhizophorae*), manglar rojo (*Rhizophora mangle* y *Rhizophora racemosa*), y mangle caballero (*Rhizophora harrisonii*) (Kappelle, 2016).

En la parte noroeste de la costa del Pacífico, los manglares tienden a ser más pequeños (hasta 12 m de altura en Potrero Grande, por ejemplo) posiblemente debido a la prolongada estación seca de diciembre a abril. Un poco más al sur, en condiciones más estuarinas, como los manglares de Tamarindo, los árboles de *Rhizophora mangle* pueden alcanzar los 25-30 m de altura (Spalding, 2010).

La costa Caribe tiene condiciones biofísicas muy diferentes, con una costa dominada por costas arenosas y un pequeño rango de mareas. El sitio de manglares más importante aquí se encuentra al sur, alrededor de la Laguna de Gandoca (Spalding, 2010).

Una de las estimaciones más recientes del área total de manglares en Costa Rica, en 2013, fue de 36,250 ha (Programa REDD/CCAD-GIZ - SINAC, 2015) (Figura 7). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) había estimado previamente la extensión de los manglares en el país en el 2000 en 41,840 ha y en 1980 en 63,400 ha (FAO, 2007). Aunque se han aplicado diferentes técnicas para calcular la cobertura total de manglares en el país, de acuerdo con estos datos, Costa Rica ha perdido aproximadamente 27,150 ha o el 43% del área original de manglares entre 1980 y 2013; una tasa de pérdida anual de 1.3%.

---

<sup>13</sup> En el anexo 1 de ese mismo decreto se puede encontrar una lista completa de las especies que pueden encontrarse en un manglar.

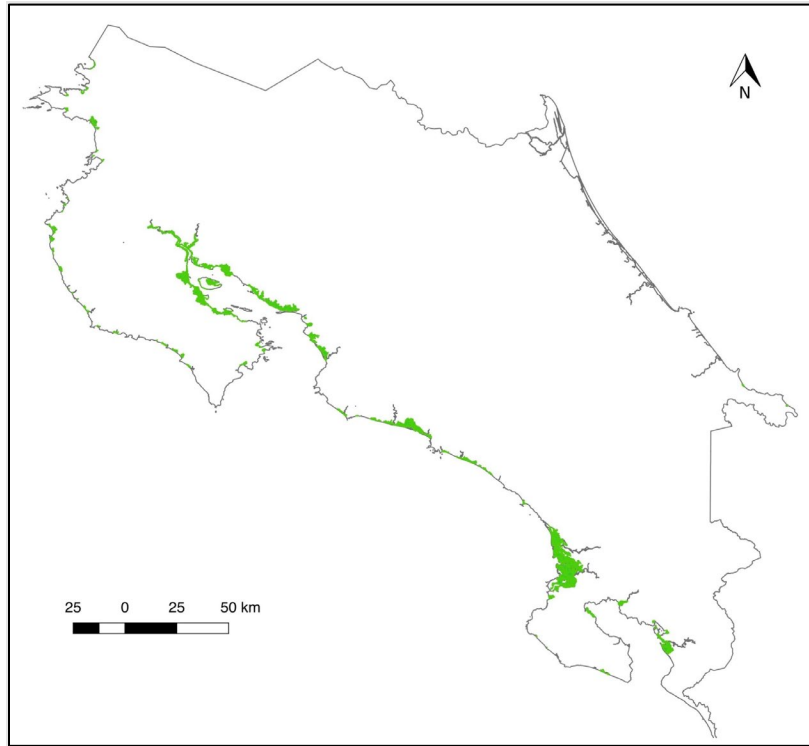


Figura 7. Distribución de los manglares de Costa Rica en 2013  
 Fuente: Programa REDD/CCAD-GIZ - SINAC, 2015

### Servicios ecosistémicos objetivo del nuevo PSE

Los servicios ecosistémicos objetivo de los manglares que considerará el nuevo esquema de PSE se listan en la Tabla 5.

Tabla 5. Servicios ecosistémicos objetivo de los manglares y sus beneficiarios

Servicio ecosistémico objetivo	Beneficiarios
Alimento (pesca)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pesquerías (especialmente artesanales).</li> <li>2. Empresas de acuicultura.</li> <li>3. Consumo de subsistencia.</li> <li>4. Consumidores de pescado y mariscos (población general y empresas turísticas).</li> <li>5. Organizaciones comunales de aprovechamiento de recursos pesqueros (i.e. pianguas)</li> </ol>

<p>Moderación de eventos extremos (i.e. protección costera)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sector agrícola, que reciben protección de sus cultivos a través de la acción rompe vientos de los manglares, así como la protección contra inundaciones.</li> <li>– Empresas de turismo, que reciben protección de su capital construido (e.g. hoteles).</li> <li>– Empresas gubernamentales de transporte y construcción de infraestructura.</li> <li>– Instituciones gubernamentales de atención de emergencias, sobre todo hidrometeorológicas.</li> <li>– Población general (protección de residencias en la costa contra inundaciones).</li> <li>– Municipios y pueblos que se benefician de una reducción en las inundaciones.</li> <li>– Comercios.</li> <li>– Proyectos inmobiliarios costeros.</li> </ul>
<p>Regulación del clima (secuestro de carbono azul)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Gobierno de Costa Rica (especialmente para alcanzar metas de mitigación de cambio climático).</li> <li>– Población nacional y global que podrían beneficiarse de un cambio climático menos acelerado.</li> <li>– Gobiernos de otros países que necesiten compensar sus emisiones de gases de efecto invernadero)</li> <li>– Empresas nacionales e internacionales que necesiten compensar sus emisiones de gases de efecto invernadero.</li> </ul>
<p>Biodiversidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Población nacional y global que valoran la biodiversidad de los manglares de manera intrínseca.</li> <li>– Investigadoras e investigadores en disciplinas relacionadas con la biología y otras ciencias ambientales.</li> <li>– Empresas farmacéuticas.</li> <li>– Educación ambiental.</li> <li>– Pesquerías en general.</li> <li>– Turismo en general.</li> </ul>
<p>Tratamiento de desechos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Turistas nacionales e internacionales, así como población general, que disfrutan de ecosistemas marino-costeros (i.e. arrecifes de coral, mar abierto, estuarios) con una carga de desechos baja o nula gracias al servicio ecosistémico de los manglares.</li> <li>– Residentes tanto de las ciudades como de las zonas costeras.</li> <li>– Sectores agrícola, comercial e industrial que aprovechan de cierta manera este servicio ecosistémico para tratar en un menor grado sus desechos.</li> </ul>
<p>Recreación y turismo</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Población residente del país que disfruta de actividades en los manglares, y que por lo tanto recibe beneficios directos a su salud física, mental y espiritual.</li> <li>– Turistas nacionales e internacionales (e.g. tours en los canales de los manglares)</li> <li>– Empresas nacionales e internacionales de turismo (e.g. hoteles, restaurantes, líneas aéreas, empresas de aventura, etc.).</li> <li>– Empleos indirectos al turismo.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

### Amenazas priorizadas

- Extracción de productos forestales como ácido tánico (extraído de la corteza de *Rhizophora*), carbón y materiales de construcción, entre otros.
- Cambio de uso de suelo, como a campos de arroz, estanques de sal, campos agrícolas y estanques de camarones.
- Residuos sólidos (los manglares son utilizados como vertederos en algunas partes).
- Sedimentación.
- Contaminación por desechos orgánicos, pesticidas, hidrocarburos y residuos sólidos (e.g. plástico).
- Cambio climático (e.g. suelos más calientes, aumento del nivel del mar, tormentas más frecuentes y severas).



# 7. HUMEDALES

## Descripción del ecosistema

Costa Rica tiene una gran variedad de humedales naturales que incluyen ríos, lagunas, lagos, pantanos estacionales dominados por bosques o palmas y marismas, entre otros (Figura 8). Por otro lado, el país también cuenta con humedales artificiales, como los reservorios artificiales que son resultado de la construcción de represas para la generación de energía hidroeléctrica, como en el caso del Lago Arenal, Lago Cachí y Lago Angostura. Algunos de estos humedales están determinados por aguas salobres o más salinas como en el caso de los manglares. Es importante hacer notar que los manglares serán considerados en el nuevo esquema de PSE por aparte debido a los servicios ecosistémicos tan distintivos que proveen (tal y como se describió anteriormente), y que por ende el diseño de mecanismos y actividades de conservación y restauración son muy específicos.

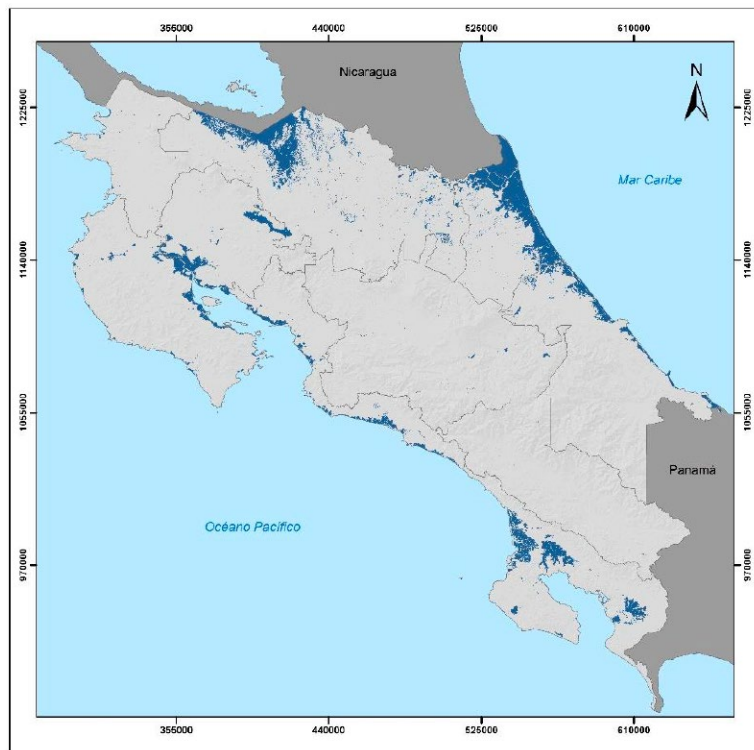


Figura 8. Distribución de los humedales (en azul) de Costa Rica.  
Fuente: (Proyecto Humedales, 2018)



La limnología de Costa Rica se caracteriza por sistemas paralelos de ríos con áreas de drenaje relativamente pequeñas. Estos sistemas corren de las cumbres de las montañas hacia las zonas costeras. Respecto a los lagos, Costa Rica tiene un total de aproximadamente 652, que incluyen estanques estacionales y lagunas salobres. Los lagos se originan por actividad volcánica, dinámicas fluviales, glaciaciones pasadas o derrumbes. El lago de origen glacial más extenso del país es el Lago Chirripó. Otro tipo de humedal presente en el país son los pantanos de zonas altas, que tienen una extensión total de apenas 235 hectáreas, y se distribuyen entre 1,200 – 3,100 msnm, como son los pantanos de Sabanas Dúrika en la Cordillera de Talamanca. Costa Rica también tiene marismas, un tipo de humedal que se extiende más en el territorio nacional que los pantanos, alcanzando una superficie total de 30,000 ha, los cuales se encuentran en cuencas y depresiones en donde la precipitación y el agua de escorrentía se acumulan.

### Servicios ecosistémicos objetivo del nuevo PSE

Aunque se sabe que la intensidad en la provisión de los servicios ecosistémicos varía de acuerdo con el tipo de humedal, a continuación se listan y describen los servicios seleccionados para este tipo ecosistema de manera general (Tabla 6), siempre haciendo énfasis en ríos, lagos y lagunas.

Tabla 6. Servicios ecosistémicos objetivo de los humedales y sus beneficiarios

Servicio ecosistémico objetivo	Beneficiarios
Alimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Comunidades rurales e indígenas (pesca de subsistencia).</li> </ul>
Suministro de agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Consumo poblacional.</li> <li>– Consumo agrícola.</li> <li>– Consumo industrial (uso de agua para procesos, embotelladoras, etc.)</li> <li>– Empresas de generación de energía hidroeléctrica.</li> <li>– Empresas gubernamentales de provisión de agua potable.</li> <li>– Otras actividades económicas (hoteles, restaurants, etc.)</li> </ul>
Moderación de eventos extremos	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Población general (protección de residencias contra inundaciones).</li> <li>– Empresas gubernamentales de transporte y construcción de infraestructura.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Instituciones gubernamentales de atención de emergencias, sobre todo hidrometeorológicas.</li> <li>– Municipios y pueblos que se benefician de una reducción en las inundaciones.</li> </ul>
Tratamiento de desechos/purificación del agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Residentes tanto de las ciudades como de las zonas rurales.</li> <li>– Empresas gubernamentales de saneamiento de agua.</li> <li>– Sectores agrícola, comercial e industrial que aprovechan de cierta manera este servicio ecosistémico para tratar en un menor grado sus desechos.</li> <li>– Otras actividades económicas (hoteles, industrias, restaurants, etc.).</li> </ul>
Recreación y turismo	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Población residente del país que disfrutan de actividades en los ríos y lagos (incluidos los urbanos), y que por lo tanto reciben beneficios directos a su salud física, mental y espiritual.</li> <li>– Turistas nacionales e internacionales (e.g. rafting, kayaking, caminatas a lo largo de los ríos, etc.) (incluidos los urbanos).</li> <li>– Empresas turísticas nacionales e internacionales.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

### Amenazas priorizadas

1. Construcción de pequeñas y grandes represas para energía hidroeléctrica.
2. Consumo de agua agrícola, industrial, turístico y residencial<sup>14</sup>.
3. Cambio de la cobertura y uso del suelo (e.g. cambios en el uso del suelo agrícola ocasionan contaminación del agua por sedimentos, agroquímicos y desechos animales).
4. Contaminación por sedimentos, agroquímicos y desechos animales sin haber cambios de la cobertura y uso del suelo, así como contaminación por aguas residuales.
5. Eutroficación.
6. Introducción de especies invasoras no nativas (e.g. tilapia).

<sup>14</sup> Es importante resaltar que esta amenaza surge en parte porque el valor real del agua no se ve reflejado en su precio. Además, concesiones de agua suelen exceder la oferta de agua en algunas áreas o durante ciertas épocas del año.

# 8. ARRECIFES DE CORAL

## Descripción del ecosistema

En el Pacífico Tropical Oriental de Costa Rica, los arrecifes de coral están caracterizados por su relativo pequeño tamaño. Tienen solo unas pocas hectáreas de extensión, así como una baja diversidad de corales. Los arrecifes de coral, comunidades de coral, y comunidades de coral aisladas se pueden encontrar a lo largo de esta costa, excepto en la parte interna del Golfo de Nicoya y fuera de los manglares de Térraba-Sierpe (Figura 9). En general, los arrecifes y comunidades de coral en el Pacífico pueden dividirse en cinco grupos:

1. Papagayo – Nicoya, desde la frontera de Nicaragua hasta la entrada oeste del Golfo de Nicoya. Los arrecifes de Bahía Culebra son de los mejores estudiados en el país, en donde los principales constructores de arrecifes son *Pavona clavus* y *Pocillopora spp.*
2. Pacífico Central, desde Herradura hasta los manglares del humedal Térraba-Sierpe, se encuentra muy pocos arrecifes, con excepción en el Parque Marino Ballena en donde se encuentran arrecifes de coral construidos por especies como *Porites lobata* y *Pavona clavus*.
3. Osa – Golfo Dulce, en donde se han encontrado arrecifes de coral en la zona protegida de San Josecito, así como en las partes superficiales del golfo.
4. Isla del Caño, localizada a aproximadamente 15 km de la Península de Osa, contiene unos de los más extensos arrecifes de coral de Costa Rica. Se han identificado en la isla 20 especies de octocorales, 2 especies corales negros, 17 especies de corales formadores de arrecifes, y 4 especies de corales no formadores de arrecifes. Predominan las especies *Porites lobata* y pocilopóridos.
5. La Isla del Coco tiene grandes extensiones de arrecifes de coral y comunidades de coral. Se han reportado 18 especies de corales zooxantelados y 15 especies de corales no zooxantelados. Los arrecifes tienen una extensión que va desde menos de una hectárea a más de 50 hectáreas, y la mayoría se encuentran en el sector norte de la isla. La principal especie formadora de coral es *Porites lobata*, pero en otras áreas predominan *Pavona clavus*, *Pavona varians*, *Leptoseris scabra* y *Gardineroseris planulata*.

En el sur de la costa Caribeña de Costa Rica, existen promontorios de carbonato, compuestos principalmente por fósiles de arrecifes de coral del Pleistoceno y Holoceno. Los arrecifes de coral de la actualidad están creciendo sobre esas formaciones rocosas, y se distribuyen en tres secciones: 1) arrecifes de borde entre Moín y Limón, incluyendo Isla Uvita; 2) los arrecifes de borde más extensos de la costa más algunos parches de arrecifes y bancos de carbonato el Parque Nacional Cahuita, y 3) los arrecifes entre Puerto Viejo y Punta Mona.

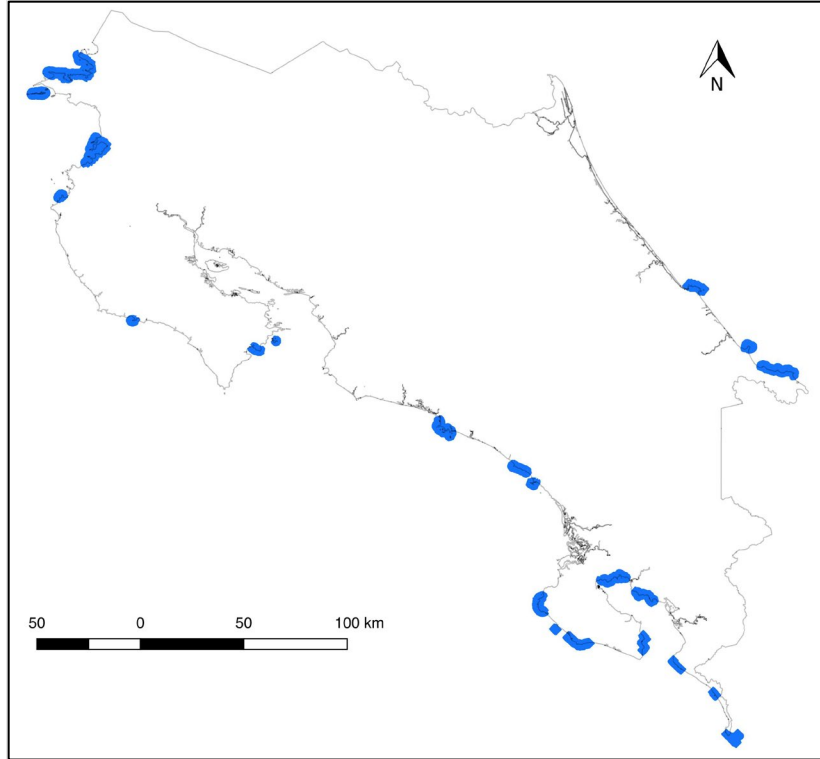


Figura 9. Distribución de los corales de Costa Rica.  
Fuente: (UNEP-WCMC, WorldFish Centre, WRI, TNC, 2010)

## Servicios ecosistémicos objetivo del nuevo PSE

Los servicios ecosistémicos priorizados (i.e. objetivo) para el nuevo programa de PSE de los arrecifes de coral se listan en la Tabla 7, así como los principales beneficiarios de cada uno de ellos.

Tabla 7. Servicios ecosistémicos objetivo de los arrecifes de coral y sus beneficiarios

Servicio ecosistémico objetivo	Beneficiarios
Alimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pesquerías (especialmente artesanales).</li> <li>– Consumo de subsistencia.</li> <li>– Consumidores de pescado y mariscos (población general y empresas turísticas).</li> <li>– Organizaciones comunales de aprovechamiento de recursos pesqueros.</li> </ul>
Moderación de eventos extremos (i.e. protección costera)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Empresas de turismo, que reciben protección de su capital construido.</li> <li>– Empresas gubernamentales de transporte y construcción de infraestructura.</li> <li>– Instituciones gubernamentales de atención de emergencias, sobre todo hidrometeorológicas.</li> <li>– Población general (protección de residencias contra inundaciones).</li> <li>– Municipios y pueblos que se benefician de una reducción en las inundaciones.</li> </ul>
Biodiversidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Población nacional y global que valoran la biodiversidad de los arrecifes de coral de manera intrínseca.</li> <li>– Investigadoras e investigadores en disciplinas relacionadas con la biología marina y otras ciencias ambientales.</li> <li>– Empresas farmacéuticas.</li> <li>– Educación ambiental.</li> <li>– Pesquerías en general.</li> <li>– Turismo en general.</li> </ul>
Recreación y turismo	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Población residente del país que disfruta de actividades en los arrecifes de coral, y que por lo tanto recibe beneficios directos a su salud física, mental y espiritual.</li> <li>– Turistas nacionales e internacionales (e.g. buceo, snorkeling, etc.).</li> <li>– Áreas Silvestres Protegidas marinas de Costa Rica, que financian parte de sus operaciones a través del cobro a la entrada de turistas.</li> <li>– Empresas nacionales e internacionales de turismo (e.g. hoteles, restaurantes, líneas aéreas, empresas de aventura, etc.).</li> <li>– Empleos indirectos al turismo.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

### Amenazas priorizadas

Las principales amenazas a los arrecifes de coral en el que nuevo esquema de PSE se concentrará son las siguientes:

1. Floración de algas verdes, *Caulerpa sertularioides*.
2. Bioerosión por erizos de mar (*Diadema mexicanum*), la estrella de mar corona de espinas (*Acanthaster planci*) y el pez globo (*Arothron meleagris*).
3. Sedimentación causada por alteraciones a lo largo de la costa, principalmente deforestación y malas prácticas agrícolas.
4. Variabilidad climática (eventos El Niño) y cambio climático (aumento de la temperatura y acidificación del océano).
5. Turismo (desarrollo hotelero, botes y yates, buzos, extracción de corales) y pesca.
6. Sobreexplotación de recursos pesqueros.
7. Aguas residuales (e.g. provenientes de Limón).
8. Desechos plásticos.



# 9. MAR ABIERTO Y ESTUARIOS

## Descripción del ecosistema

Costa Rica más que un país verde, es uno azul, con más de 10 veces más área marina (589,000 km<sup>2</sup>) que continental (51,900 km<sup>2</sup>), y una costa de 1,253 km en el Pacífico y 212 km en el Caribe (Figura 10) (Morales, 2013). Aún más, Costa Rica ahora tiene más área marina protegida que forestal, habiendo establecido seis Áreas Marinas Protegidas que juntas suman 15,836 km<sup>2</sup>, lo que representa el 53% del área total de área protegida bajo diferentes mecanismos (Corrales, 2017).

Sin embargo, el ecosistema oceánico (i.e. mar abierto) ha sido poco estudiado, con excepción del Domo Térmico de Costa Rica. Diversos estudios han reportado la diversidad de especies de peces, plancton, copépodos y mamíferos marinos. Respecto a este último grupo, se reportan 19 especies, donde las especies más comunes de observar son *Stenella attenuata*, *Megaptera novaeangliae* y *Tursiops truncatus*. Tener un océano sano que provee los recursos necesarios para que habiten especies como los cetáceos representa un elemento clave para el bienestar de comunidades costeras (e.g. Bahía Ballena) que dependen del avistamiento de cetáceos como actividad turística que genera una gran porción de los ingresos de estas comunidades.

Respecto a los estuarios, a continuación se describe el Golfo de Nicoya, sobre todo por su importancia en la actividad pesquera en el país. El Golfo de Nicoya se encuentra en la parte noroeste de la costa del Pacífico de Costa Rica. Es uno de los sistemas ecológicos y geográficos más importantes del país. Los ríos Tempisque, Barranca y Grande de Tárcos drenan hacia el Golfo creando un estuario altamente productivo. Representa uno de los estuarios más grandes de América Central, con una superficie de 1,530 km<sup>2</sup> (Fernández, Alvarado, & Nielsen, 2006). La forma del golfo y su batimetría determina tres regiones principales: 1) la región interna y poco profunda, que se extiende desde una línea entre la punta de la península de Puntarenas y la isla de San Lucas hasta la desembocadura del río Tempisque; 2) la región media, con límites al sur con una línea desde las Islas Negritos en la costa oeste hasta Puerto Caldera en la costa este; y 3) la región inferior, desde Islas Negritos hacia el sur en una línea que cruza el Golfo desde Bahía Ballena hasta Bahía Herradura (J. Rivera, personal communication, 2018). La parte interna del golfo está rodeada principalmente por bosques de manglar, planicies mareales y playas de arena (Kappelle, 2016).

En un análisis de partes interesadas y beneficiarios del Golfo de Nicoya desarrollado por la Fundación Marviva para el SINAC, se encontró que en las 21 comunidades evaluadas<sup>15</sup>, el 100% de estas comunidades se dedicaban a la pesca, el 35% a extracción de moluscos, 29% a monocultivos y 10% al turismo, entre otras actividades menos frecuentes desarrolladas por estas comunidades (Proyecto Golfos, 2012).

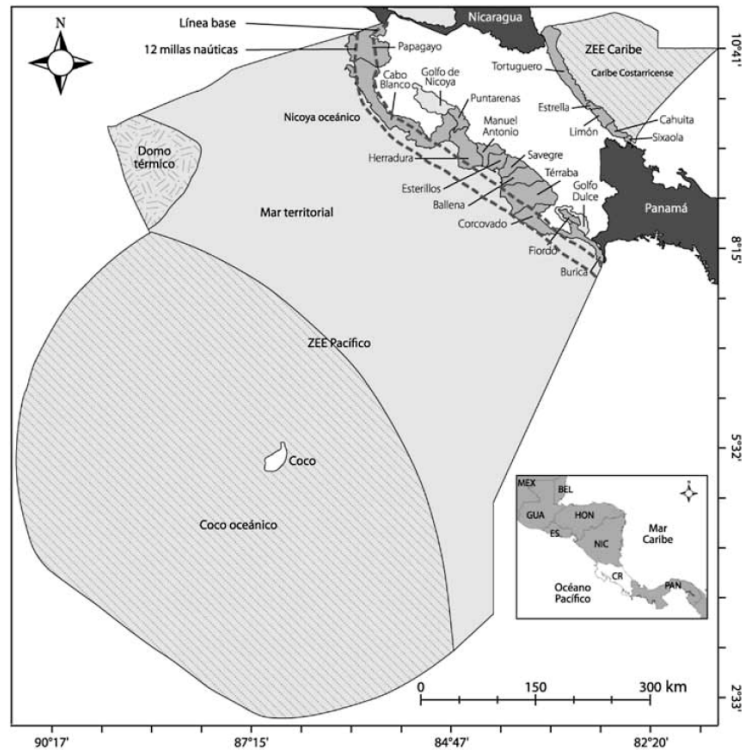


Figura 10. Superficie marina patrimonial de Costa Rica y Unidades Ecológicas Marinas.  
Fuente: Alvarado et al., 2011

<sup>15</sup> Chacarita, Barrio El Carmen, Chomes, Punta Morales (que incluye Cocorocas), Costa de Pájaros, Manzanillo, Colorado, San Buenaventura, Puerto Nispero, Pochote, Puerto Jesús, Puerto Thiel, Corozal, Jicaral, Lepanto, Cabo Blanco, Paquera, Bahía Tambor, Cabuya, Isla Chira e Isla Venado.



## Servicios ecosistémicos objetivo del nuevo PSE

Los servicios ecosistémicos priorizados (i.e. objetivo) para el nuevo programa de PSE del mar abierto y los estuarios se listan en la Tabla 8, así como los principales beneficiarios de cada uno de ellos.

Tabla 8. Servicios ecosistémicos objetivo del mar abierto y los estuarios y sus beneficiarios

Servicio ecosistémico objetivo	Beneficiarios
Alimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pesquerías (artesanales e industriales).</li> <li>– Empresas de acuicultura.</li> <li>– Consumo de subsistencia.</li> <li>– Consumidores de pescado y mariscos (población general y empresas turísticas).</li> </ul>
Regulación del clima (secuestro carbono azul y absorción de calor)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Población nacional y global que podrían beneficiarse de un cambio climático menos acelerado.</li> </ul>
Recreación y turismo	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Población residente del país que disfrutan de actividades en el mar, y que por lo tanto reciben beneficios directos a su salud física, mental y espiritual.</li> <li>– Turistas nacionales e internacionales (e.g. avistamiento de cetáceos, buceo, pesca deportiva).</li> <li>– Áreas Silvestres Protegidas marinas de Costa Rica, que financian parte de sus operaciones a través del cobro a la entrada de turistas.</li> <li>– Empresas nacionales e internacionales de turismo (e.g. hoteles, restaurantes, líneas aéreas, tour operadores, etc.).</li> <li>– Empleos indirectos al turismo.</li> </ul>
Biodiversidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Población nacional y global que valoran la biodiversidad marina de manera intrínseca.</li> <li>– Investigadoras e investigadores en disciplinas relacionadas con la biología marina y otras ciencias ambientales.</li> <li>– Empresas farmacéuticas.</li> <li>– Pesquerías en general.</li> <li>– Turismo en general.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

### Amenazas priorizadas

Las principales amenazas al ecosistema oceánico en el que nuevo esquema de PSE se concentrará son las siguientes:

1. Sobrepesca (legal e ilegal) y artes de pesca no sostenibles (e.g. arrastre)
2. Contaminación por residuos líquidos (e.g. aguas residuales) y sólidos (e.g. plástico).
3. Variabilidad climática y cambio climático.



# 10. FINCAS AGROPECUARIAS

## Descripción del ecosistema

Según el último censo agropecuario de Costa Rica, del total de fincas del país, el 28.5% tienen como actividad principal la producción de ganado vacuno, el 24.3% la producción de café y el 21.7% otras actividades como caña de azúcar, aves de corral y palma aceitera, entre otras. Al tener el país un poco más de la mitad del total de sus fincas agropecuarias dedicadas a la producción de ganado y café, se hace evidente que estas dos actividades son prioritarias para el nuevo esquema de PSE, y que concuerda con las recomendaciones de expertos de concentrarse en estas dos actividades en una primera fase del nuevo esquema (Mario Chancón, comunicación personal, 2020).

Respecto a la producción de ganado vacuno, el país tiene 1,278,817 cabezas de ganado vacuno, distribuidas principalmente entre Alajuela (33,5%) y Guanacaste (22,0%) (Figura 11). Esta cantidad de ganado a disminuido en las últimas décadas, teniendo el país un poco más de dos millones de cabezas de ganado en 1984. El hato está compuesto por 42.1% de ganado de carne, principalmente en Guanacaste. El ganado de doble propósito y ganado de leche representan el 32.0% y el 25.6% respectivamente, que se encuentran principalmente en la provincia de Alajuela (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2015).

En el caso del café, el 70.5% de las fincas con esta actividad principal están en las provincias de San José y Alajuela. El café representa el 24% del total de la superficie sembrada de cultivos permanentes. El último censo agropecuario identificó 26,527 fincas que poseen 84,133 hectáreas sembradas en el año agrícola. Las provincias de San José, Alajuela, Puntarenas y Cartago aportan el 92.4% de las fincas y el 92.2% de la extensión sembrada (Figura 12).

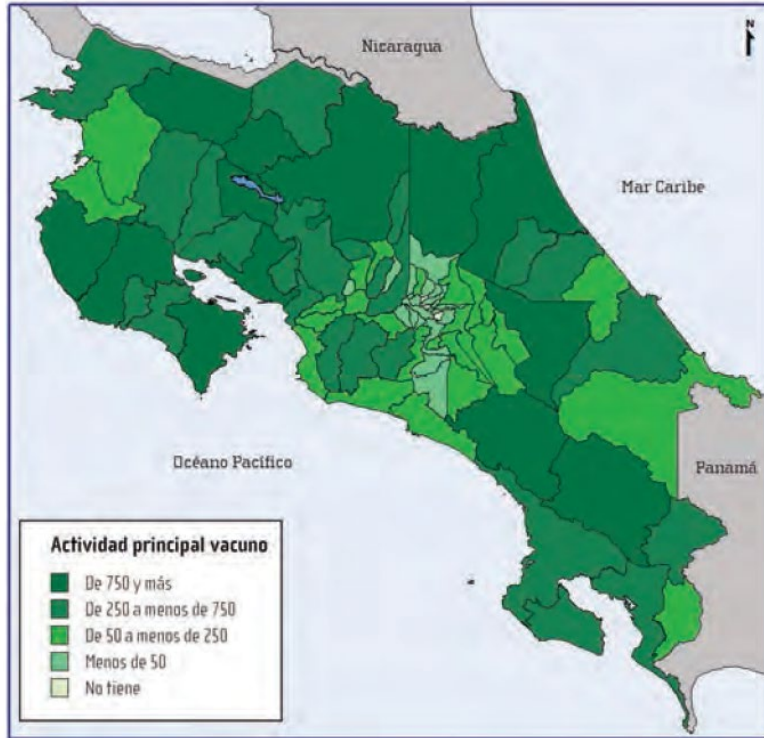


Figura 11. Distribución de la cantidad de fincas con actividad principal de ganado vacuno por cantón.  
Fuente: (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2015)

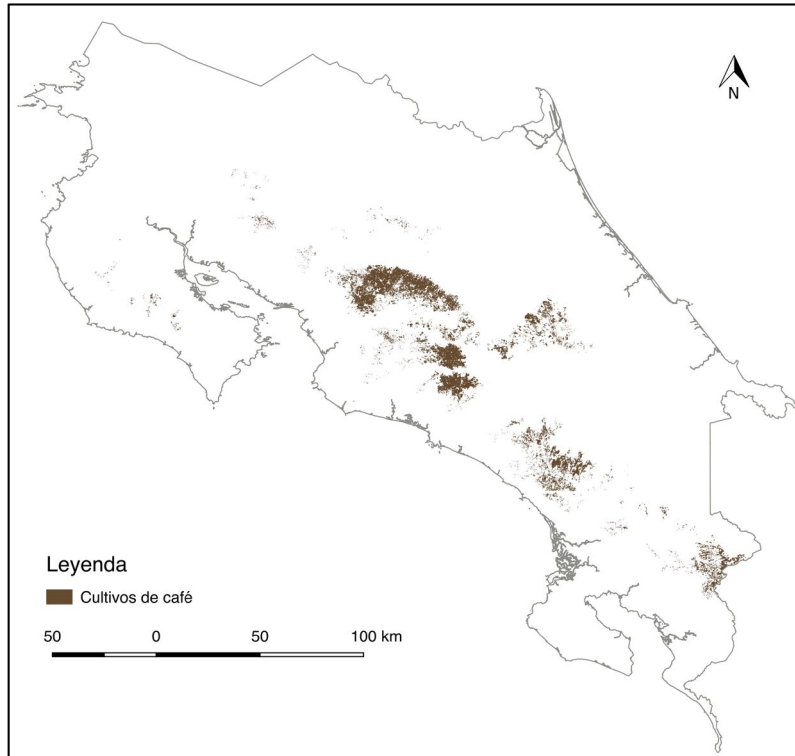


Figura 12. Distribución de los cultivos de café en Costa Rica para el año 2005.  
Fuente: (FONAFIFO, 2005)

## Servicios ecosistémicos objetivo del nuevo PSE

Los servicios ecosistémicos que se listan a continuación (Tabla 9) son aquellos que las fincas agrícolas proveen y que podrían aumentar a través de intervenciones específicas de mejor gestión de la actividad, conservación y restauración de los ecosistemas presentes en ellas. A su vez, algunos de estos servicios son claves para que las actividades agrícolas puedan tener una adecuada productividad, y por lo tanto representan una dependencia directa de la actividad.

Tabla 9. Servicios ecosistémicos objetivo de las fincas agrícolas y sus beneficiarios

Servicio ecosistémico objetivo	Beneficiarios
Alimento	<ul style="list-style-type: none"><li>– Empresas agrícolas.</li><li>– Industrias que dependen de productos agrícolas para su transformación en otros productos (cadena de valor).</li><li>– Consumo de subsistencia.</li><li>– Consumidores de diversos tipos de cultivos y productos de la ganadería.</li><li>– Consumo en comercios y actividades turísticas (e.g. hoteles).</li></ul>
Polinización	<ul style="list-style-type: none"><li>– Sector agrícola, especialmente cultivos que dependen altamente de este servicio para su productividad (i.e. café).</li><li>– Población general que consume alimentos polinizados de forma natural, lo que tiene un impacto en el precio (más bajo) y calidad del producto.</li><li>– Sector apícola.</li><li>– Consumidores de miel y sus derivados.</li></ul>
Regulación del clima (secuestro carbono sobre y debajo del suelo)	<ul style="list-style-type: none"><li>– Gobierno de Costa Rica (especialmente para alcanzar metas de mitigación de cambio climático).</li><li>– Población nacional y global que podrían beneficiarse de un cambio climático menos acelerado.</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Gobiernos de otros países que necesiten compensar sus emisiones de gases de efecto invernadero).</li> <li>– Empresas nacionales e internacionales que necesiten compensar sus emisiones de gases de efecto invernadero.</li> </ul>
Biodiversidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Población nacional y global que valoran la biodiversidad (sobre todo aves en este ecosistema) de manera intrínseca que podrían albergar fincas agrícolas bajo esquemas sostenibles de gestión.</li> <li>– Empresas agrícolas que se benefician de biodiversidad para la productividad de sus productos (en soporte a otros servicios ecosistémicos como la polinización y la fertilidad del suelo).</li> </ul>
Mantenimiento de la fertilidad del suelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sector agrícola que se beneficia de una mayor productividad de sus cultivos.</li> </ul>
Prevención de la erosión	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sector agrícola que se beneficia del mantenimiento del suelo a través de mejores prácticas agrícolas (algunas relacionadas a la conservación de cobertura boscosa).</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

## Amenazas priorizadas

El sistema agropecuario es uno de los dos sistemas antropogénicos que se van a incluir en el nuevo esquema de PSE de Costa Rica, siendo las ciudades el otro<sup>16</sup>, por lo que además de enfrentar diversas amenazas a su productividad, la misma actividad también presenta amenazas para los otros ecosistemas descritos anteriormente. Por esto, a continuación se enlistan las principales amenazas desde los dos puntos de vista.

Amenazas ocasionadas por el sector agropecuario a otros ecosistemas:

1. Contaminación de humedales y ecosistemas marino-costeros por desechos fecales (en el caso de la ganadería) y agroquímicos especialmente fertilizantes (fósforo y nitrógeno) que causan entre otras cosas eutroficación.
2. Sobreexplotación de humedales (i.e. ríos) para el consumo de agua.
3. Emisiones de gases de efecto invernadero.
4. Pérdidas de hábitat naturales por deforestación (e.g. disminución de la cobertura de manglares por la expansión agrícola) y drenaje de humedales.
5. Degradación del suelo.
6. Aumento en la sedimentación en humedales por deforestación.

Amenazas a la productividad del sector agropecuario:

1. Cambio climático, eventos hidrometeorológicos extremos (sequías e inundaciones).
2. Disminución en la productividad del suelo.
3. Disminución en los polinizadores.
4. Disponibilidad de agua.

---

<sup>16</sup> Las ciudades no se describen en una sección aparte porque el esquema se concentrará en bosques y humedales urbanos, los cuales ya se describieron anteriormente (ver servicios ecosistémicos específicos dentro de cada uno de estos ecosistemas que aplican para la parte urbana).

# 11. METODOLOGÍA PARA PRIORIZAR PAGO POR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL NUEVO PROGRAMA

Una vez que se definieron los servicios ecosistémicos objetivo de cada uno de los ecosistemas que contemplará la nueva generación de PSE en Costa Rica, es importante determinar las áreas prioritarias en las que el esquema se centrará, para aumentar su eficiencia (i.e. invirtiendo fondos en las áreas con mayores rendimientos en términos de servicios ecosistémicos) y su adicionalidad (i.e. seleccionando áreas que tienen las mayores necesidades de conservación y restauración, que posiblemente sufrirían un impacto negativo en ausencia de las intervenciones financiadas por el nuevo esquema).

Para lograr esto, se desarrolló una metodología de priorización (*targeting*) de Pago por Servicios Ecosistémicos basada en datos geospaciales existentes a nivel nacional e internacional. Esta metodología tiene como objetivo la ubicación de áreas prioritarias en función de la magnitud de los servicios ecosistémicos que estas proveen, así como las posibles amenazas que estas áreas podrían enfrentar. Además, un aspecto clave es que la metodología se basa en el enfoque de "bulto" (*bundled*) que se explicó anteriormente en este Volumen, de manera que identifica y cuantifica varios servicios ecosistémicos por unidad espacial (e.g. hectárea), cerrando así una brecha científica y de gestión del actual PSA en el que no se cuantifican los servicios ecosistémicos considerados en bulto.

Para lo anterior, se utilizaron mapas de servicios ecosistémicos y sus amenazas para asignar puntos a un índice que explica el nivel de servicios prestados, las amenazas a su provisión continua y las ubicaciones de especial importancia para la conservación. Este índice de priorización se basa en el modelo de vulnerabilidad multiplicativo de Exposición x Consecuencia. Aquí, las capas de amenaza representan la exposición de los servicios ecosistémicos a una posible pérdida o degradación. La cantidad relativa del servicio en peligro y la posible pérdida de su contribución al funcionamiento de áreas ecológicamente importantes como las Áreas Esenciales de Soporte de la Vida<sup>17</sup> (ELSAs por sus siglas en inglés) representan la consecuencia.

Se utilizaron los datos espaciales disponibles del Laboratorio de Biodiversidad de las Naciones Unidas (*UN Biodiversity Lab*) y del Proyecto de Capital Natural (*The Natural Capital Project*) de la Universidad de Stanford

---

<sup>17</sup> El desarrollo de un mapa de ELSAs ha sido posible a través de un esfuerzo del gobierno de Costa Rica, liderado por el SIMOCUTE y en colaboración con la Universidad de Columbia Británica y las Naciones Unidas, inició en el año 2019 y concluyó este año. Por ser datos recientes, y para tomar en consideración el importante avance que logró esta iniciativa, el mapa de ELSAs se consideró como un insumo muy importante para la identificación de áreas prioritarias para el PSE.



para evaluar las ubicaciones y, cuando estaban disponibles, las cantidades relativas de servicios ecosistémicos. Se asignaron puntos para cada servicio que proporciona un ecosistema, con una escala de 0 a 100 como un porcentaje del valor máximo del servicio dentro del país. Cuando se superpusieron múltiples servicios ecosistémicos, se tomó el puntaje estandarizado promedio para todos los servicios superpuestos. Se multiplicó este valor por 0.9 para que representara el 90% del peso al considerar el valor percibido de los ecosistemas. Se eligió la ponderación del 90% para centrarse en la provisión de servicios ecosistémicos, ya que esto es fundamental para desarrollar el nuevo programa de PSE.

Se le dio el otro 10% del peso a hábitats y geografías clave que se consideraron particularmente importantes para la conservación, ya que hay un beneficio adicional si los ecosistemas conservados pueden avanzar las iniciativas de conservación existentes más allá del nuevo programa de PSE. Primero, se consideraron las ubicaciones dentro de las ELSAs que se han identificado como críticas para la conservación (UNDP 2019). Se utilizó el mapa de ELSAs porque le dio el mismo peso al cambio climático, la biodiversidad y el desarrollo sostenible para determinar cuáles áreas eran "esenciales". Para cada celda del mapa del servicio ecosistémico dentro de un ELSA, se adicionaron 5 puntos al valor del índice para ese servicio ecosistémico, otorgando efectivamente a estas ubicaciones un "bono" del 5% en el valor del índice. Segundo, se adicionaron 3 puntos al valor del índice para ubicaciones designadas como sitios Ramsar, estos humedales incluyen una variedad de hábitats acuáticos y marinos poco profundos (no estrictamente humedales de marismas) que son importantes para conservar la biodiversidad o mantener un hábitat representativo (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2014). Tercero, se adicionaron 3 puntos al valor del índice para corredores biológicos, ya que mantener la conectividad representa una prioridad clave para el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAIE). Cuarto, las áreas identificadas como vacíos de conservación (identificadas en el proyecto GRUAS II) también son de alta prioridad para el Ministerio (SINAC Grúas II 2007a, 2007b, 2009), por lo que se adicionaron 5 puntos al valor del índice para ubicaciones de vacíos de conservación terrestres, marinos y acuáticos, que "conservan adecuadamente la diversidad biológica y los ecosistemas terrestres, marinos y de aguas continentales" (SINAC Grúas II 2007a).

El MINAIE considera que las ELSAs y las áreas de vacíos de conservación son muy importantes para la conservación (UNDP 2019, SINAC Grúas II 2007a) y, por lo tanto, recibieron los valores más altos. Los corredores biológicos y los sitios Ramsar se consideraron secundarios para mantener los ELSAs y cerrar los vacíos de conservación, por lo que recibieron valores más bajos.

Para evitar el sobrepeso donde se superponen varias de estas categorías, se permitió un máximo de 10 puntos. Si todos los demás factores fueran iguales, las áreas dentro de los hábitats clave tendrían un índice de prioridad más alto que aquellos fuera de ellos (Figura 13).

### Bonus de hábitats clave

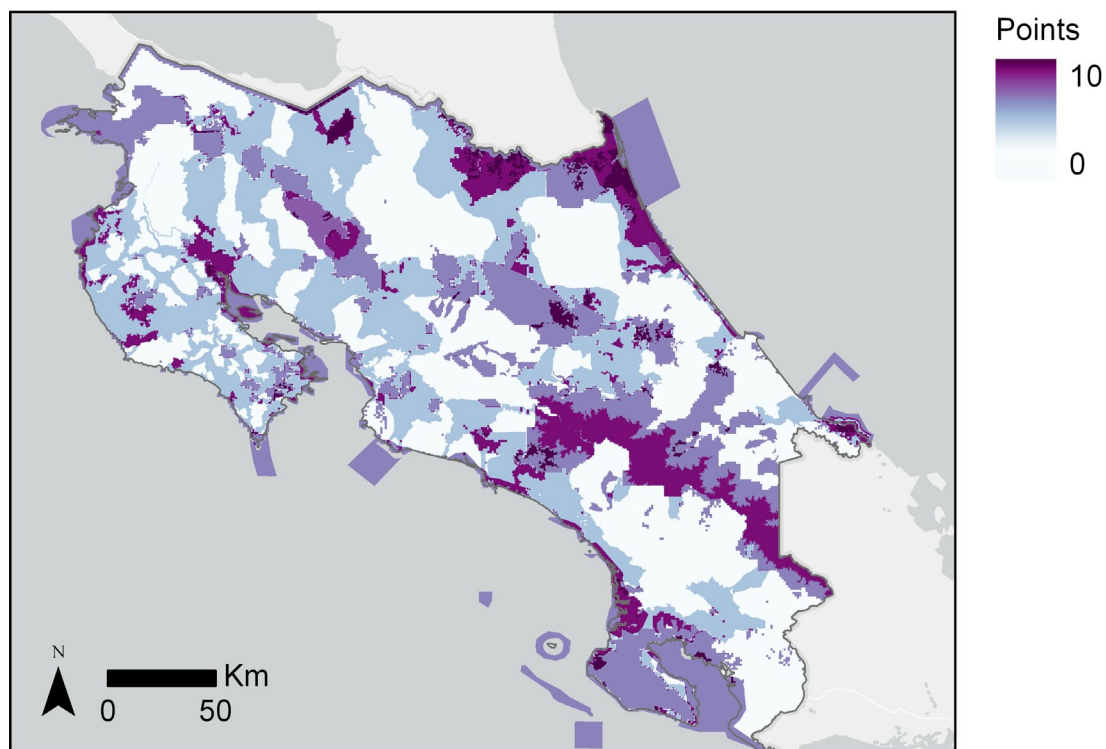


Figura 13. Mapa de puntos adicionales asignados a ELSAs, humedales Ramsar, corredores biológicos y brechas de conservación.  
Fuente: Elaboración propia.

Uno de los objetivos del proceso de rediseño del actual esquema es focalizar pagos por servicios ecosistémicos para ubicaciones que brinden niveles más altos de servicios ecosistémicos y que también estén en alto riesgo de degradación. Las ubicaciones con bajo riesgo de degradación son de menor prioridad para los incentivos de conservación del PSE. Se utilizaron mapas de amenazas a los ecosistemas (e.g. deforestación, presión humana intensa) para crear un modificador espacialmente variable para el índice de servicios ecosistémicos estandarizados (que ya incluye el bono ELSA, cuando corresponda). Se escalaron las capas de amenazas individuales de 0 a 100.

Los niveles relativos de los servicios ecosistémicos, los hábitats clave, y las amenazas se combinaron para producir el Índice de Prioridad de PSE (Ecuación 1) con un rango posible de 0 a 100, donde 100 representaban las ubicaciones de mayor prioridad para incluir en el nuevo programa de PSE<sup>18</sup> (Tabla 11).

<sup>18</sup> Los mapas de priorización se pueden usar para crear “clusters” de PSE con niveles de prioridad similares de inclusión para un solo servicio ecosistémico o se pueden agregar para múltiples servicios juntos.

$$\text{Índice de Priorización de PSE} = ([\text{valor SE} \times 0.9 + \text{valor de hábitat clave}] \times \text{valor de amenaza})^{1/2} \quad \text{Ec.1}$$

Tabla 10. Descripción del índice de prioridad para la inclusión de PSE según el nivel de servicios ecosistémicos, ubicaciones de hábitats clave y amenazas.

	Servicios ecosistémicos	+ Valor del hábitat clave	x Nivel de amenaza
<b>Categoría</b>	<b>Exposición</b>	<b>Exposición</b>	<b>Consecuencia</b>
Valor del punto	(0 to 100 puntos) x 0.9	(0 to 10 puntos)	(0 to 100 puntos)
Descripción	Servicios son provistos por un ecosistema en un píxel dado. Escalado de 0 a 100 basado en el porcentaje de la cantidad máxima en capa.	+ puntos para áreas de interés de conservación: Áreas Esenciales para el Soporte de la Vida (ELSAs), sitios Ramsar, corredores biológicos.	La intensidad de las amenazas cercanas modifica la probabilidad de una provisión continua del servicio ecosistémico. Se priorizan las áreas de mayor riesgo. Las áreas que ya están protegidas se despriorizan después de calcular el valor del índice de priorización.

Fuente: Elaboración propia.

Es importante hacer notar que no se incluyeron explícitamente las ubicaciones de los usuarios de los servicios ecosistémicos (i.e. grupos sociales o industriales específicos) al asignar el valor del modificador debido a la desconexión entre el lugar donde los recursos se remueven o se aprovechan del ecosistema y el lugar donde finalmente se consumen. Por ejemplo, los beneficiarios de productos madereros cosechados de bosques remotos pueden concentrarse en áreas urbanas densas con alta demanda de construcción. Si bien es importante considerar a los usuarios finales de los servicios ecosistémicos al establecer prioridades para los pagos, los mapas de amenazas fueron un mejor *proxy* de las posibles pérdidas en el terreno.

### Estudios de caso

En esta sección se muestra la aplicabilidad del método de priorización (*targeting*) descrito anteriormente. Se seleccionaron tres ecosistemas como casos de estudio: 1) agricultura, que se centra específicamente en la polinización de café; 2) manglares, con un enfoque en secuestro de carbono azul y protección costera, y 3) bosques, con un enfoque en secuestro de carbono, de manera que estos ecosistemas representaran el capital natural y sus servicios principales que se describieron anteriormente en este Volumen (Figura 14). Además de los servicios ecosistémicos principales de cada uno de estos ecosistemas, se incorporaron en el análisis los servicios de turismo basado en aves para las fincas de café y bosques, y el servicio de retención de

sedimentos para los 3 ecosistemas, con el objetivo de ilustrar como la metodología define áreas prioritarias basadas en múltiples servicios ecosistémicos. La intención es expandir en el futuro este método para incorporar cualquier ecosistema que vaya a formar parte del nuevo programa de PSE. Con más ecosistemas incluidos, los valores del índice de cada servicio individual se pueden sumar para una evaluación holística de los servicios prestados<sup>19</sup>.

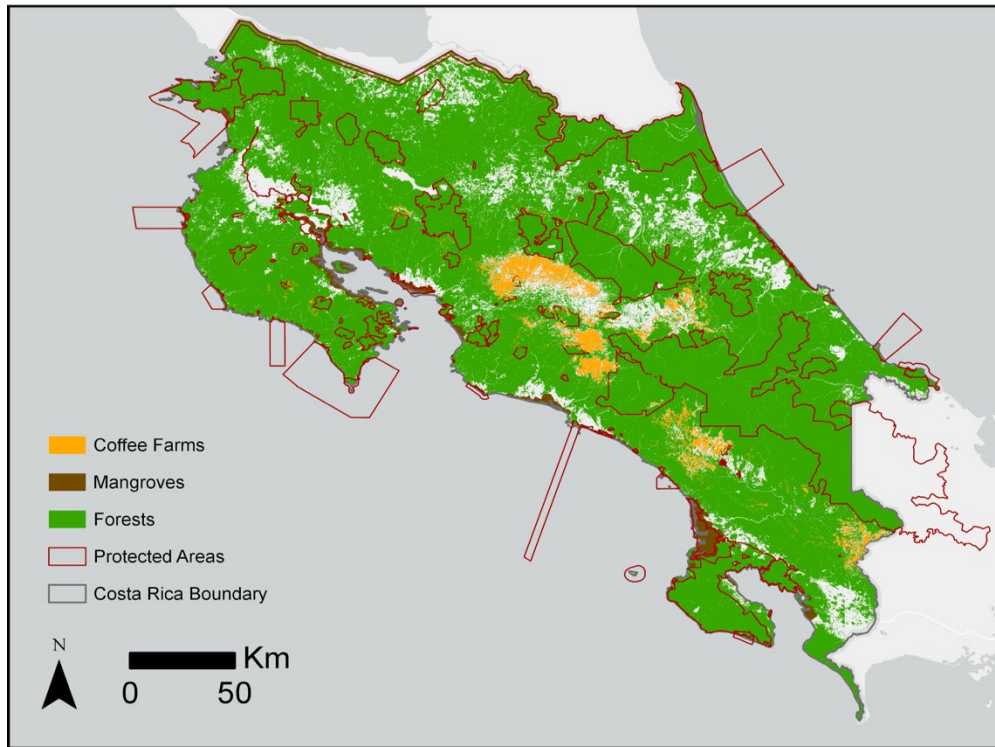


Figura 14. Mapa de ubicaciones de fincas cafetaleras, manglares y bosques en relación con las áreas protegidas de Costa Rica.  
Fuente: Elaboración propia.

A continuación se describe el proceso de modelación y estimación de cada uno de los servicios ecosistémicos contemplados en los casos de estudio.

- **Polinización en fincas de café.** Para estimar la cantidad de polinización que las fincas de café soportan, se promediaron los valores escalados tanto de la biodiversidad de los polinizadores (Índice de Diversidad de Shannon,  $H'$ ) como la abundancia de polinizadores basados en el Modelo de Polinización de InVEST (Chaplin-Kramer y Daily 2018), que combina información sobre distancias de vuelo específicas de la especie, recursos florales y recursos de anidación. Se limitó la extensión de

<sup>19</sup> Nota técnica: Todos los análisis geospaciales hechos en los estudios de caso se realizaron en ArcGIS Pro 2.3.2 (ESRI).

las capas de polinizadores a píxeles que caen dentro de los 3 km de los cafetales, ya que el viaje de los polinizadores más allá de esta distancia se vuelve mínimo (Rickets et al. 2008). Las visitas de los polinizadores a los cafetales son más altas cuando se encuentran dentro de los 100 m de los bosques, y las visitas disminuyen significativamente aproximadamente un tercio de su pico poco después de ese umbral de distancia (Rickets et al. 2004). Para ubicaciones entre 100 m y 3 km, se multiplicaron los valores de biodiversidad de polinizadores y los valores de abundancia de polinizadores por 1/3 para tener en cuenta esta visita reducida y, por extensión, el nivel de servicio reducido proporcionado. Se utilizaron ubicaciones forestales del Inventario Forestal Nacional de Costa Rica (2013).

- **Turismo basado en aves.** Para el turismo basado en aves, se utilizó un índice del volumen relativo de visitas atribuido al turismo basado en aves (Chaplin-Kramer y Daily 2018), representado en función de la densidad de la lista de verificación del sitio web de ciencia ciudadana eBird. Esta capa incorporó avistamientos de más de 300 especies de aves a una resolución de 918 m.
- **Retención de sedimentación.** Para estimar la retención de sedimentos, se utilizó un índice basado en el uso del suelo / tipo de cobertura del suelo y las proporciones de exportación de sedimentos específicos de la vegetación a una resolución de 300 m (Beatty et al.2018). A lo largo de la costa, la retención de sedimentos fue generalmente muy baja (<5% del máximo). Existieron vacíos de datos en la cobertura de retención de sedimentos en los manglares, por lo que se rellenaron los vacíos de datos costeros con un valor de 3.6, que es el valor escalado promedio de retención de sedimentos dentro de los 300 m (1 píxel) de la costa.
- **Almacenamiento de carbono.** En los bosques, se estimó el carbono de biomasa total por hectárea a una resolución de 1,176 m utilizando la síntesis del Laboratorio de Biodiversidad de las Naciones Unidas de las capas globales de biomasa y las proporciones de contenido de carbono por tipo de vegetación (UN Biodiversity Lab 2020). Los datos globales de carbono orgánico del suelo para los 30 cm superiores del suelo con una resolución de 922 m se obtuvieron de FAO e ITPS (2018). Se sumaron el carbono sobre el suelo y bajo el suelo por hectárea para estimar el carbono total dentro de la huella de las áreas forestales del país (SINAC 2013) excluyendo los manglares. No se calculó el carbono total por píxel espacial debido a las diferentes resoluciones de las fuentes de carbono del suelo y la biomasa.

Para estimar el almacenamiento relativo de carbono en los manglares, se utilizaron los mapas de manglares del Inventario Nacional Forestal (Programa REDD/CCAD-GIZ - SINAC, 2015) y estimaciones globales de 30 m de la biomasa sobre el suelo de manglares ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) (Simard et al.2019), que cubrían solo los manglares en la costa oeste. Se multiplicó este valor por 0.475 para convertirlo en un stock de carbono sobre el suelo ( $\text{MgC ha}^{-1}$ ). El stock de carbono en el suelo en

manglares estaba disponible para la misma área (Sanderman et al.2018)<sup>20</sup>. Se juntaron la densidad de carbono en el suelo y sobre el suelo para obtener la densidad total de carbono en los manglares.

- **Protección costera.** Para estimar la protección contra la erosión e inundación costera que proporciona los manglares, se utilizaron mapas (Chaplin-Kramer y Daily 2018) generados por el Modelo de Vulnerabilidad Costera de InVEST (Silver et al.2019). Este modelo incorpora interacciones entre la exposición a olas extremas, vientos, potencial de oleaje, geomorfología, relieve y aumento del nivel del mar, con y sin hábitats costeros presentes para crear un índice relativo de protección atribuido a cada píxel de hábitat a una resolución de 303 m. Más al interior de los bordes de la capa de protección costera, se asumió que los manglares no proporcionaban protección adicional.

Para estimar el valor del servicio ecosistémico para el Índice de Priorización de PSE, se promediaron los valores escalados de todos los servicios ecosistémicos correspondientes a un ecosistema dado. Se multiplicaron los valores del servicio ecosistémico por 0.9 y luego se adicionaron los puntos para hábitats clave que se traslapan para definir los beneficios generales que fueron "expuestos" en la ecuación de riesgo de Exposición versus Consecuencia.

---

<sup>20</sup> Nota técnica: Para cada polígono de manglar, se promediaron los píxeles para la densidad de carbono en el suelo que cae dentro del polígono usando la función Estadística Zonal de ArcGIS. Similarmente, se promediaron los píxeles dentro de la capa de densidad de carbono sobre el suelo para cada polígono. Para los polígonos de manglar que caen fuera de la cobertura de cualquiera de las capas de densidad de carbono, incluidos los pequeños manglares de la costa este de Estero Moin y Laguna Gandoca, se utilizó la densidad de carbono regional promedio que está en la literatura (BIOMARC-SINAC-GIZ 2012, Cifuentes et al.2015, Manrow -Villalobos y Vilchez-Alvarado et al. 2012).

Los mapas resultantes para el primer componente de la ecuación 1, los servicios ecosistémicos, se muestran a continuación.

### Valor de los servicios ecosistémicos de las fincas de café

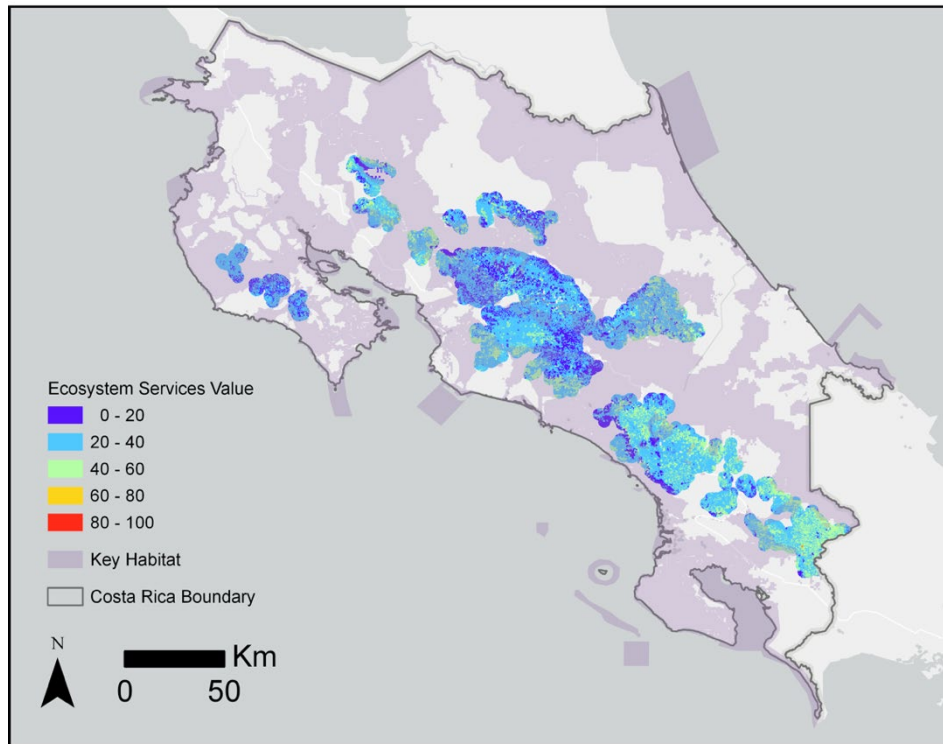


Figura 15. Mapas de valores promedio de servicios ecosistémicos para fincas de café.  
Fuente: Elaboración propia.



## Valor de los servicios ecosistémicos de los manglares

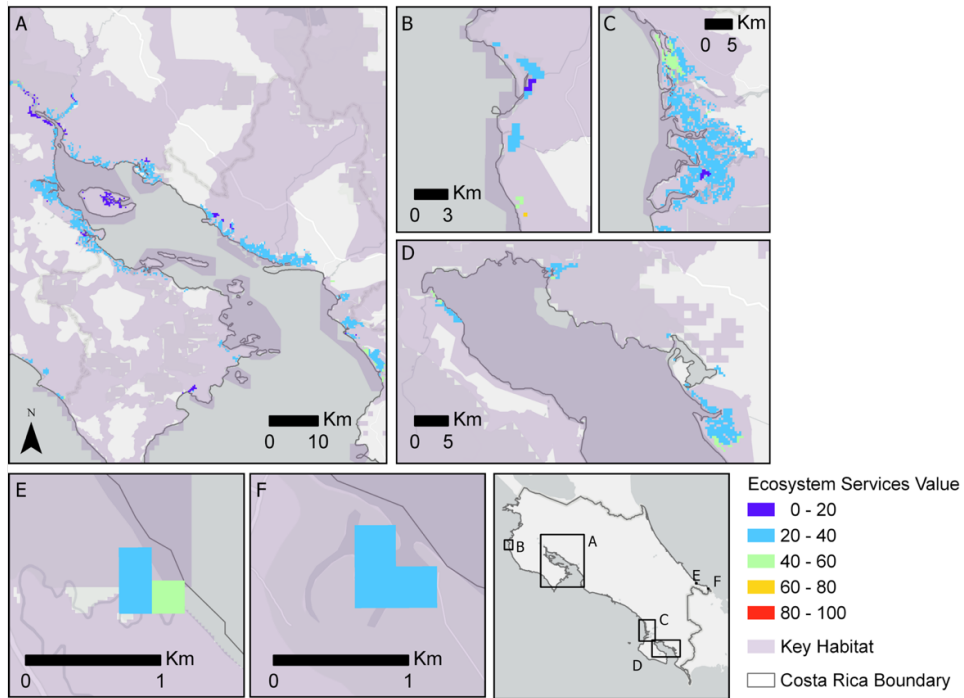


Figura 16. Mapas de valores promedio de servicios ecosistémicos para manglares.  
Fuente: Elaboración propia.

## Valor de los servicios ecosistémicos de los bosques

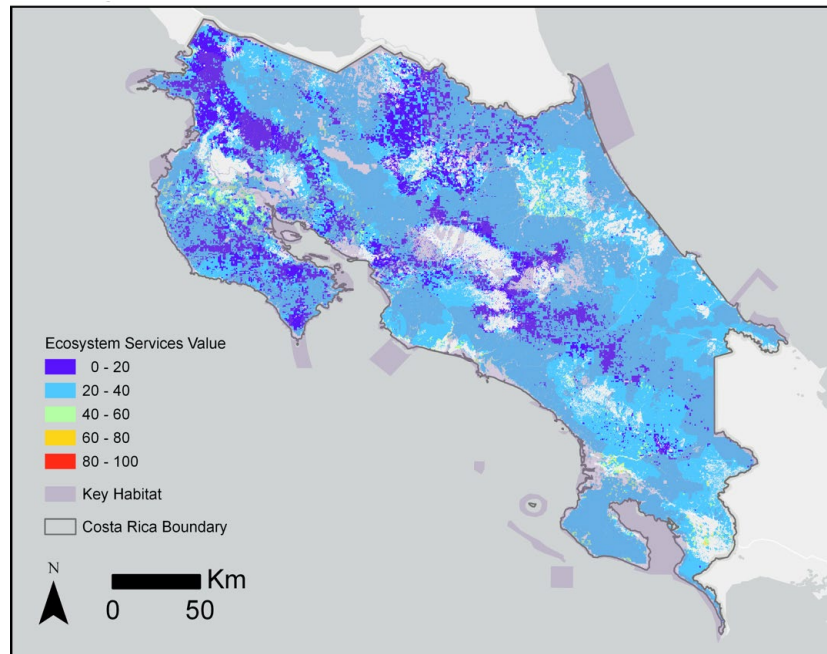


Figura 17. Mapas de valores promedio de servicios ecosistémicos para bosques.  
Fuente: Elaboración propia.



Para incorporar la variable de amenazas en la estimación del Índice de Priorización de PSE, se utilizaron las siguientes amenazas para todos los ecosistemas seleccionados para los casos de estudio: 1) la huella humana terrestre, 2) el estrés hídrico y 3) la deforestación. Adicionalmente se incorporó la amenaza del Impacto Oceánico Acumulativo para el caso de los manglares. A continuación se describe el proceso de modelación y estimación de cada una de estas amenazas.

- **Huella humana terrestre.** Se estimó el impacto humano general en la tierra utilizando la Huella Humana 2013, que mide el impacto humano directo e indirecto en el ambiente con una resolución de 1.31 km (Venter et al.2016). La huella incluye la presión que causa el desarrollo, la densidad poblacional, la infraestructura eléctrica, la agricultura, el pasto y las rutas de transporte. Esto proporcionó una métrica más holística del impacto humano que la densidad poblacional sola<sup>21</sup>.
- **Estrés hídrico.** Para estimar los niveles de estrés hídrico, se utilizaron los datos de Water Stress 2020 Business As Usual, que representa proyecciones para los cambios a nivel de cuenca en la demanda de agua en los acueductos entre 2014 y 2020 (Gassert et al. 2014). Los cambios en la demanda de agua se presentaron en niveles no uniformes que van desde "casi normal" hasta un aumento de 1.4 veces. Se asignó el valor del nivel de amenaza correspondiente al cambio incremental (e.g. un aumento de 1.4 veces = 1.4), y luego se escaló el valor de 0 a 100, con valores de "casi normal" establecidos en 0. Las cuencas que enfrentan estrés hídrico estaban principalmente concentradas en la costa noroeste del país. Para los pocos polígonos de manglares que se ubican en dos cuencas con diferentes niveles de estrés hídrico, se encontró el nivel de estrés hídrico promedio ponderado por área.
- **Deforestación.** Como medida de la pérdida de bosques, se utilizaron polígonos de deforestación de año 1997 (Universidad de Alberta, 2002) (reconociendo que estos datos son un poco antiguo pero que tienen una alta utilidad para el modelado que se realizó), que representan la pérdida del área del ecosistema forestal. Se estimó la expansión potencial de estas áreas en los próximos cinco años (el término de un contrato de PSA) con base en el desempeño anterior de los PSA deteniendo el 1% de la deforestación por término del contrato (Robalino y Pfaff 2013). Como análogo para la expansión potencial de áreas ya deforestadas, se hizo un buffer a cada polígono de deforestación en  $0.25 * P * 0.01$ , donde P es el perímetro del polígono de deforestación. Esto expandiría cada lado en un 1% si el perímetro fuera cuadrado. Si bien los polígonos de deforestación no eran cuadrados, este método

---

<sup>21</sup> Nota técnica: Debido a la resolución de este ráster, algunos polígonos de manglar no se superponen por completo con el conjunto de datos de huella humana. Se promediaron todos los píxeles de esta capa dentro de cada polígono de manglar.

permitió un método estandarizado para agrandar formas complejas de diferentes tamaños. Para franjas de deforestación relativamente convexas, esta aproximación amplió el área original mientras se mantenía la forma. Para áreas deforestadas con una alta relación de perímetro a área (formas enrevesadas), esta aproximación fue una sobreestimación de la expansión potencial. A estas áreas de mayor riesgo se les asignó un valor de amenaza de 100. Al resto de los bosques del país se les asignó una amenaza de fondo de un 1% de probabilidad de deforestación, o un valor de 1. Se utilizó un mapa de la cobertura arbórea de 2018 (Song et al. 2018) para asignar un valor de riesgo de 0 a las áreas donde sin cobertura arbórea.

La deforestación en las cercanías de los cafetales amenaza su capacidad de continuar brindando servicios ecosistémicos, particularmente la polinización y el turismo basado en aves. Debido a que la deforestación impacta la distancia que los polinizadores tienen que viajar de los bosques a los cafetales, se utilizaron los mismos umbrales de distancia de 100 m y 3 km para asignar pesos para la fuerza del efecto sobre la polinización, donde el valor del nivel de amenaza para ubicaciones en este buffer de distancia se multiplicó por 1/3.

Para estimar la deforestación de los manglares, se utilizaron estimaciones del cambio de la cobertura de manglares desde el año 2000 hasta 2012 a una resolución de 30 m basado en la base de datos de Global Forest Change y la base de datos de Ecosistemas Terrestres del Mundo (Hamilton y Casey 2016), cortadas a los límites de Costa Rica. A los lugares donde la cobertura de manglares había aumentado se les asignó un valor de amenaza de 0, mientras que las pérdidas se escalonaron en función de los metros cuadrados máximos perdidos. Se asumió que las pérdidas cercanas en el pasado indicaron un mayor potencial para perder los manglares restantes cercanos<sup>22</sup>.

- **Stress marino.** Como se indicó anteriormente, para los manglares se incorporó el estrés marino como una amenaza adicional. Se utilizó la capa de Impacto Oceánico Acumulativo del Ocean Health Index, una medida relativa del estrés combinado por contaminación, nutrientes y cambio climático, disponible a una resolución de 1026 m (Halpern et al. 2008). Para estimar el valor de la amenaza de los impactos oceánicos en los manglares, se generó un promedio móvil de aproximadamente de 10 x 10 píxeles dentro de un buffer de 10 km de la costa. Esta distancia fue lo suficientemente amplia como para estimar los impactos promedio dentro de los dos golfos de Costa Rica mientras se mantenía el foco en las aguas costeras. Se calculó el valor general de la amenaza para los manglares promediando las amenazas escaladas para el impacto del océano, la deforestación, la huella humana y el estrés hídrico en una resolución de 30 m.

---

<sup>22</sup> Nota técnica: Para cada polígono de manglar, se utilizó Estadísticas Zonales como Tabla para calcular el valor promedio de los píxeles de pérdida de manglar dentro de un buffer de 2000 m, la distancia sobre la cual los manglares proveen protección costera. Estos valores se asignaron de nuevo a los polígonos respectivos y se rasterizaron a una resolución de 30 m.

Similar al cálculo del valor de los servicios ecosistémicos, se promediaron todas las capas de amenazas escaladas aplicables a sus respectivos ecosistemas para encontrar los valores de las amenazas. En los manglares, se incluyeron las cuatro amenazas descritas anteriormente, mientras que en las fincas de café y los bosques se excluyó el estrés marino. A continuación se presentan los mapas que resultaron de estos cálculos geoespaciales para modelar las amenazas mencionadas para cada ecosistema.

### Valor de las amenazas a las fincas de café

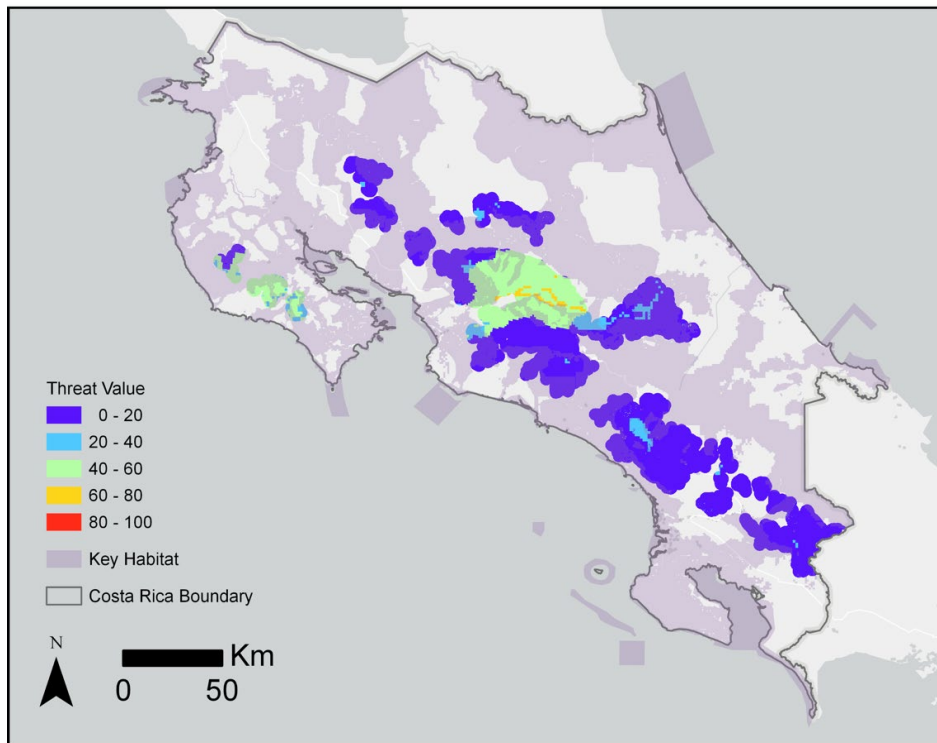


Figura 18. Mapas de valores promedio de las amenazas para fincas de café.

Fuente: Elaboración propia.

## Valor de las amenazas a los manglares

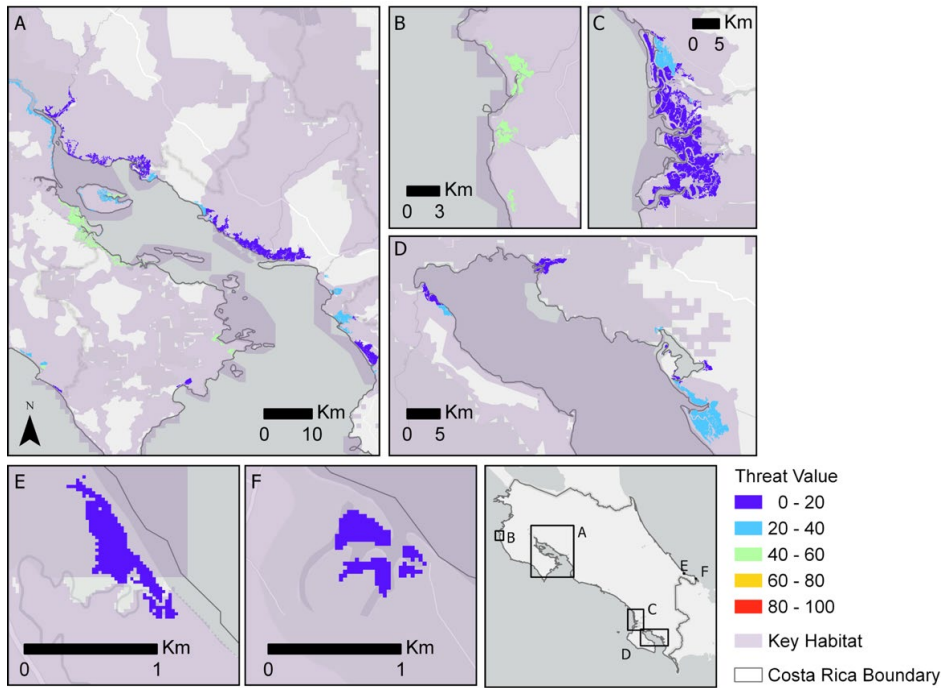


Figura 19. Mapas de valores promedio de las amenazas para manglares.

Fuente: Elaboración propia.

## Valor de las amenazas a los bosques

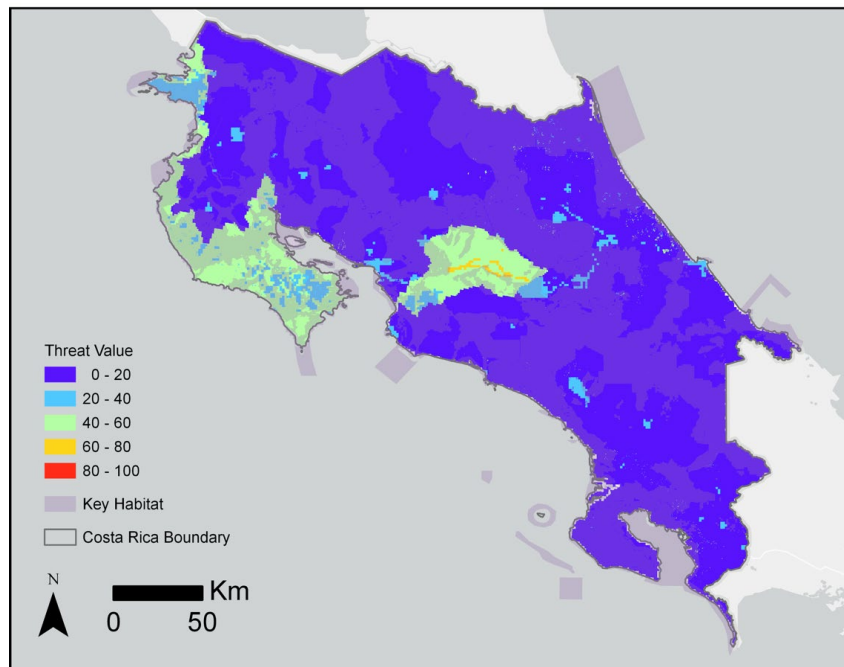


Figura 20. Mapas de valores promedio de las amenazas para bosques.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 11 presenta un resumen de los casos de estudio, enlistando los servicios ecosistémicos y las amenazas consideradas en cada uno de los 3 ecosistemas estudiados.

Tabla 11. Variables utilizadas en cada uno de los casos de estudio de la metodología de priorización.

	Servicios ecosistémicos	+Valor del hábitat clave	x Nivel de amenaza
Categoría	Exposición	Exposición	Consecuencia
Valor del punto	(0 to 100 puntos) x 0.9	(0 to 10 puntos)	(0 to 100 puntos)
Agricultura (fincas de café)	Diversidad y abundancia de polinizadores	+5 para fincas en ELSA o en brecha de conservación	Estrés hídrico Deforestación
	Turismo basado en aves	+ 3 para fincas en corredor biológico o en sitio Ramsar	Huella humana
	Retención de sedimentos		
Manglares	Protección costera	+ 5 para manglares en ELSA o en brecha de conservación	Estrés hídrico
	Almacenamiento de carbono	+ 3 para manglares en corredor biológico o en sitio Ramsar	Deforestación Huella humana
	Retención de sedimentos		Impacto oceánico acumulativo
Bosques	Almacenamiento de carbono	+ 5 para bosques en ELSA o en brecha de conservación	Estrés hídrico Deforestación
	Turismo basado en aves	+ 3 para bosques en corredor biológico o en sitio Ramsar	Huella humana
	Retención de sedimentos		

Fuente: elaboración propia.

Una vez que se modelaron espacialmente los servicios ecosistémicos de cada ecosistema a nivel nacional, así como sus amenazas, estos valores se combinaron con las bonificaciones de hábitat clave que se presentaron anteriormente en esta sección, para calcular el Índice de Priorización de PSE utilizando la Ecuación 1. La extensión del índice de priorización para cada ecosistema depende del área donde se proporcionaban los servicios ecosistémicos.

Es importante hacer notar que el resultado del valor del índice es sensible a los pesos asignados para cada bono para áreas de especial interés de conservación. Del mismo modo, el número y la identidad de los servicios incluidos (o excluidos) pueden influir en la ubicación de las áreas de alta prioridad. Debido a que no todos los servicios ecosistémicos son relevantes para todos los ecosistemas, el uso del puntaje escalado promedio de los servicios ecosistémicos proporcionados actúa para igualar el peso de todos los servicios. Sin embargo, si un ecosistema proporciona una magnitud de servicios sustancialmente mayor que otros, su papel más importante en la provisión de servicios podría pasarse por alto. El método desarrollado no tiene en cuenta el valor económico de estos servicios, y se trataron a todos como contribuyentes iguales al índice de priorización general.

La Tabla 12 presenta los resultados del Índice de Priorización de PSE para cada uno de los casos de estudio. También se presentan a continuación los mapas de cada ecosistema que muestra la distribución espacial del índice de priorización, de manera que se pueden identificar las zonas prioritarias en Costa Rica para invertir en modalidades del nuevo PSA (Volumen II) para lograr los mejores réditos económicos y ambientales.

Tabla 12. Media, desviación estándar (DE), mínimo, y máximo índice de priorización por ecosistema.

Ecosistema	Promedio	DE	Min.	Max.
Fincas de café	21.4	9.4	3.3	63.1
Manglares	24.4	7.4	8.5	53.5
Bosques	16.0	7.1	0	56.4

Fuente: elaboración propia.

Tomando en consideración las variables utilizadas para el modelaje del Índice de Priorización de PSE, los manglares son el ecosistema prioritario de conservación y restauración entre los analizados, seguido de las fincas de café y los bosques. Estos últimos posiblemente tienen un valor promedio de priorización más bajo por su estado positivo de conservación, en donde el peso de la variable de amenaza es bajo.

## Valor del Índice de Priorización para fincas de café

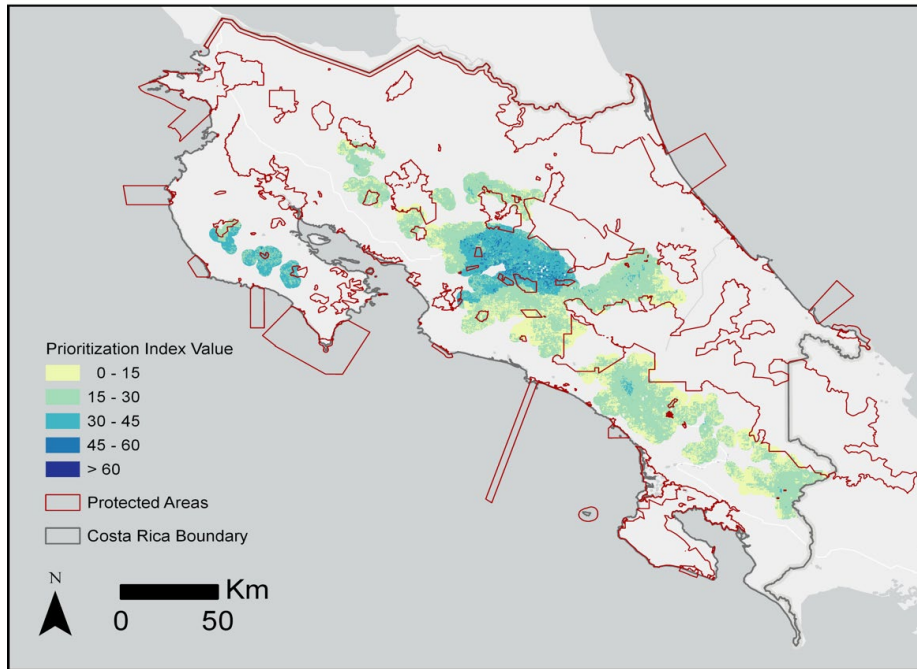


Figura 21. Mapa del Índice de Priorización de las fincas de café y un buffer de 3km alrededor de ellas.  
Fuente: Elaboración propia.

## Valor del Índice de Priorización para manglares

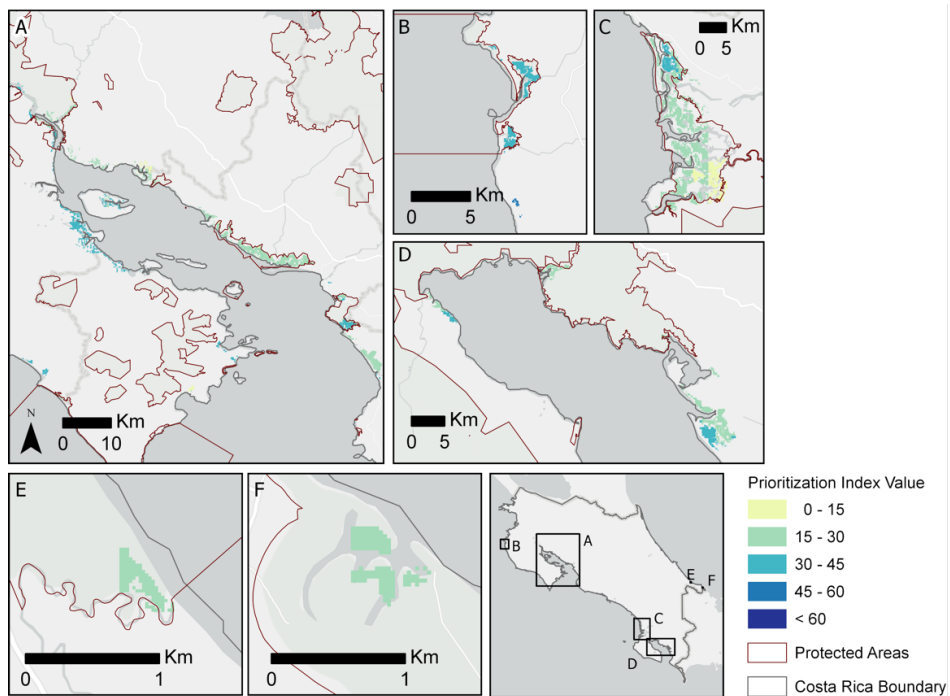


Figura 22. Mapa del Índice de Priorización de manglares. Los segmentos costeros se muestran en el recuadro.  
Fuente: Elaboración propia.



## Valor del Índice de Priorización para bosques

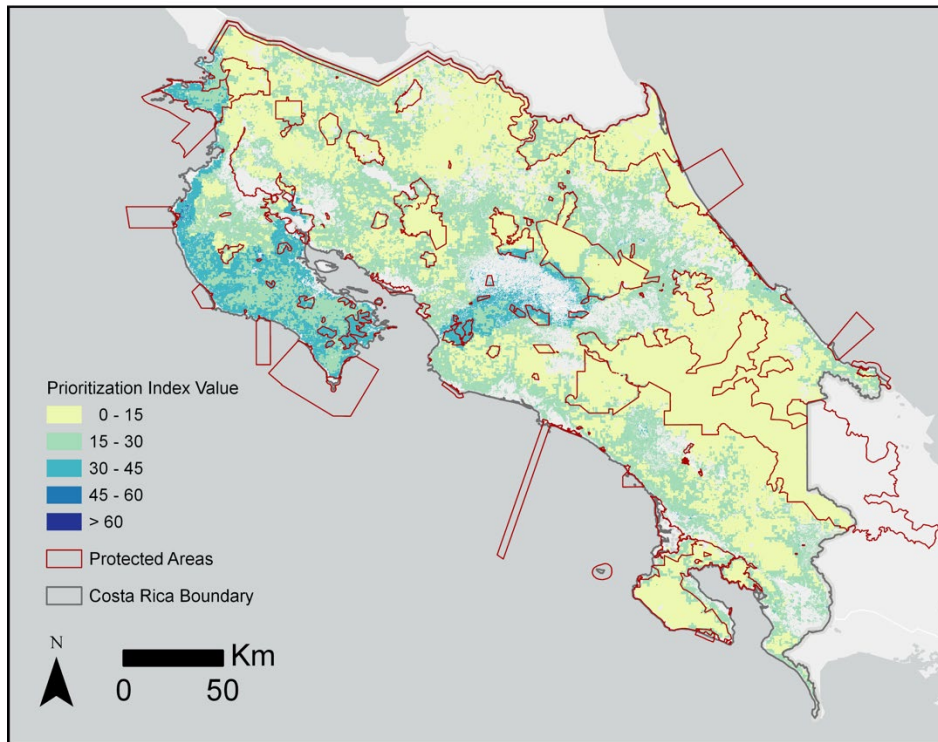


Figura 23. Mapa del Índice de Priorización para bosques.  
Fuente: Elaboración propia.

Respecto a los índices de priorización calculados, es importante notar que no se estimó cuantitativamente las ubicaciones de las fincas que ya reciben pagos de PSA. Si bien la información espacial sobre los límites de las fincas que participan actualmente estaba disponible, estos datos no especificaron cuáles partes de la finca estaban realizando actividades de conservación o restauración. Por esta razón, no se pudo mapear el área que actualmente está bajo el esquema de PSA. Sin embargo, se mapearon las ubicaciones con mayor densidad de fincas participantes desde 2016 hasta 2018, el último año de datos disponibles. Debido a que los contratos generalmente duran cinco años o más, las fincas desde 2016 en adelante tenían muchas probabilidades de seguir siendo parte del PSA<sup>23</sup>. Un solo propietario podría tener múltiples contratos activos para la misma ubicación para diferentes actividades de conservación dentro de la misma finca. Se observó cualitativamente cómo la densidad de las fincas participantes se superponía con ubicaciones de índice de alta prioridad (Figura 24 y Figura 25).

<sup>23</sup> Nota técnica: Esto se hizo usando los puntos centroides de cada polígono de finca, se contó el número de contratos activos en una ventana móvil en tres escalas espaciales: radios de 2 km, 10 km y 30 km. Debido a que el área promedio de las fincas participantes era pequeña (1.18 km<sup>2</sup> +/- 2.68), este enfoque capturó la variación a escala local y regional



## Bonus de hábitats clave y contratos de PSA

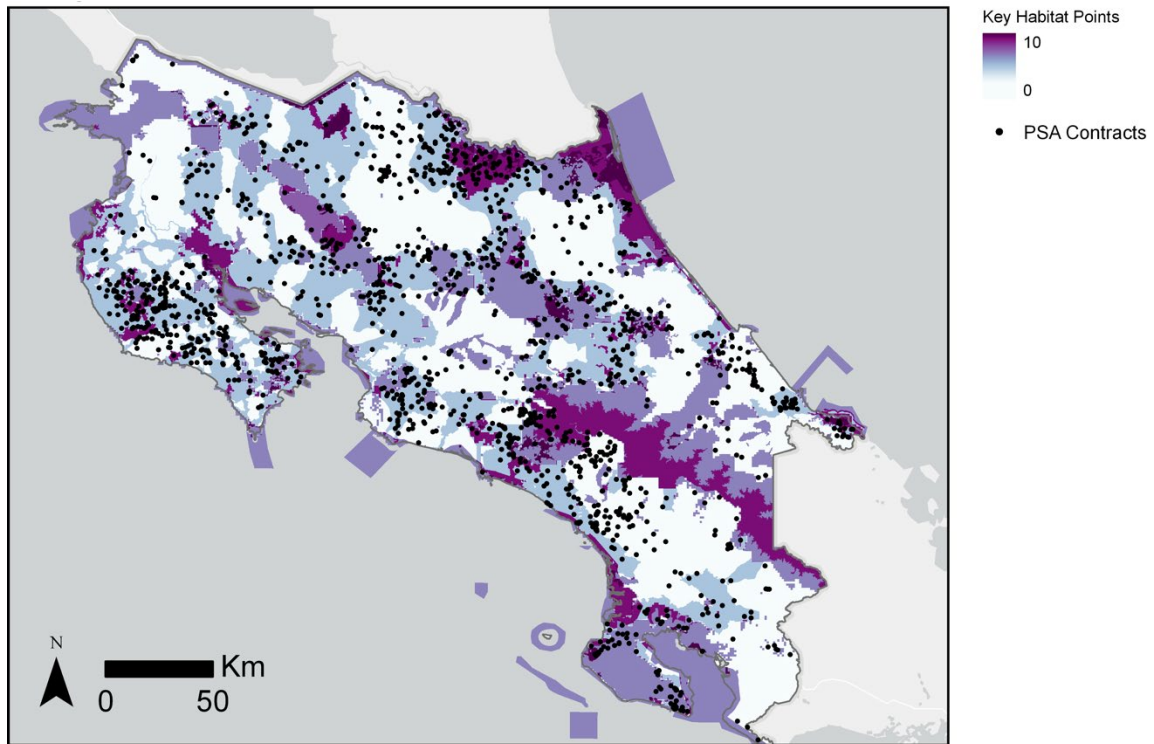


Figura 24. Mapa de hábitats clave y ubicaciones de contratos de PSA. Cada punto representa un contrato que comenzó entre 2016 y 2018. Las ubicaciones de los contratos se representan como puntos en sus centroides.

Fuente: Elaboración propia.

## Bonus de hábitats clave y densidad de contratos de PSA

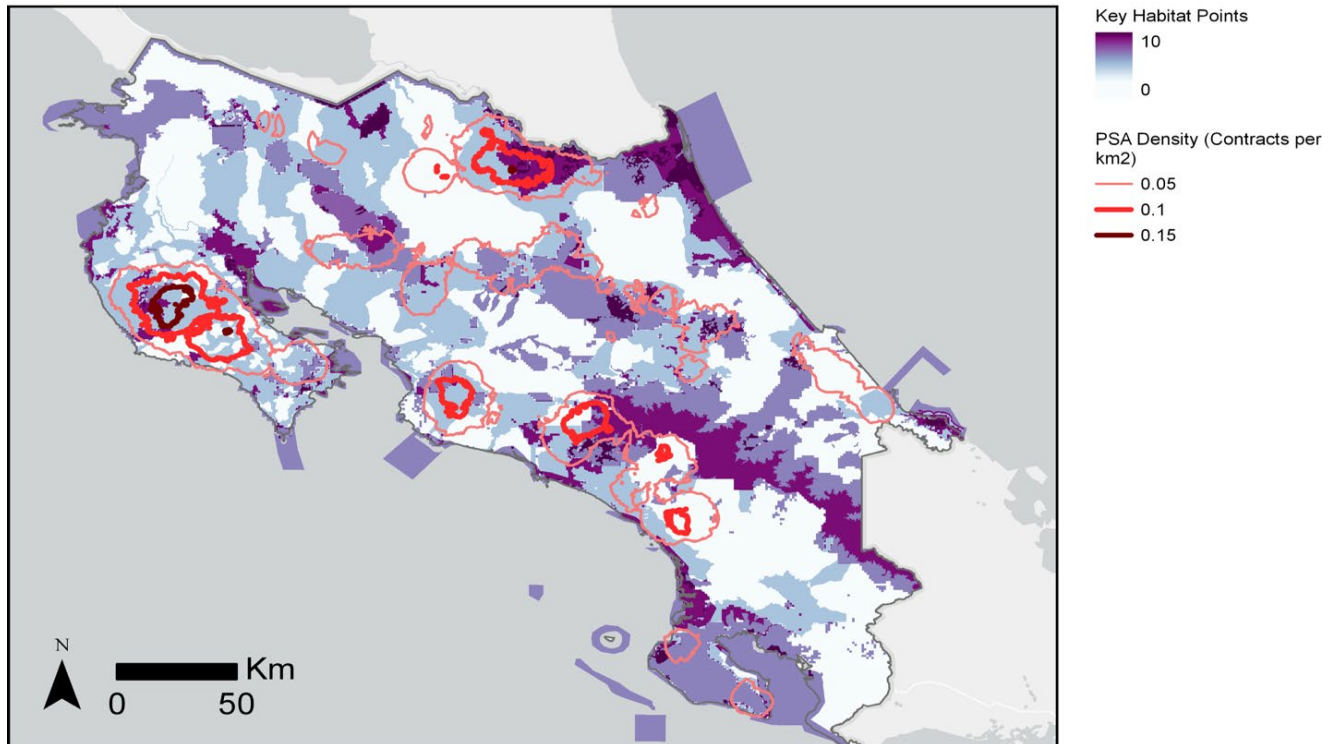


Figura 25. Mapa de puntos clave de bonificación de hábitat (púrpuras). Los polígonos que representan la densidad de los contratos de PSA que comienzan entre 2016 y 2018 se superponen (rojos). Se estimó la densidad de PSA utilizando un radio de 10 km en movimiento.

Fuente: Elaboración propia.

Como lo muestran las dos figuras anteriores, la mayoría de los contratos de PSA se superponen con al menos un hábitat clave. Sin embargo, solo dos ubicaciones densas en PSA se superponen sustancialmente con un alto valor de bonificación: una a lo largo de la frontera norte y la segunda cerca de la costa oeste central. Muchas de las áreas del país que no tenían hábitats clave presentes también tenían una baja densidad de contratos de PSA por debajo de 0.05 por km<sup>2</sup>. Utilizando un radio de 10 km para estimar la densidad se identificaron los grupos más distintos de fincas de PSA en comparación con un radio de 2 km o 30 km.

## 12. CONCLUSIÓN

Este Volumen describió en detalle el primer cambio significativo que se propone para el nuevo esquema de PSE de Costa Rica, que es la transición de un esquema basado en bosques a uno que considera todo el capital natural del país. Además de abarcar otros ecosistemas, el nuevo esquema considerará múltiples servicios ecosistémicos de cada ecosistema, los cuales serán el objetivo central del diseño e implementación de las actividades de conservación y restauración que se plantearán en el Volumen II.

Para operativizar este nivel de ambición, el Volumen II se basa en las características del capital natural descrito aquí (e.g. servicios ecosistémicos, beneficiarios y amenazas, entre otras) para desarrollar el mecanismo financiero que generará los fondos necesarios para invertir en las actuales y nuevas modalidades del esquema que se propondrán en ese mismo volumen.

También, es importante mencionar que la toma de decisiones para la gestión del capital natural en Costa Rica no se puede basar únicamente en el índice de priorización que se diseñó aquí. El objetivo de este índice es servir de guía para desarrollar más las prioridades espaciales de un esquema de PSA con usuarios de los servicios ecosistémicos del país. Este método aborda los beneficios y presiones ecológicas, pero no incorpora restricciones socioeconómicas o logísticas. Para evitar la fragmentación del paisaje, se sugiere que estos mapas se utilicen como una herramienta para identificar grupos de ubicaciones prioritarias similares en lugar de solo tomar medidas para los píxeles con la puntuación más alta.

Finalmente, la ampliación propuesta del capital natural del nuevo esquema permitirá la expansión del impacto socioeconómico de manera significativa, incluyendo a una serie de actores que juegan o podrán jugar un rol vital en la conservación y restauración natural del país, como es el caso de comunidades costeras a través de la restauración de manglares y la implementación de mejores prácticas de pesca, o el público general en zonas urbanas a través de la implementación de proyectos de infraestructura verde en sus casas o comunidades, entre muchos otros actores que el nuevo esquema beneficiará e incluso potenciará los nuevos trabajos verdes y azules que la estrategia de desarrollo sostenible nacional necesita.

# REFERENCIAS

- Alvarado, J. J., Herrera, B., Corrales, L., Asch, J., & Paaby, P. (2011). Identificación de las prioridades de conservación de la biodiversidad marina y costera en Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*.
- Banco Central de CR. (2019). Divisas por concepto de turismo.
- Beatty, C.R., Raes, L., Vogl, A.L., Hawthorne, P.L., Moraes, M., Saborio, J.L. and Meza Prado, K. (2018). *Landscapes, at your service: Applications of the Restoration Opportunities Optimization Tool (ROOT)*. Gland, Switzerland: IUCN, 74pp.
- Chaplain-Kramer, B. and G. Daily. 2018. Annual Report for Ministry of Environment and Energy and the Central Bank of Costa Rica, Year 2. Technical Report.
- Corrales, L. (2017). Conservación, biodiversidad y zona marino costera en Costa Rica: Avances, cambios y desafíos (Informe Estado de La Nación En Desarrollo Humano Sostenible 2017).
- Corrales-Chaves, L. (2019). Uso, conservación y gestión de la biodiversidad y los recursos forestales. Programa Estado de la Nación.
- Costanza, R. (2012). The value of natural and social capital in our current full world and in a sustainable and desirable future. In *Sustainability Science* (pp. 99–109). Springer. [http://link.springer.com.virtual.anu.edu.au/chapter/10.1007/978-1-4614-3188-6\\_5](http://link.springer.com.virtual.anu.edu.au/chapter/10.1007/978-1-4614-3188-6_5)
- Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'neill, R. V., Paruelo, J., & others. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253–260.
- Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., Farber, S., & Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26, 152–158.
- Daily, G. (1997). *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*. Island Press.
- de Groot, R., Kumar, P., van der Ploeg, S., & Sukhdev, P. (2010). Estimates of Monetary Values of Ecosystem Services (TEEB).
- Elmqvist, T., Maltby, E., Barker, T., Mortimer, M., Perrings, C., Aronson, J., De Groot, R., Fitter, A., Mace, G., & Norberg, J. (2010). Biodiversity, ecosystems and ecosystem services. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity*, 41–111.
- Engel, S., Pagiola, S., & Wunder, S. (2008). Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues. *Ecological Economics*, 65(4), 663–674.
- FAO. (2007). *Mangroves of North and Central America 1980-2005 (Working Paper 138.)*.
- FAO and ITPS. 2018. *Global Soil Organic Carbon Map (GSOCmap)*. Technical Report. Rome. 162 pp.
- Fernández, C., Alvarado, J. J., & Nielsen, V. (2006). Golfo de Nicoya. In *Ambientes Marino Costeros de Costa Rica*. Comisión Interdisciplinaria Marino Costera de la Zona Económica Exclusiva de Costa Rica.
- FONAFIFO. (2005). Cobertura forestal del 2005.
- FONAFIFO. (2012). *Costa Rica: Bosques tropicales un motor del crecimiento verde*.

- FONAFIFO. (2019). Distribución de las hectáreas contratadas en el Programa de Pago por Servicios Ambientales, por año y por modalidad, período 1997-2018. <http://www.fonafifo.go.cr/es/servicios/estadisticas-de-psa/>
- Gassert, F., M. Luck, M. Landis, P. Reig, and T. Shiao. 2014. "Aqueduct Global Maps 2.1: Constructing Decision-Relevant Global Water Risk Indicators." Working Paper. Washington, DC: World Resources Institute. Available online at <http://www.wri.org/publication/aqueduct-global-maps-21-indicators>
- Halpern, B., S. Walbridge, K. Selkoe, C. Kappel, F. Micheli, C. D'Agrosa, J. Bruno, K. Casey, C. Ebert, H. Fox, R. Fujita, D. Heinemann, H. Lenihan, E. Madin, M.T. Perry, E. Selig, M. Spalding, R. Steneck, and R. Watson. 2008. A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*, 319: 948.
- Hamilton, S. E., & Casey, D. (2016). Creation of a high spatio-temporal resolution global database of continuous mangrove forest cover for the 21st century (CGMFC-21). *Global Ecology and Biogeography*, 25(6), 729-738. doi:10.1111/geb.12449.
- Hernández-Blanco, M. (2019). The Treasure of the Commons: Valuing and Managing Natural Capital in Costa Rica [PhD Thesis]. The Australian National University (Australia).
- INEC. (2019). Encuesta Continua de Empleo.
- Instituto Costarricense de Turismo. (2019). Principales actividades realizadas por los turistas.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2015). VI Censo Nacional Agropecuario: Resultados Generales.
- Kappelle, M. (2016). Costa Rican ecosystems. The University of Chicago Press.
- Lau, W. W. (2013). Beyond carbon: Conceptualizing payments for ecosystem services in blue forests on carbon and other marine and coastal ecosystem services. *Ocean & Coastal Management*, 83, 5–14.
- Mace, G. M., Norris, K., & Fitter, A. H. (2012). Biodiversity and ecosystem services: A multilayered relationship. *Trends in Ecology & Evolution*, 27(1), 19–26.
- Mario Chancón. (2020). Sector agrícola y PES [Telephone].
- Martin, A. R. and S. C. Thomas. 2011. A Reassessment of Carbon Content in Tropical Trees. *PLoS ONE* 6(8): e23533. doi:10.1371/journal.pone.0023533
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press.
- MINAE, SINAC, CONAGEBIO, & FONAFIFO. (2018). Resumen del Sexto Informe Nacional de Costa Rica ante el Convenio de Diversidad Biológica. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Muradian, R., Corbera, E., Pascual, U., Kosoy, N., & May, P. H. (2010). Reconciling theory and practice: An alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. *Ecological Economics*, 69(6), 1202–1208.
- Naciones Unidas. (1992). Convenio sobre la Diversidad Biológica. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>
- Programa Estado de la Nación. (2019). Compendio Estadístico: Número de turistas que ingresaron al país.
- Programa REDD/CCAD-GIZ - SINAC. (2015). Inventario Nacional Forestal de Costa Rica 2014-2015. Resultados y Caracterización de los Recursos Forestales. Programa Regional REDD/CCAD-GIZ.
- Proyecto Golfos. (2012). Identificación y caracterización de actores institucionales y de la sociedad civil claves en la gestión de las AMUM Golfo de Nicoya y Pacífico Sur. Marviv-SINAC.

Proyecto Humedales. (2018). Inventario Nacional de Humedales (p. 172). SINAC/PNUD/GEF.

Ramsar Convention Secretariat. 2014. "The Ramsar Sites Criteria." Web document. URL: [https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/ramsarsites\\_criteria\\_eng.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/ramsarsites_criteria_eng.pdf) (Accessed 2020 June 2).

Rivera, J. (2018). Proyecto Regional GEF-Manglares [Personal communication].

Sanderman, J., T. Hengel, G. Fiske, K. Solvik, M. F. Adame, L. Benson et al. 2018. A global map of mangrove forest soil carbon at 30 m spatial resolution. *Environmental Research Letters*, 13:055002. doi: 10.1088/1748-9326.

Schomers, S., & Matzdorf, B. (2013). Payments for ecosystem services: A review and comparison of developing and industrialized countries. *Ecosystem Services*, 6, 16–30. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.01.002>

Sharp, R., Tallis, H. T., Ricketts, T., Guerry, A. D., Wood, S. A., Chaplin-Kramer, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E., ... Douglass, J. (2016). InVEST +VERSION+ User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.

Simard, M., T. Fatoyinbo, C. Smetanka, V.H. Rivera-monroy, E. Castaneda-mova, N. Thomas, and T. Van der stocken. 2019. Global Mangrove Distribution, Aboveground Biomass, and Canopy Height. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. doi: 10.3334/ORNLDAAC/1665.

Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) Grúas II. 2007a. Propuesta de ordenamiento territorial para la conservación de la biodiversidad de Costa Rica: Vol 1. Análisis de vacíos en la representatividad e integridad de la biodiversidad terrestre / SINAC- MINAE. San José, C.R.:Asociación Conservación de la Naturaleza, 100 p.

Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) Grúas II. 2007b. Análisis de vacíos de conservación en Costa Rica : Vol II. Análisis de Vacíos en la Representatividad e Integridad de la Biodiversidad de los sistemas de aguas continentales / SINAC-MINAE. San José, C.R.: Asociación Conservación de la Naturaleza. 102 p.

Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) Grúas II. 2009. Propuesta de ordenamiento territorial para la conservación de la biodiversidad de Costa Rica. Análisis de vacíos de conservación en Costa Rica. Vol III / SINAC. San José, C.R.: Asociación Conservación de la Naturaleza. 60 p.

Song, X., M. C. Hancan, S. V. Stehman, P. V. Potapov, A. Tyukavina, E. F. Vermonte, and J. R. Townshend. 2018. Global land change from 1982 to 2016. *Nature*, 560:639-643. doi: 10.1038/x4158-018-0411-9.

Spalding, M. (2010). World atlas of mangroves. Earthscan.

Tacconi, L. (2012). Redefining payments for environmental services. *Ecological Economics*, 73, 29–36.

TEEB. (2010). The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB.

- UNEP-WCMC, WorldFish Centre, WRI, TNC. (2010). Global distribution of warm-water coral reefs, compiled from multiple sources including the Millennium Coral Reef Mapping Project. Version 3.0. Includes contributions from IMaRS-USF and IRD (2005), IMaRS-USF (2005) and Spalding et al. (2001). UNEP World Conservation Monitoring Centre. <http://data.unep-wcmc.org/datasets/1>
- United Nations Development Programme. 2019. The Big Enchilada: Mapping Nature for People and Planet. Workshop Report. Herida, Costa Rica. 37p.
- United Nations Development Programme and United Nations Environment. 2020. UN Biodiversity Lab. Web mapping platform. URL: <https://www.unbiodiversitylab.org>. Accessed 2020 July 18.
- Universidad de Alberta. (2002). Cambio de cobertura 1997. Laboratorio de Sistemas de Observación Terrestre (EOSL).
- Van der Ploeg, S., De Groot, D., & Wang, Y. (2010). The TEEB Valuation Database: Overview of structure, data and results. Foundation for Sustainable Development (TEEB).
- Venter, O., Sanderson, E., Magrath, A., J. R. Allan, J. Beher, K. R. Jones, H. P. Possingham, W. F. Laurance, P. Wood, B. M. Fekete, M. A. Levy, and J. E. M. Watson. 2016. Sixteen years of change in the global terrestrial human footprint and implications for biodiversity conservation. *Nat Commun* 7, 12558. doi: 10.1038/ncomms12558.

**Apéndice 1:** Mapas de servicios ecosistémicos modelados para cada uno de los casos de estudio.

### Polinización de café

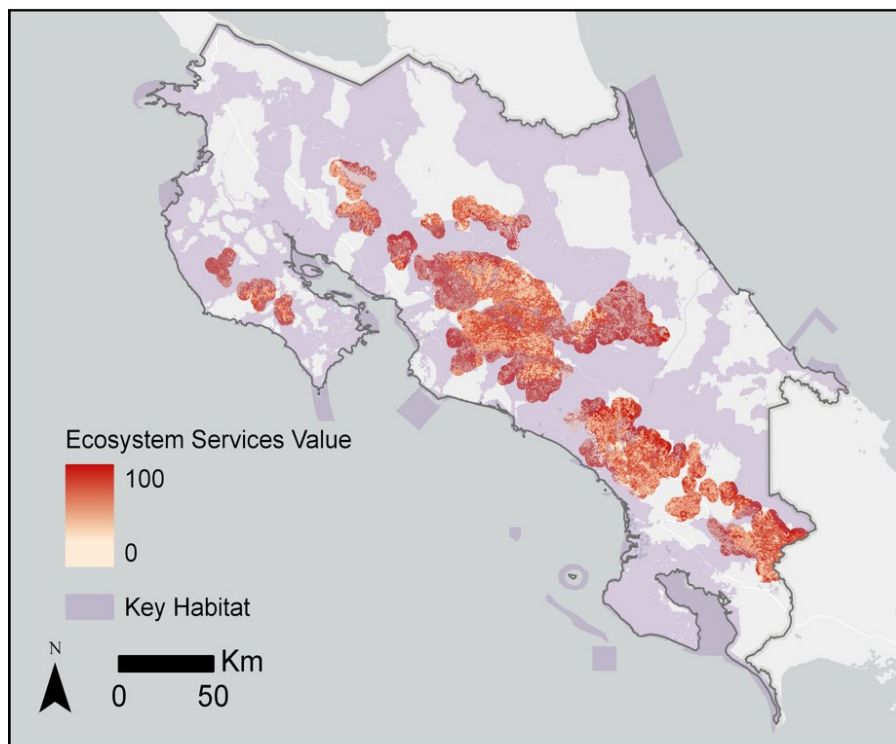


Figura 26. Mapa de valores escalados de la polinización de café. Los valores rojos más oscuros representan niveles más altos del servicio ecosistémico. La superposición de color púrpura pálido resalta las ubicaciones de los hábitats clave.

Fuente: **Elabo**ración propia según referencias descritas en la respectiva sección del documento



## Turismo basado en aves

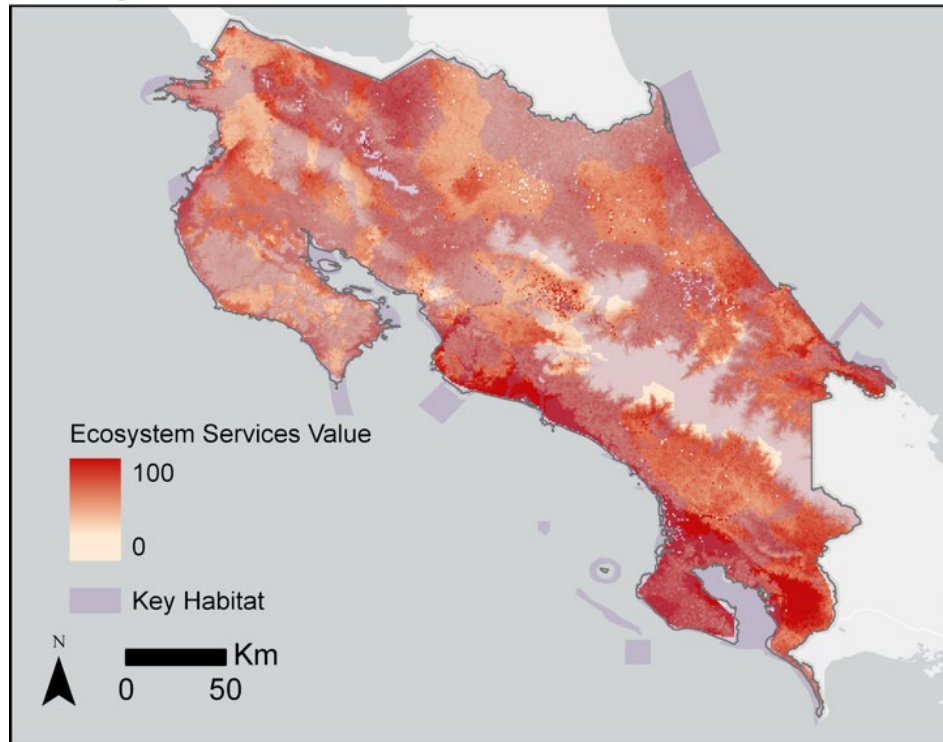


Figura 27. Mapa de valores escalados del turismo basado en aves. Los valores rojos más oscuros representan niveles más altos del servicio ecosistémico. La superposición de color púrpura pálido resalta las ubicaciones de los hábitats clave.

Fuente: Elaboración propia según referencias descritas en la respectiva sección del documento

## Retención de sedimentos

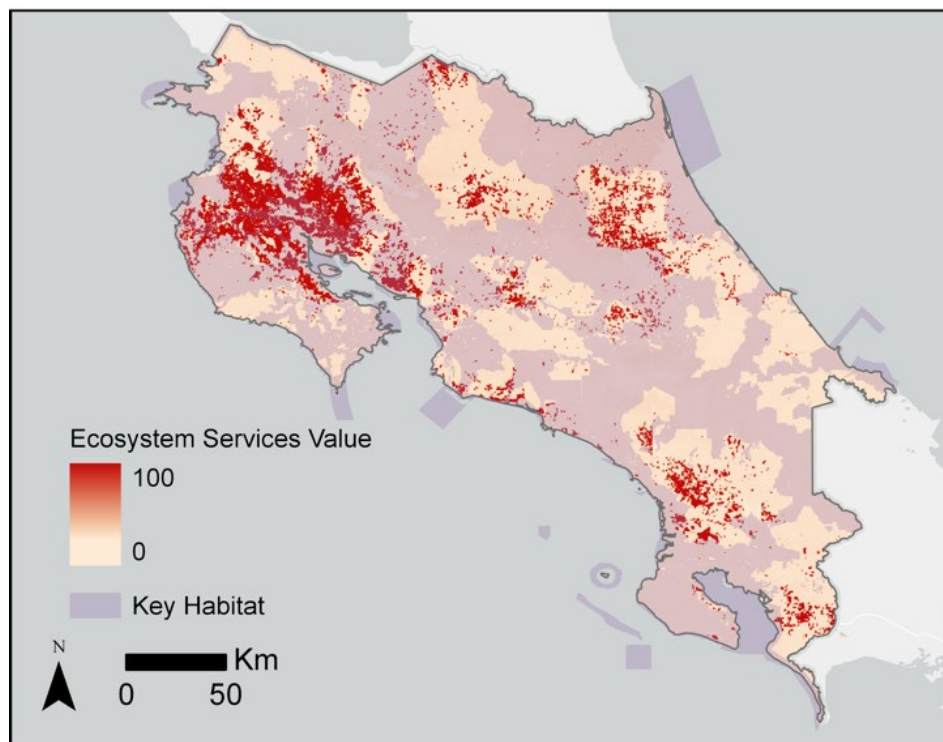


Figura 28. Mapa de valores escalados de retención de sedimentos. Los valores rojos más oscuros representan niveles más altos del servicio ecosistémico. La superposición de color púrpura pálido resalta las ubicaciones de los hábitats clave.  
Fuente: Elaboración propia según referencias descritas en la respectiva sección del documento

## Almacenamiento de carbono en bosques

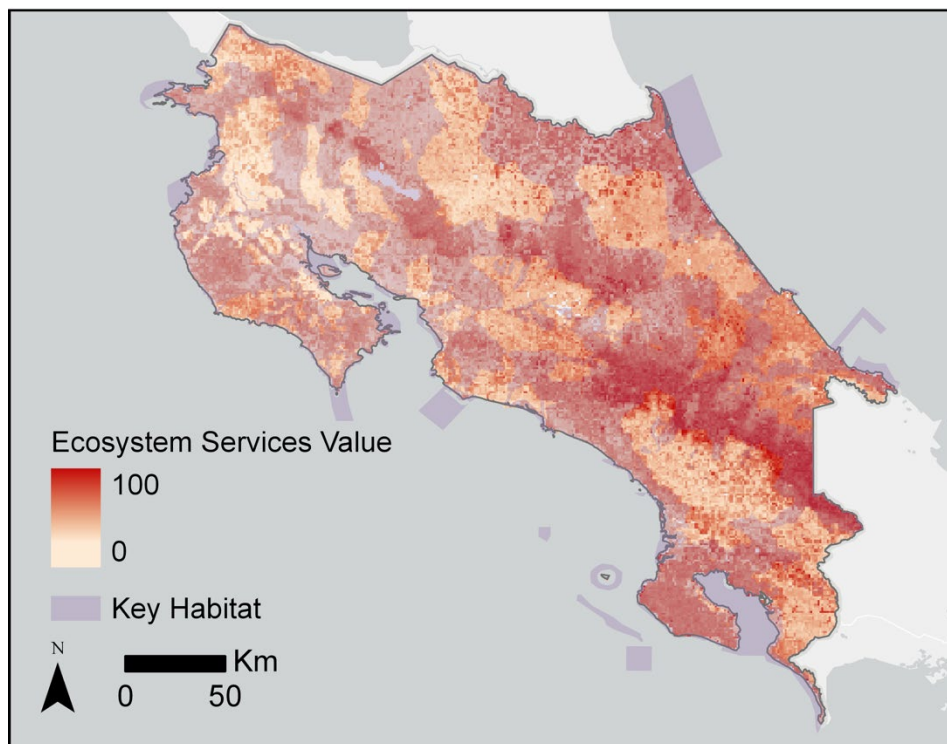


Figura 29. Mapa de valores escalados del almacenamiento de carbono en bosques. Los valores rojos más oscuros representan niveles más altos del servicio ecosistémico. La superposición de color púrpura pálido resalta las ubicaciones de los hábitats clave.

Fuente: Elaboración propia según referencias descritas en la respectiva sección del documento

## Almacenamiento de carbono azul en manglares

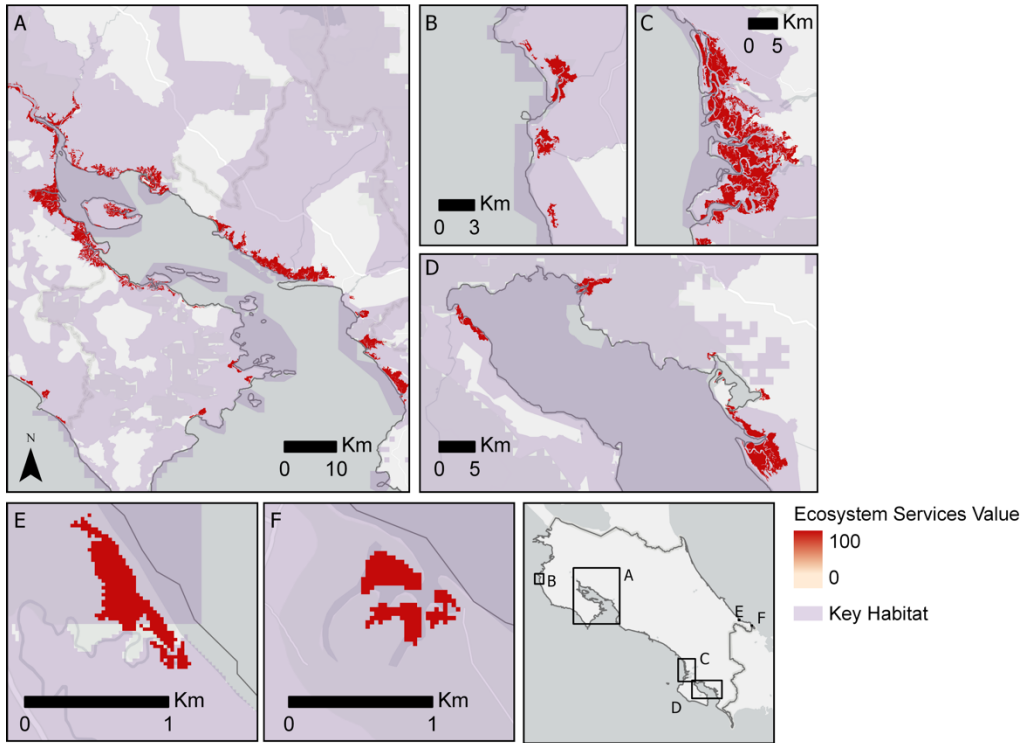


Figura 30. Mapa de valores escalados del almacenamiento de carbono azul en manglares. Los valores rojos más oscuros representan niveles más altos del servicio ecosistémico. La superposición de color púrpura pálido resalta las ubicaciones de los hábitats clave.

Fuente: Elaboración propia según referencias descritas en la respectiva sección del documento

## Protección costera

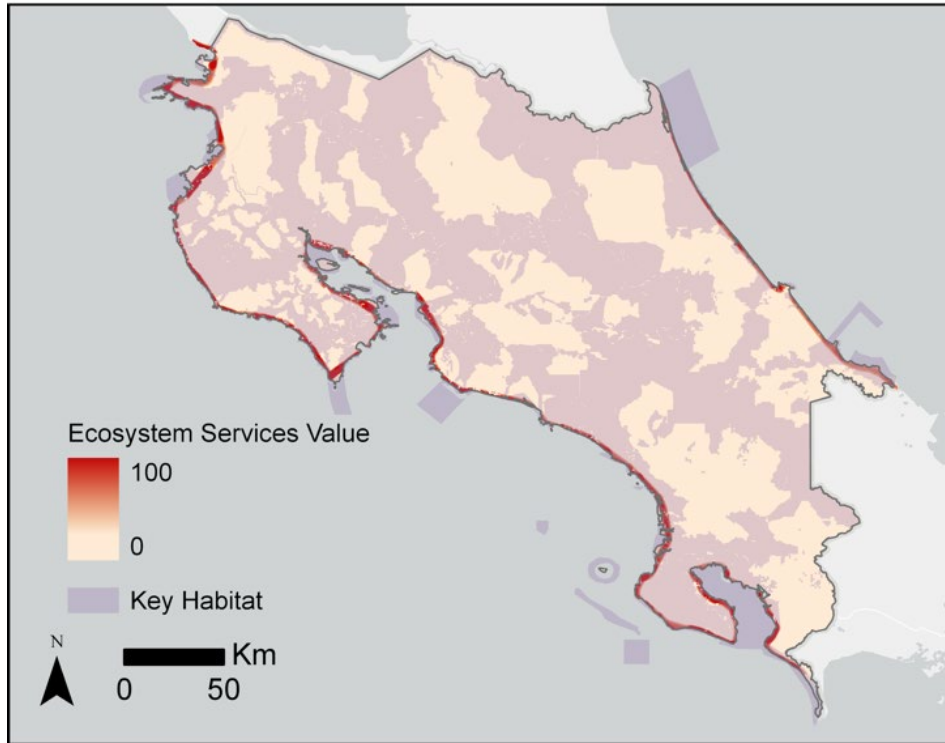


Figura 31. Mapa de valores escalados de la protección costera. Los valores rojos más oscuros representan niveles más altos del servicio ecosistémico. La superposición de color púrpura pálido resalta las ubicaciones de los hábitats clave.

Fuente: Elaboración propia según referencias descritas en la respectiva sección del documento

Apéndice 2: Mapas de las amenazas modeladas para cada uno de los casos de estudio.

### Huella humana

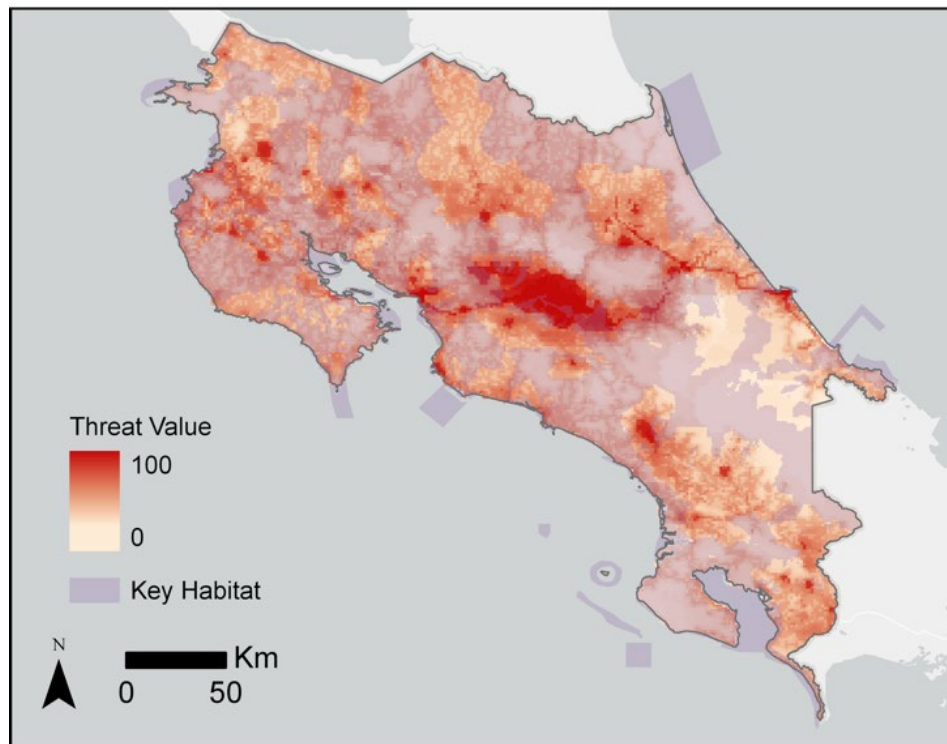


Figura 32. Mapa de valores escalados de la Huella Humana. Los valores rojos más oscuros representan niveles más altos de la amenaza. La superposición de color púrpura pálido resalta las ubicaciones de los hábitats clave.

Fuente: Elaboración propia según referencias descritas en la respectiva sección del documento

## Estrés hídrico

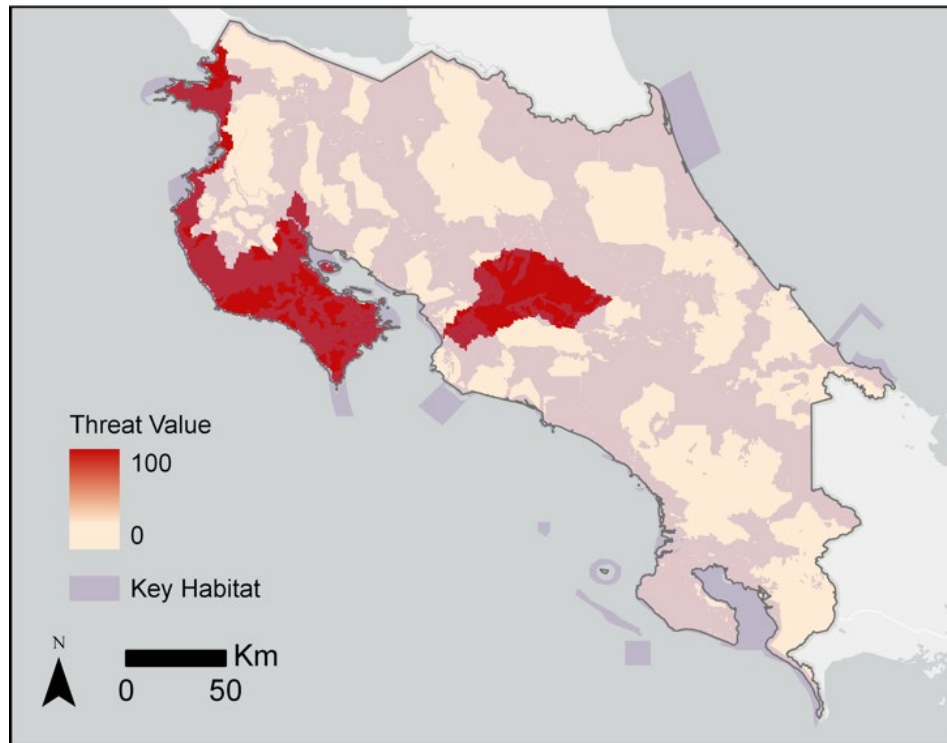


Figura 33. Mapa de valores escalados del estrés hídrico. Los valores rojos más oscuros representan niveles más altos de la amenaza. La superposición de color púrpura pálido resalta las ubicaciones de los hábitats clave.  
Fuente: Elaboración propia según referencias descritas en la respectiva sección del documento

## Deforestación

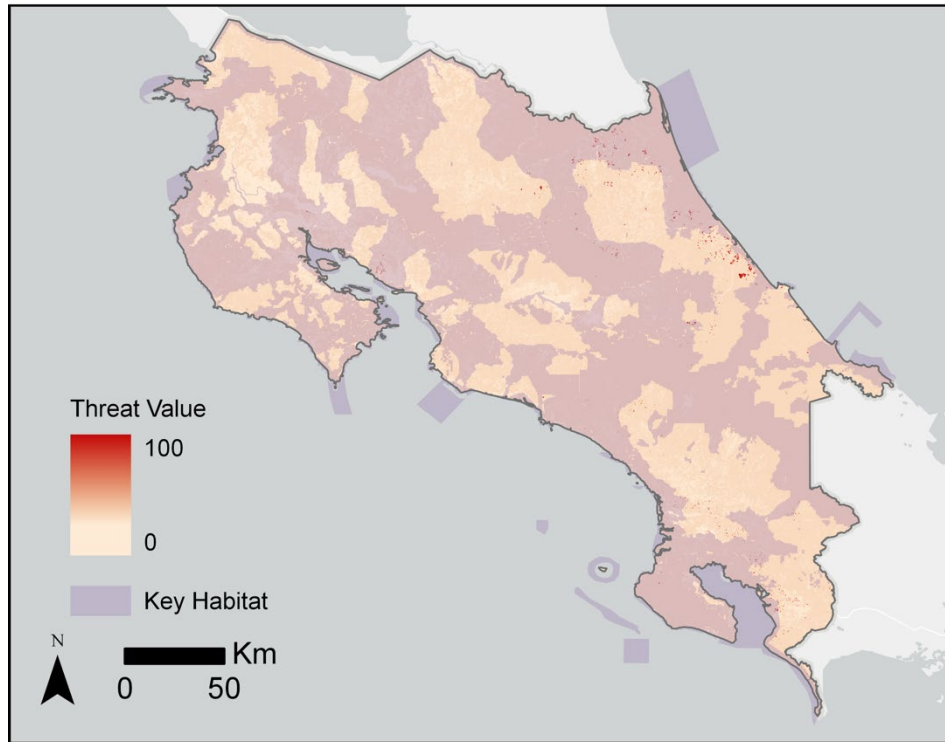


Figura 34. Mapa de valores escalados de la deforestación. Los valores rojos más oscuros representan niveles más altos de la amenaza. La superposición de color púrpura pálido resalta las ubicaciones de los hábitats clave.

Fuente: Elaboración propia según referencias descritas en la respectiva sección del documento



## Pérdida de manglares

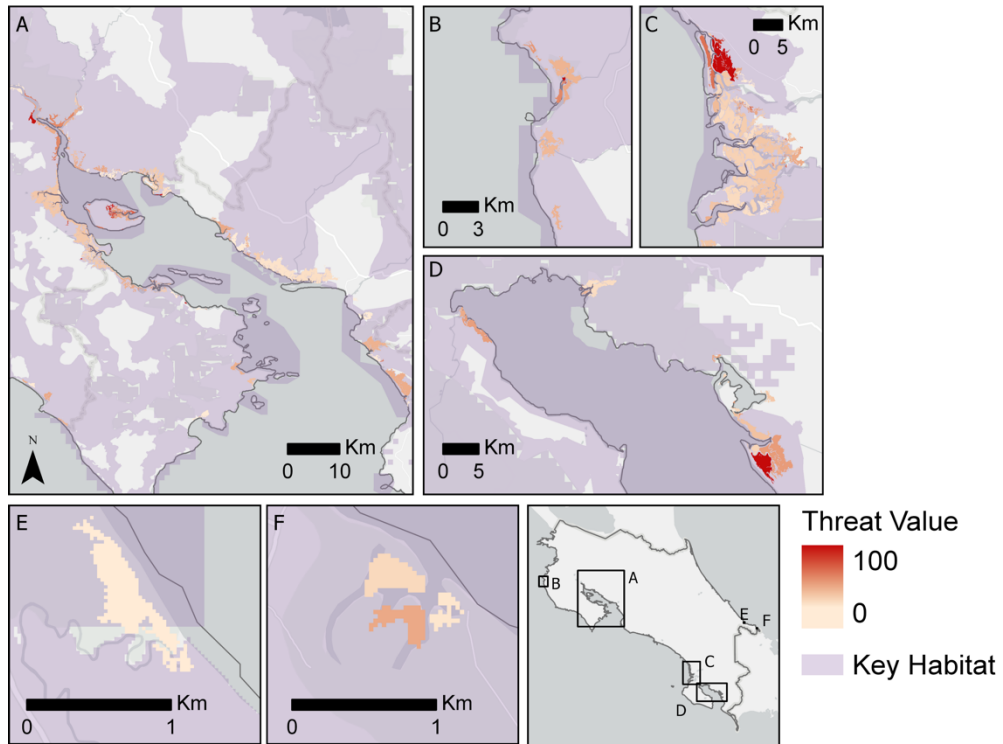


Figura 35. Mapa de valores escalados de la pérdida de manglares. Los valores rojos más oscuros representan niveles más altos de la amenaza. La superposición de color púrpura pálido resalta las ubicaciones de los hábitats clave.

Fuente: Elaboración propia según referencias descritas en la respectiva sección del documento

## Impactos Oceánico Cumulativo

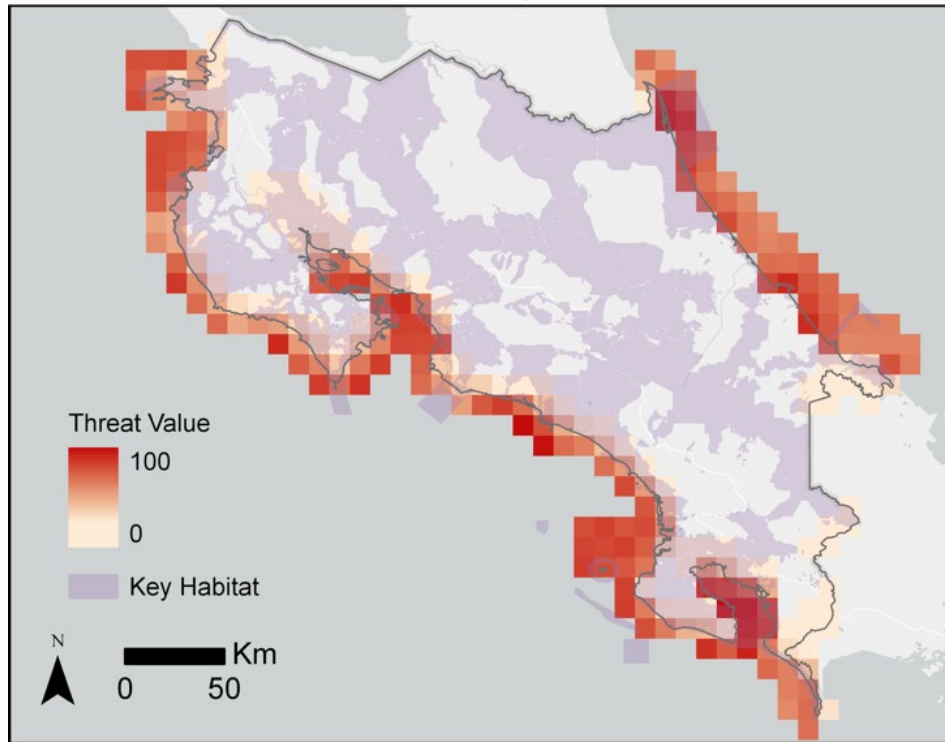


Figura 36. Mapa de valores escalados del Impacto Oceánico Acumulativo. Los valores rojos más oscuros representan niveles más altos de la amenaza. La superposición de color púrpura pálido resalta las ubicaciones de los hábitats clave.

Fuente: Elaboración propia según referencias descritas en la respectiva sección del documento



# OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

