



Serie Técnica

# Herramienta para la priorización de áreas y estrategias para LA PLANEACIÓN Y MONITOREO DE COMPENSACIONES AMBIENTALES

Diseño conceptual y metodológico







Herramienta para la priorización de áreas y estrategias para

# LA PLANEACIÓN Y MONITOREO DE COMPENSACIONES AMBIENTALES

# Herramienta para la priorización de áreas y estrategias para la planeación y monitoreo de compensaciones ambientales

Diseño conceptual y metodológico

ISBN ebook: 978-958-58741-6-9  
Octubre de 2015

**Autores:**

Carolina Ortiz Villa  
Germán Forero-Medina  
Carlos Ríos  
Padu Franco  
Mariana Sarmiento

**Diseño e impresión:**  
El Bando Creativo

**Equipo técnico del proyecto:**

Padu Franco  
Óscar Castillo  
Adriana Burbano  
Mariana Sarmiento  
Armando Mercado  
Germán Forero  
Carlos Ríos  
Mónica Ramírez  
Lucas Buitrago  
Yuly Salazar  
Carolina Ortiz  
Ray Victorine

Esta publicación ha sido posible gracias al apoyo del Pueblo de los Estados Unidos de América a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). Las opiniones aquí expresadas son las de los autores y no reflejan necesariamente la opinión de USAID ni del Gobierno de los Estados Unidos.

Esta investigación ha sido producida por encargo de la Unidad de Apoyo de la Iniciativa para la Conservación en la Amazonía Andina (ICAA) liderada por International Resources Group (IRG) y sus socios: Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA), Corporación de Gestión y Derecho Ambiental (ECOLEX), Social Impact (SI) y Conservation Strategy Fund (CSF).

Con el apoyo de:



Iniciativa para la Conservación  
en la Amazonía Andina - ICAA



# CONTENIDO



## Introducción ..... 4

Consideraciones básicas de las compensaciones por pérdida de biodiversidad ..... 6

Contexto de las compensaciones en la Amazonía Andina ..... 7



## 1. Descripción de la herramienta ..... 9



## 2. Diseño metodológico ..... 13

2.1. Estimación de impactos ..... 14

2.2. Importancia para la conservación ..... 19

2.3. Amenazas ..... 24

2.4. Identificación de áreas críticas ..... 26

2.5. Estrategias de compensación ..... 28

2.6. Resultados finales, conclusiones y limitaciones ..... 30



## Referencias ..... 31



## Anexos ..... 33

Anexo 1. Resumen de metodología y flujo de información para la identificación de áreas prioritarias ..... 34

# INTRODUCCIÓN



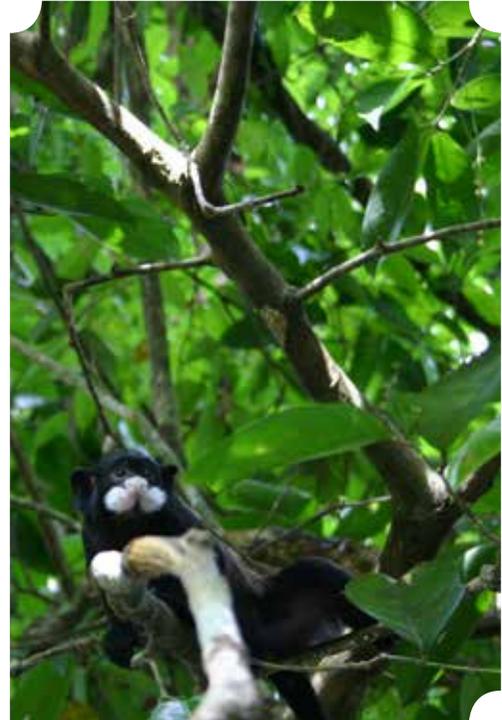
La biodiversidad se encuentra amenazada por diferentes factores, en su mayoría relacionados con actividades antrópicas. La minería, la explotación de hidrocarburos, la ampliación de la frontera agrícola y el avance en proyectos de infraestructura, entre otros, son una amenaza directa a la biodiversidad y dan lugar a procesos que la afectan de manera indirecta, como la fragmentación de hábitats o la contaminación.

A pesar de su impacto en la naturaleza, el desarrollo de actividades antrópicas es importante para la economía de los países, ya que genera empleos, mejora las condiciones económicas de algunas comunidades, impulsa sectores productivos, etc. Se crea así una disyuntiva entre los perjuicios ambientales y los beneficios económicos generados por el desarrollo de proyectos productivos.

Este conflicto entre el desarrollo económico y la conservación de los ecosistemas es especialmente importante en la región de la Amazonía Andina y, más concretamente, en Colombia, Ecuador y Perú. Estos países, caracterizados por su alta biodiversidad y por la presencia de especies prioritarias para la conservación (Myers, Mittermeier, Mittermeier, Da Fonseca & Kent, 2000; Olson & Dinerstein, 2002; Rodrigues *et al.*, 2004), han experimentado un importante crecimiento económico durante los últimos años, visible en un incremento anual promedio del PIB superior al 4 % en los últimos 5 años (Banco Interamericano de Desarrollo, 2015).

Este crecimiento ha traído un aumento en el número de proyectos relacionados con actividades extractivas y de infraestructura, que contribuyen al incremento de la tasa de transformación en la región y, por tanto, constituyen una amenaza para la conservación de los ecosistemas (Finer & Orta-Martínez, 2010; Swenson, Carter, Domec & Delgado, 2011). Adicionalmente, la región presenta otra serie de amenazas a la biodiversidad, no relacionadas con los proyectos de desarrollo, como son la expansión de la frontera agrícola, la introducción de actividades ganaderas, la existencia de actividades ilícitas, entre otras (Red Amazónica de Información Socioambiental Georeferenciada, 2012).

Algunos estudios indican que, entre 2011 y 2012, estas actividades generaron un incremento del 24 % en la pérdida de bosque, correspondiente a unas 48.000 hectáreas en la región (Coca, Reymondin, Tello & Paz, 2013). Esta situación hace necesario el desarrollo de políticas públicas que reglamenten la ejecución de los proyectos, así como un trabajo por parte del sector privado en la búsqueda de metodologías y buenas prácticas que contribuyan a la armonización entre la conservación de la biodiversidad y el desarrollo de los diferentes sectores económicos y productivos.



*Saguinus nigricollis*

Fotografía: Luz Dary Acevedo

El aumento de proyectos relacionados con actividades extractivas y de infraestructura en la Amazonía Andina contribuye al incremento de la tasa de transformación en la región y amenaza la conservación de los ecosistemas.

## 1.1. CONSIDERACIONES BÁSICAS DE LAS COMPENSACIONES POR PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD

Lograr un equilibrio sostenible entre conservación y producción exige el planteamiento de bases conceptuales firmes que den lógica a los instrumentos y herramientas desarrollados para alcanzarlo. A continuación, se proponen algunas definiciones importantes para entender la lógica y justificación de la propuesta.

### 1.1.1. Jerarquía de la mitigación

Hay diversos enfoques teóricos y conceptuales que buscan generar equilibrio entre la explotación económica y la conservación. Uno de ellos es la jerarquía de la mitigación, herramienta de buenas prácticas que guía el desarrollo de los proyectos para limitar, tanto como sea posible, los efectos negativos que estos generan sobre la biodiversidad. Según dicha jerarquía, para alcanzar una meta de no pérdida neta de biodiversidad<sup>1</sup> y, ojalá, un impacto neto positivo, se deben seguir una serie de pasos en el desarrollo de un proyecto.

En primer lugar, se deben tomar medidas para **prevenir** la generación de los impactos. Esta es la manera más fácil, económica y efectiva de reducir impactos negativos, pero requiere que haya una proyección clara de los impactos a la biodiversidad en las etapas tempranas del proyecto. En segundo lugar, se buscan medidas para **minimizar** la duración, intensidad y/o extensión de los impactos que no pudieron ser evitados. Luego de esto, en tercer lugar, se deben tomar medidas para **rehabilitar/restaurar** los ecosistemas degradados en el desarrollo del proyecto, debido a los impactos que no pudieron ser evitados o minimizados (The Biodiversity Consultancy, 2015). La correcta aplicación de cada uno de estos pasos permite disminuir el impacto de un proyecto sobre la biodiversidad.

Las compensaciones por pérdida de biodiversidad son acciones de conservación que contrarresten impactos residuales negativos de la ejecución de proyectos.

Ahora bien, luego de prevenir, minimizar y restaurar, persisten impactos residuales que necesitan un paso adicional, el cual garantice la no pérdida neta de biodiversidad.

Este siguiente paso corresponde a las **compensaciones ambientales** (*biodiversity offsets*): acciones de conservación medibles que deben contrarrestar los impactos residuales de la ejecución de proyectos. Estas deben ayudar a alcanzar la no pérdida neta de biodiversidad con respecto a la composición de especies, estructura del hábitat y funcionalidad de los ecosistemas y servicios ecosistémicos (Business and Biodiversity Offsets Programme, 2012).

Una compensación válida debe tener resultados en conservación medibles, nuevos, adicionales y efectivamente obtenidos mediante las acciones realizadas. Esto lleva a la consideración del concepto de **adicionalidad**, en el que las acciones de compensación deben alcanzar ganancias demostrables en el estado de conservación de la biodiversidad, que no serían obtenidas sin su implementación (Business and Biodiversity Offsets Programme, 2012). Este efecto adicional de la compensación deberá ser demostrado mediante el análisis de escenarios con y sin compensación (Quétier & Lavorel, 2011).

1. La no pérdida neta se define como una situación en la que las pérdidas de biodiversidad causadas por un proyecto son contrarrestadas por las ganancias en biodiversidad obtenidas por medio de acciones como las compensaciones. Así, aunque se causen daños ambientales, el balance neto de daño en la biodiversidad será igual a cero.

### 1.1.2. Estrategias para compensar

Alcanzar el objetivo de no pérdida neta de biodiversidad necesita una estrategia efectiva de compensación. Para lograr esta efectividad, una estrategia debe tener en cuenta dos elementos fundamentales: las actividades concretas de compensación y la forma de llevarlas a cabo.

El primer elemento es la evaluación de las acciones de compensación concretas que permitirían obtener resultados adicionales en conservación. La elección va a depender de las necesidades y características propias del lugar, así como de consideraciones financieras y jurídicas. De manera general, las compensaciones se concentran en dos tipos de acciones: **protección** de la biodiversidad ante posibles amenazas y **restauración** para mejorar su estado de conservación (The International Council of Mining and Metals & Internacional Union for Conservation of Nature, 2012).

El segundo elemento a tener en cuenta para definir una estrategia de compensación es la forma de llevar a cabo las acciones, es decir, si se realizarán de

manera individual o agregada. En las **compensaciones individuales**, cada generador de impactos busca un lugar para su compensación, por lo que la decisión del lugar y del tipo de acción a realizar es exclusiva del titular del proyecto que genera los impactos. Hay evidencia que demuestra que este tipo de estrategias tiene costos transaccionales significativos, en la medida en que son esfuerzos aislados y recurrentes que generan dificultades para realizar seguimiento, control y vigilancia por parte de autoridades ambientales (Sarmiento, López & Mejía, 2014).

Por su parte, en las **compensaciones agregadas** varios titulares de proyectos pueden elegir compensar en una misma área. Esto podría maximizar los beneficios ambientales, reducir los costos transaccionales y permitir la articulación de las estrategias de compensación con otras estrategias de planificación ambiental del territorio. Cuando varios proyectos aportan a un mismo objetivo, se dan sinergias entre los diferentes esfuerzos de compensación, lo que genera un mayor efecto positivo a nivel regional.

## 1.2. CONTEXTO DE LAS COMPENSACIONES EN LA AMAZONÍA ANDINA

En los países que forman parte de la Amazonía Andina, hasta ahora, los planes de compensación se han realizado con una aproximación individual. La implementación de compensaciones agregadas implicaría unos retos técnicos considerables para estos países. Por una parte, aunque en los últimos años ha habido avances significativos en la reglamentación y fortalecimiento de los procesos de licenciamiento ambiental, así como en la formulación de metodologías que permiten calcular las pérdidas y ganancias en biodiversidad, aún hay muchos aspectos que necesitan ser definidos. Concretamente, es necesario el desarrollo de elementos técnicos, jurídicos y financieros para que se logre una apropiada implementación y monitoreo de las compensaciones ambientales en la región.

Una adecuada identificación de las necesidades de conservación en un territorio y su inclusión en el diseño y monitoreo de planes de compensación ambiental, permitiría que estos sean más efectivos en la conservación del medio ambiente, que logren una gestión integral de la biodiversidad y que maximicen los beneficios de las inversiones económicas que se hacen en ellos. Esto es fundamental, teniendo en cuenta el contexto regional y las limitaciones de recursos gubernamentales, de cooperación internacional y de la sociedad civil en estos países.

Por lo anterior, en el marco del proyecto "Identificación de áreas geográficas y lineamientos prioritarios para la implementación efectiva de compensaciones por pérdida de biodiversidad en la Amazonía

El uso de la herramienta permitirá identificar las áreas en la región que son críticas a la hora de hacer planes de compensación, debido a la coincidencia de elementos de importancia para la conservación y a la acumulación de impactos y amenazas.

Andina de Colombia, Ecuador y Perú”, WCS, gracias al apoyo de USAID, busca contribuir al desarrollo de aproximaciones, herramientas y mecanismos que faciliten la gestión de las compensaciones ambientales, considerando las condiciones particulares de la Amazonía Andina en estos países.

Como parte de este proceso, se diseñó una herramienta que permite la identificación de áreas geográficas prioritarias o críticas para la planeación y monitoreo de compensaciones ambientales y las estrategias de compensación sugeridas para cada una de estas.

El uso de la herramienta permitirá identificar preliminarmente las áreas en la región que son críticas a la hora de hacer planes de desarrollo, debido a la coincidencia de elementos de *importancia para la conservación* y a la acumulación de *impactos y amenazas*. En dichas áreas en donde se debe poner especial atención a la planeación y monitoreo de las acciones de compensación para asegurar la no pérdida neta de biodiversidad.

Además, la herramienta permite una visión del panorama general en la región, teniendo en cuenta elementos como la biodiversidad y la acumulación de impactos.

En cuanto a su público objetivo, esta herramienta pretende servir de apoyo en la toma de decisiones de las entidades nacionales y regionales encargadas de la aprobación de licencias ambientales y planes de compensación. Por ejemplo, su uso permitirá generar **alertas tempranas** sobre los posibles efectos negativos del desarrollo de proyectos sobre los elementos de la biodiversidad que tienen un alto valor y que representan bienestar para las comunidades. En ese sentido, también es una herramienta que proporciona información útil para los organismos involucrados en la creación de planes de desarrollo sectorial.

Para finalizar, es necesario indicar que la propuesta metodológica contenida en este documento ha sido ajustada con base en los resultados de eventos de socialización y discusión con diferentes actores de la región, entre los que se incluyen expertos de: WCS Perú, Instituto de Investigaciones Biológicas Alexander von Humboldt, The Nature Conservancy Colombia, Conservación Internacional Colombia, Patrimonio Natural, Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible - U.S. Department of the Interior y Conservation Strategy Fund. De igual manera, esta metodología fue compartida y discutida con autoridades ambientales de la región que han venido trabajando con relación al tema de compensaciones ambientales y cuyos aportes fueron fundamentales para lograr esta propuesta final. Estas autoridades son la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales de Colombia (ANLA) y el Ministerio del Ambiente del Perú. A continuación, se presenta la propuesta conceptual y metodológica para esta herramienta, así como sus supuestos, usos y limitaciones.

# 1. DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA



Las compensaciones por pérdida de biodiversidad son especialmente importantes en regiones donde los ecosistemas afectados por los impactos residuales de los proyectos tienen un alto valor para la conservación. Debido a ello, poder identificar las regiones en las que coinciden la *importancia para la conservación* y los *impactos acumulados* de los proyectos resulta fundamental al momento de planear las compensaciones ambientales.



*Cebuella pygmaea*  
Fotografía: Galo Zapata Ríos

La herramienta de la que trata este documento tiene como objetivo identificar las regiones dentro de la Amazonía Andina en las cuales hay una acumulación de impactos residuales y zonas de importancia para la conservación.

Lograr la identificación de las regiones afectadas no es posible desde una evaluación individual para cada proyecto, como se ha venido haciendo hasta el momento. Por el contrario, es necesario un análisis con una perspectiva más general, que tenga en cuenta los proyectos en ejecución, las proyecciones de desarrollo para la región y algunas amenazas a la biodiversidad con el fin de percibir posibles interacciones y efectos sinérgicos.

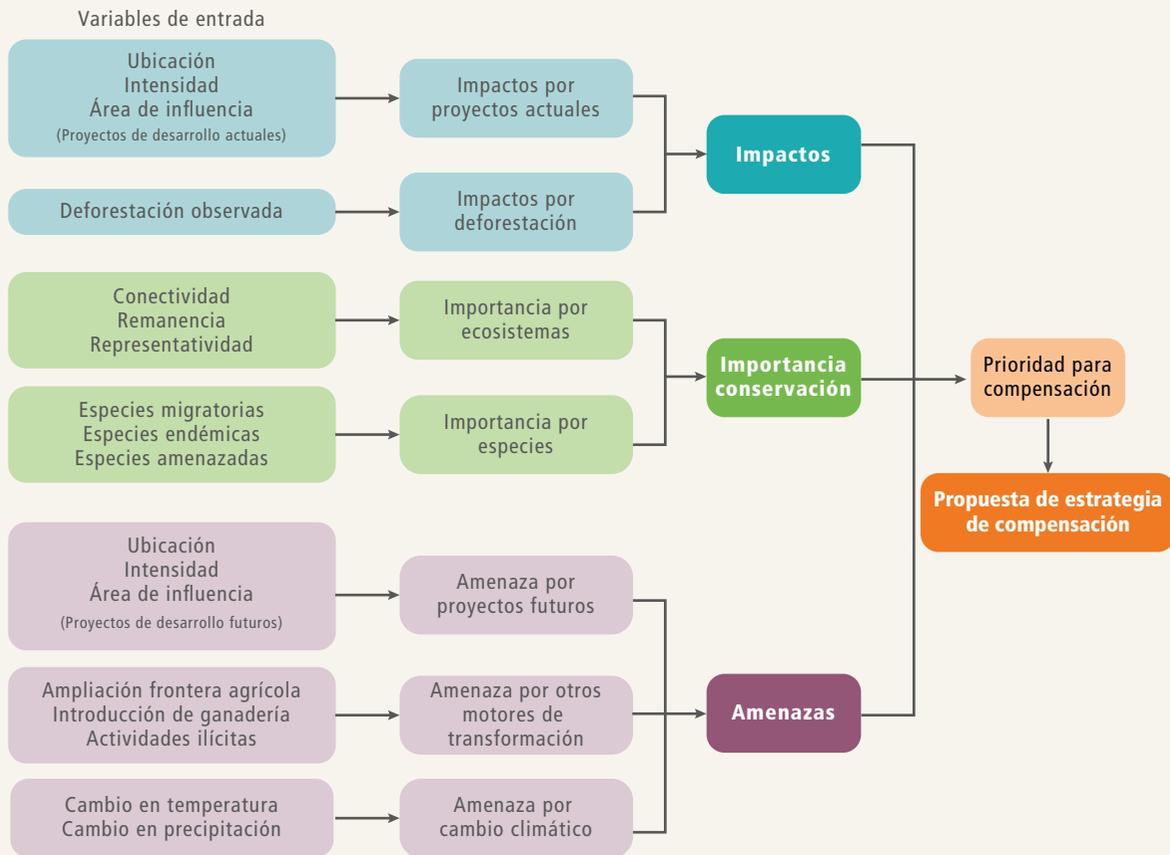
Respondiendo a esta necesidad, la herramienta de la que trata este documento tiene como objetivo identificar las regiones dentro de la Amazonía Andina en las cuales hay una acumulación de impactos residuales y zonas de importancia para la conservación y que, por tanto, resultan críticas para la planeación y monitoreo de compensaciones ambientales. Así mismo, estas regiones representan oportunidades para la implementación de esquemas de compensación agregados.

La identificación de áreas prioritarias o críticas parte de la coincidencia geográfica de zonas con acumulación de impactos, importancia para la conservación y eventuales amenazas futuras. El encuentro de estos factores en una misma región determina la prioridad con la que se debe actuar allí. Además, el monitoreo y evaluación de las compensaciones realizadas en estas zonas permite retroalimentar los aspectos técnicos de los marcos normativos actuales para mejorarlos en el futuro. El Gráfico 1 muestra las variables tenidas en cuenta para la identificación de las áreas prioritarias de conservación.

Se define como prioritaria o crítica aquella región geográfica donde coinciden:

1. Acumulación de impactos generados por proyectos de desarrollo actuales y otras actividades que derivan en la transformación de la cobertura vegetal en el territorio.
2. Presencia de ecosistemas y especies con alta importancia para la conservación, medida con base en atributos como vulnerabilidad, endemismo y representatividad, entre otros.
3. Presencia de amenazas potenciales para la biodiversidad, consecuencia de la planeación de proyectos futuros de desarrollo y de motores de cambio como la ganadería y la agricultura.

Gráfico 1. Diseño conceptual para la identificación de áreas prioritarias para planeación y monitoreo de compensaciones ambientales por pérdida de biodiversidad



A diferencia de otras herramientas y metodologías previamente desarrolladas para facilitar compensaciones (Conservación Internacional, 2015; MADS, ANLA y TNC, 2012), esta no está pensada para la identificación de áreas ecológicamente equivalentes donde se deba realizar la compensación de pro-

yectos específicos. Por el contrario, la herramienta sirve como instrumento de ayuda para los tomadores de decisiones y demás instituciones que están involucradas en la planeación sectorial y ambiental. El Cuadro 1 resume el alcance de la herramienta.

Cuadro 1. Comparación de los alcances de la herramienta

Aspecto	Esta herramienta SI permite	Esta herramienta NO permite
Impactos de proyectos	Identificación de impactos acumulativos.	Identificación y cuantificación de impactos por proyecto.
Lugar de compensación	Identificación de áreas críticas donde deben ser priorizadas la planificación y monitoreo de compensaciones ambientales.	Identificación de área ecológicamente equivalente donde se deban realizar compensaciones de proyectos.
Forma de compensación	Identificación de la(s) estrategia(s) más adecuada(s) para cada área con base en el contexto regional.	Identificación de plan de compensaciones a implementar por proyecto.



***Panthera onca***

Fotografía: Galo Zapata Ríos

Obtener resultados acertados de la aplicación de esta metodología va a depender de la calidad y cantidad de información disponible. El diseño conceptual propuesto para esta metodología (ver Gráfico 1) pretende considerar todas las variables necesarias para generar un análisis robusto y una buena estimación de la interacción entre los diferentes factores en la región. Sin embargo, la información asociada a algunos de estos elementos puede no estar disponible al momento de hacer el análisis, o la calidad y resolución de esta información puede que no sea la recomendada para la escala a la que se va a trabajar.

Por lo anterior, la herramienta tiene la flexibilidad de permitir a los usuarios generar análisis con información general –que será incluida de manera predeterminada– y, así mismo, brinda la posibilidad de que los usuarios que dispongan de información más detallada y completa la incorporen al análisis. La información predeterminada corresponde a la información oficial de cada uno de los países dentro del área de estudio, pero su resolución podría limitar los alcances de los resultados a escala local. Por su parte, la calidad y consistencia de la información específica que brinden los usuarios serán su responsabilidad.

Dado esto y debido a la dificultad de obtener todas las variables en la misma resolución/escala, hay que tener en cuenta que los análisis generados pueden ser resultado de la combinación de información en diferentes escalas y, por tanto, se debe tener cuidado con las conclusiones que se produzcan. De manera general, el uso de información detallada y con mejor resolución genera resultados con menor error e incertidumbre, así que es preferible usarla en la medida en que se disponga de ella.

La unidad de análisis elegida es la subcuenca hidrográfica. Esta es una región geográfica drenada por un único afluente de un río, lo que permite asumir cierta homogeneidad en la biodiversidad al interior de esta, así como procesos ecológicos similares. Esta elección de unidad de análisis está dada por su coherencia con la legislación de compensaciones por pérdida de biodiversidad en la región: en Colombia, las compensaciones deben realizarse en la misma subcuenca hidrográfica de las áreas afectadas; de manera similar, en Perú, se debe compensar en el área de influencia del proyecto, la cual incluye la subcuenca.

Al final del análisis, e independiente de la resolución o escala de la información, la herramienta generará para cada subcuenca dentro del área de estudio los siguientes resultados: (1) mapa de categoría de prioridad y (2) mapa de estrategia de compensación propuesta para cada subcuenca.

Por último, vale la pena mencionar que esta herramienta ha sido desarrollada a través del software *R*, por lo que es de código abierto y puede modificarse en caso de ser necesario (R Core Team, 2014). Dado el objetivo del proyecto, la herramienta incluye información básica de Colombia, Perú y Ecuador, lo que reduce la cantidad de datos que debe aportar el usuario para generar el análisis y, así mismo, permite su uso por un mayor número de personas. Finalmente, la metodología propuesta podría ser aplicada para desarrollar análisis en otros contextos geográficos, si se contase con la información necesaria.

## 2. DISEÑO METODOLÓGICO



La identificación de áreas prioritarias para la planeación y monitoreo de las compensaciones ambientales utiliza una metodología que calcula tres componentes de manera independiente y luego los sobrepone. El primero es la estimación de los *impactos* existentes en el territorio. El segundo es el cálculo de la *importancia para la conservación* del área de estudio, que incluye diferentes variables asociadas con los *ecosistemas* y las *especies*. Por último, está la evaluación de las *amenazas* futuras sobre la biodiversidad en la región.

La combinación y evaluación de la distribución de los *impactos*, la *importancia para la conservación* y las *amenazas* en el territorio permite identificar las zonas con una alta superposición entre las variables y que, por lo tanto, resultan críticas para

la planeación y monitoreo de compensaciones.<sup>2</sup> A continuación, se describe la forma en que cada uno de estos componentes es calculado por la herramienta, incluyendo las variables tenidas en cuenta en cada caso.

## 2.1. ESTIMACIÓN DE IMPACTOS

Este componente busca identificar las áreas donde los impactos ambientales se están acumulando. Para lograrlo, la herramienta ubica geográficamente la información de los impactos causados por los proyectos que se realizan en el área, así como el impacto sobre la biodiversidad de otras actividades que han generado pérdida de cobertura, como la deforestación. La identificación y cuantificación de estos impactos sobre la biodiversidad resulta crítica a la hora de proponer planes de conservación realmente efectivos (Ervin & Parrish, 2006) y, en este sentido, lo será también para la planeación de las compensaciones ambientales.

Teniendo como base la metodología propuesta por Matthew McPherson *et al.* (2008), la estimación de los impactos ambientales derivados del desarrollo de proyectos y de la deforestación generada por otras actividades se hace teniendo en cuenta la distancia máxima de influencia y la magnitud del impacto. Al usar estas variables para aplicar una función de decadencia y sumar los resultados para todos los elementos en la región, se identifica la variación geográfica en la intensidad de los impactos, así como aquellos lugares donde se acumulan diferentes impactos.

### 2.1.1. Impactos por proyectos

El primer elemento para la estimación de los *impactos* será la identificación de aquellos asociados a los proyectos de desarrollo existentes en la región. La información de entrada necesaria para el cálculo corresponde a los polígonos de cada proyecto, a

los cuales se asignan valores de distancia máxima de influencia e intensidad de impacto. La relación de estas dos variables permite establecer cómo varían geográficamente los *impactos* asociados a cada proyecto.

#### Intensidad del impacto

Esta variable representa el nivel relativo de impacto que los proyectos asociados a una determinada categoría tienen sobre los ecosistemas o las especies (McPherson *et al.*, 2008). Así, grupos de proyectos que producen un mayor efecto negativo sobre la biodiversidad, en comparación con otros, tendrán valores de intensidad más altos. El valor de intensidad es un número entre 0 y 1, donde 1 corresponde a un riesgo muy alto para la biodiversidad por la presencia del proyecto y 0 equivale a ningún riesgo. Debido a esto, el valor no representa una medida absoluta de la intensidad del impacto de los proyectos de cada grupo, sino un valor relativo comparado con los demás.

#### Distancia máxima de influencia

Es la extensión espacial total de la huella del proyecto en el paisaje y representa la distancia máxima (medida en kilómetros) a la que el proyecto tiene un efecto negativo en la biodiversidad (Theobald, 2003). A partir de esta distancia se calcula el área de influencia indirecta y sirve para establecer valores de intensidad por fuera del área de influencia directa. Es decir, a medida que la distancia se incrementa, luego del límite del proyecto, los valores

2. El Anexo I muestra toda la información que es tenida en cuenta para calcular cada una de las variables de los 3 componentes en los que se basa este análisis y la forma como esta información fluye y se relaciona para generar los resultados finales.

de intensidad cambiarán progresivamente, ya que el riesgo para la biodiversidad disminuye de forma gradual hasta alcanzar la distancia máxima, donde la actividad deja de representar un riesgo (McPherson *et al.*, 2008).

Los proyectos evaluados con esta metodología son los pertenecientes a los sectores de hidrocarburos, energía, minería e infraestructura. A pesar de las particularidades propias de los proyectos, cada uno de los sectores presenta características que permiten generalizarlos y agruparlos. Así mismo, dentro de un mismo sector, hay variables o factores que permiten clasificar los proyectos según la magnitud y el tipo de impacto que estos pueden generar sobre la biodiversidad.

Teniendo en cuenta lo anterior, se han creado categorías dentro de las cuales el usuario debe clasificar cada uno de los proyectos analizados, como puede verse en el Cuadro 2. Para cada categoría, se han determinado unos valores estándar para la distancia máxima de influencia e intensidad del impacto. Idealmente, se debería incluir información especifi-

ca de estas variables para cada uno de los proyectos, con base en los estudios ambientales previos. Sin embargo, esta información detallada es difícil de obtener y, dado que para este análisis se quiere una perspectiva general que incluya muchos proyectos, se hace esta generalización por categorías.

Los valores asignados a las variables para las diferentes categorías de proyectos han sido establecidos con base en la revisión de información secundaria y estudios de caso para cada uno de los sectores (Donaldson y Bennett, 2004; McPherson *et al.*, 2008; Muto *et al.*, 2015; Trombulak & Frissell, 2000). No obstante, si el usuario deseara cambiar los valores establecidos por defecto, podrá proporcionar la información del Cuadro 2 como parámetro de entrada del análisis. Allí se deben especificar los valores para la distancia máxima de influencia y la intensidad del impacto para cada categoría. Estas últimas también pueden cambiarse, en tanto los datos del *shape* de entrada y las categorías de los polígonos coincidan con las del cuadro que se proporciona.

Cuadro 2. Categorías para agrupación de proyectos de desarrollo

Sector	Grupo	Categoría	Intensidad	Distancia (km)
<b>Hidrocarburos</b>	Sísmica	H1	0.3	1
	Exploración	H2	1	5
	Explotación	H3	1	5
	Transporte	H4	1	2
	Puertos y refinerías	H5	1	2
<b>Minería</b>	Carbón	M1	1	0.5
	Materiales de construcción	M2	1	0.5
	Piedras preciosas y metales	M3	1	0.5
	Otros minerales	M4	0.25	
<b>Energía</b>	Hidroeléctrica	E1	0.8	3
	Línea de transmisión	E2	0.5	0.2
	Termoeléctrica	E3	0.2	1
<b>Infraestructura</b>	Vía primaria	I1	0.5	0.25
	Vía secundaria	I2	0.25	0.2
	Vía terciaria	I3	0.11	0.15
	Otra vía	I4	0.11	0.1

## Función para estimación de impactos

Para poder realizar la estimación de los *impactos* asociados a los proyectos, es indispensable contar con la ubicación y la categoría a la cual pertenece cada uno de ellos, información que debe ser proporcionada por el usuario. Así se relaciona cada uno de los proyectos con las categorías establecidas, de manera que a cada uno le es asignado un valor de intensidad y distancia máxima.

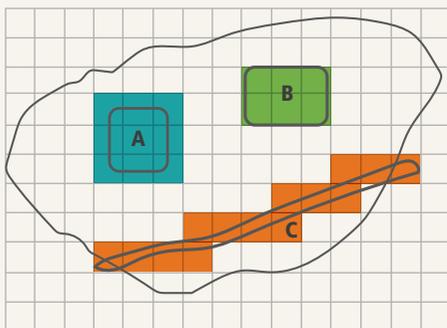
Con base en el valor de distancia máxima asignado para cada polígono, se calcula un *buffer* alrededor de este. Luego, la información del polígono y el *buffer* se pasa de vector a ráster, de manera que, dentro de la región de estudio, se identifican las celdas que caen dentro de cada uno de los polígonos. Así, a todas las áreas **dentro** del polígono del proyecto se les asigna el valor de intensidad correspondiente.

El valor de intensidad para las celdas que caen dentro del área del *buffer* se calcula aplicando una función de decadencia, la cual determina la manera como el valor de intensidad disminuye desde el área de influencia directa del proyecto hasta la distancia máxima de influencia.

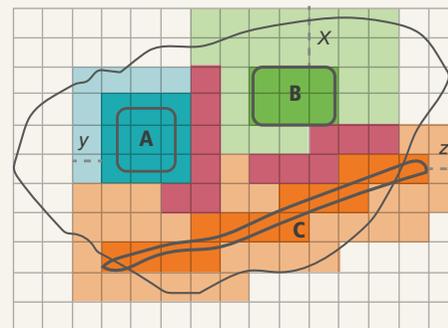
Existen varias funciones que pueden ser usadas; escoger el tipo de función adecuado para una determinada categoría de proyectos requiere estudios detallados, ya que la decisión depende de variables muy específicas, como el tipo de ecosistema sobre el que se estén analizando los impactos (McPherson *et al.*, 2008). En este caso, la herramienta usa una función de decaimiento lineal para todos los proyectos analizados, la cual asume que la intensidad del impacto disminuye constantemente desde el borde del proyecto hasta que se alcanza la distancia de influencia máxima. El Gráfico 2 muestra el proceso y resultado del cálculo de la estimación de *impactos*.

Gráfico 2. Metodología para cálculo de *impactos* por proyectos

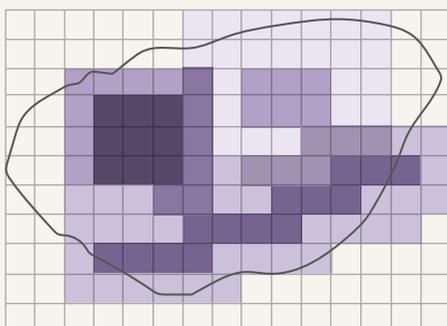
### Paso 1



### Paso 2



### Paso 3



- Celdas con superposición de áreas de influencia
- - - Distancias máximas de influencia

Paso 1. A cada celda dentro de los polígonos se asigna el valor de intensidad correspondiente a la categoría del proyecto.

Paso 2. Con base en la distancia máxima de influencia y la función de decadencia, se hayan *buffers* y valores de intensidad para las celdas que caen dentro de estos.

Paso 3. Se asigna un valor final de impacto por proyectos para cada celda.

Usando esta función lineal se calcula el decaimiento de la intensidad desde las áreas del borde del polígono hasta llegar a las celdas que se encuentran a una distancia igual a la distancia máxima de influencia, donde la intensidad alcanza un valor de 0. Este análisis se hace de manera independiente para cada uno de los polígonos dentro del área de estudio. En el caso de que haya áreas dentro del *buffer* de varios proyectos, su valor de intensidad final estará determinado por la **suma** de la intensidad calculada para la celda en cada uno de los proyectos con influencia sobre esta. Al final se obtendrá un valor de impacto por proyectos para cada una de las celdas.

### 2.1.2. Impactos por deforestación

Al cálculo de los impactos generados por proyectos productivos, se adicionan los impactos calculados a partir de la deforestación existente en la región analizada. Para realizar esta operación, se usa la última versión disponible de los mapas de bosque/no bosque para cada uno de los países de la región. Esta información fue procesada previamente, tal y como se describirá a continuación, y cargada de forma predeterminada en la herramienta, así que está disponible para todos los usuarios.

Sin embargo, es importante aclarar que las capas originales de deforestación y otras usadas para la herramienta no estarán disponibles para consulta o descarga debido a restricciones de uso de esta información, por parte de las instituciones que la generan. Los datos disponibles corresponden a los resultados del procesamiento previo.

Los impactos sobre la biodiversidad generados por la deforestación observada son calculados usando la misma metodología propuesta para calcular los impactos por proyectos (McPherson *et al.*, 2008). Aquí se tiene un valor único de intensidad de impacto y distancia máxima de influencia que será aplicado para todos los focos de deforestación.

Al igual que en el caso de los proyectos, los valores de estas variables dependen del tipo de ecosistema sobre el cual se esté estimando el impacto y, por tanto, debería usarse un valor específico para cada foco de deforestación. No obstante, en la herramienta se han establecido valores que buscan representar un patrón general, de manera que la deforestación pueda ser incluida en los análisis que se hagan en cualquier parte de la región.

### Procesamiento previo de información sobre deforestación

La información de entrada para este análisis es el mapa de bosque/no bosque de cada uno de los tres países, en los cuales se seleccionaron aquellas áreas clasificadas como "No bosque" o "Sin información", que representan los puntos de deforestación actual. A estos, se les asignó un valor de intensidad de 1 (ver Sección 2.1.1), pues las zonas donde ya se ha perdido la cobertura son aquellas en las que el impacto es más grande. Al igual que en el caso de los proyectos, este valor de intensidad es relativo al impacto percibido, en comparación con los demás puntos de impacto, por lo que no representa una medida absoluta de la intensidad del impacto asociado a la deforestación.

Además de los impactos directos que generan estos focos de deforestación, existen otros efectos sobre la biodiversidad, principalmente, los derivados del efecto de borde.

Estos impactos indirectos de la deforestación fueron estimados de la misma manera que aquellos resultantes de los proyectos y se asignó una distancia máxima de influencia desde el borde de los focos de deforestación que corresponde a 2,5 km, en este caso. Luego, usando una función de decaencia lineal, se calculó la intensidad del impacto para cada una de las áreas, desde el foco de deforestación hasta alcanzar la distancia máxima de impacto, donde el valor de intensidad llega a 0.



**Melanosuchus niger**

Fotografía: Pablo Puertas

Como hay áreas que pueden estar en la zona de influencia indirecta de varios puntos de deforestación, el valor del impacto final por deforestación para estas es la **suma** de las intensidades obtenidas de cada punto de deforestación, alcanzando un valor máximo de 1. Esto, dado que no es posible que un área de influencia indirecta tenga un impacto superior al de un área efectivamente deforestada. Con esta información se generó una capa con el valor de intensidad de impacto final por deforestación observada para cada celda, que viene incluida en la herramienta (ver Gráfico 2).

### 2.1.3. Valor del impacto total por celda

Para poder calcular el impacto total sobre cada área, es necesario combinar los resultados obtenidos para el cálculo de las capas de *impactos por proyectos* y de *impactos por deforestación*. Estas dos capas se **suman** para obtener un valor total de *impacto* en cada área. Cuando los impactos por deforestación y por proyectos coinciden en una misma área,

el valor total de su impacto relativo es mayor a 1. Para evitar estos valores, que sobrepasan la escala de impactos, el puntaje de cada celda se normaliza con relación a los valores máximos y mínimos para toda la región de estudio usando la Ecuación 1.

Ecuación 1

$$X_i = \frac{X - X_{min}}{X_{máx} - X_{min}}$$

De esta manera, se obtienen valores finales de intensidad que van de 0 a 1, comparables entre sí. Con estos valores normalizados, se genera una capa con el valor del impacto total por celda, que permite identificar las regiones dentro de la zona de estudio donde se presenta una mayor acumulación de impactos.

En dicha capa, valores cercanos a 1 representan áreas con influencia de varios proyectos o de un único proyecto con mucho impacto, mientras que áreas con valores cercanos a 0 son aquellas que están sufriendo en menor medida los impactos de proyectos actuales y deforestación.

### 2.1.4. Valor del impacto total por subcuenca

Como ya se indicó antes, la unidad de análisis que usa la herramienta para la identificación de áreas prioritarias es la subcuenca hidrográfica. Dado esto, para hallar el valor del impacto por subcuenca, se **suma** el valor de impacto de cada celda dentro de esta. Luego, el valor total es corregido por el tamaño de la subcuenca, como indica la Ecuación 2.

Ecuación 2

$$\text{Valor total subcuenca} = \frac{\sum_{i=0}^n \text{Valor total celda}_i}{\# \text{ total de celdas dentro de la subcuenca}}$$

El valor de impacto total por subcuenca permitirá que cada una de ellas sea clasificada en una de las tres categorías de impacto: alta, media o baja, que son definidas según umbrales naturales de la distri-

El valor de impacto total ubica las áreas en las categorías de impacto alto, medio o bajo. Con esa información se crea el mapa de impacto por subcuencas que utiliza la herramienta.

bución de los valores para todas las subcuencas en la región. Tras hacer esta clasificación, se genera un mapa de impacto por subcuencas que sirve como información de entrada para el análisis de identificación de áreas prioritarias/críticas para planeación y monitoreo de compensaciones (ver Gráfico 2).

## 2.2. IMPORTANCIA PARA LA CONSERVACIÓN

El segundo elemento que se debe considerar a fin de determinar la priorización de áreas para compensaciones es la importancia en términos de conservación de la región. Esta se determina con variables de dos componentes: *ecosistemas* y *especies*, que son evaluadas de forma independiente y, luego, se combinan y generan un único valor de *importancia para la conservación* por subcuenca, como se observa en el Gráfico 3.

Con el fin de facilitar el uso de la herramienta por parte de diversos usuarios, el análisis para la identificación de la *importancia para la conservación* –realizado con base en la información oficial de ecosistemas para cada uno de los países de la región– está predeterminado en la herramienta. Sin embargo, si un usuario tiene disponibles datos más detallados sobre los ecosistemas y especies dentro de su área

de interés, podrá proporcionarlos como variables de entrada en la herramienta. A continuación, se describe la ruta metodológica seguida para calcular la *Importancia para la conservación por Ecosistemas y Especies*.

### 2.2.1. Importancia por ecosistemas

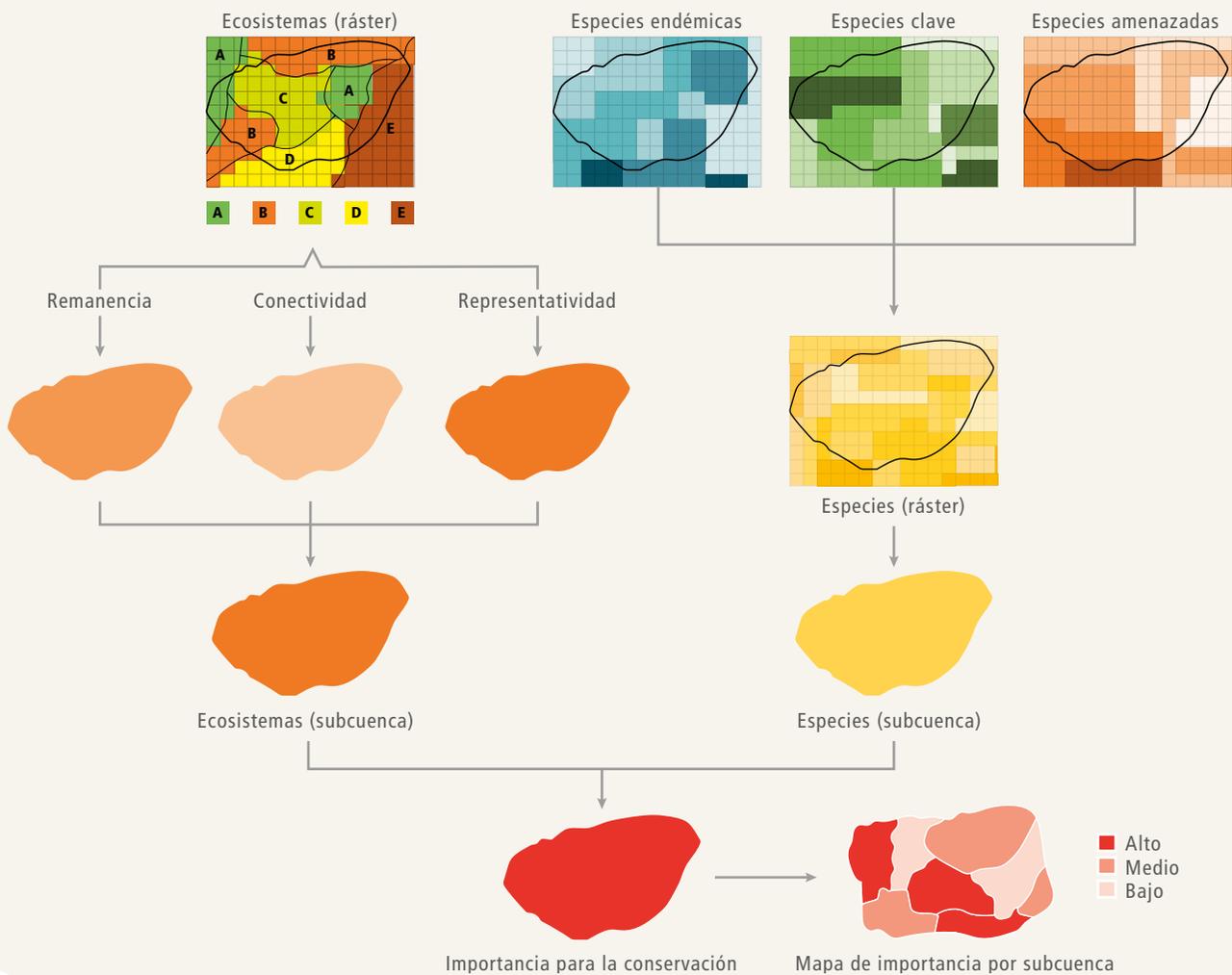
El primer componente a evaluar son los ecosistemas presentes en el área de análisis y sus características. Haciendo uso de la información de distribución de los ecosistemas de cada uno de los tres países estudiados, se calculan tres variables: conectividad, porcentaje de cobertura natural y representatividad, las cuales indican la presencia de elementos importantes, en términos biológicos, que deberían ser conservados.

Las variables mencionadas, con excepción del porcentaje de cobertura natural, están asociadas a los ecosistemas concretos presentes en cada país, por lo que son calculadas de manera independiente para cada uno de ellos. Una vez hechos los cálculos **por ecosistema** para una de las variables, se identifican los ecosistemas presentes en cada subcuenca y el porcentaje del área total de la misma. Ya que la unidad de análisis es la subcuenca, se

deben hallar valores totales de cada variable por subcuenca (ver Gráfico 3). Para esto, se calcula el promedio ponderado de los valores de cada variable, obtenidos para cada ecosistema presente en una subcuenca, donde el porcentaje de área total será el peso relativo para cada uno de estos, como se puede ver en la Ecuación 3. A continuación, se indica la manera en que se calculó cada variable.

## Ecuación 3

$$\text{Valor subcuenca} = \sum_{i=1}^n (\text{variable en ecosistema}_i * \text{proporción de área de ecosistema}_i)$$

Gráfico 3. Resumen de la metodología para identificar la *importancia para la conservación*

## Conectividad

En aras de establecer la *Importancia para la conservación* de una región particular, es importante determinar el estado de los ecosistemas que allí se encuentran. Un indicador de ese estado es la conectividad que hay entre los parches de un mismo ecosistema. La conectividad del paisaje facilita el movimiento de los organismos, el intercambio genético entre las poblaciones y los flujos necesarios para el mantenimiento y supervivencia de la biodiversidad (Fahrig, 2003). Debido a esto, la fragmentación de los ecosistemas tiene consecuencias importantes sobre la biodiversidad (Harper *et al.*, 2005; Harris, 1988). A pesar de que la conectividad es una variable que se mide tradicionalmente para los parches de un bosque, en este caso pretende estimar la tendencia general de los ecosistemas dentro de cada subcuenca, lo que implica que sea calculada entre los polígonos correspondientes a un mismo ecosistema. Así pues, se identifican los fragmentos que corresponden a un mismo ecosistema y se estima la conectividad entre estos, calculando la distancia mínima promedio entre todos los polígonos que corresponden a un solo ecosistema. Este valor es asignado como el valor total de conectividad a todo el ecosistema.

## Porcentaje de cobertura natural

Además de la conectividad, otra forma de aproximarse al estado de la biodiversidad es mediante la evaluación del grado de transformación de los ecosistemas en una región. Áreas con mayor proporción de cobertura natural tienen mayor importancia para la conservación. Con el fin de estimar el porcentaje de cobertura natural para cada una de

las subcuencas, se hace uso de los más recientes mapas de cobertura disponibles para cada uno de los países en la región. Con base en estos mapas, se calcula la proporción del área total de la subcuenca que corresponde a polígonos de coberturas naturales. Esta variable, por lo tanto, **no es calculada para cada ecosistema** sino que representa una tendencia general de todos los ecosistemas en una misma subcuenca.

## Representatividad

La representatividad de los *Ecosistemas* dentro del sistema de áreas protegidas de cada uno de los países determina también su *Importancia para la conservación*. Ecosistemas muy bien representados en los sistemas de áreas protegidas serán menos importantes que aquellos que aún no están incluidos o que están muy poco representados. La representatividad de cada uno de los ecosistemas es calculada con la Ecuación 4.

### Ecuación 4

$$\% \text{ Ecosistema en AP} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Área ecosistemas en AP}_i}{\text{Área total ecosistemas}}$$

## Valor total de importancia de Ecosistemas por subcuenca

Los valores hallados para cada una de las variables por subcuenca fueron normalizados usando la Ecuación 1 para obtener valores entre 0 y 1. Una vez se han calculado y normalizado todas las variables, para cada una de las subcuencas se obtiene un valor final de *Ecosistemas* por medio de la Ecuación 5.

### Ecuación 5

$$\text{Ecosistemas} = (\text{Conectividad} * C_1) + (\% \text{ cobertura natural} * C_2) - (\text{Representatividad} * C_3)$$

Aquí, los pesos de cada una de las variables ( $C_i$ ) pueden ser determinados por el usuario de la herramienta al momento de establecer los parámetros de entrada, dependiendo de los objetivos de

conservación que se tengan. Si no hay información suficiente para asignar valores diferenciales a cada variable, se recomienda usar el mismo peso para todas.

## 2.2.2. Importancia por especies

El segundo factor esencial para evaluar la importancia biológica de las regiones es la composición de especies que allí se encuentran. Con el uso de mapas de distribución de especies de mamíferos, anfibios, reptiles (IUCN, 2014) y aves (BirdLife & NatureServe, 2014), se generaron tres mapas en formato ráster que contienen el número de especies para cada una de las siguientes categorías:

### Especies endémicas

Con base en los mapas de distribución disponibles y los límites políticos de los tres países en la región, se identificaron las especies endémicas por país. Luego, los polígonos de estas especies identificadas fueron convertidos a ráster y se sumaron para obtener el número total de especies endémicas presentes en cada área.

### Especies amenazadas

Se identificaron mapas de distribución de especies que se encuentran en alguna de las categorías de amenaza: Peligro Crítico (CR), Peligro (EN) y Vulnerable (VU). Los polígonos de distribución para estas especies fueron pasados a formato ráster y se sumaron para obtener un número total de especies amenazadas presentes por área.

### Especies migratorias

Para el caso de las especies de aves, se identificaron aquellas que son migratorias y que, por tanto, solo están presentes en la región de la Amazonía Andina durante unas temporadas del año. La identificación de estas especies se hizo apoyándose en la información de estacionalidad asociada a cada una de ellas, presente en la base de datos de BirdLife & NatureServe (2014), de donde se seleccionaron todas las especies clasificadas en las categorías *Non-breeding season* y *Passage*. Al igual que en los casos anteriores, los polígonos para estas especies fueron convertidos a ráster y sumados para obtener el número total de especies migratorias por área.

## Valor total por especies

Con los datos por área para cada una de las categorías de especies, los tres mapas se suman para obtener un valor total de *especies* por área, de acuerdo con la Ecuación 6. La herramienta pretende ser flexible y permitir al usuario establecer los pesos de las variables como lo considere más apropiado para el caso de estudio. Por lo tanto, los valores de las constantes en la Ecuación 6 ( $C_x$ ) serán establecidos por él. Al igual que en el caso de la importancia por *ecosistemas*, se sugiere usar el mismo peso para todas las variables en caso de no tener información adicional.

### Ecuación 6

$$\text{Especies} = (\# \text{ sp. migratorias} * C_1) + (\# \text{ sp. endémicas} * C_2) + (\# \text{ sp. amenazadas} * C_3)$$

Por último, el valor de importancia de *especies* que ha sido calculado por área es traducido a un valor total para la subcuenca. Para esto, se halla un promedio del valor de importancia por *especies* para cada una de las áreas dentro de una subcuenca, según lo muestra la Ecuación 7.

### Ecuación 7

$$\text{Especies por subcuenca} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Valor especies celda}_i}{n}$$

Los valores obtenidos para *especies* de cada cuenca se normalizan a fin de obtener valores de importancia que estén entre 0 y 1. Esta cifra total por subcuenca representa la *importancia para la conservación* de esta área con base en la presencia de especies importantes en relación con las demás subcuencas de la región de estudio.



**Río Lagarto. Ecuador.**

Fotografía: Galo Zapata Ríos

### 2.2.3. Valor total de Importancia para la conservación

Después de calcular los valores de importancia para *ecosistemas y especies* por separado, se halla un valor total de *importancia para la conservación* para cada una de las subcuencas, usando la Ecuación 8. El cálculo de este valor depende del peso que se quiera asignar a cada uno de los componentes y, al igual que ocurre en los casos anteriores, los valores de las constantes podrán ser modificados dependiendo de los objetivos específicos de conservación que se tengan.

Ecuación 8

$$\text{Importancia} = \frac{(\text{Ecosistemas} * C_1) + (\text{Especies} * C_2)}{2}$$

Una vez obtenidos los valores totales, se establecen tres categorías de *importancia para la conservación*, según umbrales naturales de la distribución de los valores para todas las subcuencas en la región. A partir de ellos, se clasifica cada subcuenca como de alta, media o baja importancia. Al final, se obtie-

ne un mapa de la categoría *importancia para la conservación* por subcuenca, lo que permite identificar las regiones geográficas que resultan prioritarias para la conservación.

Después de calcular los valores de importancia para *ecosistemas y especies*, se halla un valor total de *importancia para la conservación* por subcuenca y se establecen tres categorías de importancia para la conservación: alta, media o baja, a partir de las cuales se puede elaborar el mapa de la categoría *Importancia para la conservación por subcuenca*.

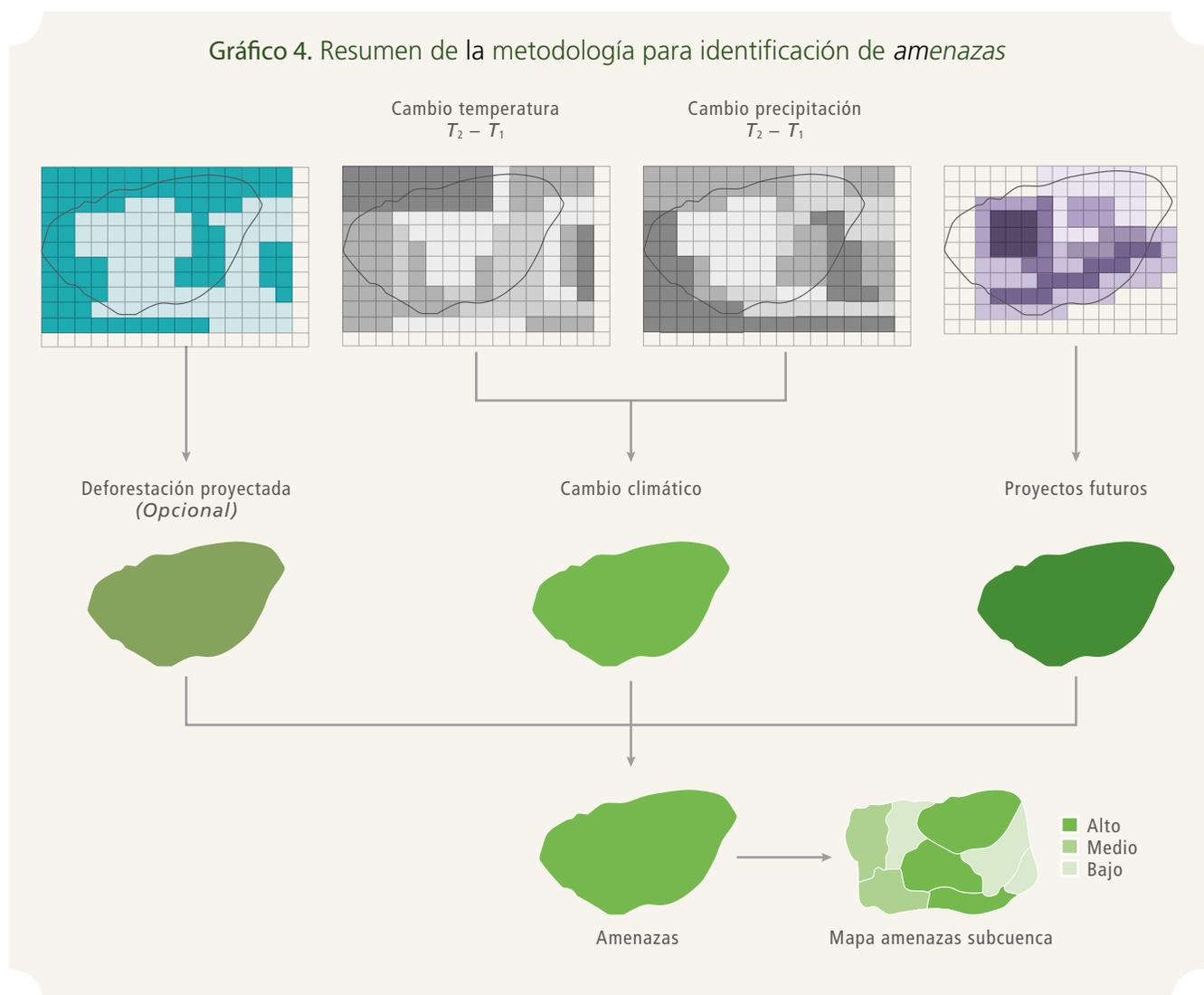
## 2.3. AMENAZAS

Son el tercer componente a tener en cuenta en la identificación de áreas prioritarias para las compensaciones ambientales y se definen por todos aquellos factores que suponen un potencial efecto negativo sobre los elementos de la biodiversidad. Entre estos factores, se encuentran la ganadería, la ampliación de frontera agrícola y demás actividades que generan transformación y pérdida de la cobertura vegetal. De igual manera, los proyectos de desarrollo que se planean a futuro en la región son una potencial amenaza para los ecosistemas. Finalmente y dado el contexto actual, otra amenaza

importante que vale la pena considerar es el cambio climático.

Dado que la información asociada a algunas de estas variables puede ser muy difícil de estimar, algunas de ellas no son obligatorias para el análisis y solo se incluirán en caso de que el usuario cuente con esos datos. El Gráfico 4 muestra la metodología usada para estimar cada una de las variables de amenaza sobre la biodiversidad en la región. La forma para calcular cada una de ellas es descrita en detalle, a continuación.

Gráfico 4. Resumen de la metodología para identificación de *amenazas*



### 2.3.1. Deforestación proyectada

A diferencia de los *impactos*, que están asociados a actividades desarrolladas en la zona, las *amenazas* son proyecciones y modelos a futuro que se hacen para estas variables. En este sentido, es necesario contar con una gran cantidad de información, suficientemente detallada, para poder estimar la probabilidad de que estas amenazas ocurran sobre el territorio. Para el caso de la deforestación, es necesario tener un modelo que incluya las principales variables que la generan (ganadería, ampliación de la frontera agrícola, variables socioeconómicas, etc.).

Esta información es difícil de obtener, por lo que esta es una variable **opcional** en la herramienta. Así, solo si el usuario tiene un modelo de proyección de deforestación para el área de estudio, este podrá ser incluido en el análisis.<sup>3</sup> De lo contrario, las *amenazas* se calcularán únicamente con base en los proyectos futuros de la región y las proyecciones de cambio en temperatura y precipitación.

### 2.3.2. Proyectos de desarrollo futuros

La única información que debe ser proporcionada de manera obligatoria por el usuario para calcular la amenaza en cada una de las subcuencas son los polígonos de los proyectos que están planeados a futuro dentro del área de estudio. Usando esta información, se sigue la misma metodología usada para la estimación de los impactos por proyectos actuales (ver Sección 2.1.1), en donde se asigna una distancia de influencia máxima y una magnitud de impacto para cada una de las categorías de proyectos. Al final, se genera un mapa de amenaza por proyectos futuros y por subcuenca, donde valores cercanos a 1 representan regiones con mayor amenaza relativa a causa de este tipo de proyectos y en relación con las demás subcuencas incluidas en el área de estudio.

### 2.3.3. Cambio climático

Los cambios en la temperatura y la precipitación que se proyectan como consecuencia del cambio climático van a tener efectos importantes sobre la distribución de las especies y ecosistemas (Hughes, 2000; McCarty, 2001). Para poder estimar estos efectos sobre la distribución de la biodiversidad, es necesario el desarrollo de modelos de distribución de las especies y la proyección de estos bajo escenarios de cambio climático.

La comparación de la distribución actual y la distribución proyectada a futuro permite identificar las regiones donde se predice un mayor cambio, así como zonas de persistencia de las especies y ecosistemas a través del tiempo. Sin embargo, la elaboración de estos modelos requiere un trabajo extenso de búsqueda de información de ocurrencia de las especies, que luego debe ser combinada con modelos climáticos y escenarios de cambio. En el caso de esta herramienta, se usan las proyecciones de variación en temperatura y la precipitación como *proxys* de la amenaza del cambio climático en la región de la Amazonía Andina.

Se obtuvieron los datos actuales de dos variables bioclimáticas que representan la variación de la temperatura (Bio 2 = Rango medio de temperatura diurna) y la precipitación (Bio 12 = Precipitación anual) para toda la región, a una resolución de 1 km<sup>2</sup> de la base de datos de *WorldClim* (Hijmans, Cameron, Parra, Jones & Jarvis, 2005). De igual manera, se obtuvieron las proyecciones a 2050 para las mismas variables bioclimáticas en uno de los modelos climáticos (HadGEM2-AO) y en uno de los escenarios (RCP4.5) de cambio climático que han sido propuestos en el CMIP5 (Meehl *et al.*, 2009).

Con estos datos, se calculó el cambio en ambas variables bioclimáticas para cada una de las celdas dentro del área estudiada. Luego, se halló el

3. El modelo de deforestación que el usuario puede usar debe cumplir con una serie de requisitos técnicos que están especificados en el manual de usuario para esta herramienta, de forma que la información pueda ser incluida correctamente en el análisis.

valor promedio de cambio para las celdas dentro de una misma subcuenca con el fin de obtener un valor total por variable bioclimática, de acuerdo con la Ecuación 9. Estos valores, a su vez, fueron

normalizados usando la Ecuación 1. Como al final se requería un solo valor de amenaza por cambio climático y por subcuenca, los valores normalizados obtenidos para cada variable se promediaron.

Ecuación 9

$$\text{Var. bioclim. por subcuenca} = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Valor futuro} - \text{Valor presente})_i}{n}$$

### 2.3.4. Valor total de amenaza por subcuenca

Después de calcular los valores por subcuenca para cada una de las tres variables de amenaza consideradas, se halla un valor total de *amenaza* para la subcuenca siguiendo la Ecuación 10. Al igual que en los casos anteriores, los valores de los pesos que se dan a cada una de las variables son determinados por el usuario, pero se sugiere dar un menor peso a las proyecciones de cambio climático y deforestación, ya que son las variables en donde hay mayor incertidumbre.

Al igual que se hace con los *impactos* y la *importancia para la conservación*, a los valores totales de *amenaza* por subcuenca se les otorga una categoría (alta, media o baja), con la que se elabora el mapa final de amenazas por subcuenca.

Ecuación 10

$$\text{Amenaza} = \frac{(\text{Deforestación}^4 * C_1) + (\text{Proy. futuros} * C_2) + (\text{Cambio climático} * C_3)}{3}$$

## 2.4. IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS CRÍTICAS

Una vez los *impactos* por proyectos, la *importancia para la conservación* y las *amenazas* son calculados para cada subcuenca en el área de estudio, la herramienta comparará estos tres componentes a fin de identificar las áreas prioritarias o críticas para planeación y monitoreo de compensaciones, tal como se ve en el Gráfico 5.

Dado que se halla una categoría por subcuenca para cada uno de los componentes, la categoría final de prioridad resulta de la combinación de los resultados obtenidos por cada subcuenca, de acuerdo con el Gráfico 6. De esta manera, se genera un mapa de categoría de prioridad para cada subcuenca dentro del área de estudio que permite identificar regiones donde se debe poner especial cuidado a la hora de planear y monitorear las compensaciones ambientales.

4. La variable *Deforestación* es opcional en el modelo.

Gráfico 5. Ruta metodológica para obtener mapa de superposición por subcuenca a partir de mapas de *importancia biológica e impactos por proyectos*

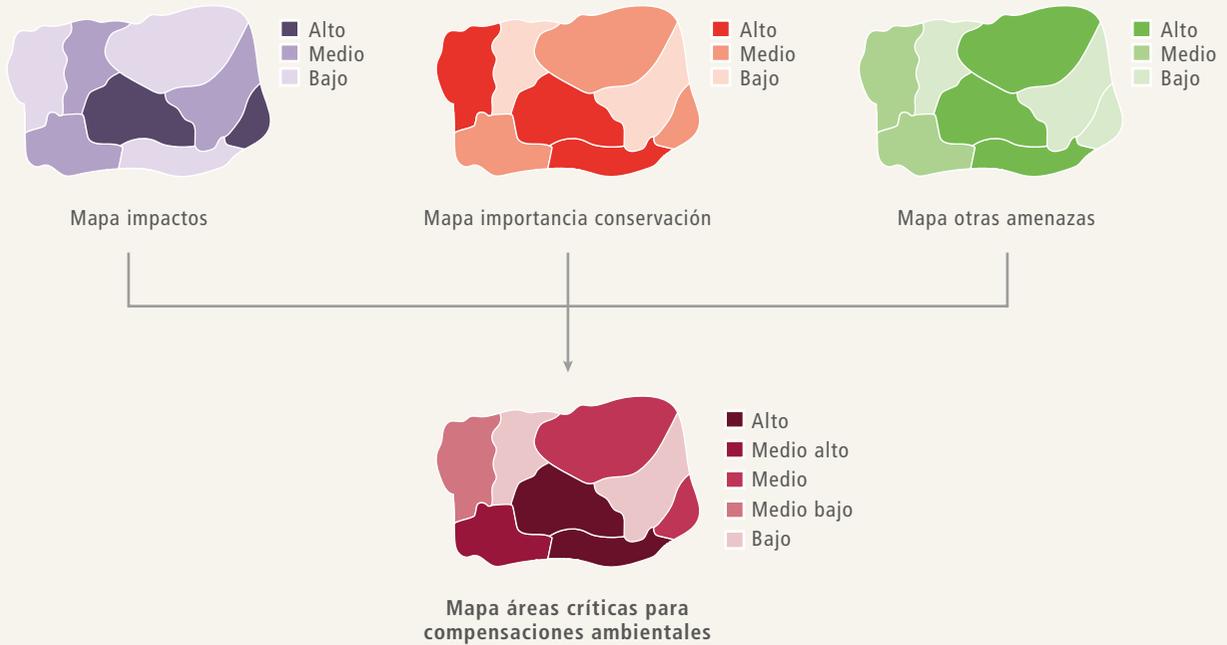
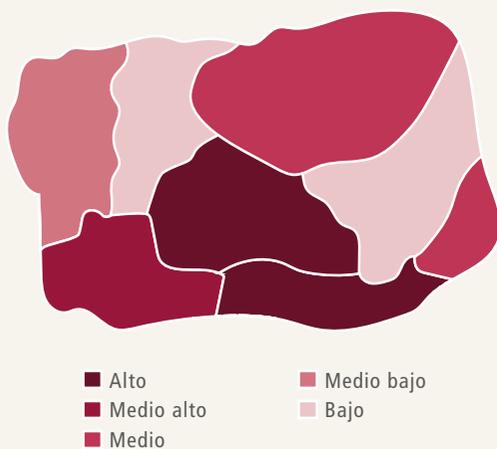


Gráfico 6. Relación entre categorías obtenidas para *impactos, importancia para la conservación y amenazas* con el fin de identificar la categoría de prioridad de cada subcuenca



Categoría de variables de análisis			Categoría de prioridad de compensaciones
Impactos	Importancia	Amenazas	
Alto	Alto	Alto	Alto
Alto	Alto	Medio	Alto
Alto	Alto	Bajo	Medio alto
Alto	Medio	Medio	Medio alto
Alto	Medio	Bajo	Medio
Medio	Medio	Medio	Medio
Alto	Bajo	Bajo	Medio bajo
Medio	Medio	Bajo	Medio bajo
Medio	Bajo	Bajo	Bajo
Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

## 2.5. ESTRATEGIAS DE COMPENSACIÓN

Las estrategias de compensación recomendadas en cada región identificada como crítica o prioritaria, van a ser determinantes para asegurar la conservación de la biodiversidad. En este sentido, la herramienta permite al usuario proponer las estrategias de compensación que resulten más adecuadas para las regiones priorizadas, teniendo en cuenta sus particularidades y el objetivo de no pérdida neta de biodiversidad.

A fin de poder determinar cuál es el tipo de compensación más apropiado para cada unidad de análisis, la herramienta genera un análisis adicional en el que se evalúan las variables relacionadas con el estado de los *ecosistemas* y la presencia de *amenazas*, así como la presencia de varios proyectos por unidad de análisis para determinar si una estrategia agregada resulta viable o no.

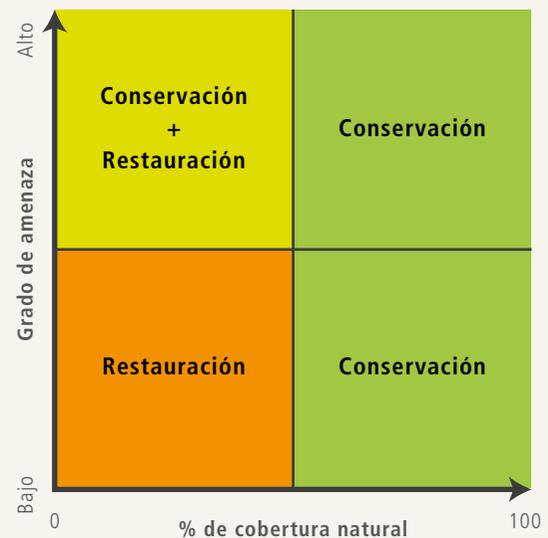
### 2.5.1. Compensaciones agregadas vs. individuales

Como primer paso para proponer una guía de los esquemas de compensación a implementar, se hace una evaluación del número de proyectos presentes en cada una de las unidades de análisis. Para esto, la herramienta hace una intersección entre los polígonos para los proyectos y el polígono de cada una de las cuencas o subcuencas, lo que genera una tabla de número de proyectos por unidad de análisis. A aquellas que se encuentren dentro del área de influencia directa de más de un proyecto, les será sugerida una estrategia de compensación agregada. Si por el contrario, el número de polígonos dentro del área de una determinada unidad de análisis es igual a 1, la estrategia de compensación sugerida será la individual.

### 2.5.2. Tipo de compensación ambiental

Una vez son identificadas aquellas regiones con oportunidades para la planeación de compensaciones agregadas o individuales, se realiza otro análisis que permite identificar las acciones de compensación (*restauración* o *conservación*) que resultan más convenientes en cada región. Para dicho análisis, se obtiene el porcentaje de cobertura natural y el nivel de amenaza para cada una de las unidades de análisis dentro del área de estudio. Estos valores se relacionan entre sí para determinar el tipo de compensación pertinente, con base en el Gráfico 7.

Gráfico 7. Relación entre porcentaje de cobertura natural y grado de amenaza



La relación entre porcentaje de cobertura natural y grado de amenaza en cada una de las regiones determina el tipo de compensación más adecuado.



*Ara macao*

Fotografía: Pablo Puertas

### 2.5.3. Resultados

Al finalizar los cálculos previos, a cada una de las unidades se le habrá asignado una de las dos categorías para *estrategia de compensación* (agregada o individual) y una categoría para *tipo de compensación* (restauración, conservación, o conservación más restauración). Estos resultados se muestran en un mapa –como lo indica el Gráfico 8–, el cual puede ser descargado junto con una tabla donde se incluyan los resultados del análisis de las variables de *ecosistemas* y *especies* para cada unidad. Esta información servirá al usuario para guiar la búsqueda de las acciones específicas de compensación que podrían llegar a ser implementadas en una región.

La herramienta genera mapas y tablas que resumen los resultados y permiten al usuario saber qué tipo de iniciativas específicas para la conservación son más apropiadas en la región analizada.

Gráfico 8. Mapa de resultado para el análisis de estrategias de compensación



#### Tipo

- Conservación
- Conserv. + Rest.
- Restauración

#### Estrategia

- Individual
- Agregada



*Opisthocomus hoazin*

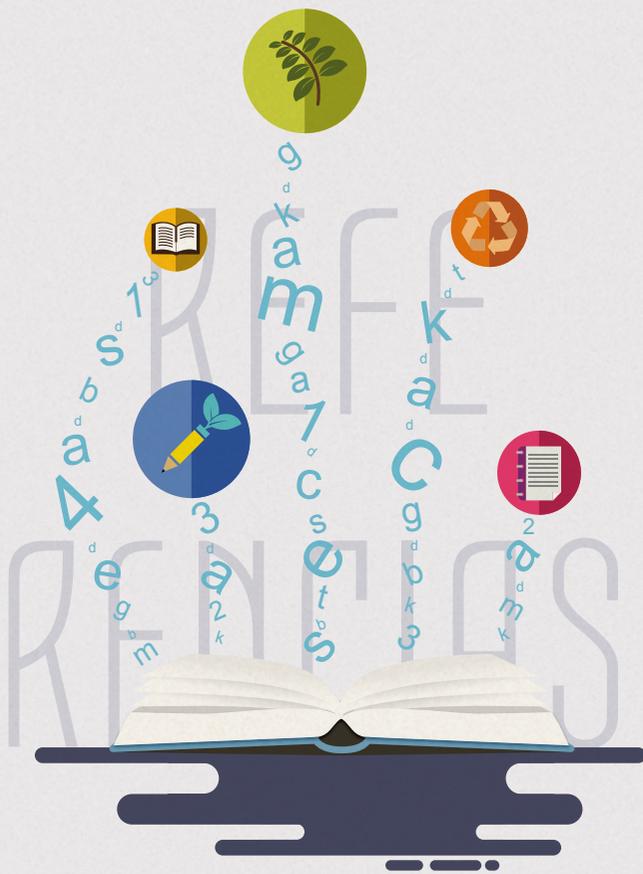
Fotografía: Daniela Racines

## 2.6. RESULTADOS FINALES, CONCLUSIONES Y LIMITACIONES

Al terminar de correr el análisis, el usuario será capaz de identificar aquellas subcuencas que resultan críticas o prioritarias dentro de su área de estudio, a la vez que obtendrá una propuesta sobre la estrategia de compensación que se recomienda para estas regiones. Esta identificación se hace con base en los mapas de categoría de prioridad y de estrategia de compensación por subcuenca, generados previamente, y que estarán a disposición de los usuarios para ser analizados y sacar de ellos las conclusiones pertinentes. Estos resultados pretenden servir como una alerta inicial para las autoridades territoriales y otras organizaciones sectoriales; sin embargo, deben ser entendidos como una primera aproximación.

Análisis más detallados al interior de las subcuencas donde se incluyan, por ejemplo, variables socio-económicas o información predial, serán necesarios a la hora de diseñar e implementar planes de compensación efectivos con los que se alcance la meta de no pérdida neta de biodiversidad. Las compensaciones ambientales son un instrumento poderoso si son implementadas correctamente y permiten el desarrollo de los sectores productivos a la vez que protegen la biodiversidad y sus servicios. Esta herramienta pretende brindar elementos técnicos que permitan alcanzar este objetivo y generar planes de compensación más efectivos.

# REFERENCIAS



**Banco Interamericano de Desarrollo (BID)** (2015). *Números para el desarrollo* [Organización Multilateral].

**BirdLife & NatureServe (2014)**. *Bird Species Distribution Maps of the World*.

**Business and Biodiversity Offsets Programme (BBOP) (2012)**. *Standard on Biodiversity Offsets*. Washington, D.C.: BBOP.

**Coca, A., Reymondin, L., Tello, J. J. & Paz, P. (2013)**. *La deforestación en la región del Amazonas en 8 países según datos del sistema Terra-i*. Recuperado de [https://docs.google.com/document/d/10wC5hzJRTA5jCTd1hBU-nEFh9sMvdlq4CuAOaZ1g\\_cXo/edit?usp=sharing](https://docs.google.com/document/d/10wC5hzJRTA5jCTd1hBU-nEFh9sMvdlq4CuAOaZ1g_cXo/edit?usp=sharing)

**Conservación Internacional (2015)**. *Tremarctos Colombia 3.0 – Sistema de alertas tempranas*.

**Donaldson, A. & Bennett, A. (2004)**. *Ecological Effects of Roads: Implications for the internal fragmentation of Australian parks and reserves*. Parks Victoria Technical Series No. 12. Parks Victoria, Melbourne. [http://parkweb.vic.gov.au/\\_data/assets/pdf\\_file/0017/314450/19\\_1161.pdf](http://parkweb.vic.gov.au/_data/assets/pdf_file/0017/314450/19_1161.pdf)

**Ervin, J. & Parrish, J. (2006)**. *Toward a Framework for Conducting Ecoregional Threats Assessments*. In C. Aguirre-Bravo, P. J. Pellicane, D. P. Burns & S. Draggan (Eds.), *Monitoring Science and Technology Symposium: Unifying Knowledge for Sustainability in the Western Hemisphere Proceedings* (pp. 105-112). Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

**Fahrig, L. (2003)**. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34(1), 487-515. <http://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419>

**Finer, M. & Orta-Martínez, M. (2010)**. A second hydrocarbon boom threatens the Peruvian Amazon: trends, projections, and policy implications. *Environmental Research Letters*, 5(1), 014012. <http://doi.org/10.1088/1748-9326/5/1/014012>

**Harper, K. A., MacDonald, S. E., Burton, P. J., Chen, J., Brosnoff, K. D., Saunders, S. C., Euskirchen, ... & Esseen, P.-A. (2005)**. Edge Influence on Forest Structure and Composition in Fragmented Landscapes. *Conservation Biology*, 19(3), 768-782. <http://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00045.x>

**Harris, L. D. (1988)**. Edge Effects and Conservation of Biotic Diversity. *Conservation Biology*, 2(4), 330-332 CR – Copyright &#169; 1988 Wiley. <http://planet.botany.uwc.ac.za/nisl/Gwen's%20Files/Articles/EdgeHarris.pdf>

- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G. & Jarvis, A. (2005).** Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(15), 1965-1978. <http://doi.org/10.1002/joc.1276>
- Hughes, L. (2000).** Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends in Ecology & Evolution*, 15(2), 56-61. [http://doi.org/10.1016/S0169-5347\(99\)01764-4](http://doi.org/10.1016/S0169-5347(99)01764-4)
- IUCN (2014).** The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.1.
- McCarty, J. P. (2001).** Ecological Consequences of Recent Climate Change. *Conservation Biology*, 15(2), 320-331. <http://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2001.015002320.x>
- McPherson, M., Schill, S., Raber, G., John, K., Zenny, N., Thurlow, K., & Sutton, A. H. (2008).** GIS-based Modeling of Environmental Risk Surfaces (ERS) for Conservation Planning in Jamaica. *Journal of Conservation Planning*, 4, 60-89.
- Meehl, G. A., Goddard, L., Murphy, J., Stouffer, R. J., Boer, G., Danabasoglu, G., ... Stockdale, T. (2009).** Decadal Prediction. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 90(10), 1467-1485. <http://doi.org/10.1175/2009BAMS2778.1>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales & The Nature Conservancy (2012).** Manual del usuario para la herramienta MAFE Versión 2 - Mapeo de Fórmulas Equivalentes. Convenio de Asociación No. 25 del 2012.
- Muto, T. J., Rodríguez, J. V., Arjona, F., Ruiz, C., Cárdenas, S., Sandoval, W., Cadena, A., ... & Medina, C. (2015).** *Tremarctos Colombia 3.0 – Sistema de alertas tempranas*. Minería. Bogotá D.C. Recuperado de [www.tremarctoscolombia.org/pdf/TCo3.0\\_v1\\_M.pdf](http://www.tremarctoscolombia.org/pdf/TCo3.0_v1_M.pdf)
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A. B. & Kent, J. (2000).** Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403, 853-858. <http://doi.org/10.1038/35002501>
- Olson, D. M. & Dinerstein, E. (2002).** The Global 200: Priority Ecoregions for Global Conservation on JSTOR. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 98(2), 199-224.
- Quétier, F. & Lavorel, S. (2011).** Assessing ecological equivalence in biodiversity offset schemes: Key issues and solutions. *Biological Conservation-BIOL CONSERV*, 144(12), 2991-2999. <http://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.09.002>
- R Core Team (2014).** R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Red Amazónica de Información Socioambiental Georeferenciada (RAISG) (2012).** *Amazonía bajo presión*. São Paulo. [http://raisg.socioambiental.org/system/files/AmazoniaBajoPresion\\_21\\_03\\_2013.pdf](http://raisg.socioambiental.org/system/files/AmazoniaBajoPresion_21_03_2013.pdf)
- Rodrigues, A. S. L., Akçakaya, H. R., Andelman, S. J., Bakarr, M. I., Boitani, L., Brooks, T. M., ... & Yan, X. (2004).** Global Gap Analysis: Priority Regions for Expanding the Global Protected-Area Network. *BioScience*, 54(12), 1092-1100. [http://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[1092:GGAPR-F\]2.0.CO;2](http://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[1092:GGAPR-F]2.0.CO;2)
- Sarmiento, M., López, A. & Mejía, A. (2014).** Hacia un sistema de bancos de hábitat como herramienta de compensación ambiental en Colombia. *Fundepúblico*. Recuperado de <http://fundepublico.org/wp-content/uploads/2014/05/Capitulo-1.pdf>
- Swenson, J. J., Carter, C. E., Domec, J.-C. & Delgado, C. I. (2011).** Gold mining in the Peruvian Amazon: global prices, deforestation, and mercury imports. *PLoS One*, 6(4), e18875. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0018875>
- The Biodiversity Consultancy (2015).** Mitigation Hierarchy. Recuperado de <http://www.thebiodiversityconsultancy.com/approaches/mitigation-hierarchy/>
- The International Council of Mining and Metals & International Union for Conservation of Nature (2012).** *Independent report on biodiversity offsets*. <https://www.icmm.com/document/4934>
- Theobald, D. M. (2003).** Targeting conservation action through assessment of protection and exurban threats. *Conservation Biology*, 17(6), 1624-1637. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1523-1739.2003.00250.x/abstract>
- Trombulak, S. C. & Frissell, C. A. (2000).** Review of Ecological Effects of Roads on Terrestrial and Aquatic Communities. *Conservation Biology*, 14(1), 18-30. <http://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.99084.x>

# ANEXOS

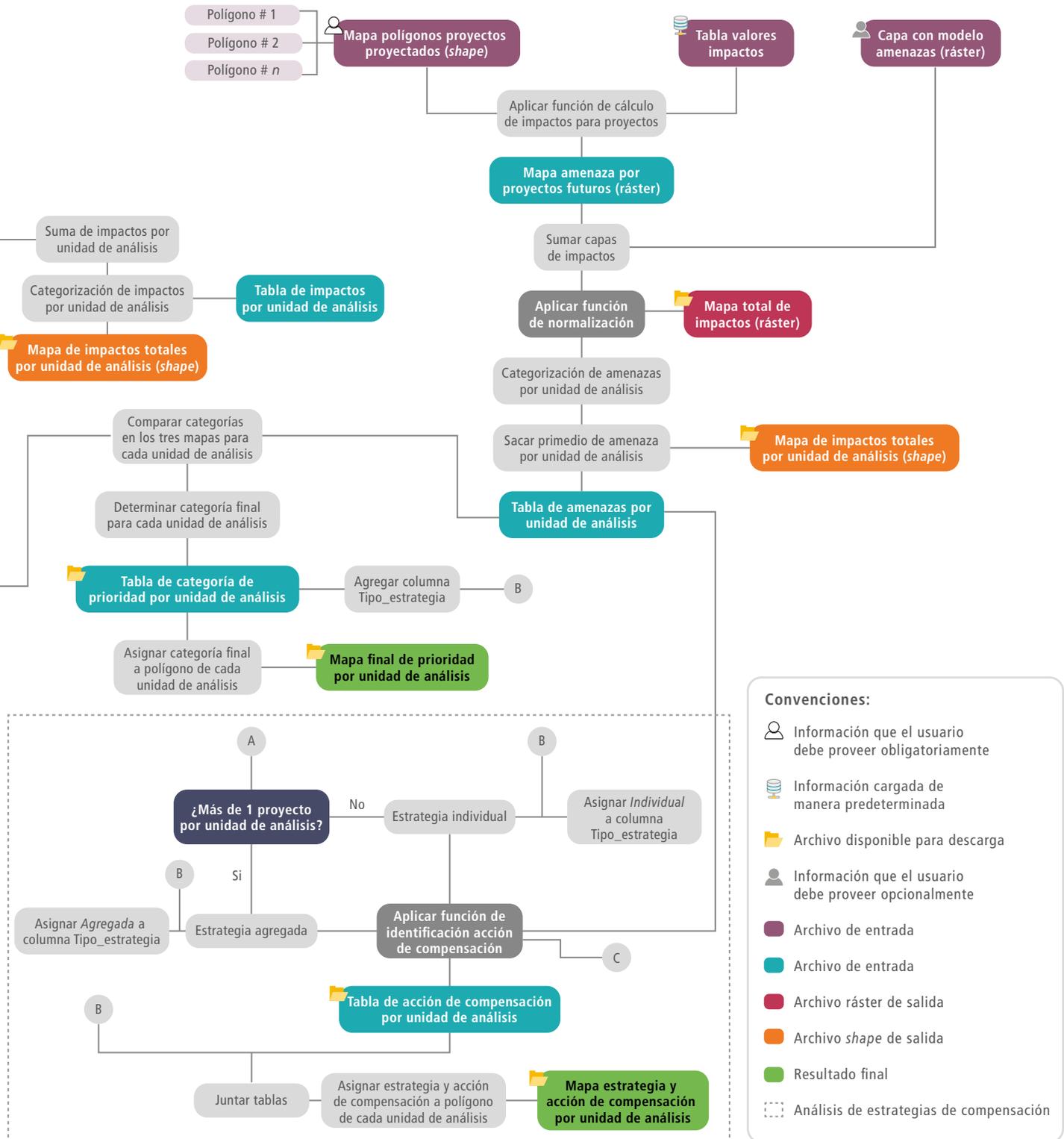


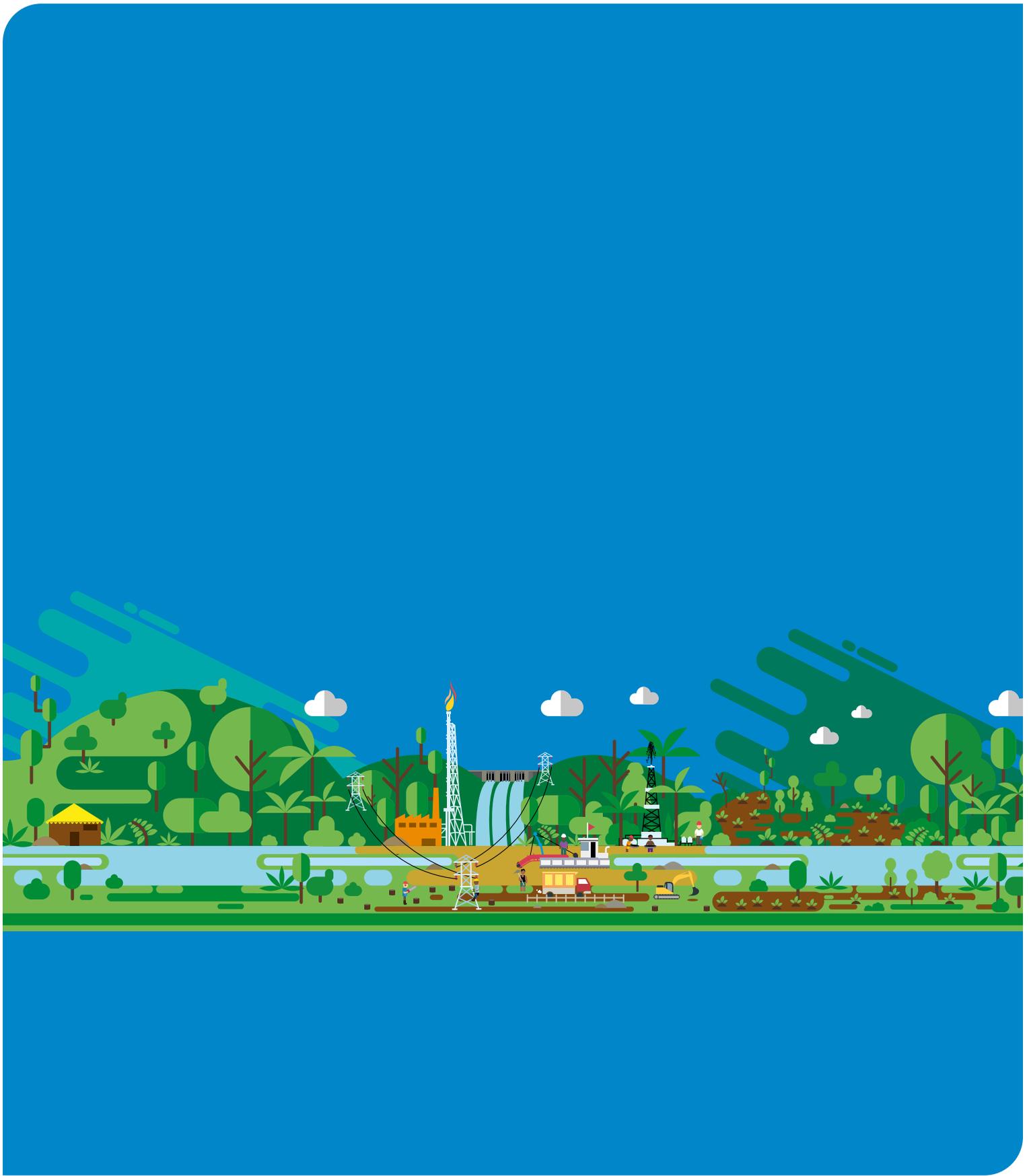
# ANEXO 1

## Resumen de metodología y flujo de información



# para la identificación de áreas prioritarias





**USAID**  
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS  
UNIDOS DE AMERICA

Iniciativa para la Conservación  
en la Amazonía Andina - ICAA

FUNDACIÓN



MARIO SANTO DOMINGO  
Por el Desarrollo Social de Colombia