



Valoración Económica del Aporte
del Sistema Nacional de Áreas
Protegidas a la Nueva Matriz Energética
del Ecuador: Sector Hidroeléctrico



Ministerio
del **Ambiente**





Valoración Económica del Aporte
del Sistema Nacional de Áreas
Protegidas a la Nueva Matriz Energética
del Ecuador: Sector Hidroeléctrico



Ministerio
del **Ambiente**



Valoración Económica del Aporte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas a la Nueva Matriz Energética del Ecuador: Sector Hidroeléctrico

©Ministerio del Ambiente, 2015



La publicación ha sido desarrollada en el marco del Proyecto de Sostenibilidad Financiera (PSF) para el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), el cual es una iniciativa del Ministerio de Ambiente del Ecuador (MAE) que cuenta con la asistencia técnica del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF).

Su principal objetivo es implementar un marco operativo financiero institucionalizado y probado en la práctica, para lograr un Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) del Ecuador ampliado y sostenible.

Elaborado por:

Grupo consultor Mentefactura. José Galindo, Ruth Utreras, Carolin Planitzer, Pool Segarra, Peter Förster, Gabriela Urgilés y Andrea Vergara.



Diseño:

Manthra Comunicación integral y Producción editorial

Diagramación:

h2ostudio. Carla Aguas

Fotografías de Portada:

Ministerio del Ambiente

Edición y corrección de estilo:

Luis Miguel Casas de la Peña

Hecho en Ecuador

Primera edición, octubre de 2015

ISBN: 978-9942-07-987-9

El presente documento debe citarse de la siguiente manera:

Ministerio del Ambiente (2015). *Valoración Económica del Aporte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas a la Nueva Matriz Energética del Ecuador: Sector Hidroeléctrico.* Quito - Ecuador

Las opiniones aquí expresadas pertenecen a los autores y no representan necesariamente las opiniones de PNUD y GEF.

Para su reproducción total o parcial se requiere autorización del MAE y PNUD

Índice

Presentación	7
Resumen Ejecutivo	9
1. Introducción	13
2. El Sistema Nacional Áreas Protegidas y la Nueva Matriz Energética	17
3. Situación actual del sector de la producción hidroeléctrica	27
3.1 Las condiciones ambientales relevantes para un Ecuador Verde	34
4. Visión y objetivos para el sector hidroeléctrico	49
5. Análisis geográfico y ecosistémico	53
Análisis geográfico y ecosistémico con base en mapas a nivel de cuenca, para determinar la provisión de los servicios ambientales hídricos relevantes para la productividad del sector hidroeléctrico	55
5.1 Cobertura del suelo	55
5.2 Erosividad y capacidad de retención de humedad en el suelo	62
6. Valoración económica para el escenario BAU y proyección a 20 años	93
6.1 Situación actual para el escenario BAU	95
7. Valoración económica del escenario SEM, proyección para un horizonte de 20 años y costos de implementación	103
7.1 Descripción y proyección del escenario SEM en un horizonte de 20 años	105
7.2 Proyección de costos de implementación del escenario SEM	107
8. Conclusiones y recomendaciones del estudio	113
9. Referencias	119

10. Anexos	125
10.1 Anexo Metodológico	127
10.2 Mapas y tablas de escenarios de manejo sostenible de ecosistemas (SEM) en las tres cuencas de drenaje de las hidroeléctricas seleccionadas, para los servicios de almacenamiento de agua en el suelo	156
10.3 Mapas y tablas de escenarios de manejo sostenible de ecosistemas (SEM) en las tres cuencas de drenaje de las hidroeléctricas seleccionadas, para los servicios de control de sedimentación	162
10.4 Propuesta Metodológica para la estimación del aporte de las Áreas Protegidas del SNAP a la protección de cuencas	168



Reserva Ecológica
Antisana

Fuente: Ministerio del Ambiente



Reserva Ecológica
Antisana

Presentación

El Plan Nacional del Buen Vivir - (PNBV) 2013 – 2017- destaca a la biodiversidad como la primera ventaja competitiva del Ecuador y reconoce su aporte central al cambio de la matriz productiva y energética nacional.

Como un apoyo sustancial a este cambio, esta publicación presenta los resultados de la Valoración Económica del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) en el Sector Hidroeléctrico. En el documento se demuestra la contribución de estos espacios naturales como agentes de mantenimiento del ciclo hidrológico y de protección de suelos. Este aporte es fundamental para la operación de los proyectos emblemáticos de generación eléctrica que el gobierno nacional ha emprendido en los últimos años.

El Ministerio del Ambiente de Ecuador, comprometido con los objetivos de desarrollo del país, tiene interés en que se conozca el aporte que brinda el SNAP a los sectores productivos prioritarios, como es el caso de la generación hidroeléctrica. Así es posible visibilizar la contribución a la Nueva Matriz Energética.

Para obtener estos datos, el Ministerio del Ambiente desarrolló ejercicios de valoración económica que permiten apreciar y transparentar el uso sostenible de los recursos naturales del Ecuador y su correspondiente aporte a la economía nacional, a través de los proyectos hidroeléctricos, como las cuencas hidrográficas.

Este documento permitirá entender que el aporte de los recursos naturales al progreso socioeconómico del país se centra en la provisión de servicios ambientales básicos para el desarrollo. Los resultados de la "Valoración Económica del SNAP: Sector Hidroeléctrico" permiten valorar el esfuerzo que el gobierno ecuatoriano realiza para promover el desarrollo sostenible, a través de la Cartera de Ambiente, en el contexto de un modelo económico que va más allá de la extracción petrolera.

Esta publicación se desarrolló en el marco del Proyecto de Sostenibilidad Financiera para el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ministerio del Ambiente. Estamos seguros de que su lectura ayudará a entender y justificar la necesidad de invertir en la conservación, restauración y extensión de nuestras áreas protegidas, como uno de los ejes centrales del cambio hacia un mejor futuro para todos los ecuatorianos.



Daniel V. Ortega Pacheco, PhD
Ministro del Ambiente

Abreviaturas

AP	Área protegida
BAU	Business as Usual. Escenario sin cambios (por sus siglas en inglés)
BEP	Barril equivalente de Petróleo
CELEC	Corporación Eléctrica del Ecuador
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático
CONELC	Consejo Nacional de Electricidad
DNB	Dirección Nacional de Biodiversidad
ENCC	Estrategia Nacional de Cambio Climático
GLP	Gas Licuado del Petróleo
GAD	Gobiernos Autónomos Descentralizados
GEF	Fondo para el Medio Ambiente Mundial (por sus siglas en inglés)
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INERHI	Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos
INER	Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables
MAE	Ministerio del Ambiente del Ecuador
MAGAP	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca
MCPEC	Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad
MCI	Motor de Combustión Interna
MEER	Ministerio de Electricidad y Energías Renovables
NMP	Nueva Matriz Productiva
PANE	Patrimonio de Áreas Naturales del Estado
PIB	Producto Interno Bruto
PMST	Prácticas de Manejo Sostenible de la Tierra
PNBV	Plan Nacional del Buen Vivir
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PSF	Proyecto de Sostenibilidad Financiera
RECC	Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas
REDD	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación
RGP	Reserva Geobotánica Pulumahua
RPFCH	Reserva de Producción de Fauna Chimborazo
RPFC	Reserva de Producción de Fauna Cuyabeno
SEM	Manejo Sostenible de Ecosistemas (por sus siglas en inglés)
SENPLADES	Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo
SENAGUA	Secretaría Nacional del Agua
SIB	Sistema de Información de Biodiversidad
SNAP	Sistema Nacional de Áreas Protegidas
SUIA	Sistema Único de Información Ambiental
TG	Turbogás
TSA	Análisis de Escenarios Meta (por sus siglas en inglés)
TV	Turbovapor

Resumen Ejecutivo

Históricamente, la economía ecuatoriana se ha caracterizado por exportar materia prima y productos agrícolas, sin procesamiento, e importar servicios y productos con un alto valor agregado. Esta condición ha expuesto a la economía nacional a las múltiples fluctuaciones mundiales de precios de materia prima, limitando la capacidad del país para reaccionar y adaptarse estratégicamente a estos factores. Ante esta realidad, el gobierno nacional priorizó, a través del "Plan Nacional del Buen Vivir" (PNBV, 2013-2017), la transformación del modelo de desarrollo del Ecuador. Una estrategia fundamental para sustentar este proceso en los próximos años es el cambio a la Nueva Matriz Energética Nacional. Su principal objetivo es reducir la fuerte dependencia del petróleo que expone la capacidad de planificación económica del Ecuador a mediano y largo plazo a las condiciones volátiles y especulativas del mercado internacional que rigen los precios. Adicionalmente, busca aumentar de manera óptima y sustentable, las fuentes primarias para la producción nacional de energía primaria generando una base sólida para el desarrollo económico del país.

Este estudio tiene como objetivo principal estimar la contribución económica del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) al sector hidroeléctrico, haciendo visible su aporte al cambio a la Nueva Matriz Energética (NME). La incorporación de las áreas protegidas a la NME es una prioridad estratégica que requiere el desarrollo de nuevas políticas inter y multisectoriales, para promover la inversión necesaria que cubra las necesidades financieras existentes.

El aporte fundamental de las áreas protegidas al sector hidroeléctrico, o servicio ambiental principal, consiste en controlar la cantidad de sedimentos que se producen por deforestación y cambios de uso del suelo en las cuencas que abastecen de agua a las centrales hidroeléctricas. Estos sedimentos son arrastrados por los ríos que alimentan los embalses artificiales de las hidroeléctricas, azolvando estos embalses y dañando las turbinas hidroeléctricas. A mayor erosión, menor vida útil de los proyectos y mayores gastos de mantenimiento, lo que se traduce en costos mayores de generación eléctrica para el país. La regulación del flujo hidrológico por el efecto amortiguador de la cobertura vegetal en buenas condiciones, que reduce los picos y velocidades de las avenidas producidas en la cuenca por las lluvias, es el segundo servicio ambiental básico que las AP proporcionan.

Por lo anterior, valorar el aporte de las áreas protegidas al sector hidroeléctrico nacional plantea una serie de desafíos metodológicos, los cuales se relacionan principalmente con la necesidad de actualizar la información referente a los tipos de vegetación (o cobertura vegetal), disponible en el país, así como a la implementación de sistemas de monitoreo que permitan recolectar datos específicos sobre su condición y cambios.

Para realizar las estimaciones de la contribución de los servicios ambientales del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), para reducir los costos de mantenimiento del sector hidroeléctrico se seleccionaron tres casos de estudio: las plantas hidroeléctricas de Coca Codo Sinclair, Hidropaute y Marcel Laniado. La cuenca hidrológica de la primera tiene 80% de su superficie dentro de áreas protegidas (Parque Nacional Cayambe Coca, Reserva Ecológica Antisana y Parque Nacional Sumaco Napo Galeras). En el caso de Hidropaute, el Parque Nacional Cajas y el Parque Nacional Sangay cubren 20% de la cuenca y, finalmente, en la cuenca que abastece de agua a la hidroeléctrica de Marcel Laniado no existe ninguna cobertura bajo protección del SNAP.

La lección principal que se desprende de los casos seleccionados – Coca Codo Sinclair, Hidropaute y Marcel Laniado – es la cuantificación de la relación entre el grado de degradación de la cuenca y los costos que asumen los proyectos hidroeléctricos para mitigar los efectos de la sedimentación en sus turbinas; a mayor nivel de cobertura vegetal o menor degradación, los costos por unidad de superficie de mantenimiento son más bajos. Por lo tanto, la existencia de ecosistemas boscosos – dentro y fuera de las áreas protegidas – ayuda a las hidroeléctricas a reducir los gastos de mantenimiento y operación relacionados a procesos de sedimentación.

En este estudio se evalúan dos escenarios posibles en un plazo de 20 años. Por un lado se plantea un escenario llamado *Business as Usual* – **BAU** (en español “Escenario Sin Cambios”) que permite caracterizar un patrón de desarrollo considerando la tendencia actual de los indicadores de interés. En el escenario alterno, llamado *Sustainable Ecosystem Management* – **SEM** (en español “Manejo sostenible de ecosistemas”), se incluye el desarrollo de actividades pro conservación y restauración que permitan mejorar la oferta de servicios ambientales hacia el sector hidroeléctrico.

En el escenario **BAU** se estableció inicialmente la línea base de los indicadores hidrográficos, de ecosistemas y económicos; todo esto, con el fin de comprobar la importancia del SNAP para la producción hidroeléctrica, a través de la comparación de dos estados alternativos. El primero, denominado **Con SNAP**, contempla la situación actual de protección en las cuencas de las tres hidroeléctricas y costos asociados a éstas; mientras que el segundo, llamado **Sin SNAP**, supone un escenario en el cual no existe ninguna conservación de la cobertura vegetal por parte de las AP. En el caso de Coca-Codo Sinclair la desaparición de 209 818 ha del SNAP que se encuentran conservadas incrementaría sus costos de operación y mantenimiento

en 2,14 millones USD/año; mientras la desaparición de 72 011 ha de cobertura protectora en Hidropaute incrementaría sus costos en 1,67 millones USD/año.

Los datos de la proyección del **BAU** indican en el caso de Hidropaute que se duplican estos costos, lo cual se debe a que solo un mínimo de la cobertura vegetal existente se encuentra protegida bajo el SNAP, mientras que la mayor parte está expuesta a actividades de deforestación y degradación. La presa Marcel Laniado muestra los costos de dragado y mantenimiento más altos debido a que el área con cobertura vegetal en la cuenca se encuentra completamente fuera del SNAP y, por lo tanto, experimenta un alto grado de presión por las actividades productivas en su alrededor.

Con la implementación gradual de las actividades de restauración y conservación previstas para el escenario SEM, éstas tienen en cada caso un impacto directo en los costos de mantenimiento, aunque en niveles diferenciados. Para Marcel Laniado se lograría bajar los costos en 18%; es decir, USD 2,45 millones anuales, lo cual se debe a la eliminación de la deforestación y la recuperación de la cobertura vegetal en zonas clave para la conservación del régimen hídrico y el control de erosión en la cuenca. En el caso de Coca Codo Sinclair, en el escenario **SEM** los gastos de mantenimiento bajarían casi 70% a unos 63 862 USD por año, lo cual se debe a que se identificó un área relativamente extensa dentro de las AP de la cuenca que requiere restauración y recuperación de la cobertura vegetal. En el caso de Hidropaute se bajarían los egresos anuales en casi 20%, USD 115 mil por año, lo cual se debe sobre todo a la recuperación de áreas degradadas dentro de las AP en la cuenca abastecedora.

Se concluye que la producción hidroeléctrica con la que se planifica cubrir en los próximos años 90% de la demanda del país depende altamente del estado de conservación y del uso de suelo de las cuencas que abastecen los proyectos hidroeléctricos, ya que estos condicionan los niveles de mantenimiento y la vida útil de estos proyectos. Esto se debe a que el estado de la cobertura vegetal y la calidad del suelo influyen directamente en la carga de sedimentos que a su vez condicionan la calidad y cantidad de agua disponible para la producción hidroeléctrica. Los resultados generados a lo largo de este estudio, permiten identificar puntos clave en los cuales se considera factible cooperar con el sector hidroeléctrico, a fin de diseñar e implementar



Fuente: Ministerio del Ambiente

Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas

mecanismos o acuerdos que faciliten su participación en los beneficios generados por las hidroeléctricas, con el propósito de cubrir los costos de conservación de las cuencas y de las AP involucradas.

La evidencia que se presenta a lo largo de este estudio demuestra la importancia estratégica del SNAP para el sector hidroeléctrico, al ser la principal herramienta de ordenamiento territorial que tiene el país. El Sistema permite la conservación de grandes extensiones de territorio de una manera eficiente, lo cual a su vez incide en menores costos de operación y asegura la sostenibilidad de las inversiones hidroeléctricas.

Además de estos costos evitados, deben considerarse las externalidades positivas que benefician a otros usuarios de la cuenca, como las empresas de agua potable que también pueden reducir sus costos debido a una mejora en la calidad del agua.



Fuente: Ministerio del Ambiente

Reserva Ecológica
Cotacachi Cayapas

Introducción



Parque Nacional
Cayambe Coca

Fuente: Ministerio del Ambiente

La valoración económica del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), como proveedor de servicios ambientales para el sector hidroeléctrico pretende evidenciar la contribución económica sectorial de las áreas protegidas (AP), a la Nueva Matriz Energética (NME), dando argumentos y justificación para una mayor inversión en la gestión eficiente del SNAP.

El sector hidroeléctrico forma parte fundamental del Plan Nacional del Buen Vivir (PNBV), que busca asegurar el desarrollo económico y social del país a través de incrementar la contribución, de fuentes energéticas renovables dentro de la matriz energética nacional y migrar del alto consumo de derivados del petróleo, hacia la electricidad basada en energías renovables y, sobre todo, la hidroelectricidad. Esto juega un papel fundamental dentro del componente de las energías renovables, aumentando su participación para el 2016 a través de la construcción de centrales hidroeléctricas que incrementarán la potencia efectiva del país. Los esfuerzos nacionales se encaminan, además, a la promoción de marcos institucionales que incentiven fuentes de energía no convencionales como la eólica, solar, geotérmica y los biocombustibles, así como a la eliminación gradual de los subsidios gubernamentales a derivados del petróleo durante el período 2016-2017.

Para el proceso de la valoración económica se aplicó la metodología *Targeted Scenario Analysis* TSA (en español "Análisis de Escenarios Meta"), desarrollada por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2013). Esta metodología entiende los servicios ambientales provistos por las áreas protegidas (AP), como insumos para la producción de diferentes sectores económicos y valora el desempeño del sector mediante indicadores económicos, financieros, y de equidad para dos escenarios diferentes: el escenario *Business as Usual* (**BAU**) y el de *Sustainable Ecosystem Management* (o Manejo de Sostenible de Ecosistemas; **SEM** por sus siglas en inglés), para comparar los resultados previstos por cada uno y proporcionar los elementos necesarios para movilizar recursos y retroalimentar políticas que posibiliten la trayectoria hacia el escenario **SEM**.

La metodología consideró un análisis cartográfico que justificó la selección de tres cuencas hidrográficas con base en sus características de productividad y, particularmente, el porcentaje de cobertura vegetal de sus principales fuentes de abastecimiento, así como un análisis geográfico de estas tres cuencas seleccionadas en términos de:

- ▶ El tipo de cobertura vegetal existente y uso de suelo;
- ▶ La capacidad de almacenamiento de la cuenca;
- ▶ El grado de vulnerabilidad a erosión hídrica;
- ▶ Los conflictos en el uso del suelo; y
- ▶ Las acciones tendientes a controlar la pérdida de cobertura vegetal.

Estos factores contribuyen a la **regulación del flujo hídrico y reducción de los niveles de sedimentos** en las cuencas, los dos servicios ambientales más importantes para la productividad de centrales hidroeléctricas.

En comparación con las metodologías tradicionales de valoración económica, el TSA se distingue por las siguientes razones que agregan valor político a los resultados y ayudan a crear una herramienta de negociación y toma de decisiones:

- ▶ Muestra claramente la contribución de valor agregado del SNAP a la Nueva Matriz Energética del Ecuador;
- ▶ Proporciona opciones de gestión comparando dos intervenciones alternativas;
- ▶ Proporciona información sobre el flujo de valores económicos para un plazo de tiempo determinado;
- ▶ Utiliza el enfoque en sectores económicos en lugar del enfoque en ecosistemas;
- ▶ Incluye los servicios de los ecosistemas como insumos para los productos de un sector económico específico;
- ▶ Considera indicadores múltiples, monetarios y no monetarios;
- ▶ Ayuda a la formulación de las políticas sectoriales a nivel nacional, regional y sub-regional.

El estudio analiza, en primera instancia, la situación actual del sector hidroeléctrico en función de la evolución de la potencia efectiva instalada y las condiciones ambientales relevantes para asegurar su desempeño. Esta sección permite introducir al lector a las características y las variables que intervienen en su funcionamiento, haciendo énfasis en la importancia que tiene la vegetación en la regulación hídrica. Esta caracterización del sector hidroeléctrico a nivel del país y del SNAP sirve como base para la formulación final de los escenarios **BAU** y **SEM**.

En la siguiente sección del documento, se presenta la metodología de la selección de los casos de estudio, para lo cual se utilizan sistemas de información geográfica. A partir de los resultados alcanzados se definieron tres centrales hidroeléctricas en las cuales se aplicó la metodología TSA: Coca Codo Sinclair, Hidropaute y Marcel Laniado.

En tercer lugar, se presenta el análisis geográfico y de ecosistemas, con base en mapas a nivel de cuenca, para determinar la provisión de los servicios ambientales hídricos relevantes para la productividad del sector hidroeléctrico en cada uno de los casos de estudio.

Para la proyección de los escenarios **BAU** y **SEM** se miden los impactos económicos en la productividad de las hidroeléctricas causados por cambios en la calidad de los ecosistemas y sus servicios ambientales. Finalmente, se presentan las principales conclusiones del estudio y se proponen recomendaciones para el SNAP.



Reserva Ecológica
Cotacachi Cayapas

Fuente: Ministerio del Ambiente

2

El Sistema Nacional de Áreas Protegidas y la Nueva Matriz Energética

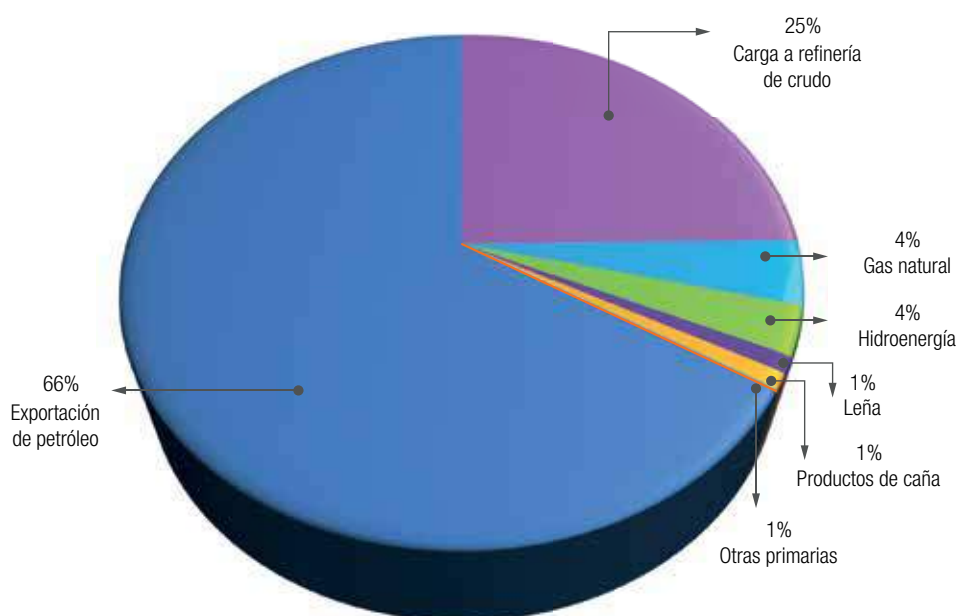


Reserva Ecológica
Cotacachi Cayapas

Fuente: Ministerio del Ambiente

Eccuador es considerado actualmente como un exportador neto de energía. Desde 1972 el sector petrolero representa un importante eslabón dentro de la estructura económica del país, donde la matriz de energía primaria ha sido principalmente alimentada por el petróleo como principal fuente energética interna, así como para su exportación (EP PETROECUADOR, 2013). En la actualidad, la estructura de la Matriz Energética del Ecuador, al igual que su Matriz Productiva, se caracterizan por exportar bienes primarios de bajo valor agregado e importar productos con un alto valor agregado. La producción nacional de energía primaria, que constituye 90% de la oferta energética total, refleja esta misma realidad (Gráfico 1): el petróleo crudo representa más de 90% de la producción nacional, la cual a su vez se divide en una fracción para exportación (66%), y otra para carga a refinerías nacionales (25%), además de contar con algo de gas natural (4%). De esta forma, la energía de origen fósil representa 95% del total de la producción de energía primaria. El resto es producción hidráulica (3%), elaboración de productos de caña (1%), y leña con alrededor del 1% (MICSE, 2015). Las importaciones que son el 10% restante de la oferta, corresponden en más de 90% a derivados de petróleo con alto valor agregado (Gas licuado del petróleo - GLP, diésel, nafta de alto octanaje y otros). Además, de acuerdo a las circunstancias, se importa electricidad y otros productos no energéticos, como lubricantes por ejemplo. (Senplades, 2015).

Gráfico 1: Estructura de la oferta de energía primaria¹



Fuente y elaboración: MICSE, 2013.

218,5 millones de BEP

¹ Se entiende como energía primaria a la contenida en una fuente tal como carbón, petróleo o gas natural antes de considerar pérdidas de transformación (Haupt, 2015).

En la balanza de pagos de 2013, las importaciones de GLP y de combustibles destinados específicamente a la generación termoeléctrica tuvieron un costo de USD 657 millones y USD 226 millones respectivamente. De no haber cambios en la estructura de la matriz energética, se proyecta que estos montos alcanzarían USD 587 millones y USD 604 millones en 2017 (BID, 2015). Adicionalmente, el gobierno tiene una importante carga fiscal al subsidiar los altos precios de los productos derivados del petróleo que se importan. En 2013 el subsidio al GLP alcanzó USD 705 millones, mientras que los subsidios a los derivados importados utilizados para generación eléctrica sumaron USD 217 millones (BID, 2015).

La explotación de las reservas nacionales a través del sector energético-petrolero, aún con poco valor agregado, genera una fuente importante de ingresos para la economía nacional, los cuales se incrementaron de USD 1 397 millones en el 2000 a USD 6 086 millones en el 2012, representando en promedio 13% del Producto Interno Bruto del país (BCE, 2013). Las exportaciones petroleras se han incrementado significativamente en la última década, pasando de USD 2 442 millones en el 2000 a USD 13 792 millones al 2012 representado, en promedio, entre 50 y 60% de las exportaciones totales (BCE, 2013). Esta dinámica ha generado una alta dependencia económica del precio internacional del barril de petróleo crudo, siendo el sector petrolero quien sostiene buena parte de la balanza comercial del Ecuador. De esta forma, la capacidad de planificación económica a mediano y largo plazo queda expuesta a las condiciones volátiles y especulativas del mercado internacional que rigen los precios (Gráfico 2).

Gráfico 2: Ingresos petroleros para el Gobierno Central



Fuente y elaboración: Banco Central del Ecuador, 2013.

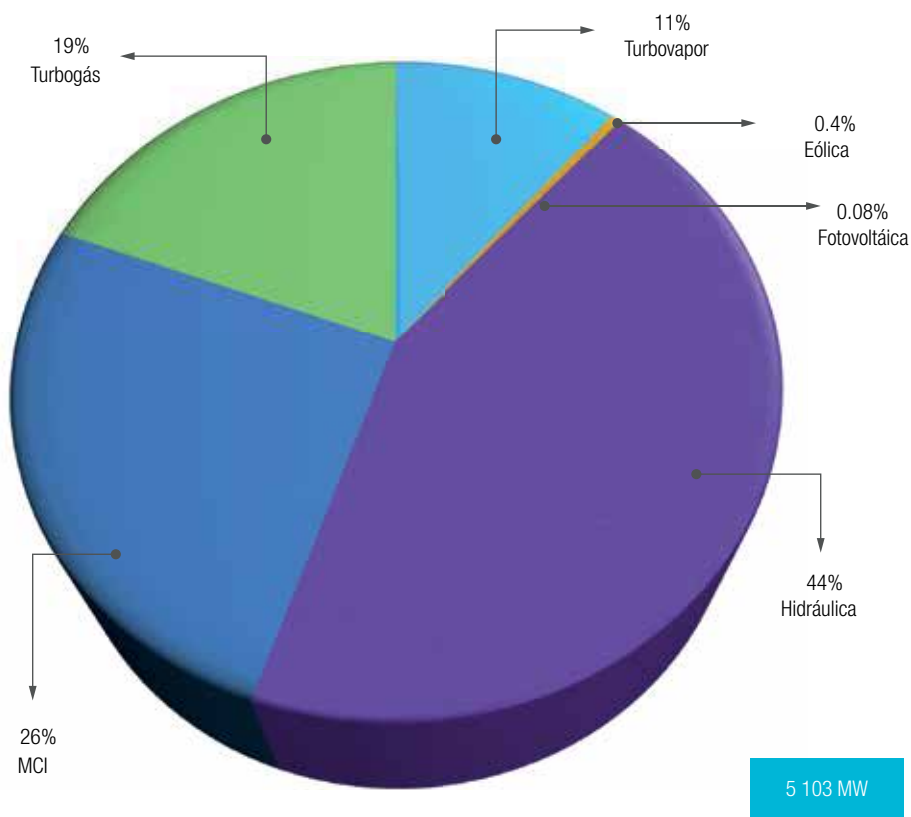
Más allá de la dependencia económica, las reservas nacionales de petróleo crean una distorsión en la oferta energética del Ecuador. No solo generan una fuerte dependencia del crudo para satisfacer la demanda energética nacional, sino que además marginan y limitan el aprovechamiento del alto potencial de fuentes energéticas renovables. Para el 2012 predominan únicamente 2 fuentes de generación eléctrica: la generación hidráulica (44%), seguida por el parque termoelectrico (56%), que está compuesto por sistemas turbogás (TG), motor de combustión interna (MCI) y turbovapor (TV). (Gráfico 3).



Fuente: Ministerio del Ambiente

Parque Nacional Cotopaxi

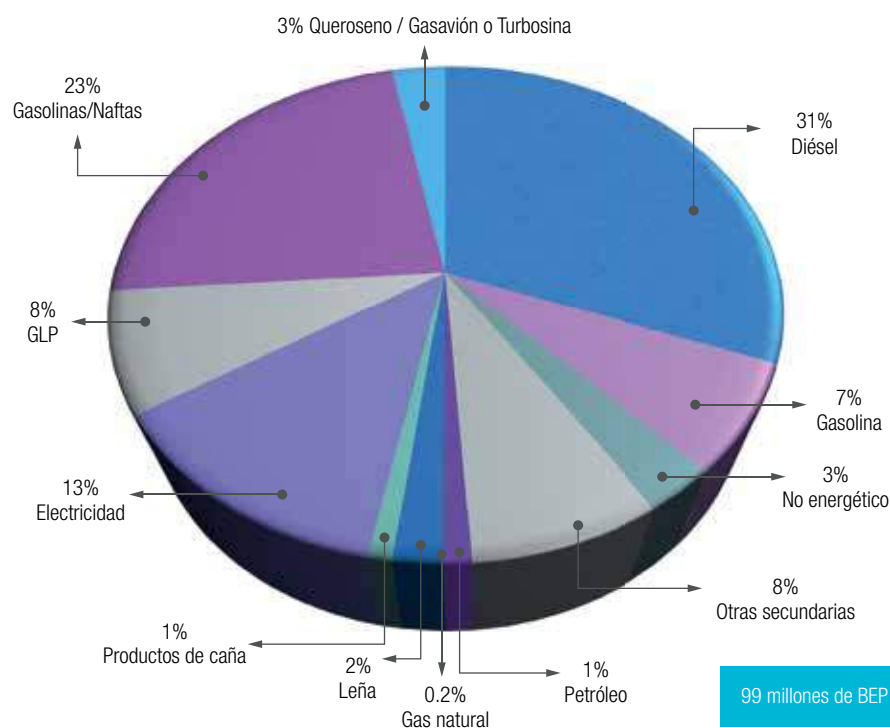
Gráfico 3: Potencia efectiva nacional 2013



Fuente: CONELEC, 2014. Elaboración: MICSE, 2014

Por estas razones, se genera un desarrollo insostenible en el mediano plazo, en la medida que las reservas de los pozos petroleros comiencen a agotarse. Los derivados de petróleo aportan aproximadamente 72% del consumo a nivel país, mientras que la electricidad representa menos de 13%. La situación es particularmente alarmante, ya que existe un constante crecimiento de la demanda energética del Ecuador en los últimos años; 8,4% anual, equivalente a 6 684 MW de potencia. Esto se deriva principalmente de un mayor consumo industrial (BID, 2015), que nutre su demanda energética en un importante porcentaje a través de plantas termoeléctricas abastecidas por fuentes energéticas fósiles (Gráfico 4).

Gráfico 4: Estructura de consumo por fuente² 2013



Fuente: CONELEC, 2014. Elaboración: MICSE, 2014

Ante este contexto, el gobierno nacional inició en 2009 con un ambicioso proceso para fortalecer y cambiar la Matriz Energética. Este se incorpora en el Plan Nacional del Buen Vivir (PNBV) 2009 – 2013 y en el Plan Maestro de Electrificación 2009 – 2020.

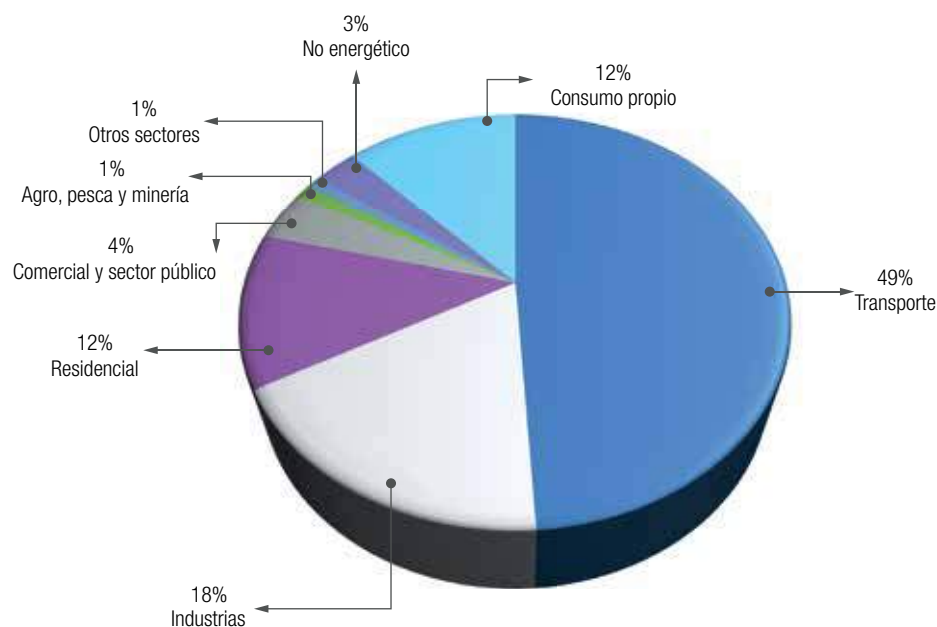
² Entiéndase como fuente no energética a las cantidades de hidrocarburos basados en petróleo, carbón o gas natural que no se utilizan para la generación de energía - incluyendo el calor entre otros -, pero se los utiliza para la elaboración de productos, en su mayoría sintéticos y químicos.

Los objetivos planteados para el cambio de la Matriz Energética para el 2020, buscan abordar de manera sustentable los retos económicos y ambientales que se derivan de la actual estructura energética del país. Este proceso no solo demanda de coordinación institucional para la ejecución y monitoreo continuo de los procesos en curso, sino que requiere adicionalmente de componentes específicos como:

- ▶ La participación de energías renovables que deben incrementarse en la producción nacional. Para el cumplimiento de este objetivo, los proyectos hidroeléctricos del Plan Maestro de Electrificación deberán ejecutarse sin dilación y, adicionalmente, deberán impulsarse los proyectos de utilización de otras energías renovables.
- ▶ Las importaciones de derivados de petróleo deberán reducirse al mínimo posible, lo que se puede lograr solo a través de la construcción de la Refinería del Pacífico, que permitirá garantizar la provisión de productos derivados de petróleo para el consumo doméstico y generar excedentes para exportación.
- ▶ El petróleo crudo es un bien de bajo valor agregado, por lo que una alternativa a la actual exportación es la utilización del crudo como un insumo en la nueva refinería, lo que permitirá cambiar el perfil actual a exportaciones de derivados de petróleo, que son productos de valor agregado más alto.
- ▶ En cuanto al sector de transporte, por ser el principal consumidor de energía, se vuelve imprescindible trabajar en su eficacia y eficiencia, enfocado en las implicaciones ambientales en ciudades en las cuales el alto volumen de tráfico genera problemas de embotellamiento y contaminación ambiental.



Gráfico 5: Estructura del consumo energético por sectores



Fuente: CONELEC, 2014. Elaboración: MICSE, 2014.

Las fuentes renovables, en particular la hidroelectricidad, juegan un papel importante para el cambio de la Matriz Energética con énfasis en el desarrollo de la generación eléctrica. Esta fuente de energía limpia es eficiente, incurre en bajos costos de mantenimiento y operación, tiene una larga vida útil y bajo impacto ambiental. Por estos motivos, el Gobierno Nacional invierte aproximadamente USD 4.9 mil millones en ocho plantas hidroeléctricas emblemáticas que aprovecharán el alto potencial hídrico del país y entrarán a operar a partir del 2017 (MICSE, 2015). Con un aporte total de 2 756 MW, se espera que la nueva capacidad eléctrica efectiva, esté constituida en más de 90% por hidroelectricidad. Esto permitirá generar un ahorro fiscal asociado al cambio de la Matriz Energética de más de USD 1.35 mil millones al año a partir de 2017, afianzando la sostenibilidad macroeconómica del país (BID, 2015).

Adicionalmente al aporte económico, la implementación de plantas hidroeléctricas disminuye los impactos ambientales de la producción y consumo de energía, siendo una acción concreta por parte del gobierno para la mitigación del cambio climático global. Aun cuando las emisiones del país representan únicamente 0,1% del total mundial (MAE, 2015), el gobierno reconoce que el cambio climático es un desafío que puede afectar negativamente la seguridad, el desarrollo y el bienestar de la población del planeta. En este sentido, esta Cartera de Estado lidera la gestión en este tema y presenta una serie de políticas y acciones concretas, a través de la "Estrategia Nacional de Cambio Climático" (ENCC, 2012 – 2015). Al fomentar las energías renovables a

pequeña, mediana y gran escala dentro de la Nueva Matriz Energética, se estima que habrá un beneficio ambiental directo al país con la reducción de emisiones de CO₂, que pasarán de 3.7 millones de toneladas en 2013 a 1.3 millones anuales en 2017 (BID, 2015). Este aporte equivale a dejar de emitir 70% de la contaminación generada a través del sistema de transporte de todo el país, o sembrar 730 mil hectáreas de bosque (Gobernación de Azuay, 2015).

Más allá de la reducción de emisiones de CO₂, el buen funcionamiento y óptimo desempeño de las centrales hidroeléctricas constituye una importante razón para la protección y el cuidado de cuencas y ecosistemas relacionados con la estabilidad del régimen hídrico. En la actualidad, 20 de las 75 hidroeléctricas en funcionamiento o en construcción a nivel país, que representan 55% de la potencia total instalada y que cubrirán más de 80% de la demanda eléctrica total nacional, se abastecen de cuencas hidrográficas dentro del SNAP, con una cobertura de vegetación entre 20 y 100%. Un ejemplo clave es la contribución del Parque Nacional Cayambe Coca, la Reserva Ecológica Antisana y del Parque Nacional Sumaco Napo Galeras que cubren 80% de la cuenca de drenaje que abastece a la central de Coca Codo Sinclair. Sin embargo, la constante erosión de los suelos, la deforestación, la alta producción de sedimentos y el poco cuidado de los recursos naturales generan una serie de costos que puede afectar directamente la vida útil de la infraestructura física de estos proyectos.

Este ejemplo resalta la importancia de las áreas protegidas para la sostenibilidad de la Nueva Matriz Energética y Productiva del país; así como la necesidad de “velar por un ambiente sano, garantizando un modelo sustentable que contribuya a la conservación de la biodiversidad” (MAE, 2014). Al depender en gran medida de la cantidad, calidad y continuidad del recurso hídrico, el óptimo desempeño económico y técnico de las centrales va de la mano con la protección adecuada de las cuencas hidrográficas que las nutren. A través de programas como “Referencia de Emisiones Forestales para la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación forestal (REDD+)”, esta Cartera de Estado interviene de manera directa e indirecta en la protección y reforestación de bosques y otras coberturas vegetales, contribuyendo no solo a la estabilidad del régimen hídrico, sino también a la mitigación del cambio climático. Esta contribución activa fomenta la posición del Ecuador como parte del grupo de países pioneros en la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC), siendo garante de la provisión de recursos naturales y servicios ambientales, fundamentales para el desarrollo de la Matriz Energética.

En este sentido, el SNAP aporta un territorio con el cual se garantizará la provisión de los servicios ambientales claves para la implementación de la Nueva Matriz Energética que es imprescindible para cumplir con este objetivo estratégico. Pero, todavía se necesita generar instrumentos y políticas públicas orientadas a garantizar el financiamiento de su conservación. Esto no solo considera al agua como sector estratégico; sino también al soporte que los ecosistemas proporcionan en forma

de servicios ambientales, regulando la captación y almacenamiento de agua para generación de energía hidroeléctrica.

Considerando que las AP cubren aproximadamente 20% del territorio nacional y son el primer mecanismo de conservación de biodiversidad en el Ecuador, se evidencia que la consecución de los objetivos del nuevo régimen de desarrollo caracterizado por el cambio de la Matriz Energética, depende en gran medida de las Áreas Protegidas (AP). La valoración económica de la contribución de las AP a la generación hidroeléctrica es una herramienta fundamental que permite el diseño adecuado de políticas sectoriales, que aseguren la conservación del SNAP y que permitan su aprovechamiento adecuado y sostenible.



Fuente: Ministerio del Ambiente

Refugio de Vida Silvestre
El Pambilar

3

Situación actual del sector de la producción hidroeléctrica



Fuente: Ministerio del Ambiente

Refugio de Vida Silvestre
El Pambilar

Eccuador es un país que, por su relieve y su posición geográfica, cuenta con excelentes condiciones para el aprovechamiento de fuentes energéticas renovables. En especial, tiene un gran potencial hidrográfico estimado en 16 500 m³/s a nivel de cuencas y sub-cuencas, distribuido en dos vertientes principales: la Amazónica al este y la del Pacífico al oeste (CONELEC, 2013). Sin embargo, el país no ha podido aprovechar estas características de manera apropiada y, más allá del primer aprovechamiento a gran escala con la construcción de Hidropaute en 1976 (1 100 MW), los proyectos de formas de energía renovable tuvieron una participación muy baja en la matriz energética (Castro, 2011). Durante el periodo 1970 – 2008 esta el promedio fue de 6% en la matriz de energía primaria del Ecuador, llegando a ser de solo 3% en 2013 y 4% en el 2014 con respecto de la estructura total de la oferta de energía primaria.

Si bien la contribución de la hidroelectricidad dentro de la matriz energética del país es mínima, como parte de la matriz eléctrica su representatividad a lo largo de los últimos años se incrementa de manera considerable. Durante las últimas dos décadas el País aprovechaba únicamente entre 8 y 15% de su potencial hídrico (Rosero *et al.* 2011), pero generaba en promedio 60 - 65% de la oferta eléctrica. El restante 35 - 40% era aportado por fuentes térmicas y de la interconexión con Colombia y Perú (CONELEC, 2012).

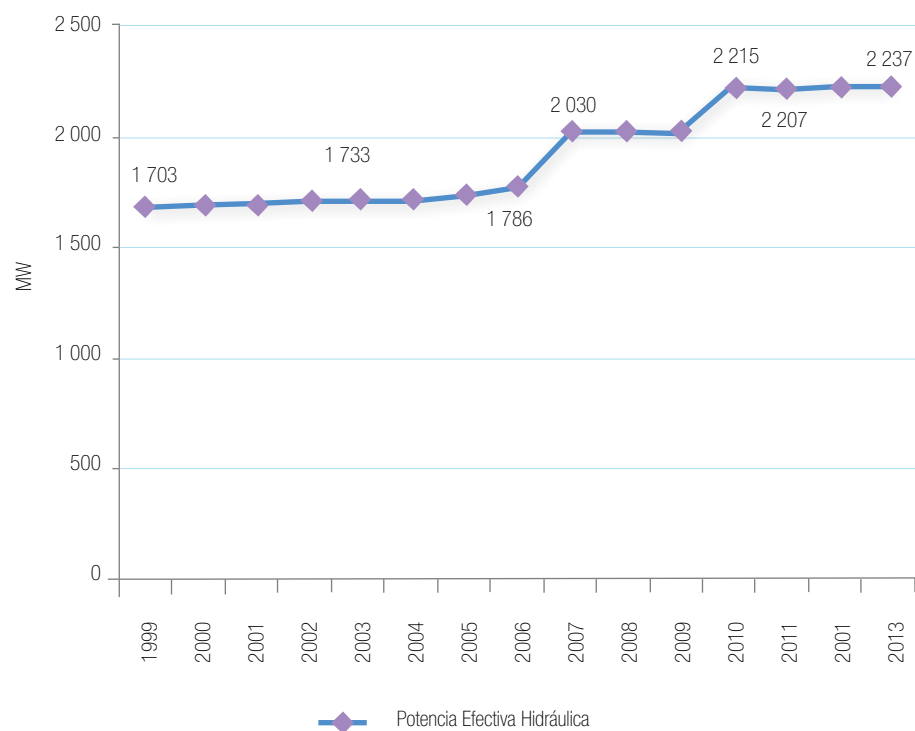
Dentro del período 2003 – 2011, el país aumentó el aprovechamiento hídrico e incrementó en 27% su potencia hidroeléctrica efectiva instalada, pasando de 1 733 MW a 2 207 MW respectivamente (Gráfico 6) y constituyendo 41% de toda la potencia efectiva nacional. Para el 2013, esta tecnología renovable representaba aproximadamente 44% del total de la potencia efectiva instalada (5 103 MW). En la actualidad, el parque hidroeléctrico del Ecuador se compone por 16 centrales estatales de pequeña, mediana y gran capacidad (1 – 1 100 MW) y 39 centrales pequeñas pertenecientes a las empresas de distribución eléctrica, a municipios y a empresas privadas (CONELEC, 2014).



Reserva Biológica Limoncocha

Fuente: Ministerio del Ambiente

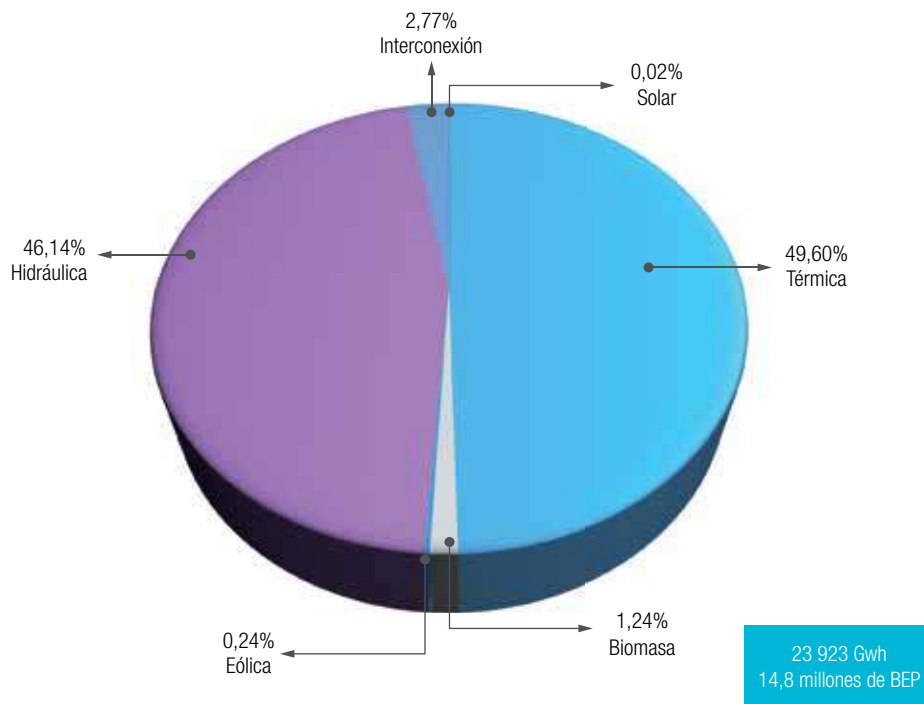
Gráfico 6: Evolución de la potencia efectiva hidráulica instalada



Fuente: CONELEC, 2014. **Elaboración:** Mentefactura 2014.

La estructura de la matriz eléctrica varía según el estado de modernización de la economía nacional pero, en general, las tres fuentes predominantes de electricidad en el país son: termoeléctricas, hidroeléctricas y la interconexión. Entre 2003 y 2013 el crecimiento económico y social del Ecuador, la evolución del estilo de vida de la población y el avance y desarrollo de su industria generaron un aumento en el consumo eléctrico ecuatoriano de 12 666 GWh a 23 923 GWh (MICSE, 2014). Este efecto adicional al desgaste de fuentes propias de energías no renovables, obligó al país a aumentar su producción eléctrica y reestructurar su tradicional matriz energética, activando un proceso de adaptación a través de la integración de nuevas fuentes y tecnologías de generación.

Para el 2013, la base de la oferta eléctrica es el parque termoeléctrico (50%), compuesto por sistemas turbogás (TG), motores de combustión interna (MCI), y turbovapor (TV); seguido por la hidráulica (46%) y la interconexión (3%), en su mayoría proveniente de Colombia (MICSE, 2014). La generación con fuentes renovables como la biomasa, eólica y solar fotovoltaica suman aproximadamente 2% de participación (Gráfico 7).

Gráfico 7: Estructura de la generación eléctrica 2013

Fuente: CONELEC, 2014. Elaboración: MICSE, 2014.

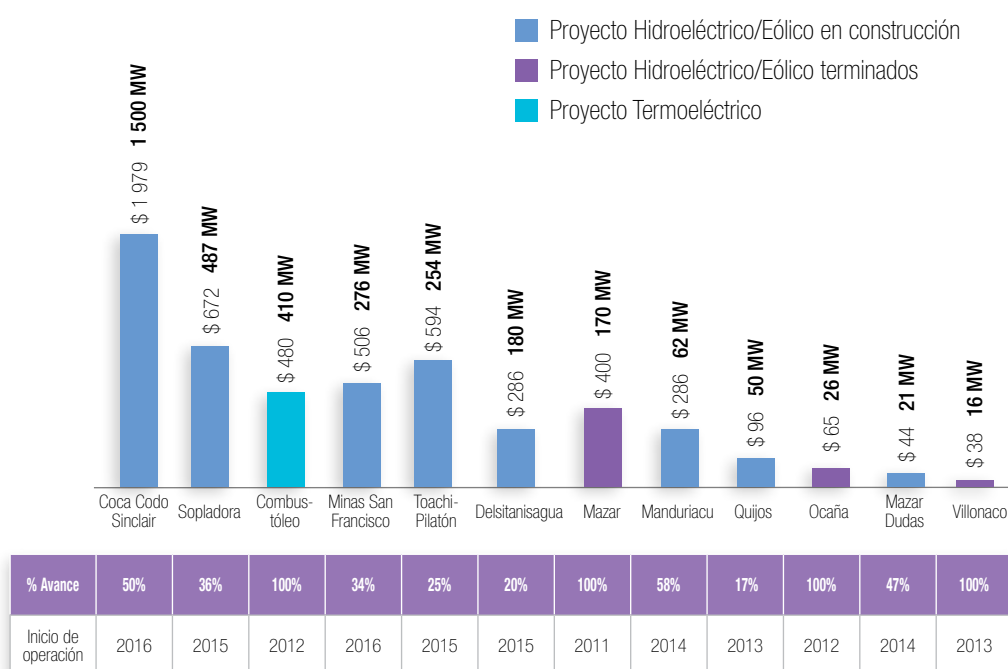
Ante esta nueva realidad nacional, el gobierno ecuatoriano inició el cambio de la matriz energética, con una inversión programada hasta 2016 alrededor de USD 4,9 mil millones en la construcción de 15 centrales hidroeléctricas. De estos, ocho proyectos hidroeléctricos se consideran emblemáticos y fundamentales en un corto, mediano y largo plazo para garantizar un abastecimiento constante de energía eléctrica confiable, segura y de alta calidad. Estas centrales son:

- ▶ Coca Codo Sinclair (1 500 MW);
- ▶ Sopladora (487 MW);
- ▶ Toachi-Pilatón (253 MW);
- ▶ Delsitanisagua (115 MW);
- ▶ Manduriacu (60 MW);
- ▶ Minas San Francisco (270 MW);
- ▶ Mazar-Dudas (21 MW); y
- ▶ Quijos (50 MW)

Fuente: CONELEC, 2014.

La tercera parte de esta inversión (Gráfico 8), priorizará una sola central, Coca Codo Sinclair, mientras que 68% de la potencia planificada de expansión hidroeléctrica se ubicará en el régimen hidrológico amazónico y el 32% restante se encuentra en la vertiente del Pacífico (Castro, 2011).

Gráfico 8: Inversión en la generación eléctrica (USD millones)



Fuente y elaboración: MICSE, 2014.

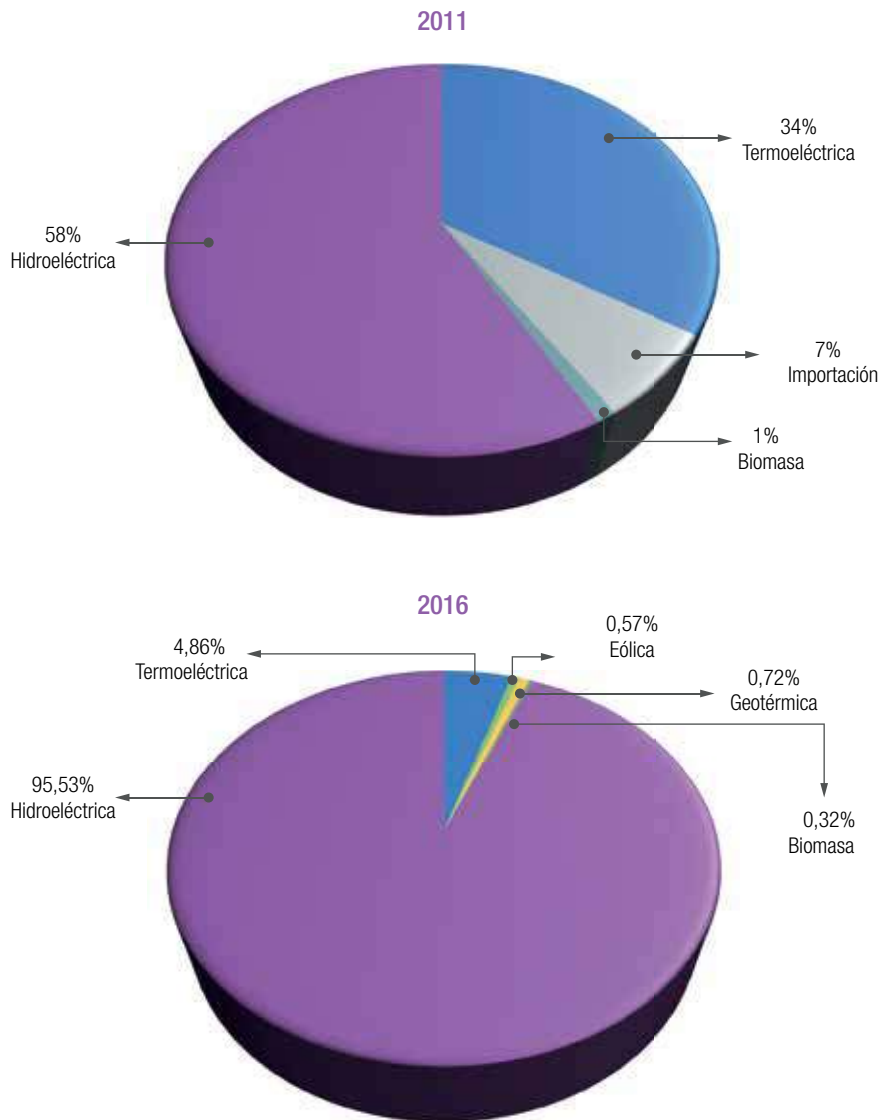


Fuente: Ministerio del Ambiente

Parque Nacional Cayambe Coca

A diferencia del desarrollo de proyectos hidroeléctricos anteriores, estos proyectos emblemáticos van acompañados de un importante desarrollo territorial, basado en obras de infraestructura física y proyectos productivos, generando beneficios a los pobladores de las zonas de influencia.

Gráfico 9: Cambio de la Matriz Energética (GWh/año %)



Fuente y elaboración: MEER, 2013.

Se espera que a partir del 2016 estas centrales de gran capacidad, participen con más de 90% en la generación de electricidad, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y eliminando además la demanda de interconexión con los países vecinos (Gráfico 9), que durante el periodo 2003 – 2006, aumentó debido a la falta de generación hidráulica por disminución del agua almacenada en las principales centrales de generación (MEER, 2014). El estado se compromete además a través de la generación hidroeléctrica disminuir las pérdidas eléctricas en el sector, recuperando energía equivalente a USD 527 millones anuales al 2022 (BID, 2015).

3.1 Las condiciones ambientales relevantes para un Ecuador Verde

Las hidroeléctricas instaladas en ríos aprovechan la energía potencial que tiene el agua, mientras desciende desde las partes más altas para transformarla en energía eléctrica renovable. Esta potencia es optimizada principalmente en sitios en donde hay un desnivel o pendiente considerable que permite encausar el agua captada en partes más altas hacia generadores eléctricos que están varios metros por debajo. El potencial de generación eléctrica, diseño y tipo de infraestructura de la hidroeléctrica, dependen de factores que están orientados al aprovechamiento de las condiciones biofísicas del río en donde se instala. Sin embargo, los principales elementos que condicionan su instalación son el caudal del río y el salto o gradiente que este presenta.

La mayor potencialidad para la generación hidroeléctrica en el Ecuador está en los Andes y sus vertientes, en donde las características del relieve forman zonas de diversas condiciones ambientales que recogen el agua de lluvia y las evacúan a través de ríos. Las zonas drenadas por un río en particular definen su cuenca hidrográfica, la cual constituye un espacio en donde se llevan a cabo los diversos procesos del ciclo hidrológico y que definen, en gran medida, las características ecológicas de la misma³.



³ De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para Agricultura y Alimentación ([FAO], 1996), las cuencas hidrográficas son unidades espaciales que captan el agua proveniente de las lluvias o deshielos, la cual desciende por la gravedad hasta conformar desagües en forma de cauces de agua o ríos. Existen cuencas de gran superficie las cuales agrupan cuencas más pequeñas que drenan sus aguas hacia el cauce principal. A las cuencas de menor tamaño se las denomina microcuencas o sub cuencas.

En el Ecuador existen más de 270⁴ sitios potenciales reconocidos para la instalación de hidroeléctricas, de los cuales 54 ya están en funcionamiento y producen 2 234 MW, equivalentes a 42,7 % de la energía eléctrica generada para servicio público (CONELEC, 2012); 23 más se están construyendo y generarán 3 852 MW de energía eléctrica con lo cual se convertirá en la principal fuente de energía del Ecuador. Los otros 193 sitios que son parte del inventario de potenciales proyectos hidroeléctricos considerados por el CONELEC, suman casi 15 000 MW de energía eléctrica.

Las partes más visibles del ciclo hídrico (Gráfico 10), tienen que ver con la captación, almacenamiento y conducción del agua de lluvia, lo que se conoce como oferta de agua⁵. Sin embargo, el proceso es más complejo de lo que parece. El agua de lluvia o nieve es la principal entrada dentro del ciclo hidrológico aportando el líquido vital que ingresa a una cuenca. El volumen de agua depende de factores climáticos como la variación de la temperatura, altitud, presión atmosférica, presencia o ausencia de montañas, entre otros los cuales afectan las condiciones climáticas regionales y locales. Esto hace que las precipitaciones varíen dentro de una misma cuenca y entre cuencas; incluso cambiando en cada sector de la cuenca dentro de un mismo año.

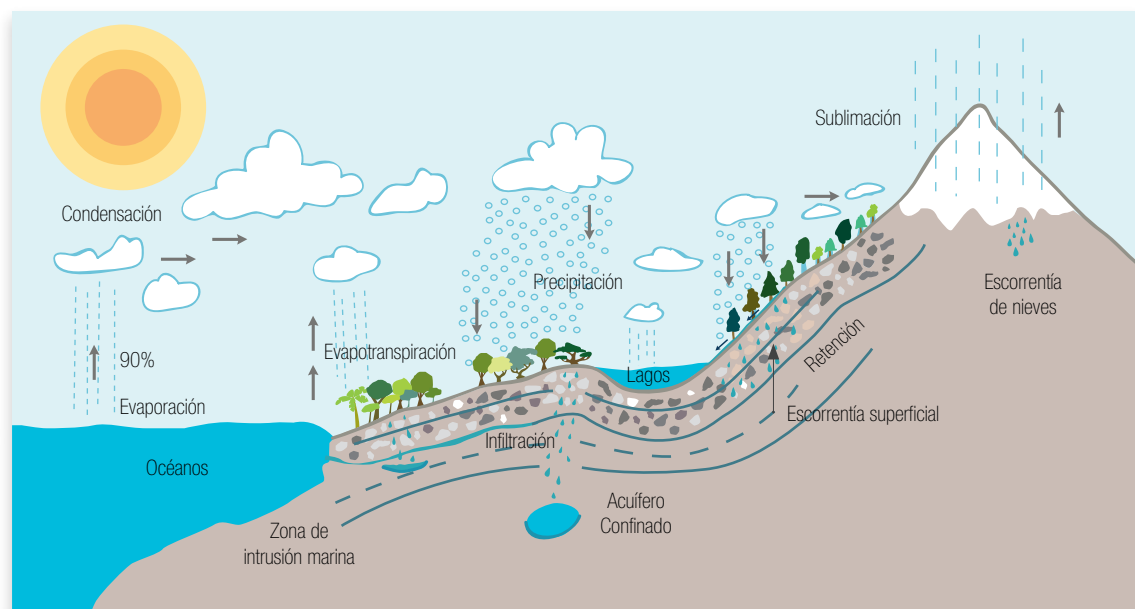


Parque Nacional Cayambe Coca

Fuente: Ministerio del Ambiente

- 4 Estos cálculos fueron desarrollados a partir de la información del CONELEC correspondiente al listado de centrales de generación hidroeléctrica en funcionamiento, en construcción y en inventario (proyectos de generación hidroeléctrica), para el 2014.
- 5 La disponibilidad de agua es una de las partes del ciclo hidrológico más complejas de calcular. En general se la trata como la parte de ingreso de un flujo de agua que se da en una cuenca como una parte del balance hídrico, en donde la captura de agua dentro del balance hídrico puede ser entendida mediante la fórmula que propusieron Zhang et al. (2001, p. 701), en la cual la precipitación es igual a la evapotranspiración más la escorrentía superficial más la recarga de aguas subterráneas más el cambio en el almacenamiento de agua en el suelo ($P = ET + R + \Delta + S$).

Gráfico 10: Fases del ciclo hidrológico esquematizado en una vertiente de una cuenca hidrográfica



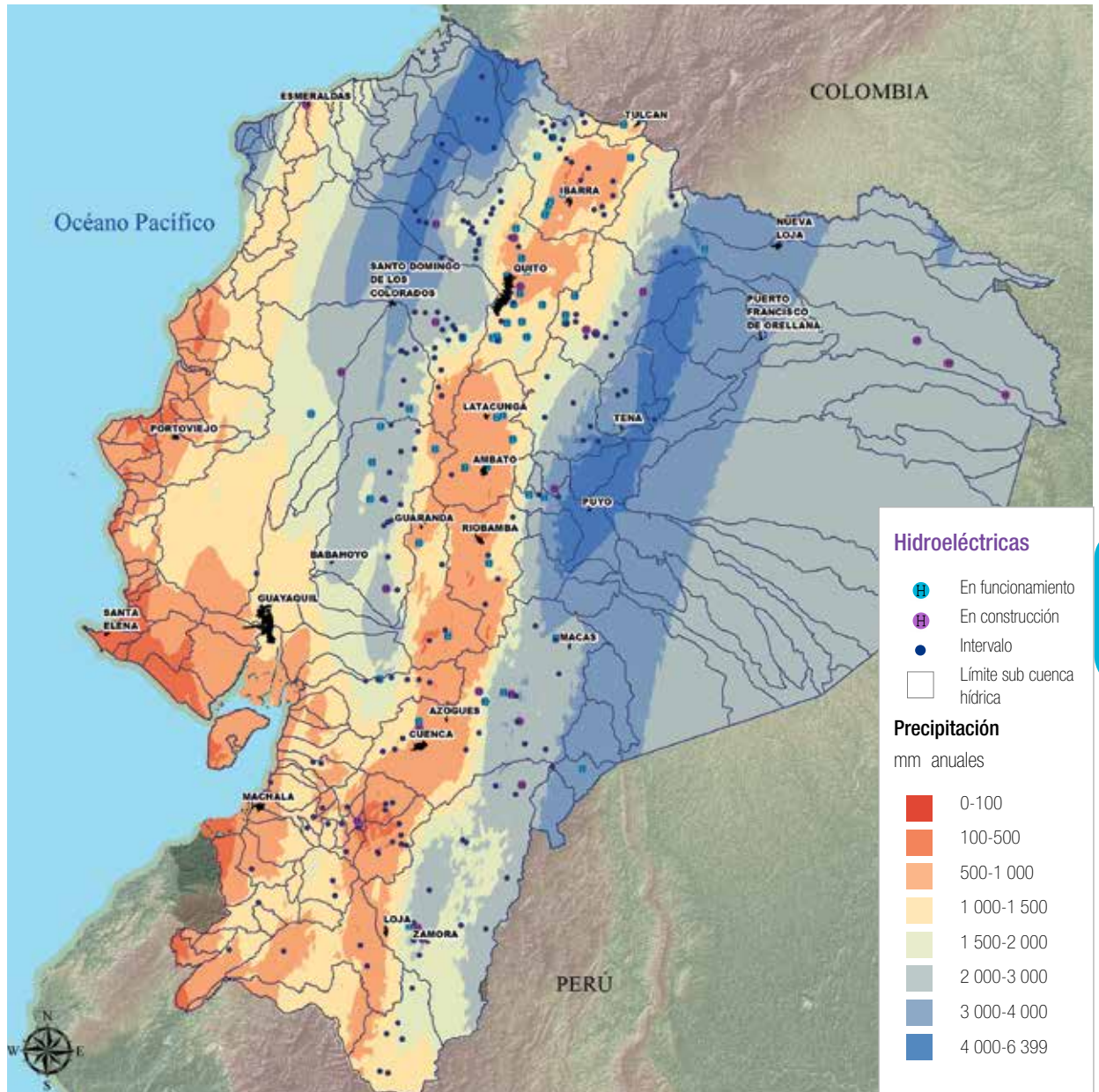
Fuente: Zhang *et al.*, 2001. Elaboración: Mentefactura 2014.

De esta forma, en el Ecuador continental existen diversas zonas con precipitaciones que varían desde las muy lluviosas, aquellas que están en las vertientes orientales y occidentales de los Andes, y las zonas con menos precipitaciones localizadas en la franja costera centro y sur así como también los valles interandinos. Cualquiera que sea su condición, las cuencas van acumulando el agua a medida que se desciende en ellas, por lo que el caudal de los ríos se incrementa en las zonas más bajas de la cuenca y está relacionado con la extensión o superficie de ésta y con la cantidad de lluvia que recibe. En el Mapa 1, se observa cómo dentro de una misma unidad hídrica⁶ existen zonas con diversas precipitaciones.

Las zonas con mayor precipitación están principalmente en la región amazónica y en la zona costera norte de Esmeraldas. Los valles interandinos tienen menor precipitación, debido a que gran parte de la humedad que proviene de la Amazonía o del océano Pacífico, queda retenida en las vertientes de la cordillera de los Andes. La zona costera del centro y sur del Ecuador, así como la provincia de Loja en el sur de la sierra, tienen menores precipitaciones influenciadas por la falta de humedad derivada de la corriente fría de Humboldt. La mayor parte de las hidroeléctricas están principalmente en las zonas con precipitaciones superiores a los 1 000 milímetros al año.

⁶ Se entiende por cuenca hidrográfica la unidad territorial delimitada por la línea divisoria de sus aguas que drenan superficialmente hacia un cauce común, incluyendo en este espacio poblaciones, infraestructura, áreas de conservación, protección y zonas productivas.

Mapa 1: Precipitación anual en el Ecuador continental



Fuente: Modelo Bioclimático del Ecuador que sirvió de base para la identificación de formaciones vegetales del País. (MAE 2012)
Elaboración: Mentefactura.

La temperatura e insolación son los principales factores que inciden en el proceso de evaporación del agua o de salida temporal de la cuenca. En aquellos lugares en donde la lluvia no es uniforme a lo largo de año y se tienen marcados cortes en las estaciones climáticas, se pueden diferenciar meses secos cuando la lluvia es menor o es escasa mientras la temperatura se mantiene, favoreciendo a la evaporación del agua contenida

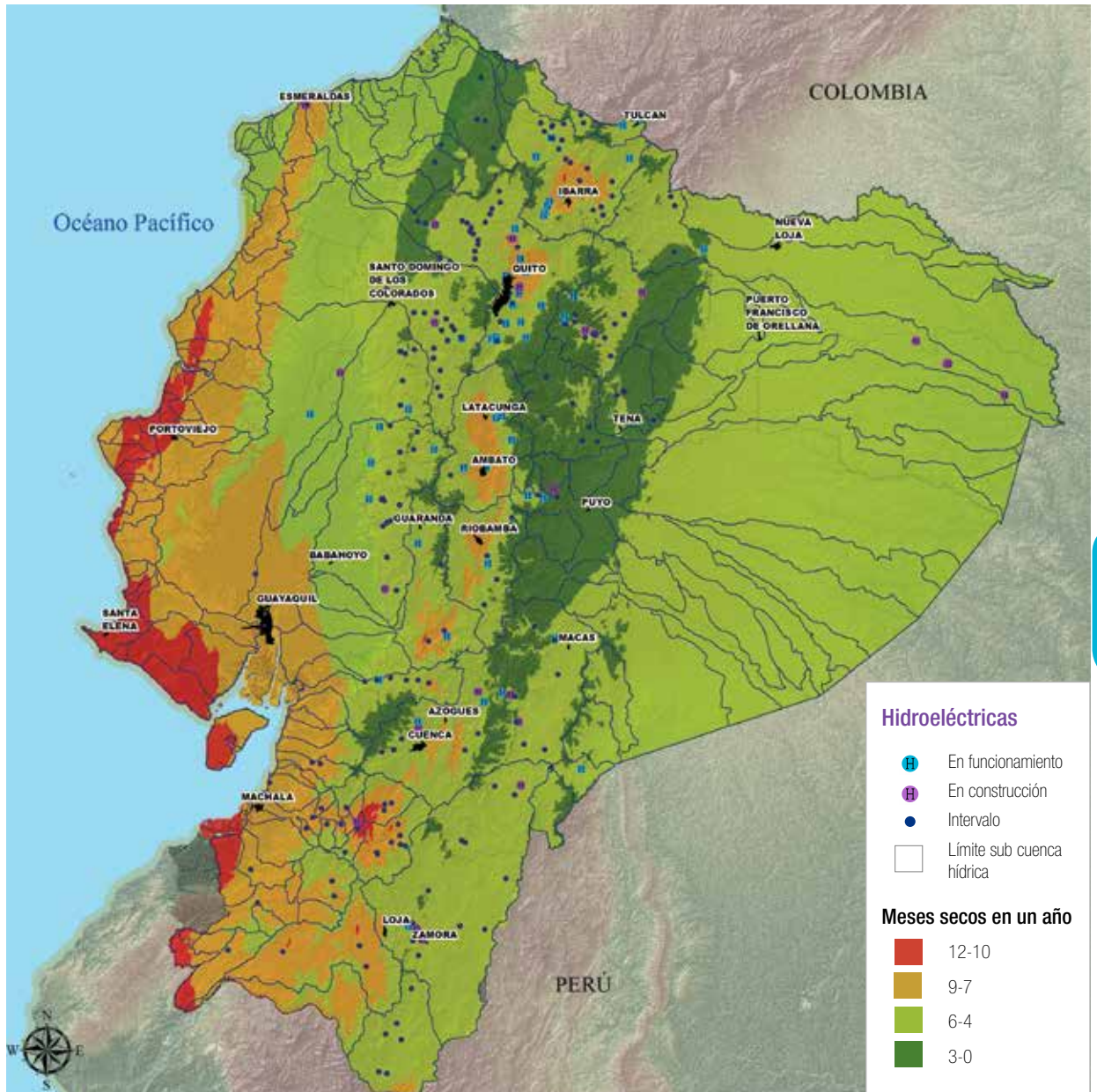
en el suelo, vegetación o cuerpos de agua y limitando la disponibilidad de este recurso. En estos casos, el potencial hídrico para la instalación de una hidroeléctrica en estas cuencas es menor, puesto que el caudal en los ríos o zonas de desagües disminuye. El siguiente mapa muestra la distribución de las zonas con variación en el número de meses secos a lo largo de un año; se observa cómo las cuencas de la zona costera centro y sur, así como la mayoría de los valles interandinos tienen más de seis meses secos y zonas con más de diez meses secos, principalmente en la península de Santa Elena y parte de la línea costera hacia la provincia de Manabí, que coinciden con zonas de menor precipitación. Casi la totalidad de las hidroeléctricas actuales, en construcción y estudio, están en las zonas con menos de seis meses secos al año (Mapa 2).



Fuente: Ministerio del Ambiente

Parque Nacional Cayambe Coca

Mapa 2: Meses secos en un año en el Ecuador continental e hidroeléctricas



Fuente: Modelo Bioclimático del Ecuador (MAE, 2013). Elaboración: Mentefactura, 2014.

Uno de los factores clave que condicionan la disponibilidad equilibrada o constante del agua para las hidroeléctricas es la vegetación dentro de una cuenca. La vegetación (Gráfico 11), cumple múltiples funciones tanto en el ingreso, transporte, traspaso y salida del agua, de ahí radica su importancia en una cuenca hídrica y el sostenimiento de un caudal continuo para la generación hidroeléctrica, particularmente por su capacidad de retención hídrica. Gran parte de la evaporación del agua tiene que ver

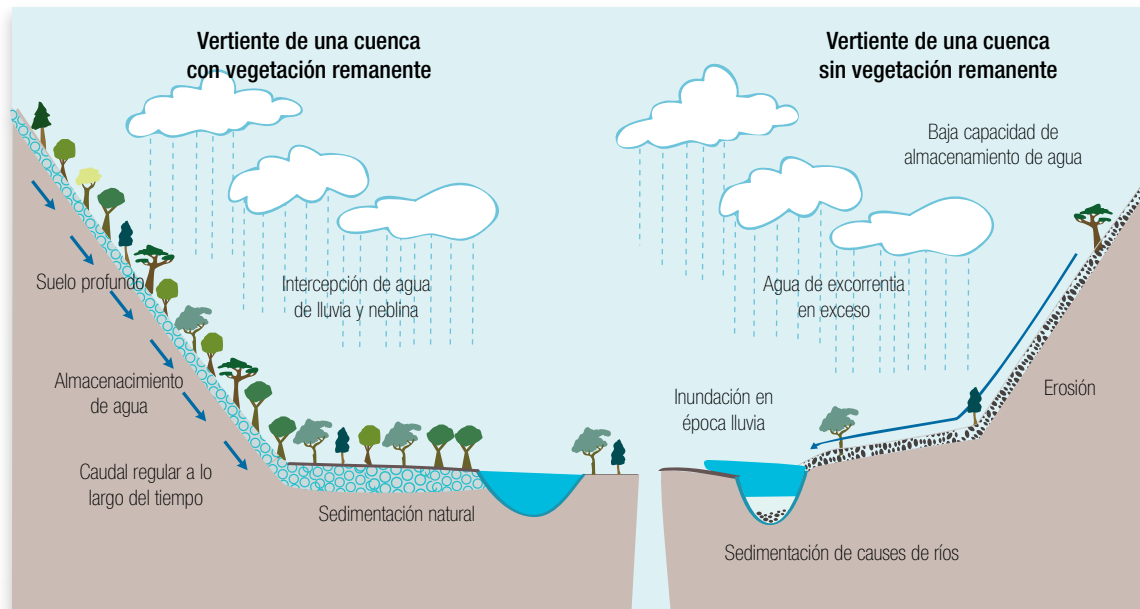
también con la sudoración de las plantas o evapotranspiración. Las plantas aprovechan el agua, la incorporan en su proceso metabólico y la expulsan a la atmósfera en forma de gas o vapor. A su vez, parte de esta agua evaporada tanto por la evapotranspiración como por la evaporación normal del suelo, nuevamente es capturada por la vegetación, particularmente a través de la denominada intercepción de la precipitación horizontal o neblina. Este fenómeno también contribuye a que los suelos que soportan este tipo de vegetación con altas cantidades de materia orgánica, estén saturados de agua durante la mayor parte del año o, en los casos en donde las precipitaciones son menores, mantienen las reservas de agua a manera de una esponja, la cual es liberada paulatinamente asegurando la presencia del líquido vital en riachuelos, ríos, lagunas y vertientes de agua.

Por otro lado, la vegetación permite que el agua que está en el suelo se filtre hacia las partes más bajas del subsuelo a través de surcos o grietas que forman las raíces de las plantas. Esto permite que una parte de las lluvias puedan transportarse lateralmente por el suelo siguiendo la pendiente y generando flujos de agua subterráneos, muchos de los cuales se vierten cerca de cauces de ríos aguas abajo o en acuíferos confinados o aislados en el subsuelo. En otros casos, el agua simplemente queda almacenada en el suelo y es liberada a medida que requieren las plantas. En el caso del suelo del páramo, la materia orgánica que no se pudo descomponer, debido a las bajas temperaturas, se acumula como carbón. Estos suelos son altamente porosos y tienen una gran capacidad de retención de agua. El suelo en los páramos de la zona norte y occidental de la cordillera de los Andes tiene varios metros de grosor; por eso su importancia en la regulación y retención del agua, así como para la fundamental liberación del líquido que aporta a los caudales de los ríos en épocas secas.



Reserva Ecológica Antisana

Fuente: Ministerio del Ambiente

Gráfico 11: Rol de la vegetación en la regulación hídrica

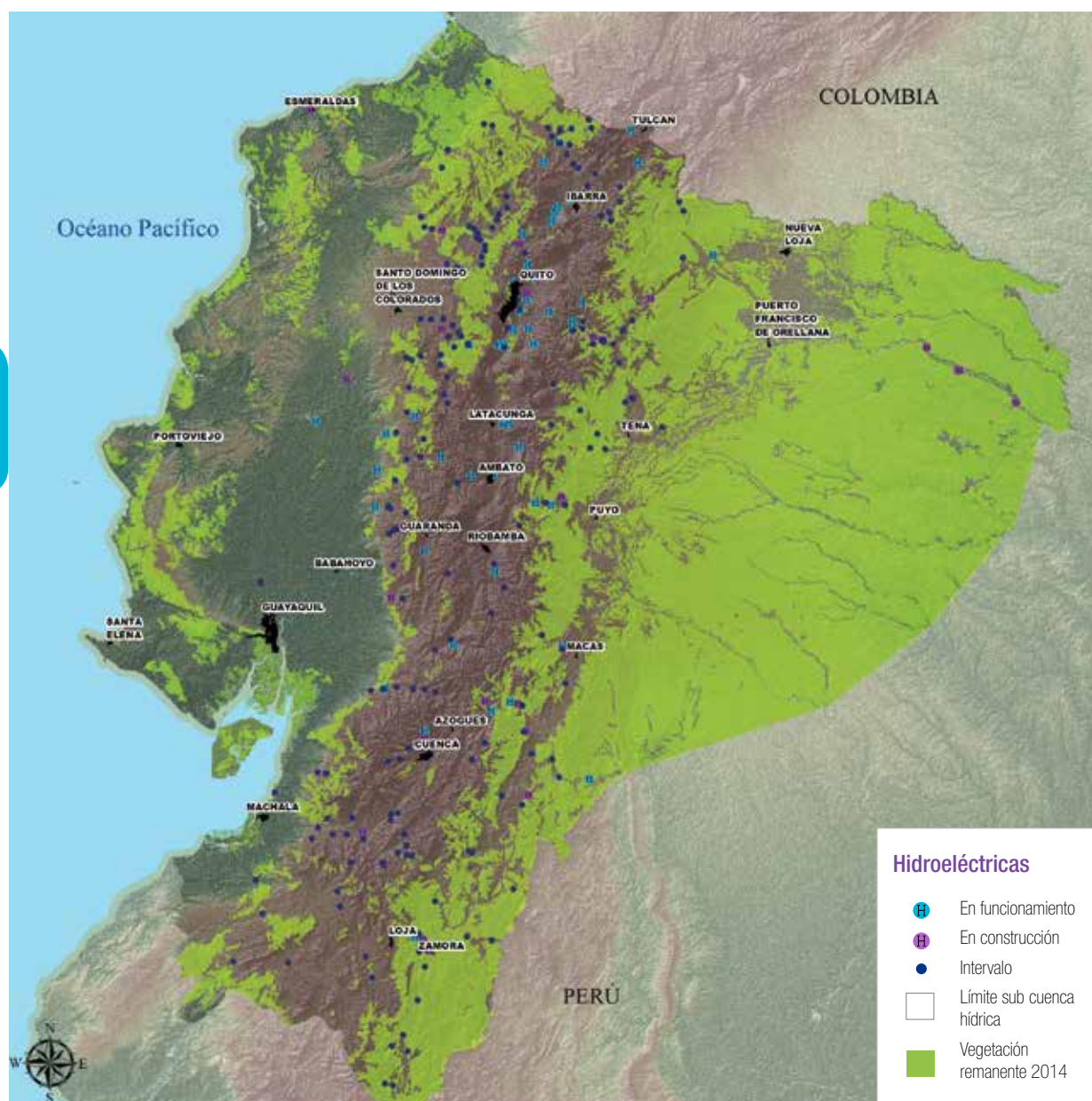
Fuente: Zhang *et al.*, 2001. Elaboración: Mentefactura 2014.

La vegetación también intercepta el agua de lluvia y disminuye la energía cinética de las gotas de agua sobre el suelo, lo que evita su erosión. Esto se traduce en una disminución en el lavado del suelo y sus nutrientes, así como en la disminución de sedimentos aguas abajo. Las raíces de la vegetación natural en su interactuar con el suelo y los organismos que se encuentran en estos hábitats, forman una estructura que reduce la erosión laminar y permite la escorrentía natural y controlada del agua, la cual forma los cuerpos de agua que se van uniendo entre sí para formar ríos con caudales cada vez más voluminosos. El control de la erosión y la escorrentía controlada disminuyen la cantidad de sedimentos y protege a las hidroeléctricas controlando la sedimentación en represas, mejorando el volumen de almacenamiento de agua y evitando gastos relativos a limpieza de sedimentos y por daños en las turbinas, que son muy sensibles a los sedimentos.

En el Ecuador continental, de acuerdo con datos de esta Cartera de Estado (MAE, 2012), al 2008 queda 57% de la vegetación natural como remanente de la vegetación potencial original (Mapa 3). La mayor parte está en la Amazonía y vertientes occidentales de la cordillera de los Andes, así como en los bosques del noroccidente del Ecuador. Estas zonas tienen un enorme papel para asegurar las reservas de agua provenientes de las precipitaciones y neblina, así como de su regulación y control de la erosión del suelo, expresándose en un caudal continuo de agua para la generación de energía eléctrica y remarcando la potencialidad de gran parte del territorio ecuatoriano para el

sostenimiento de este sector estratégico a futuro, como parte del cambio de la Nueva Matriz Energética (NME). Como puede verse en el siguiente mapa, más del 50% de las hidroeléctricas en funcionamiento se encuentran dentro de cuencas hidrográficas que conservan más de la mitad de cobertura de vegetación natural remanente.

Mapa 3: Remanentes de vegetación natural del Ecuador e hidroeléctricas



Fuente: Mapa de línea base de deforestación del Ecuador que sirvió de base para la identificación de las tasas de deforestación entre 1990 y 2008. MAE, 2012. **Elaboración:** Mentefactura, 2014.

En la relación del ciclo natural del agua con otros componentes ambientales, existe una pérdida y erosión natural del suelo, la cual depende de muchos factores; pero particularmente el tipo de suelo, inclinación o pendiente, cobertura vegetal, intensidad de lluvias, etc. Sin embargo, se presenta una erosión mayor en el suelo debido a la implantación de la agricultura y las prácticas de labranza que ésta conlleva. De esta forma, el incremento en la generación de sedimentos tiene que ver con la agricultura y ganadería (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, (FAO - 1987).

Fuente: Ministerio del Ambiente

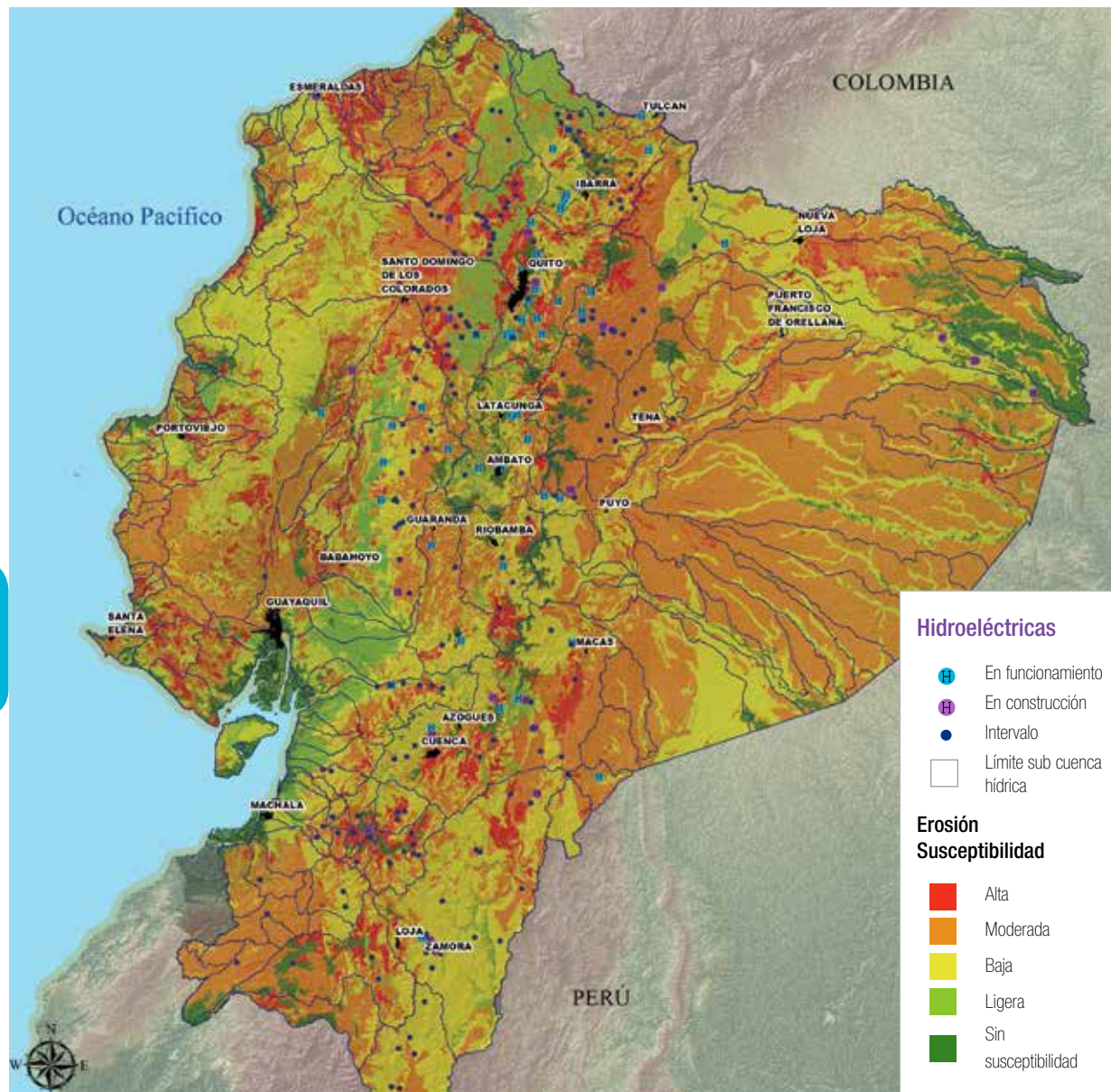


Reserva Ecológica Mache Chindul

Cuando la vegetación natural es removida y sustituida por vegetación de cultivos que dejan al descubierto parte del suelo, la lluvia acelera su erosión, la cual es potenciada mientras aumenta la pendiente del relieve. Ante la escasa cobertura vegetal de las plantas de cultivos o zonas sin cobertura vegetal (tales como centros poblados, arenales, infraestructura, etc.), el agua no puede ser almacenada en el suelo porque las lluvias sobrepasan su capacidad de saturación. En consecuencia, el agua de lluvia se escurre hacia canales naturales, llevando consigo parte del suelo y su capacidad de almacenamiento. El agua lleva consigo sedimentos de diversos tamaños y los deposita en el cauce de los ríos, particularmente en las zonas más planas como playas, vados o embalses naturales a medida que disminuye el caudal. Además, la falta de cobertura vegetal natural, incrementa el riesgo de derrumbes o deslaves en zonas con pendientes muy escarpadas.

Algunas hidroeléctricas ubicadas aguas abajo de microcuencas que han sido muy intervenidas, o con escasa cobertura vegetal natural, deben realizar fuertes inversiones para el almacenamiento del líquido a través de represas, así como para la continua limpieza de sedimentos en dichos reservorios. Estas mismas represas en épocas de lluvia son sobrepasadas por el creciente volumen de agua que escurre súbitamente, sin posibilidad de ser retenida por el suelo o la vegetación, por lo que es necesario evacuar los excedentes, perdiendo el potencial para la generación eléctrica en épocas de pocas precipitaciones. En el siguiente mapa se puede observar cómo gran parte del territorio montañoso del Ecuador que incluye los relieves de la sierra, costa y oriente, es muy susceptible a la erosión, particularmente las zonas aguas arriba de la mayoría de hidroeléctricas. En las áreas con alta y moderada susceptibilidad, el potencial de erosión no se incrementa mientras se conserven sus condiciones naturales (Mapa 4).

Mapa 4: Susceptibilidad a la erosión del Ecuador e hidroeléctricas

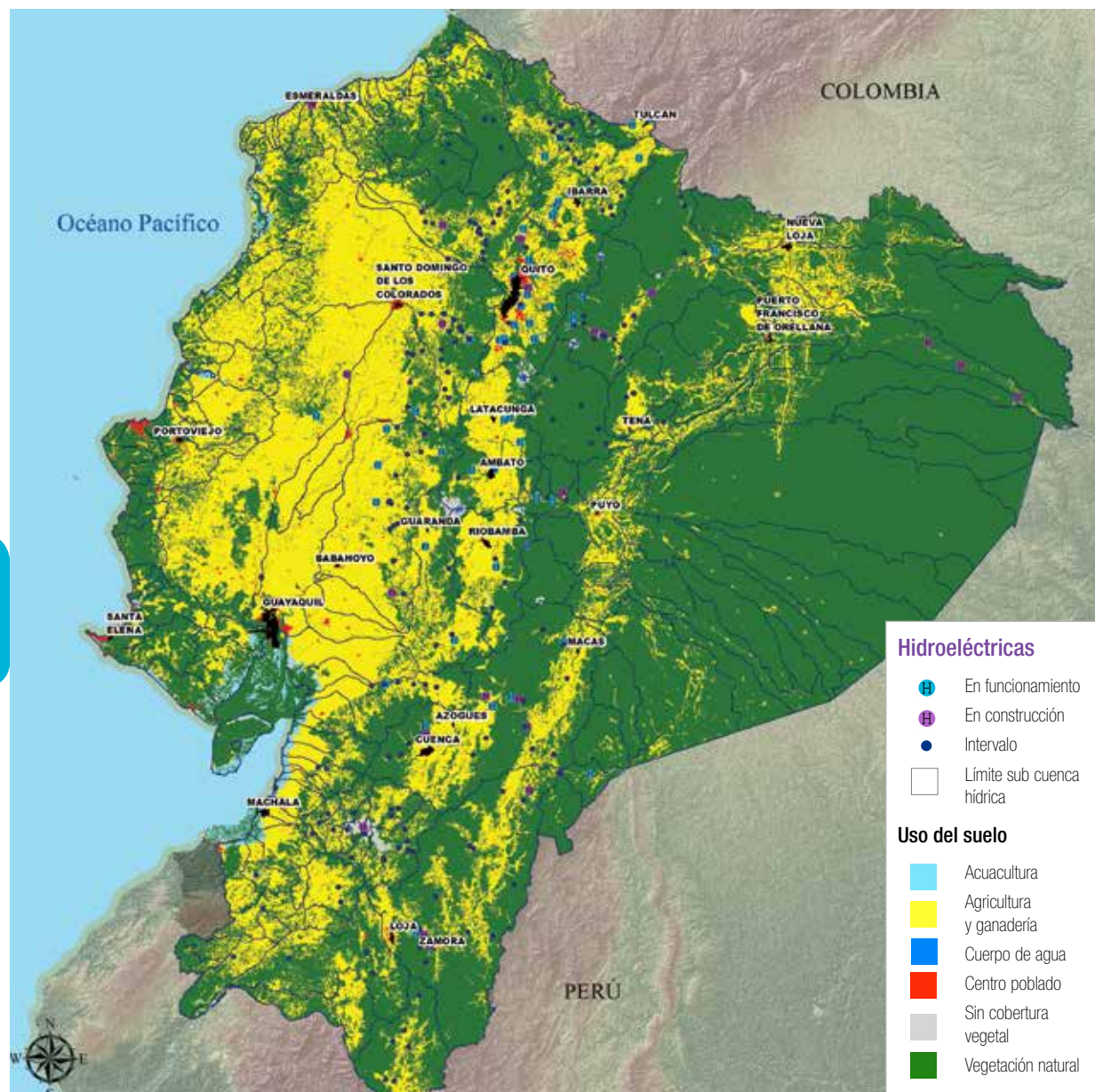


Fuente: Modelo digital de elevación a escala 1:250 000 y mapa de suelos elaborado por el PRONAREC (1980). Elaboración: Mentefactura, 2014.

Una gran parte de las zonas susceptibles a la erosión, de acuerdo al mapa de uso del suelo generado por el Ministerio del Ambiente (MAE, 2012), está densamente poblada y utilizada para la agricultura, ganadería y otros usos antrópicos. Un porción considerable del agua que drena hacia los valles es utilizada por una intensa red de canales de riego que aprovechan el recurso hídrico para la agricultura y para el consumo humano, disminuyendo los caudales naturales de algunos ríos y riachuelos. La creciente necesidad de tierras para cultivo presiona los escasos remanentes de las vertientes interiores de los valles interandinos al expandir la frontera agrícola, además de establecer cultivos en zonas con altas pendientes no adecuadas para la agricultura. Esto potencializa la erosión en las zonas de cultivos en laderas, que, sin las medidas necesarias de protección, pierden su capa fértil por erosión o agotamiento de nutrientes, siendo necesaria la incorporación de nuevas tierras para las actividades agro productivas. En el siguiente mapa se puede observar cómo gran parte de las potenciales hidroeléctricas está aguas abajo de zonas de cultivo; esto implica, la necesidad de establecer mecanismos de retención de sedimentos para que se no afecte la productividad energética.



Mapa 5: Uso del suelo en el Ecuador e hidroeléctricas

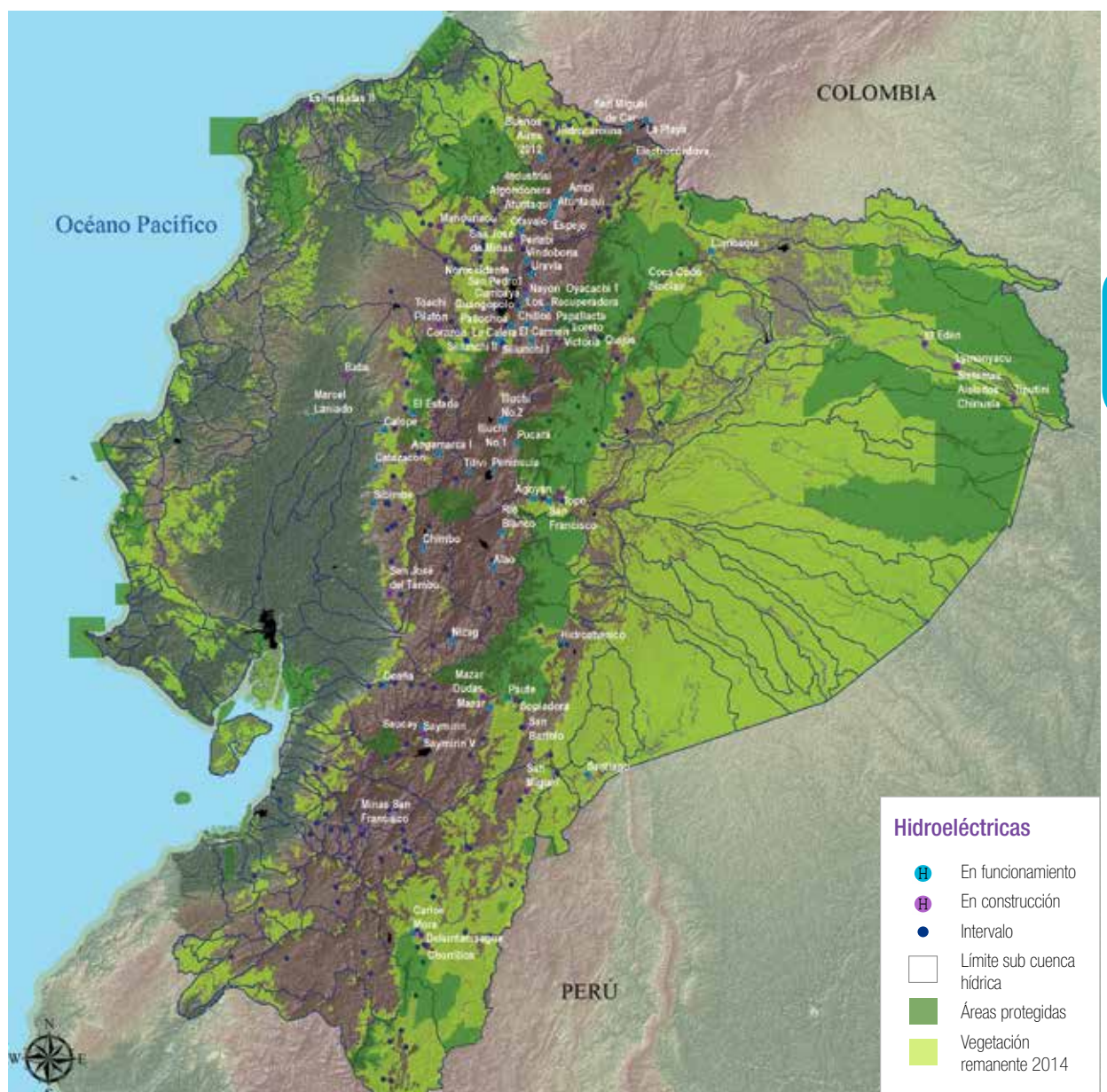


Fuente: Mapa de Vegetación del Ecuador. MAE (2012). Elaboración: Mentefactura, 2014.

Una parte de la vegetación natural remanente en la actualidad está bajo un régimen de protección por parte del Estado ecuatoriano a través de la creación de áreas naturales protegidas (Mapa 6). Esta condición de protección es importante para la preservación de los ecosistemas y para la provisión de servicios ecosistémicos; particularmente para asegurar reservas de agua en la vegetación y control de sedimentos para las hidroeléctricas que están ubicadas aguas abajo o dentro de las áreas protegidas.

La vegetación remanente que no está dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas es vulnerable a procesos de cambio de cobertura vegetal, degradación, deforestación, explotación minera, etc., lo que puede traer como consecuencia la pérdida de la capacidad de almacenamiento de agua y control de la erosión que afectaría a la productividad de las hidroeléctricas.

Mapa 6: Áreas Protegidas y vegetación remanente en el Ecuador



Fuente: Fuente: Mapa de Vegetación del Ecuador (MAE, 2013). Elaboración: Mentefactura, 2014.

Como se explica, la presencia de un caudal considerable de agua en los ríos depende fundamentalmente del ingreso de agua a través de las precipitaciones y la superficie de captación del agua de la cuenca. La disponibilidad de agua a lo largo de un año depende de cómo las lluvias aportan agua durante las estaciones climáticas, la capacidad de la vegetación y el suelo para regular su flujo durante las estaciones con pocas lluvias y el relieve que aumenta la velocidad de escurrimiento del líquido vital.

La generación de sedimentos a lo largo de la cuenca es un proceso natural, el cual se incrementa cuando se altera la vegetación. Se la sustituye por cultivos estacionales u otras actividades humanas ubicadas en zonas con susceptibilidad a la erosión sin las adecuadas medidas de manejo. Esta transformación también afecta a la capacidad de retención del agua a lo largo del año.



Fuente: Ministerio del Ambiente

Parque Nacional
Sumaco Napo Galeras

4

Visión y objetivos para el sector hidroeléctrico



Fuente: Ministerio del Ambiente

Parque Nacional
Llanganates

La metodología *Targeted Scenario Analysis* (o Análisis de Escenarios Meta, por sus siglas en inglés), establece la definición de un marco de política, que proponga una visión y objetivos estratégicos, como paso previo a valorar la contribución de las Áreas Protegidas (AP) basada en la provisión de servicios ambientales como insumos para la producción. Este proceso es el más importante de todos, ya que encamina las definiciones y proyecciones posteriores sobre la base, entre otros aspectos, de la descripción y el diseño de dos diferentes escenarios de análisis, así como la selección de los indicadores que serán medidos para el sector hidroeléctrico.

En este sentido, se desarrolló la siguiente visión:

El SNAP es reconocido como un socio clave de la Nueva Matriz Energética ya que asegura la provisión del recurso hídrico y la sostenibilidad de los principales proyectos hidroeléctricos del país a largo plazo.

Con el propósito de cumplir con la visión planteada, se desarrollaron los siguientes **objetivos estratégicos**:

- ▶ Ampliar la superficie bajo conservación, y asegurar que el mandato y las competencias del MAE se amplíen a la conservación de recursos estratégicos.
- ▶ Planificar la gestión del SNAP y otras figuras de conservación con el objetivo del mantenimiento, la recuperación y el uso sostenible de cuencas hídricas para la provisión y el aseguramiento del agua para el sector de producción hidroeléctrica.
- ▶ Articular las políticas y estrategias de conservación con respecto al uso del recurso agua entre todos los sectores involucrados con sus beneficios, fortaleciendo el rol institucional en la planificación y ordenamiento del territorio de manera integral.
- ▶ Diseñar e implementar herramientas de planificación y financiamiento para el manejo y conservación de cuencas hídricas dentro del SNAP.

Mientras que los primeros dos objetivos estratégicos se traducen directamente en los indicadores intermedios y finales sujetos al ejercicio de proyección, los últimos dos se deben considerar como objetivos políticos que acompañen los primeros y que aseguren la sostenibilidad de la conservación de los recursos hídricos en el país, fortaleciendo el posicionamiento de esta Cartera de Estado dentro de la Nueva Matriz Energética (NME) del Ecuador.



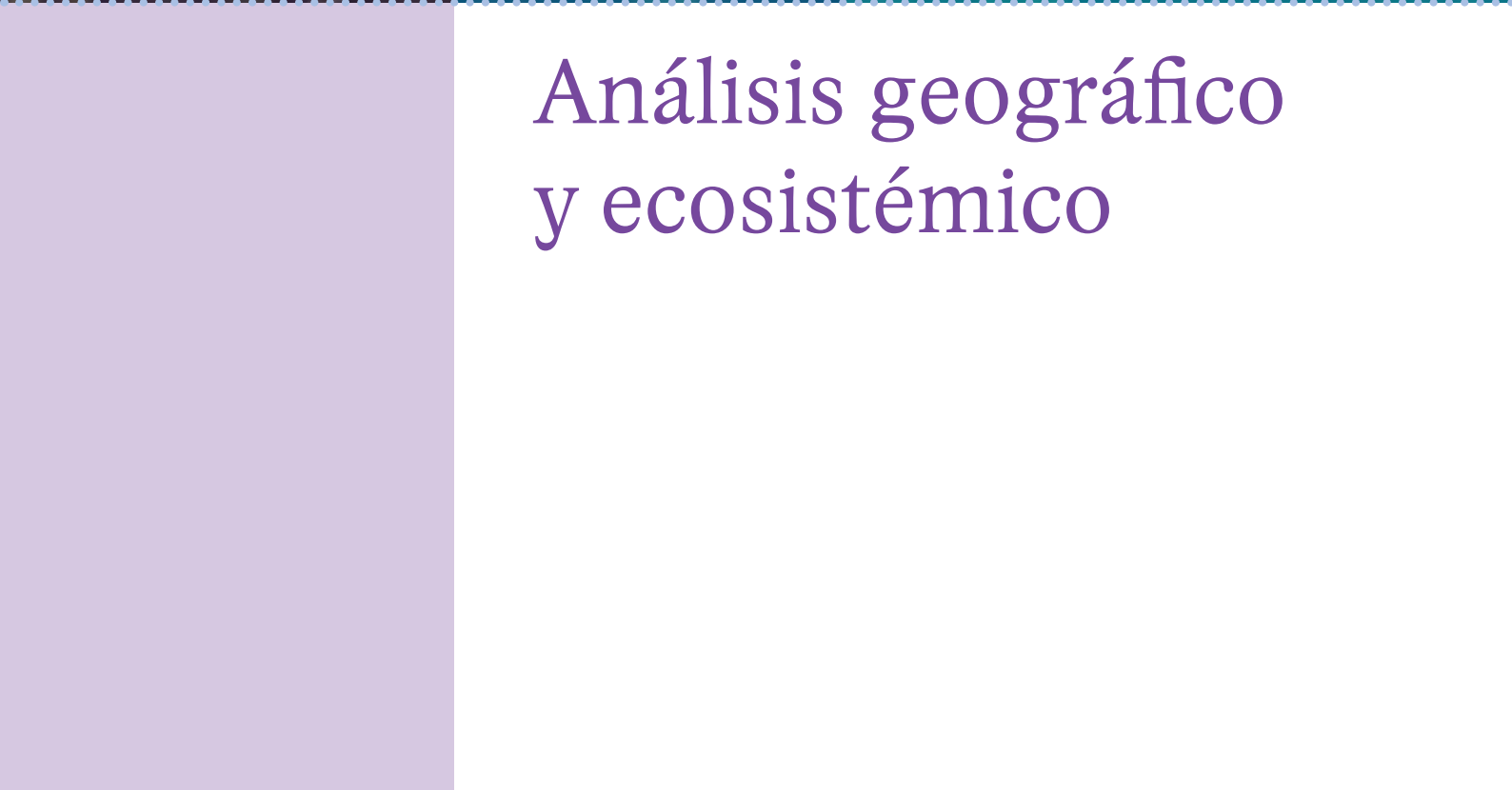


Fuente: Ministerio del Ambiente

5

Parque Nacional Yacuri

Análisis geográfico y ecosistémico

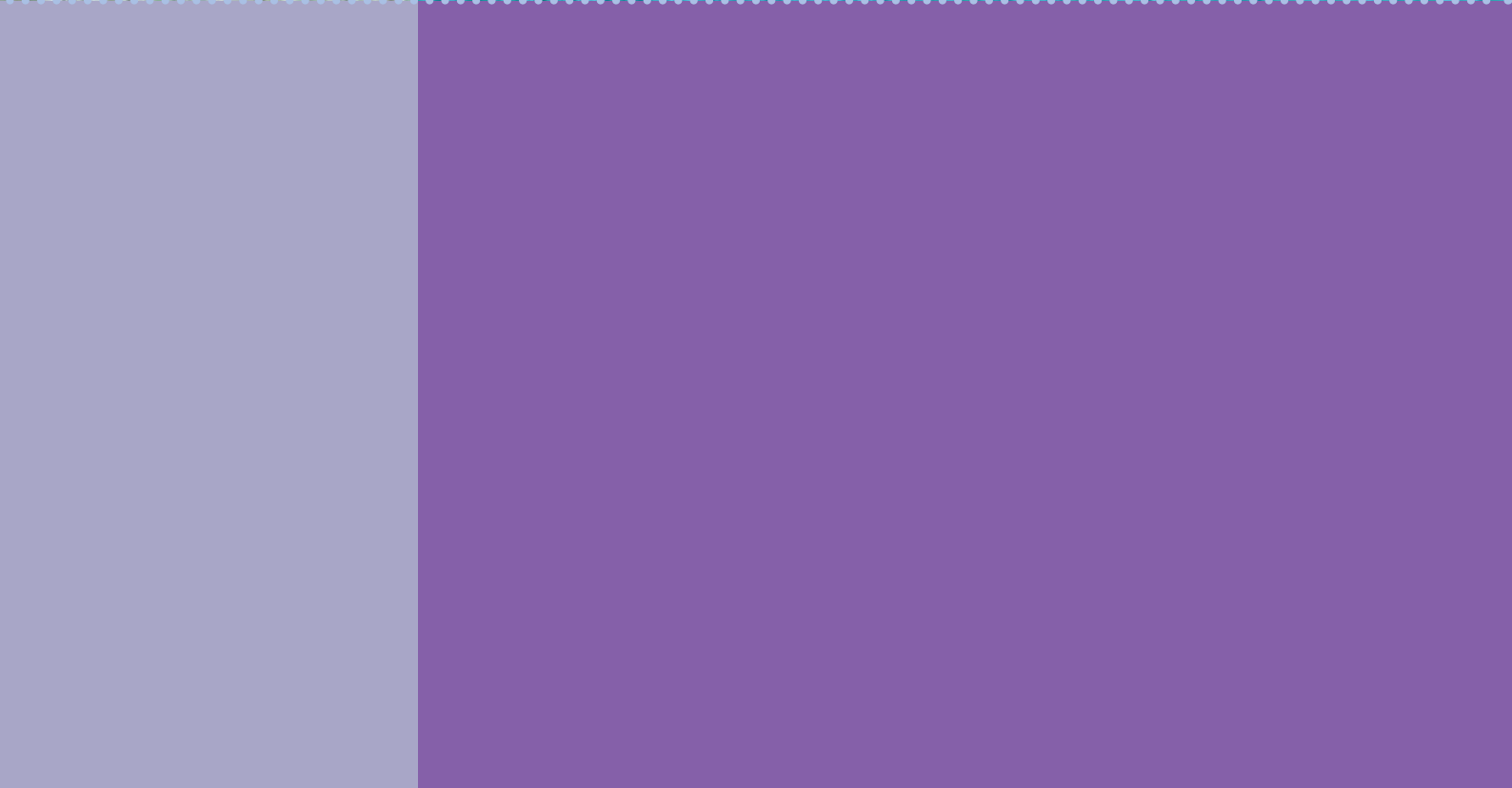




Parque Nacional
Yacuri



Fuente: Ministerio del Ambiente



Análisis geográfico y ecosistémico con base en mapas a nivel de cuenca, para determinar la provisión de los servicios ambientales hídricos relevantes para la productividad del sector hidroeléctrico

5.1 Cobertura del suelo

Con base en la metodología expuesta en el capítulo anterior, se presentan los resultados del análisis geográfico y ecosistémico, así como los mapas respectivos para cada cuenca de drenaje que forma parte de este estudio. A continuación se muestran las condiciones generales de uso del suelo en las tres cuencas de drenaje.

Coca Codo Sinclair

Esta cuenca de drenaje tiene más de 90% de zonas naturales con cobertura vegetal de bosques nativos, vegetación arbustiva, herbácea y pajonales. Durante 1990 a 2008 ha disminuido su superficie en 4%. El bosque nativo es el más afectado, principalmente en las zonas de expansión de la frontera agrícola junto a las vías y carreteras.

Cerca de 14% de esta vegetación natural no está protegida y una pequeña parte de estas áreas están asentadas en zonas de difícil acceso, dado el relieve extremo. Diez por ciento de zonas consideradas como intervenidas por la presencia humana presenta un mosaico de actividades agropecuarias acordes a su gradiente altitudinal, que van desde cultivos de ciclo corto y pastos en pisos fríos, hasta cultivos templados y subtropicales en las partes medias y bajas de la cuenca.

El siguiente mapa y la tabla 1 muestran el patrón de asentamientos y uso del suelo son típicos de las zonas de colonización o expansión de frontera agrícola, muy localizados en los márgenes de las vías o ríos y presentan, por una parte, mosaicos de cultivos de subsistencia y, por otra, cultivos orientados a mercados locales. De los cultivos más importantes resalta la naranjilla, la cual tiene serios impactos con respecto al uso de agroquímicos y formas de producción en un relieve con pendientes de medias a muy fuertes (superiores a 30%). La ganadería, otro uso importante en esta cuenca, presenta un incremento constante a lo largo de los últimos años, ubicándose principalmente en la zona del valle del Río Quijos.



Fuente: Ministerio del Ambiente

Parque Nacional Sangay

Mapa 7: Uso del suelo y cobertura vegetal de la cuenca de drenaje de la hidroeléctrica Coca Codo Sinclair en 2008

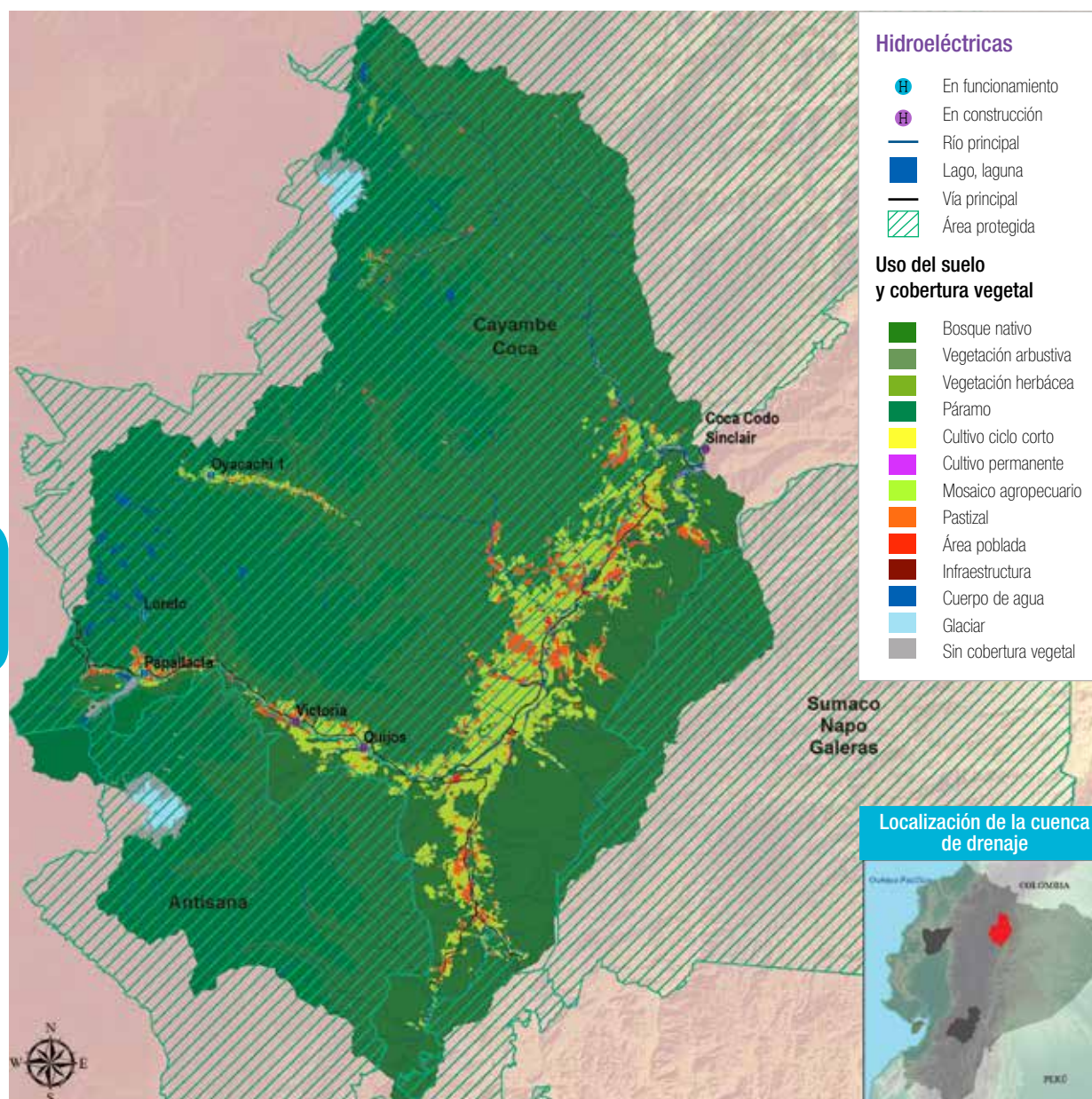


Tabla 1: Cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo en la cuenca de drenaje de la hidroeléctrica Coca Codo Sinclair

Categorías	Superficie en hectáreas en tres años diferentes				
	1990	2000	% cambio	2008	% cambio
Vegetación natural					
Bosque nativo	221 979	216 905	-2	211 525	-2
Vegetación arbustiva	471	802	70	139	-83
Vegetación herbácea		85		852	902
Páramo	121 545	119 486	-2	118 926	0
Glaciar	2 984	2 902	-3	2 046	-29
Cuerpo de agua	2 029	2 121	5	2 337	10
Sub total 1	349 008	342 301	-2	335 825	-2
Uso del suelo					
Cultivo ciclo corto	84				
Cultivo permanente		350		7	-98
Mosaico agropecuario	16 395	19 781	21	24 692	25
Pastizal	4 703	6 352	35	7 856	24
Área poblada	72	227	215	398	75
Infraestructura		136		2 968	2 082
Área sin cobertura vegetal	1 651	2 765	67	167	-94
Sub total 2	22 905	29 611	29	36 088	22
Total	371 913	371 912		371 913	

Fuente: MAE, 2012. Elaboración: Mentefactura.

Hidropaute

La cuenca del Río Paute está cubierta con vegetación natural en una superficie de más de 57%, principalmente con páramos en las zonas más altas y bosques nativos en las estribaciones de las cordilleras. De esta vegetación natural, 66% de la superficie está protegida; sin embargo, en los últimos años se muestra una disminución de remanentes de vegetación de cerca de 15% en aquellas zonas no protegidas.

De acuerdo al mapa 8 y la tabla 2, los patrones del uso del suelo están caracterizados por una consolidación de procesos antrópicos en los valles interandinos, con una historia productiva orientada al uso intensivo del suelo agrícola en las partes planas de los valles, uso ganadero en las zonas más húmedas y altas, cerca de los páramos, así como de crecimiento de áreas de infraestructura y de vivienda cerca de poblados.

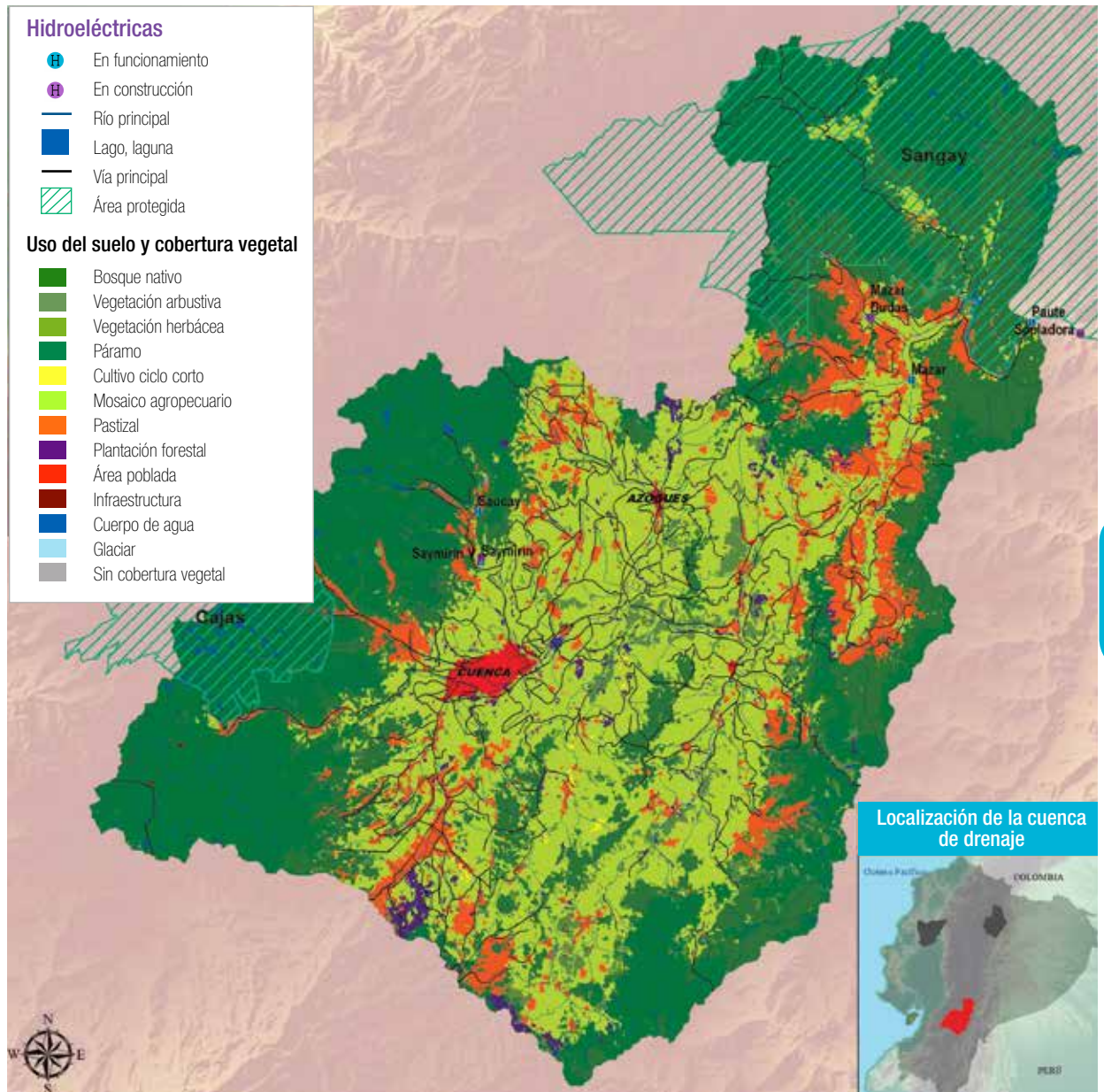
Éstas últimas tienden a desplazar actividades de producción agropecuaria a zonas con vegetación natural, aumentando la frontera agrícola.

Debido a que es una zona de ocupación antigua, la parcelación de la tierra es alta y esto se refleja en que una buena parte de las zonas con intervención humana constituyen mosaicos de distintas actividades agropecuarias, en las que se lleva a cabo una rotación entre cultivos de ciclo corto, semipermanentes, permanentes y ganadería, como una estrategia para solventar las necesidades de producción y de alimentación de la población local.

Es importante mencionar que dentro de esta cuenca hay un porcentaje pequeño de plantaciones forestales; principalmente de eucalipto (*Eucalyptus saligna*), y pino (*Pinus patula* y *P. kesiá*), las cuales tienen una influencia negativa sobre la captación de agua tales como disminución significativa en la escurrentía, disminución del rendimiento hídrico, secado del suelo, consumo de agua de niveles freáticos y acidificación del suelo (Hofstede, *et al.*, 1998). A pesar de ser un porcentaje marginal, en muchas zonas de cultivos se utilizan estas especies como linderos, cortinas rompe vientos o como reservas de madera, razón por la cual su uso es muy difundido en los valles interandinos.



Mapa 8: Uso del suelo y cobertura vegetal de la cuenca de drenaje de la hidroeléctrica Paute en 2008



Fuente: Fuente: MAE, 2012. Elaboración: Mentefactura, 2014.

Tabla 2: Cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo
en la cuenca de drenaje de la hidroeléctrica Paute

Categorías	Superficie en hectáreas en tres años diferentes				
	1990	2000	% cambio	2008	% cambio
Vegetación natural					
Bosque nativo	105 219	96 161	-9	97 833	2
Vegetación arbustiva	48 781	72 235	48	20 034	-72
Vegetación herbácea	2 443	309	-87	83	-73
Páramo	179 280	175 080	-2	175 326	0
Glaciar	2	2	0	28	1 300
Cuerpo de agua	1 660	2 080	25	2 014	-3
Sub total 1	337 385	345 867	3	295 318	-15
Uso del suelo					
Cultivo ciclo corto	1 282	1 197	-7	429	-64
Mosaico agropecuario	130 110	100 589	-23	161 070	60
Pastizal	34 968	54 042	55	48 221	-11
Plantación forestal	8 611	9 714	13	6 242	-36
Área poblada	2 657	3 338	26	3 715	11
Infraestructura	30	196	553	268	37
Área sin cobertura vegetal	373	545	46	226	-59
Sin información	71				
Sub total 2	178 102	169 621	-5	220 171	30
Total	515 487	515 488		515 489	

Fuente: MAE, 2012. Elaboración: Mentefactura

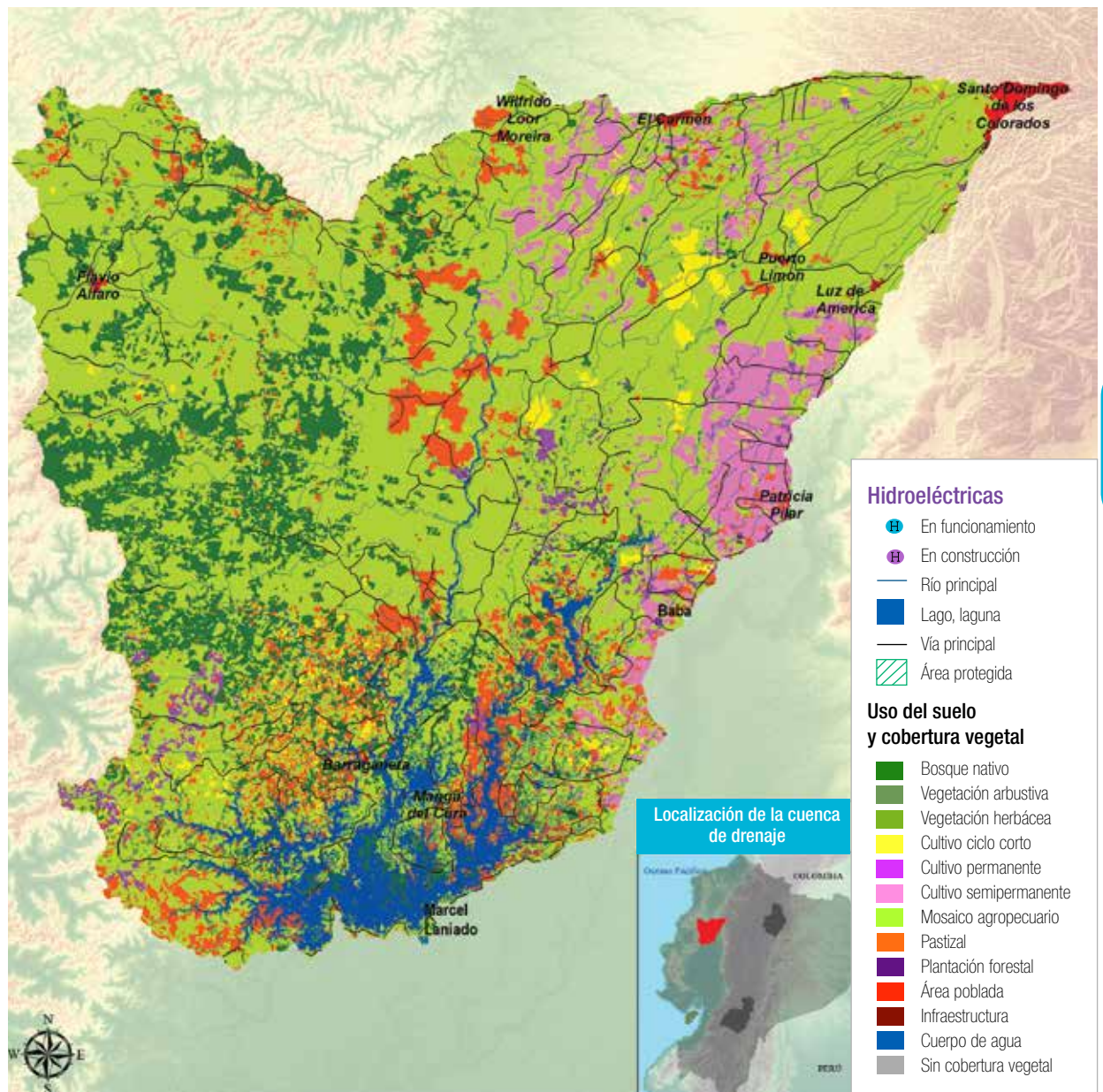
Marcel Laniado

Esta cuenca de drenaje de los Ríos Daule y Peripa se caracteriza por tener 13% de vegetación natural remanente, la cual no está protegida. La mayor parte de esta vegetación natural es de bosques nativos altamente amenazados que han disminuido su superficie entre 1990 y 2008, en 30%. Algo similar ocurre con los otros tipos de vegetación natural.

De acuerdo al mapa 9 y la tabla 3, principal patrón de uso del suelo corresponde al de una zona de costa altamente productiva con cultivos de ciclo permanente, semipermanente y ganadería; realizados de manera extensiva e intensiva. También existen mosaicos agroproductivos típicos de las chacras o fincas, las cuales son formas

de aprovechamiento de la tierra con cultivos múltiples como plátano, yuca, frutales, café, cacao, etc., orientadas al autoconsumo y al mercado. Las zonas más planas o con menor pendiente son aprovechadas por cultivos de ciclo corto como hortalizas.

Mapa 9: Uso del suelo y cobertura vegetal de la cuenca de drenaje de la hidroeléctrica Marcel Laniado en 2008



Fuente: Fuente: MAE, 2012. Elaboración: Mentefactura, 2014.

Tabla 3: Cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo en la cuenca de drenaje de la hidroeléctrica Marcel Laniado

Categorías	Superficie en hectáreas en tres años diferentes				
	1990	2000	% cambio	2008	% cambio
Vegetación natural					
Bosque nativo	83 359	50 292	-40	51 249	2
Vegetación arbustiva	7 529	7 662	2	5 156	-33
Vegetación herbácea	1 328	43	-97	249	482
Sub total 1	92 216	57 997	-37	56 655	-2
Uso del suelo					
Cultivo ciclo corto	9 664	13 474	39	7 017	-48
Cultivo permanente	380	4 705	1 139	5 458	16
Cultivo semipermanente	2 361	11 762	398	26 802	128
Mosaico agropecuario	149 550	288 651	93	261 352	-9
Pastizal	28 091	17 988	-36	37 396	108
Plantación forestal	9	249	2 584	37	-85
Área poblada	992	1 543	56	2 045	33
Infraestructura	20	81	301	167	107
Cuerpo de agua	20 349	19 816	-3	19 484	-2
Área sin cobertura vegetal	12	360	3 028	212	-41
Sin información	112 981		-100		
Sub total 2	324 409	358 628	11	359 970	0
Total	416 625	416 625		416 625	

Fuente: MAE, 2012. Elaboración: Mentefactura.

5.2 Erosividad y capacidad de retención de humedad en el suelo

A continuación se presentan los resultados del segundo paso en el análisis geográfico: las características de algunos factores físicos que contribuyen a la definición de la capacidad del suelo para almacenar agua y su vulnerabilidad a la erosión. Esta capacidad determina directamente la provisión de los servicios hídricos relevantes, es decir, almacenamiento de agua y regulación de la sedimentación en la cuenca, para la productividad de las tres hidroeléctricas.

5.2.1 Capacidad del suelo para almacenar agua

Coca Codo Sinclair

El 75% aproximadamente de la superficie de las cuencas de los Ríos Quijos y Salado tienen una capacidad alta de almacenamiento de agua (tabla 4). Las condiciones ambientales, particularmente sus suelos muy profundos en los páramos, con una baja evaporación del agua debido a las bajas temperaturas, así como la textura y otras propiedades, hacen que estas zonas sean una verdadera esponja que almacena grandes cantidades de agua. Sin embargo, las altas precipitaciones en las zonas medias y bajas, superiores en muchos casos a los 3 000 mm anuales, las hacen muy importantes para procesos de producción de agua por escorrentía y acumulación en los drenajes o ríos naturales; por esta razón, los caudales son continuos a lo largo de todo el año, aunque presentan una disminución en las épocas de verano. En esta zona, la vegetación natural contribuye a la regulación del régimen hídrico, lo que la constituye en una verdadera represa natural distribuida a lo largo de la cuenca.

Las zonas con capacidad media de almacenamiento corresponden a los valles aluviales de los principales ríos, los cuales tienen una capacidad de drenaje y textura favorables para la escorrentía lateral del agua, razón por la que su capacidad de almacenamiento es mínima. Estas zonas cumplen con funciones hídricas importantes para el control del caudal y depósito de sedimentos.

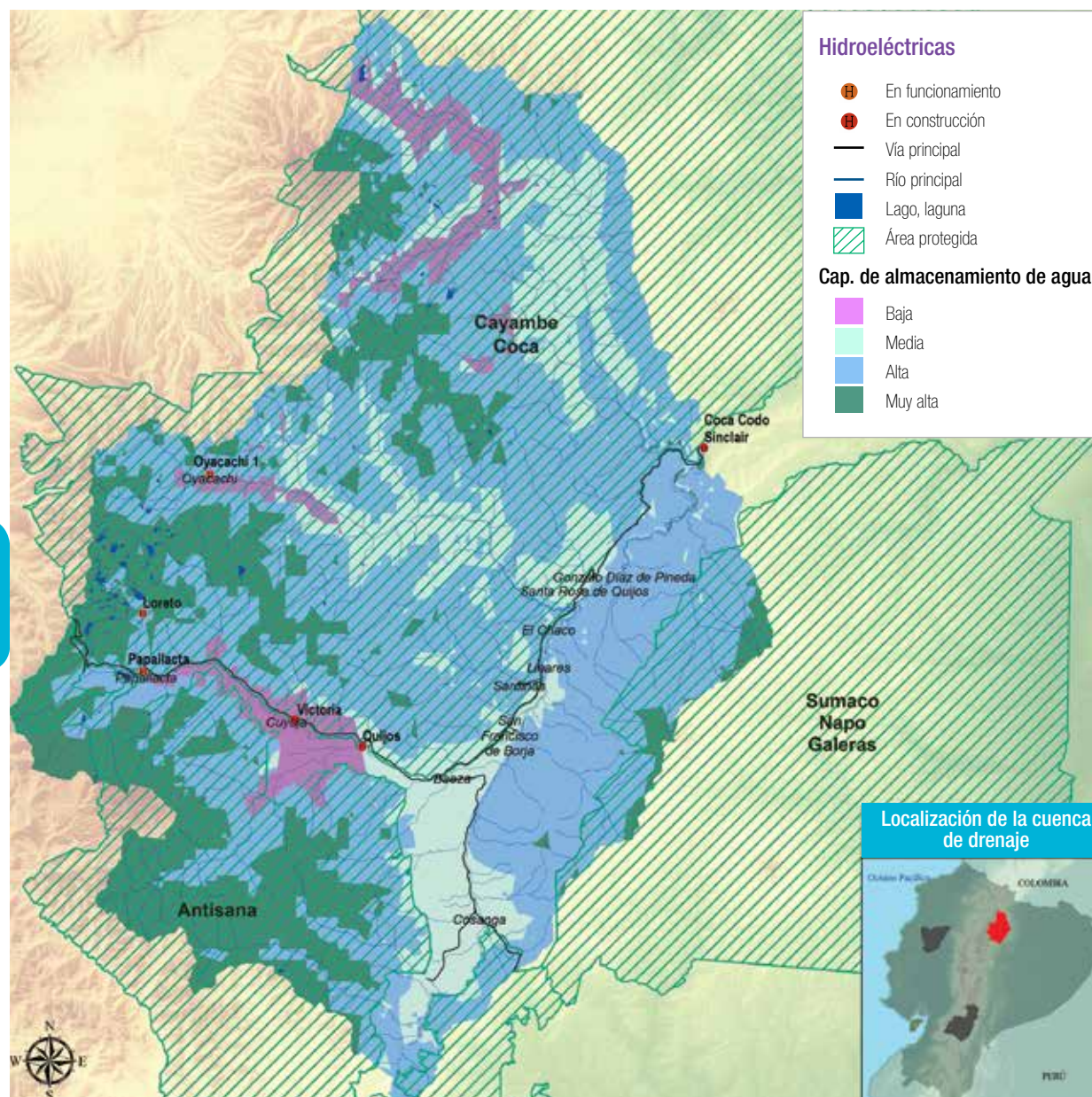
En la tabla 4 y el mapa 10, se pueden apreciar las áreas con una baja capacidad de almacenamiento de agua identificadas dentro de la cuenca de drenaje (5%), son zonas con alta pedregosidad generadas a partir de coladas de lava provenientes de cráteres parásitos de los volcanes Antisana, Filocorrales y Cayambe, en donde los suelos no se han desarrollado debido a su edad geológica muy reciente. A pesar de esto, estas zonas tienen más de nueve meses húmedos.

Tabla 4: Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo en la cuenca de drenaje de Coca Codo Sinclair

Capacidad de almacenamiento de agua	Superficie	
	Hectáreas	%
Baja	22 130	5,95
Media	64 456	17,33
Alta	205 236	55,18
Muy alta	77 741	20,91
Glaciares	2 350	0,63
Total	371 913	100,00

Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura.

Mapa 10: Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo en la cuenca de drenaje de Coca Codo Sinclair



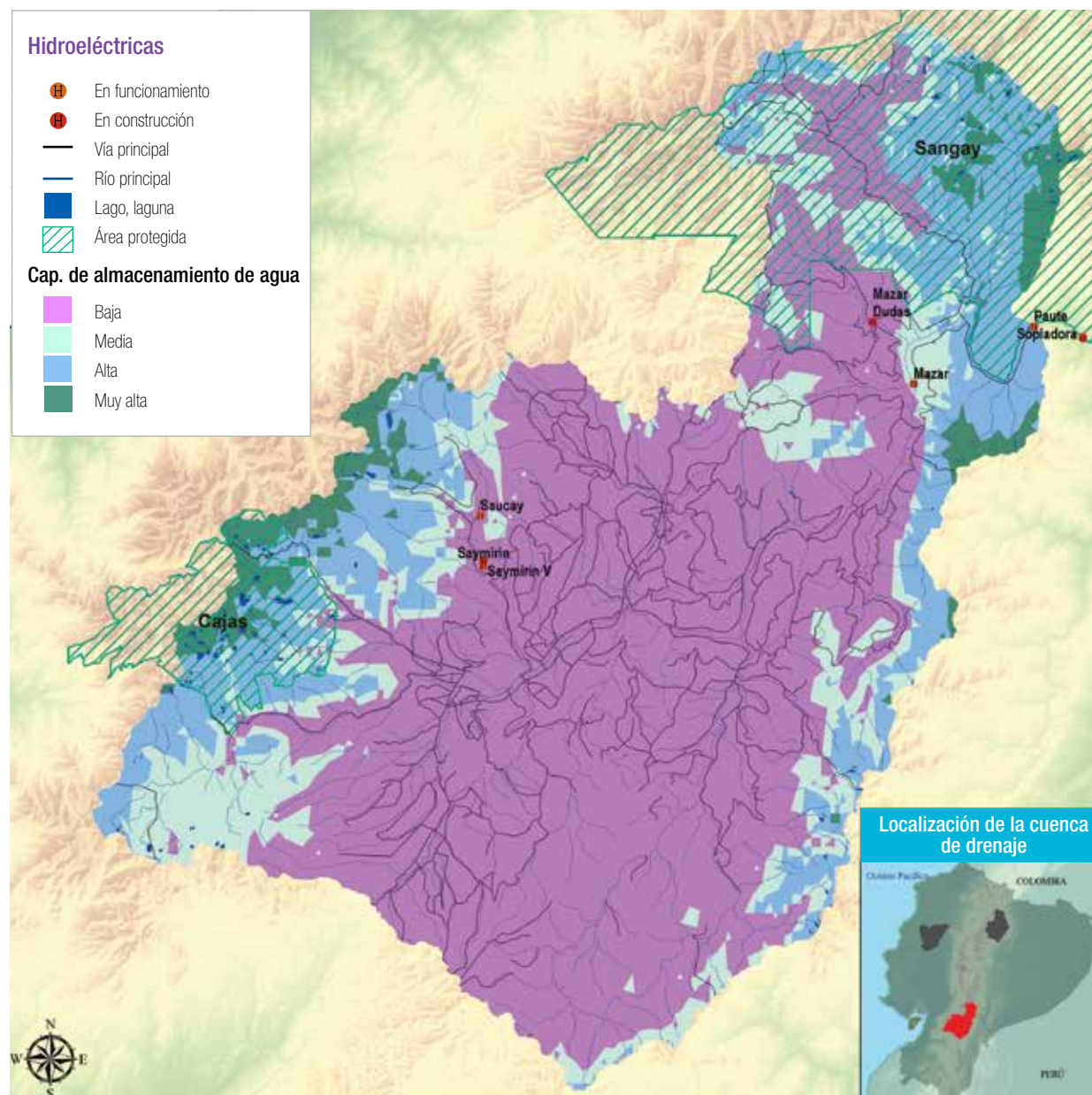
Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura, 2014.

Hidropaute

La cuenca de drenaje del Río Paute, tiene alrededor de un 23% de su superficie con condiciones de clima, suelos y relieve, que favorecen el almacenamiento de agua. Estas zonas son principalmente los páramos ubicados en las vertientes internas (hacia los valles interandinos), de las cordilleras. A medida que se baja en altitud, va disminuyendo

la capacidad de almacenamiento, principalmente debido a que aumentan las pendientes y disminuye la cantidad de precipitaciones y por ende se originan meses secos.

Mapa 11: Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo en la cuenca de drenaje de Hidropaute



Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura, 2014.

Las zonas más bajas de los valles interandinos, correspondientes a 60% del total de la cuenca de drenaje (tabla 5), tienen una baja capacidad de almacenamiento de agua. Estas zonas están en las partes planas de estos valles. Los suelos y las condiciones

climáticas son las principales causas para que estas zonas tengan propiedades limitadas para el almacenamiento de agua; principalmente, por la modificación en cuanto a la estructura, profundidad y drenaje del suelo derivadas de las prácticas agropecuarias a lo largo de los años (mapa 11).

Tabla 5: Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo de la cuenca de drenaje de Hidropaute

Capacidad de almacenamiento de agua	Superficie	
	Hectáreas	%
Baja	316 510	61,38
Media	81 255	15,76
Alta	93 124	18,06
Muy alta	24 733	4,80
Total	515 622	100,00

Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura.

Marcel Laniado

En el caso de la cuenca de drenaje de los Ríos Daule y Peripa, una pequeña parte de la superficie de la cuenca; es decir, 6,5% aproximadamente (tabla 6), presenta condiciones de suelo y climáticas favorables para la retención de agua. Estas se ubican al norte en una pequeña porción que recibe la influencia de las lluvias que se precipitan en la zona del pie de monte de la Cordillera Occidental, particularmente en la zona de Santo Domingo de los Colorados (mapa 12).

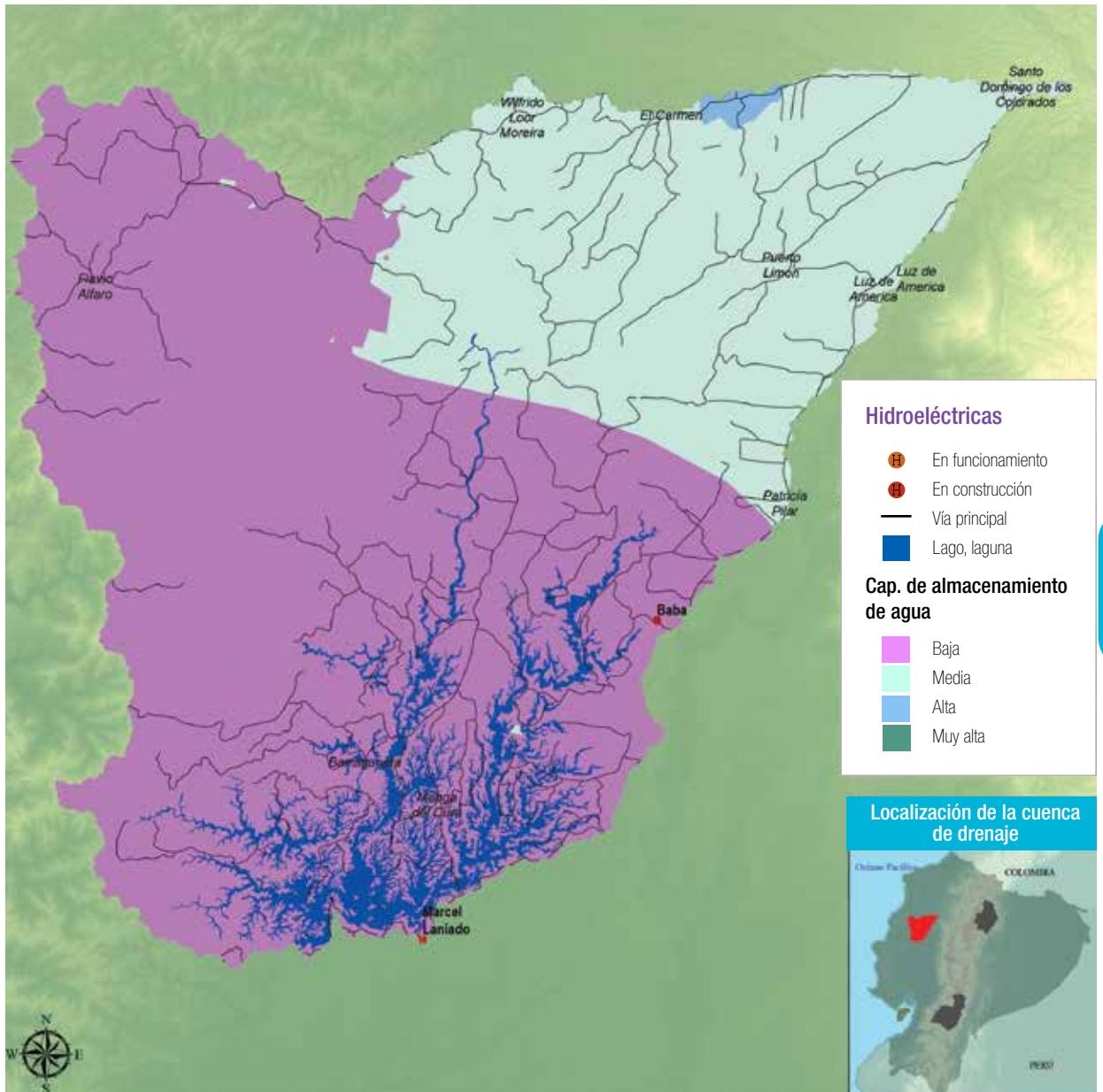
A medida que la cuenca de drenaje se orienta hacia el suroeste de las cabeceras de los ríos que aportan con agua a esta vertiente, el clima cambia y disminuye la precipitación paulatinamente, marcando una limitación importante para almacenar agua, a lo largo del año. La zona con capacidad de almacenamiento media está al noroeste de la cuenca y cubre 30%, mientras que el 60% restante, corresponde a zonas con baja capacidad de almacenamiento de agua (tabla 6).

Tabla 6: Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo de la cuenca de drenaje de Marcel Laniado

Capacidad de almacenamiento de agua	Superficie	
	Hectáreas	%
Baja	260 544	62,54
Media	128 343	30,81
Alta	1 615	0,39
Embalse de agua	26 122	6,26
Total	416 624	100,00

Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura.

Mapa 12: Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo en la cuenca de drenaje de Marcel Laniado



Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura, 2014.



Fuente: Ministerio del Ambiente

Parque Nacional
Cayambe Coca

5.2.2 Vulnerabilidad del suelo a la erosión

Coca Codo Sinclair

En esta cuenca hidrográfica, así como la lluvia es una ventaja para la presencia de agua, también es una amenaza particularmente para los procesos de erosión en el suelo. Esto se debe a que gran parte de la superficie de esta (68%), presenta pendientes muy fuertes, principalmente por la dinámica geológica y geomorfológica de las vertientes orientales de la cordillera de los Andes (mapa 13). Los suelos en los páramos de la cuenca son medianamente vulnerables debido a su estructura, drenaje y a las pendientes que presentan.

Las zonas con menor vulnerabilidad a erosión son aquellas con relieves medianamente planos y suelos con una estructura menos favorable a la erosión. Están localizadas en la zona de transición entre suelos de textura fina y gruesa en las partes muy altas, seguramente de origen volcánico, dada la cantidad de ceniza y piroclastos presentes en estos lugares.

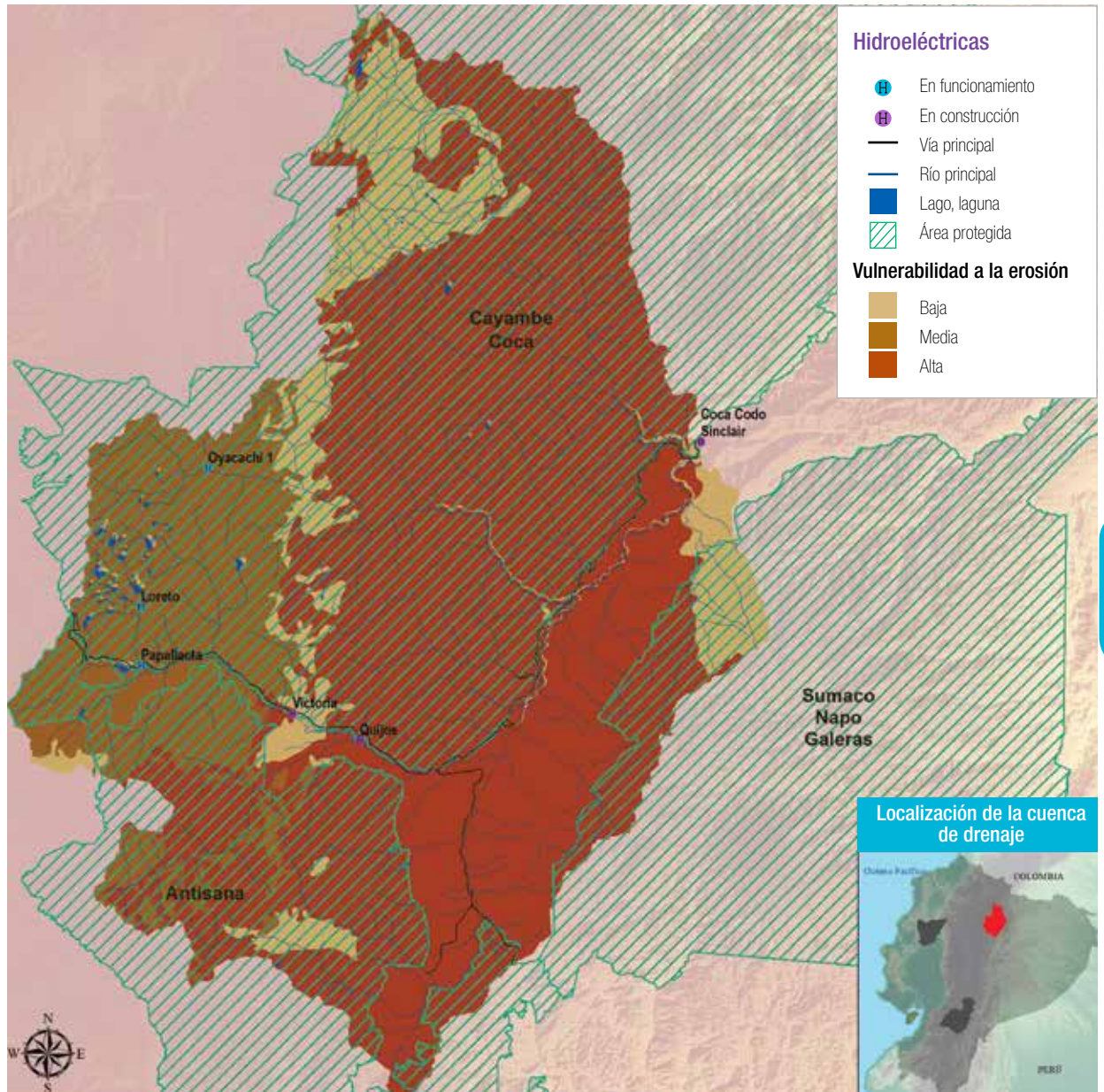
Una pequeña parte de estas zonas de vulnerabilidad media a la erosión está ubicada en la parte suroriental de esta cuenca y corresponde a zonas de relieves planos. Existe una pequeña área con glaciares, junto a los cuales se presentan arenales expuestos a procesos de meteorización producidos por los cambios de temperatura y por la erosión del viento y el agua (tabla 7).

Tabla 7: Vulnerabilidad a erosión hídrica en el suelo en la cuenca de drenaje de Coca Codo Sinclair

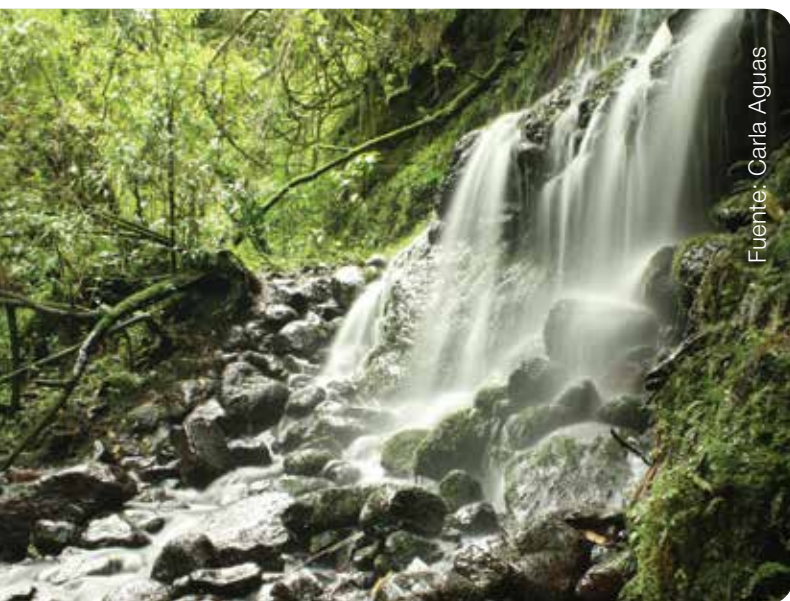
Vulnerabilidad a la erosión	Superficie	
	Hectáreas	%
Baja	46 029	12,38
Media	67 953	18,27
Alta	255 581	68,72
Glaciares	2 350	0,63
Total	371 913	100,00

Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura.

Mapa 13: Vulnerabilidad a erosión hídrica en el suelo en la cuenca de drenaje de Coca Codo Sinclair



Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura, 2014.



Fuente: Carla Aguas

Parque Nacional Cayambe Coca

Hidropaute

Más de la mitad de la superficie de la cuenca del Paute presenta una vulnerabilidad baja a procesos erosivos, debido a las características físicas del suelo, relieve y clima (mapa 14). Estas zonas corresponden a los páramos en los pisos altos, parte de las estribaciones internas de las cordilleras oriental y occidental de los Andes, y una parte de las zonas bajas en el valle interandino.

Aproximadamente 30% de la superficie de la cuenca de drenaje corresponde a zonas con vulnerabilidad media, ubicadas en gran parte en los bajos de los valles interandinos. En su gran mayoría, la textura

y profundidad, son características importantes que las hacen vulnerables; pero, la baja precipitación atenúa los procesos erosivos.

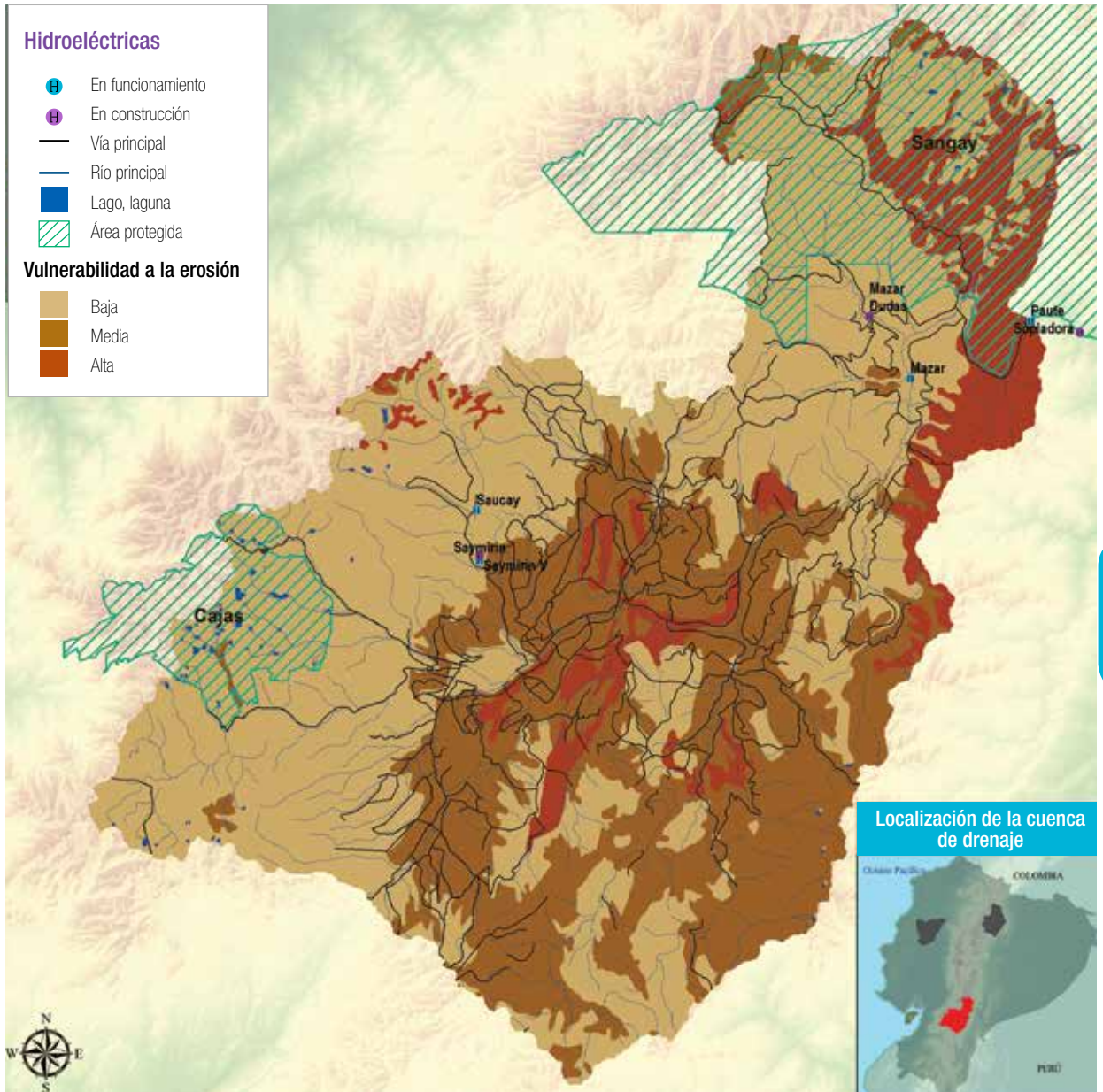
Dentro de los valles interandinos hay zonas muy erosionadas, sin horizonte agrícola. Junto a estas áreas existen suelos poco profundos con alto contenido de rocas y material arrastrado por procesos de derrumbes o activación de fallas geológicas locales. Estas zonas son consideradas de alta vulnerabilidad a la erosión. De igual forma, dentro de esta misma categoría de vulnerabilidad, existen zonas en las vertientes norte y occidentales (externas) de la cordillera oriental, que por el relieve tan accidentado y pendientes fuertes, son consideradas de alta vulnerabilidad a la erosión, es decir, representan aproximadamente 12% de la superficie de la cuenca del Río Paute (tabla 8).

Tabla 8: Vulnerabilidad a erosión hídrica en el suelo en la cuenca de drenaje de Hidropaute

Vulnerabilidad a la erosión	Superficie	
	Hectáreas	%
Baja	298 092	57,83
Media	157 777	30,60
Alta	59 620	11,57
Total	515 489	100,00

Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura.

Mapa 14: Vulnerabilidad a erosión hídrica en el suelo en la cuenca de drenaje Hidropaute



Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura, 2014.

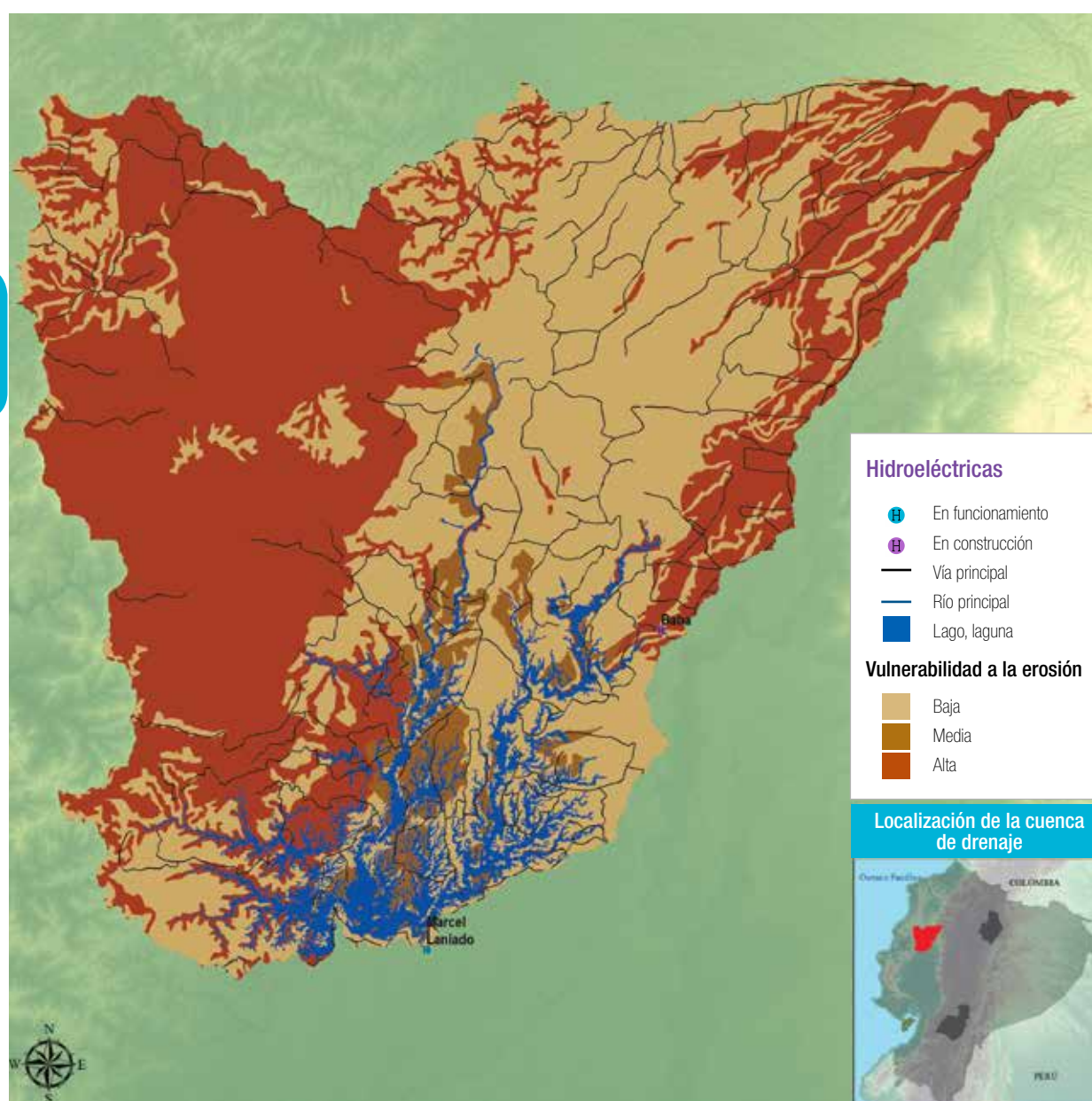
Marcel Laniado

Casi la mitad de la cuenca de drenaje de los Ríos Daule y Peripa, ubicada al occidente de la cuenca, presenta condiciones propicias para la erosión elevada, mientras que una porción de similar extensión en la zona sur oriental tiene condiciones medianamente favorables para la erosión (mapa 15). Uno de los propósitos de la infraestructura que represa estos ríos, ha sido creada con el objetivo de controlar las inundaciones aguas

abajo, debido a la baja capacidad del suelo para retener la humedad y controlar la erosión, así como el relieve colinado y el tipo de suelo.

Una pequeña fracción de la superficie de esta cuenta presenta una baja vulnerabilidad a la erosión y se localiza junto a los ríos principales, en los valles aluviales y terrazas que han generado suelos con propiedades adecuadas para prevenir la erosión, así como relieves entre planos y medianamente planos (tabla 9).

Mapa 15: Vulnerabilidad a erosión hídrica en el suelo en la cuenca de drenaje de Marcel Laniado



Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura, 2014.

Tabla 9: Vulnerabilidad a erosión hídrica en el suelo en la cuenca de drenaje de Marcel Laniado

Vulnerabilidad a la erosión	Superficie	
	Hectáreas	%
Baja	188 839	45,33
Media	13 764	3,30
Alta	187 900	45,10
Embalse de agua	26 122	6,27
Total	416 625	100,00

Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura.

Como se estableció en la metodología del estudio, se analizan consecuentemente los conflictos entre las condiciones físicas naturales de las cuencas de drenaje y el uso del suelo que impactan la provisión ideal de los servicios hídricos relevantes.

5.2.3 Almacenamiento de agua y conflictos de uso del suelo⁷

Coca Codo Sinclair

Esta cuenca de drenaje tiene aproximadamente 75% de su superficie suelos con una alta capacidad de almacenamiento de agua y está cubierta con vegetación natural y sin conflictos de suelo. Las unidades con capacidad media y baja y que no presentan conflictos de uso del suelo suman un 17%, lo que representa en conjunto casi el 90% del total de superficie de la cuenca de drenaje, con una función importante para el almacenamiento de agua (tabla 10). Esto se traduce en una superficie muy representativa de almacenamiento de energía potencial, la que actúa de represa natural de agua que regula y mantiene los caudales a lo largo del año para la generación de energía eléctrica.

Aproximadamente 9% de la superficie de la cuenca de drenaje presenta conflictos por uso del suelo y están localizadas principalmente en zonas con mediana capacidad de almacenamiento de agua, junto a las terrazas aluviales de los principales ríos y de las vías que atraviesan la cuenca (mapa 16).

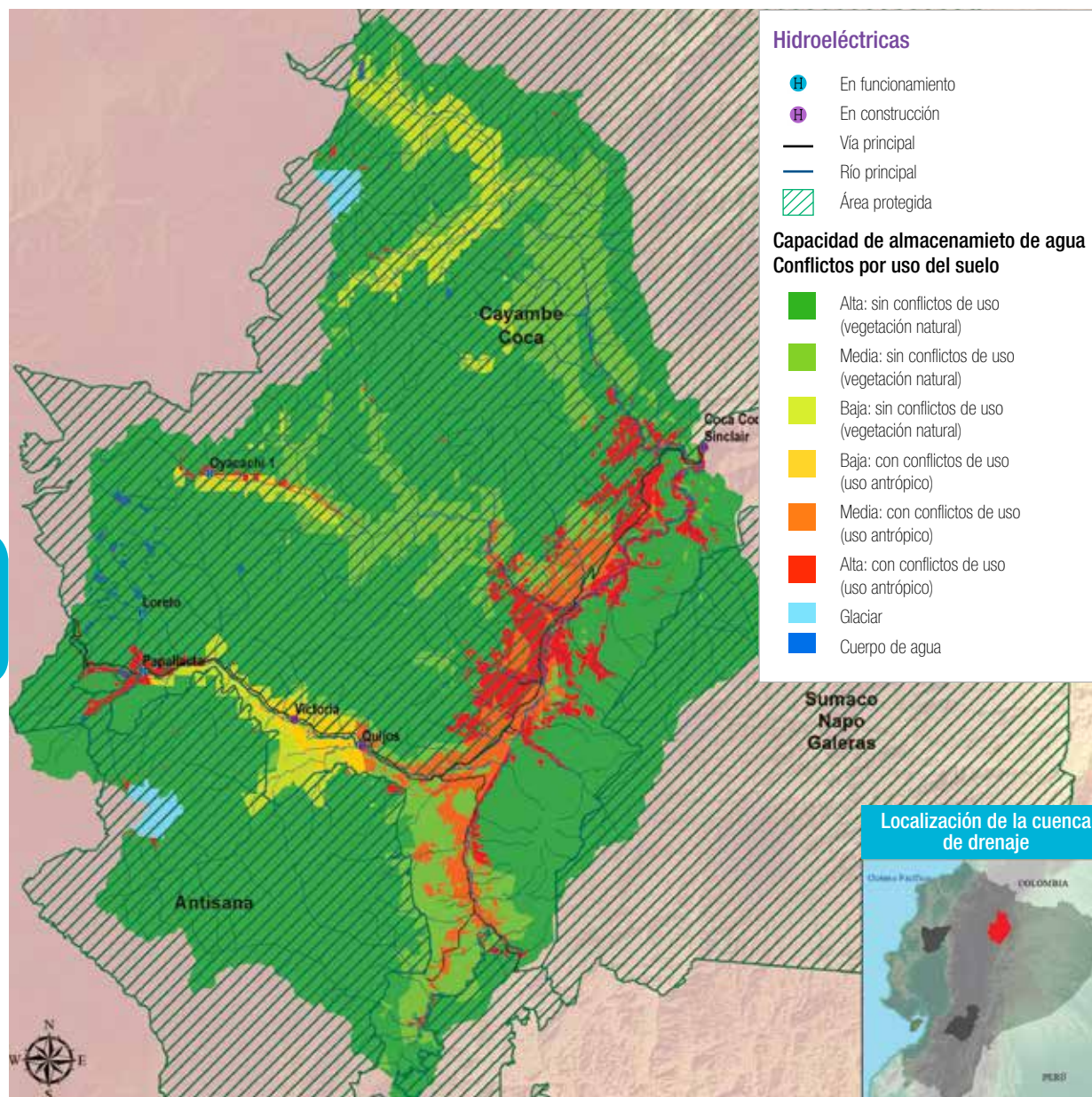


Parque Nacional Sumaco Napo Galeras

Fuente: Ministerio del Ambiente

7 Conflictos: Expansión de la franja agrícola y habitable, uso de agua, etc.

Mapa 16: Conflictos en la cuenca de drenaje de Coca Codo Sinclair⁸



Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura, 2014.

8 Conflictos de uso en la cuenca por almacenamiento de agua.

Tabla 10: Conflictos en el almacenamiento de agua por uso de la cuenca de drenaje de Coca Codo Sinclair

Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y conflictos de uso	Superficie	
	Hectáreas	%
Alta: sin conflictos de uso (vegetación natural)	263 867	70,90
Media: sin conflictos de uso (vegetación natural)	50 440	13,60
Baja: sin conflictos de uso (vegetación natural)	18 320	4,90
Baja: con conflictos de uso de suelo (uso antrópico)	3 621	1,10
Media: con conflictos de uso de suelo (uso antrópico)	13 409	3,60
Alta: con conflictos de uso de suelo (uso antrópico)	17 198	4,60
Glaciar	2 720	0,70
Cuerpo de agua	2 337	0,60
Total	371 912	100,00

Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura.

Hidropaute

La superficie de la cuenca de drenaje del Río Paute que no tiene conflictos de uso del suelo suma un poco más de 56% de su superficie (tabla 11). Las zonas con alta y media capacidad de almacenamiento de agua están localizadas en los páramos y las vertientes internas de las cordilleras respectivamente, el resto está colindando con las zonas antrópicas y representan las áreas de mayor presión debido al avance de la frontera agrícola.

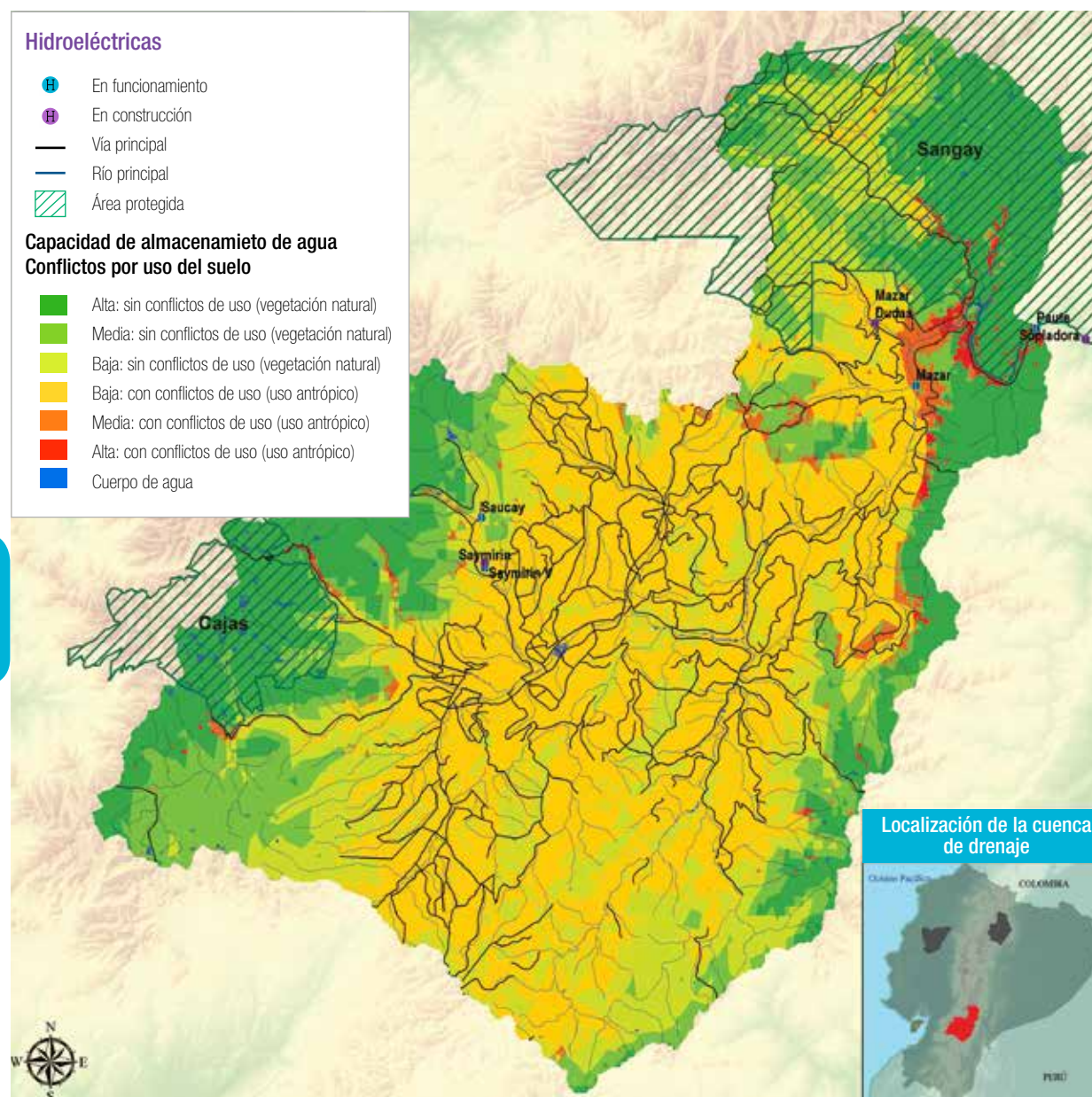
Casi la totalidad de las zonas con conflictos de uso están localizadas en suelos con una baja capacidad de almacenamiento de agua (mapa 17).

Tabla 11: Conflictos en el almacenamiento de agua por uso de la cuenca de drenaje de Coca Codo Sinclair

Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y conflictos de uso	Superficie	
	Hectáreas	%
Alta: sin conflictos de uso (vegetación natural)	112 490	21,80
Media: sin conflictos de uso (vegetación natural)	72 321	14,00
Baja: sin conflictos de uso (vegetación natural)	108 466	21,00
Baja: con conflictos de uso de suelo (uso antrópico)	207 499	40,30
Media: con conflictos de uso de suelo (uso antrópico)	8 622	1,70
Alta: con conflictos de uso de suelo (uso antrópico)	4 049	0,80
Glaciar	28	0,00
Cuerpo de agua	2 014	0,40
Total	515 489	100,00

Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura.

Mapa 17: Conflictos en el almacenamiento de agua por uso de la cuenca de drenaje de Hidropaute



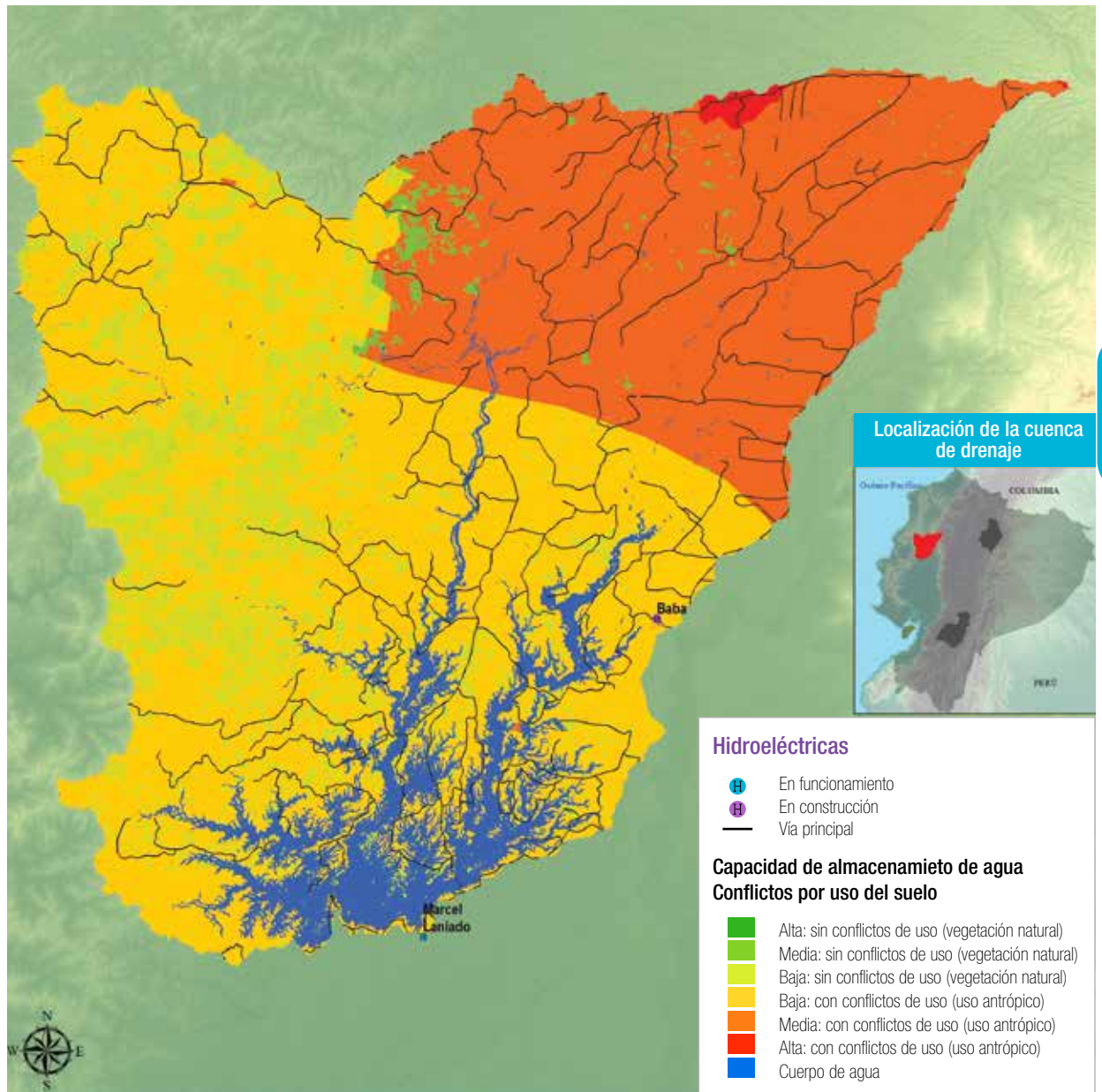
Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura, 2014.

Marcel Laniado

Esta cuenca de drenaje en su mayoría (casi 80%), tiene conflictos de uso debido a que la mayor parte está transformada a usos antrópicos, los cuales están asentados en suelos con una capacidad de almacenamiento baja y media (tabla 12).

Debido a la escasa vegetación remanente en la cuenca, apenas 13% no presenta conflictos de usos y las características del suelo para el almacenamiento de agua son bajas, principalmente debido a degradación del suelo por el uso intensivo de cultivos (mapa 18).

Mapa 18: Conflictos en el almacenamiento de agua por uso de la cuenca de drenaje de Marcel Laniado



Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura, 2014.

Tabla 12: Conflictos en el almacenamiento de agua por uso de la cuenca de drenaje de Marcel Laniado

Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y conflictos de uso	Superficie	
	Hectáreas	%
Alta: sin conflictos de uso (vegetación natural)	5	0,00
Media: sin conflictos de uso (vegetación natural)	3 368	0,80
Baja: sin conflictos de uso (vegetación natural)	50 458	12,10
Baja: con conflictos de uso de suelo (uso antrópico)	202 409	48,60
Media: con conflictos de uso de suelo (uso antrópico)	124 570	29,90
Alta: con conflictos de uso de suelo (uso antrópico)	1 610	0,40
Cuerpo de agua	34 207	8,20
Total	416 627	100,00

Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura.

5.2.4 Vulnerabilidad a la erosión y conflictos de uso del suelo

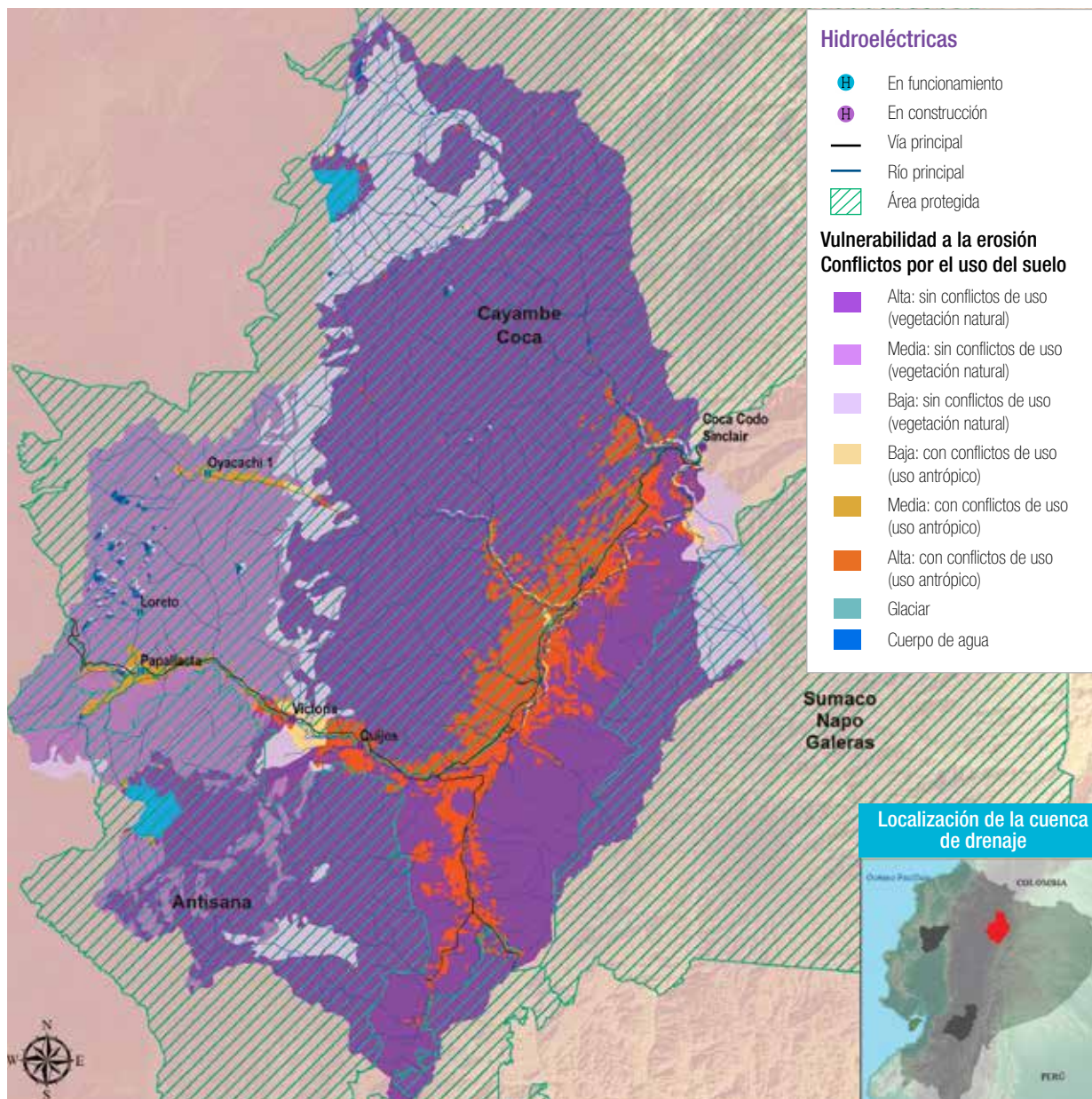
Coca Codo Sinclair

Casi el 90% de esta cuenca de drenaje no presenta conflictos de uso del suelo; sin embargo, tiene suelos con una alta vulnerabilidad a la erosión debido principalmente a que el relieve es bastante accidentado con pendientes superiores o 70 grados y en algunos casos muy fuertes, llegando a escarpes, las cuales representan zonas de alto riesgo por remoción en masa. De ahí que el cuidado y protección de la vegetación natural de estas zonas sea lo más recomendable (tabla 13).

Si bien la central hidroeléctrica está siendo construida con mecanismos de retención y control de sedimentos, el diseño original se basa justamente en las condiciones actuales de las cuencas de los Ríos Quijos y Salado, las cuales no generan una sedimentación elevada debido a que la vegetación cumple un rol importante en el control en la prevención de la erosión del suelo. Una alteración en la vegetación a lo largo de la superficie de estas cuencas puede conllevar a un incremento en la sedimentación que afectaría a la productividad de energía hidroeléctrica en esta central, así como una variación en los caudales a lo largo del año.

Las zonas con conflictos por el uso del suelo representan menos de 10% de la superficie y están localizadas junto a las vías principales y en el valle aluvial del Río Quijos (mapa 19). La mayor parte de estas zonas intervenidas tienen suelos altamente vulnerables a procesos erosivos y de remoción en masa (derrumbes), que contribuyen a la generación de sedimentos, los cuales se depositan a lo largo del río y pueden llegar hasta la zona de la captación de agua para generar hidroenergía.

Mapa 19: Vulnerabilidad a la erosión por conflictos de uso en la cuenca de drenaje de Coca Codo Sinclair



Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura, 2014.

Tabla 13: Vulnerabilidad a la erosión por conflictos de uso en la cuenca de drenaje de Coda Codo Sinclair

Vulnerabilidad a la erosión por conflictos de uso	Superficie	
	Hectáreas	%
Alta: sin conflictos de uso (vegetación natural)	225 032	60,50
Media: sin conflictos de uso (vegetación natural)	64 372	17,30
Baja: sin conflictos de uso (vegetación natural)	43 224	11,60
Baja: con conflictos de uso de suelo (uso antrópico)	2 433	0,70
Media: con conflictos de uso de suelo (uso antrópico)	3 012	0,80
Alta: con conflictos de uso de suelo (uso antrópico)	28 783	7,70
Glaciar	2 720	0,70
Cuerpo de agua	2 337	0,60
Total	371 913	100,00

Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura.

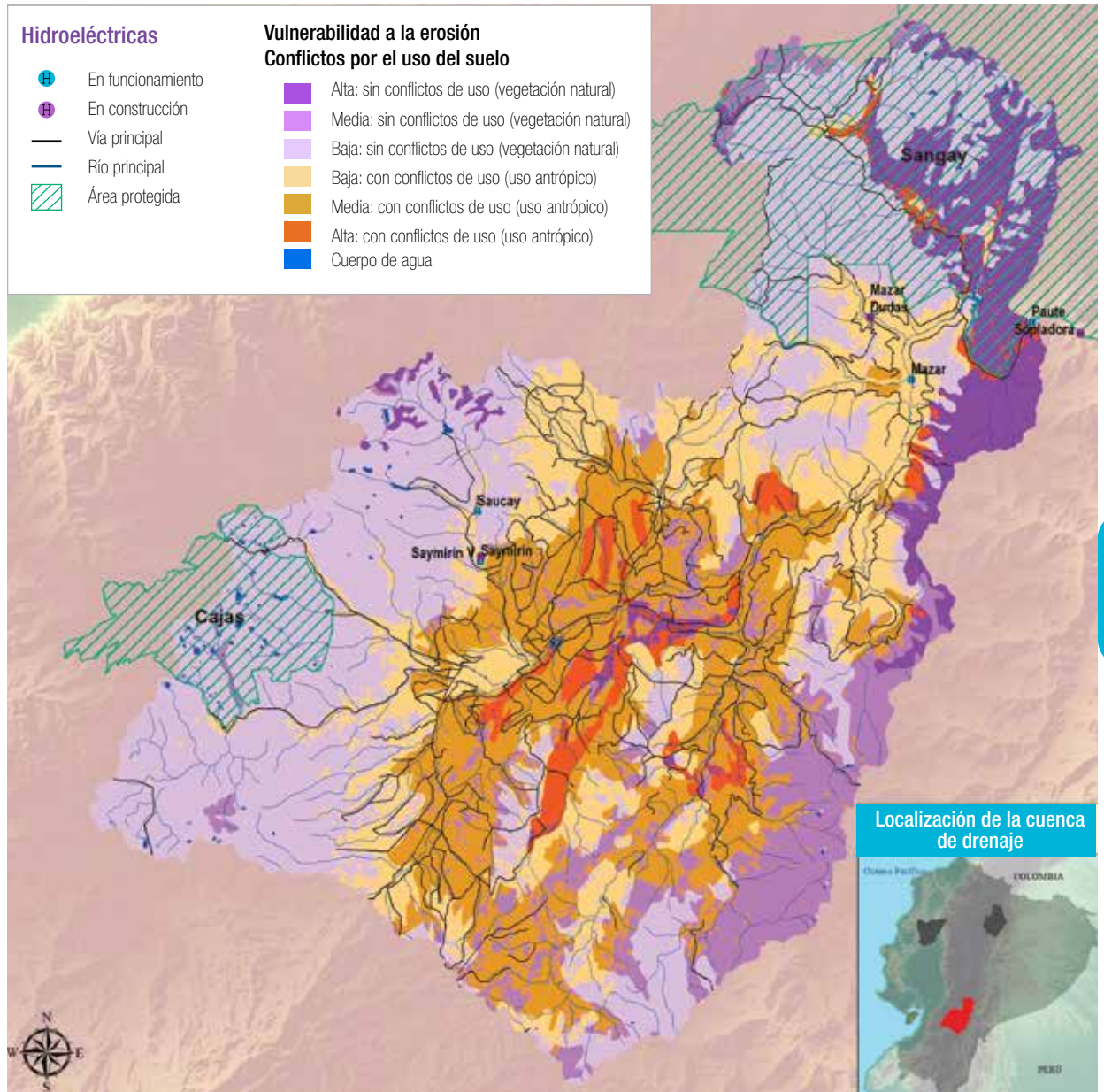
Hidropaute

La mayor parte de la superficie de la cuenca de drenaje del Río Paute no presenta conflictos de uso, y la vulnerabilidad de erosión de estos suelos es principalmente baja y media. Esto gracias a la cobertura de vegetación natural remanente (tabla 14).

Las zonas con conflictos por usos antrópicos en estos suelos vulnerables a erosión suman un poco más de 42% de la superficie de la cuenca. Si bien, esta extensión es menor que las zonas sin conflicto de uso, el impacto por procesos erosivos y remoción en masa es alto, debido a las condiciones geológicas de este valle interandino, el cual presenta numerosas fallas y zonas altamente degradadas en pendientes muy fuertes (mapa 20). Esto impacta directamente sobre los costos operativos y de infraestructura para la limpieza de sedimentos que se acumulan en las represas que en esta cuenca se han construido.

Un ejemplo del riesgo por remoción en masa derivado de las condiciones geológicas de la zona y por la falta de vegetación protectora lo constituyó el desastre de la Josefina, el cual se produjo en 1993, represando los Ríos Paute y Jadán. Este derrumbe puso en riesgo la represa Daniel Palacios que almacena agua para la más importante central hidroeléctrica del país, la cual producía cerca de 70% de la energía eléctrica que se consumía. En el marco del Proyecto Integral Hidropaute Mazar-Molino-Sopladora, se construyó la represa Mazar, aguas arriba de la represa Daniel Palacios, con el fin de aumentar la vida útil de esta, a través del control de sedimentos, almacenamiento de agua y regulación del caudal, lo que da cuenta de la importante cantidad de sedimentos generados.

Mapa 20: Vulnerabilidad a la erosión por conflictos de uso en la cuenca de drenaje de Paute



Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura, 2014.

Tabla 14: Vulnerabilidad a la erosión por conflictos de uso en la cuenca de drenaje de Paute

Vulnerabilidad a la erosión por conflictos de uso	Superficie	
	Hectáreas	%
Alta: sin conflictos de uso (vegetación natural)	41 062	8,00
Media: sin conflictos de uso (vegetación natural)	54 210	10,50
Baja: sin conflictos de uso (vegetación natural)	198 004	38,40
Baja: con conflictos de uso de suelo (uso antrópico)	98 788	19,20
Media: con conflictos de uso de suelo (uso antrópico)	103 188	20,00
Alta: con conflictos de uso de suelo (uso antrópico)	18 194	3,50
Glaciar	28	0,00
Cuerpo de agua	2 014	0,40
Total	515 488	100,00

Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura.

Marcel Laniado

En esta cuenca de drenaje, un poco más del 78% de la superficie presenta conflictos de uso del suelo en donde la vulnerabilidad a la erosión del suelo es baja (41%), y alta (35%). Desde un inicio, al construir la represa de los Ríos Daule Peripa se concibieron los objetivos de controlar los sedimentos que se generan en esta cuenca, así como el aprovechamiento del agua para riego y control de inundación sobre zonas productivas y poblados, aguas abajo.

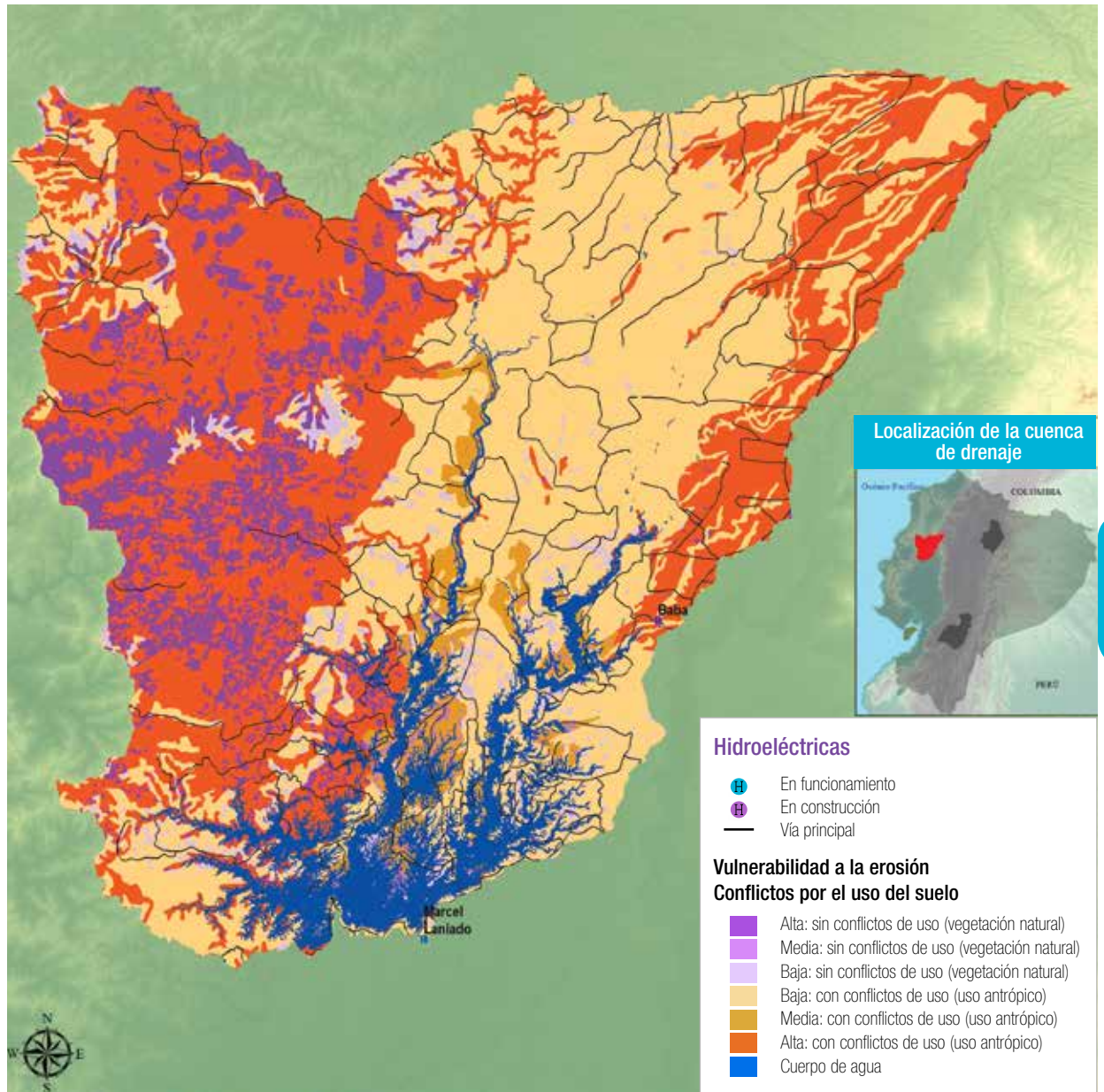
Menos de 13% de la superficie de la cuenca no tiene conflictos de uso gracias a la presencia de vegetación natural, la cual contribuye al control de la erosión y la producción de sedimentos (tabla 15 y mapa 21).

Tabla 15: Vulnerabilidad a la erosión por conflictos de uso en la cuenca de drenaje de Marcel Laniado

Vulnerabilidad a la erosión por conflictos de uso	Superficie	
	Hectáreas	%
Alta: sin conflictos de uso (vegetación natural)	39 612	9,50
Media: sin conflictos de uso (vegetación natural)	1 533	0,40
Baja: sin conflictos de uso (vegetación natural)	12 685	3,00
Baja: con conflictos de uso de suelo (uso antrópico)	172 444	41,40
Media: con conflictos de uso de suelo (uso antrópico)	10 189	2,40
Alta: con conflictos de uso de suelo (uso antrópico)	145 955	35,10
Cuerpo de agua	34 207	8,20
Total	416 625	100,00

Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura.

Mapa 21: Vulnerabilidad a la erosión por conflictos de uso en la cuenca de drenaje de Marcel Laniado



Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura, 2014.

Por último, con base en los análisis anteriores, se establecieron las medidas de mejoramiento de los ecosistemas para la provisión de servicios ambientales hídricos al sector hidroeléctrico, estableciendo de esta manera las condiciones para la proyección del escenario **SEM**. En este contexto se definieron las siguientes acciones prioritarias en cada cuenca:

Coca Codo Sinclair

Esta cuenca de drenaje diferencia acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua y control de la sedimentación en zonas dentro y fuera de áreas protegidas.

Como muestra la tabla 16, para 77% de la superficie de esta cuenca se sugieren acciones de conservación, protección y restauración; principalmente de la vegetación natural, como reconocimiento a las funciones ecológicas que desempeña para la producción el almacenamiento de agua y su consecuente generación de energía. Cabe mencionar que estas zonas están dentro de áreas protegidas.

En las zonas que están dentro del SNAP y que están dedicadas a la agricultura y ganadería, principalmente en zonas con baja retención de humedad y control de erosión, se recomienda que se empleen Prácticas de Manejo Sostenible de la Tierra (PMST). Para las zonas antrópicas dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (4,6%), que están sobre áreas importantes para almacenamiento de agua y control de erosión, se sugiere la restauración e implementación de PMST (mapa 22).

Categorías similares se sugieren dentro de las zonas que están fuera del SNAP; sin embargo, para aquellas que son altamente importantes, se proponen figuras alternativas de conservación tales como reservas privadas, comunitarias, municipales o de Socio Bosque; es decir, 13% aproximadamente.



Fuente: Ministerio del Ambiente

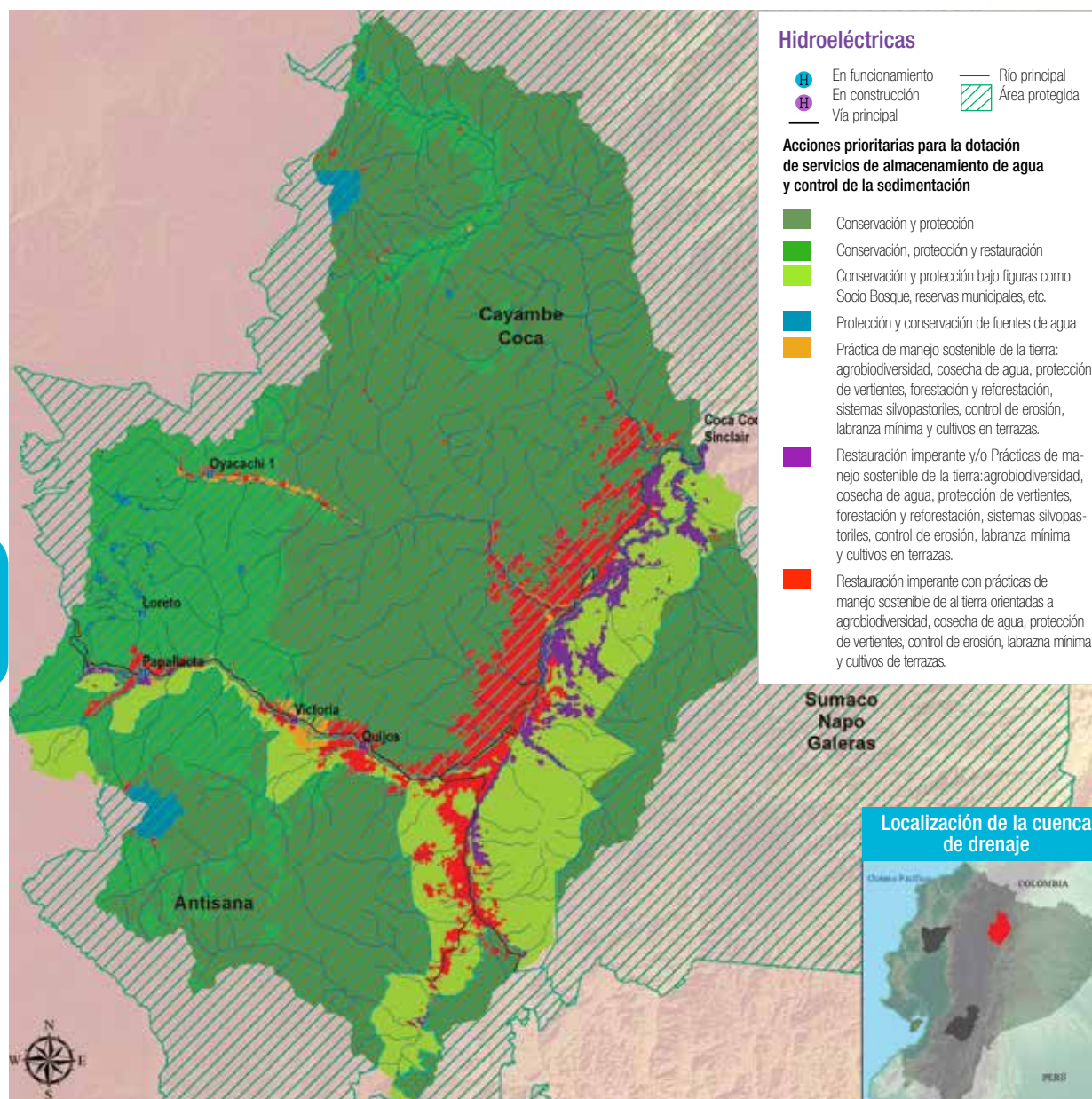
Reserva Ecológica Mache Chindul

Tabla 16: Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua y control de la sedimentación en la cuenca de drenaje de Coca Codo Sinclair

Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua control de la sedimentación	Superficie	
	Hectáreas	%
Zonas en áreas protegidas		
Conservación y protección	209 818	56,40
Conservación, protección y restauración	71 680	19,30
Protección y conservación de fuentes de agua	4 350	1,20
Prácticas de manejo sostenible de la tierra: agrobiodiversidad, cosecha de agua, protección de vertientes, forestación y reforestación, sistemas silvopastoriles control de erosión, labranza mínima y cultivos en terrazas	1 673	0,40
Restauración imperante con prácticas de manejo sostenible de la tierra orientadas a la agrobiodiversidad, cosecha de agua, protección de vertientes, control de erosión, labranza mínima y cultivos en terrazas	17 259	4,60
Sub total 1	304 780	81,90
Zonas fuera de áreas protegidas		
Conservación y protección bajo figuras como Socio Bosque, reservas municipales, etc.	51 129	13,80
Protección y conservación de fuentes de agua	707	0,20
Prácticas de manejo sostenible de la tierra: agrobiodiversidad, cosecha de agua, protección de vertientes, forestación y reforestación, sistemas silvopastoriles control de erosión, labranza mínima y cultivos en terrazas	1 071	0,30
Restauración imperante y/o Prácticas de manejo sostenible de la tierra: agrobiodiversidad, cosecha de agua, protección de vertientes, forestación y reforestación, sistemas silvopastoriles control de erosión, labranza mínima y cultivos en terrazas	6 722	1,80
Restauración imperante con prácticas de manejo sostenible de la tierra orientadas a la agrobiodiversidad, cosecha de agua, protección de vertientes, control de erosión, labranza mínima y cultivos en terrazas	7 503	2,00
Sub total 2	67 132	18,10
Total	371 912	100,00

Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura.

Mapa 22: Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua y control de la sedimentación en la cuenca de drenaje de Coca Codo Sinclair



Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura, 2014.

Hidropaute

Esta cuenca de drenaje tiene la particularidad de poseer un poco más de 38% de la superficie de zonas de altísima importancia para la conservación, por los servicios ecosistémicos que presta en cuanto a la reserva de agua y control de sedimento que no están dentro del SNAP. Casi la totalidad de la superficie de zonas importantes de conservación dentro del SNAP representan 19% (tabla 17).

Si bien existe una pequeña superficie 3% aproximadamente, que requiere de un proceso de intervención para restauración importante y que está fuera del SNAP, el impacto que puede tener esta práctica es enorme. Esto se debe a que esta superficie comprende zonas de riesgo por remoción en masa y fuertes procesos erosivos en lugares estratégicos de la cuenca, que pueden afectar a caudales de ríos importantes, así como a los proyectos hidroeléctricos que actualmente están generando energía.

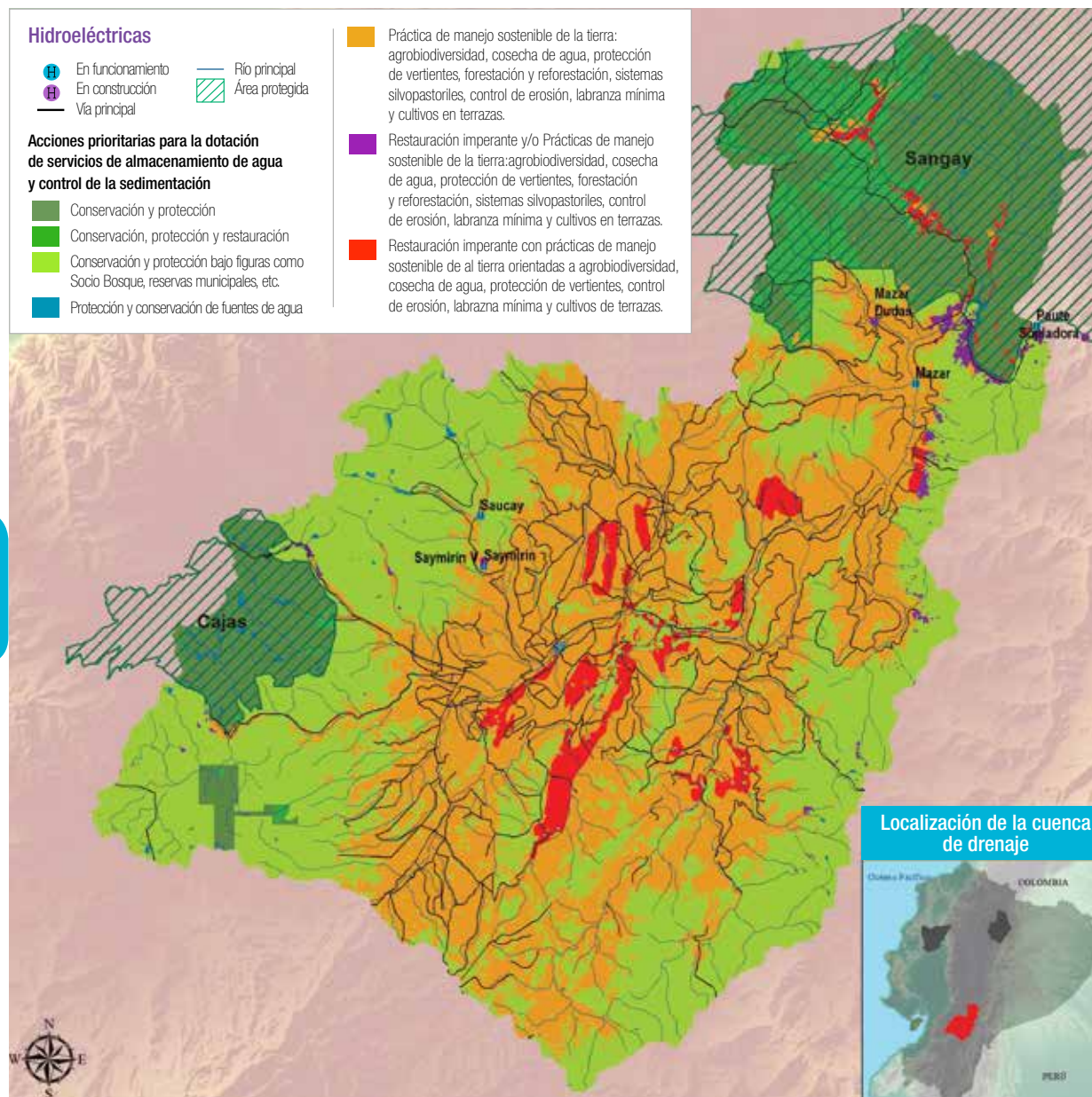
Esta cuenca tiene un enorme potencial para mejorar las condiciones ambientales del suelo en cuanto a la capacidad de almacenamiento de agua y producción de sedimentos, al implementar PMST en las partes bajas del valle interandino (38% de la superficie de la cuenca), que no están protegidas (mapa 23).



Reserva de Producción de Fauna Chimborazo

Fuente: Ministerio del Ambiente

Mapa 23: Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua y control de la sedimentación en la cuenca de drenaje de Paute



Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura, 2014.

Tabla 17: Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua y control de la sedimentación en la cuenca de drenaje de Paute

Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua control de la sedimentación	Superficie	
	Hectáreas	%
Zonas en áreas protegidas		
Conservación y protección	72 011	14,00
Conservación, protección y restauración	22 145	4,30
Protección y conservación de fuentes de agua	924	0,20
Prácticas de manejo sostenible de la tierra: agrobiodiversidad, cosecha de agua, protección de vertientes, forestación y reforestación, sistemas silvopastoriles control de erosión, labranza mínima y cultivos en terrazas	1 647	0,30
Restauración imperante con prácticas de manejo sostenible de la tierra orientadas a la agrobiodiversidad, cosecha de agua, protección de vertientes, control de erosión, labranza mínima y cultivos en terrazas	2 603	0,50
Sub total 1	99 330	19,30
Zonas fuera de áreas protegidas		
Conservación y protección bajo figuras como Socio Bosque, reservas municipales, etc.	199 120	38,70
Protección y conservación de fuentes de agua	1 117	0,20
Prácticas de manejo sostenible de la tierra: agrobiodiversidad, cosecha de agua, protección de vertientes, forestación y reforestación, sistemas silvopastoriles control de erosión, labranza mínima y cultivos en terrazas	198 641	38,50
Restauración imperante y/o Prácticas de manejo sostenible de la tierra: agrobiodiversidad, cosecha de agua, protección de vertientes, forestación y reforestación, sistemas silvopastoriles control de erosión, labranza mínima y cultivos en terrazas	2 824	0,50
Restauración imperante con prácticas de manejo sostenible de la tierra orientadas a la agrobiodiversidad, cosecha de agua, protección de vertientes, control de erosión, labranza mínima y cultivos en terrazas	14 455	2,80
Sub total 2	416 157	80,70
Total	515 487	100,00

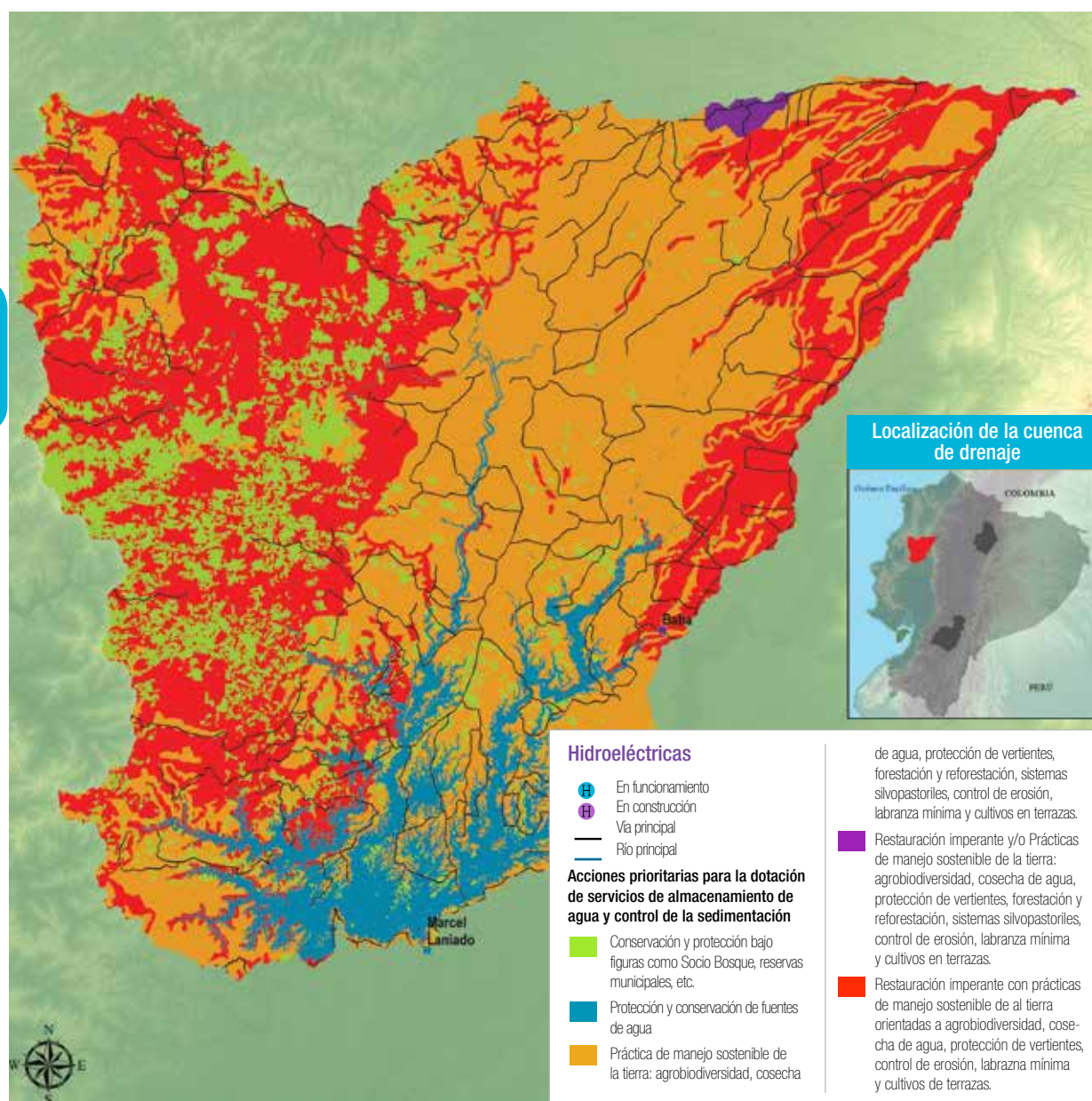
Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura.

Marcel Laniado

Dentro de esta cuenca de drenaje no existen áreas protegidas del SNAP. Sin embargo, dada la importancia de las funciones que cumple el suelo y la vegetación para el almacenamiento de agua y control de la sedimentación, un poco más del 20% de la superficie demanda acciones de conservación alternativas y/o complementarias a las que se aplican en áreas protegidas (tabla 18).

La mayor parte de las zonas de cultivos podría implementar prácticas de manejo sustentable de la tierra (PMST), con el fin de aportar a la preservación del suelo y sus beneficios en cuanto a la retención de humedad y disminución de la erosión. Más de 35% de la superficie de la cuenca requiere de acciones para la restauración debido a que los suelos presentan las condiciones de degradación y no poseen vegetación natural, estas acciones pueden ser manejadas a través del mejoramiento de los sistemas agro productivos mediante la incorporación de PMST (mapa 24).

Mapa 24: Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua y control de la sedimentación en la cuenca de drenaje de Marcel Laniado



Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura, 2014.

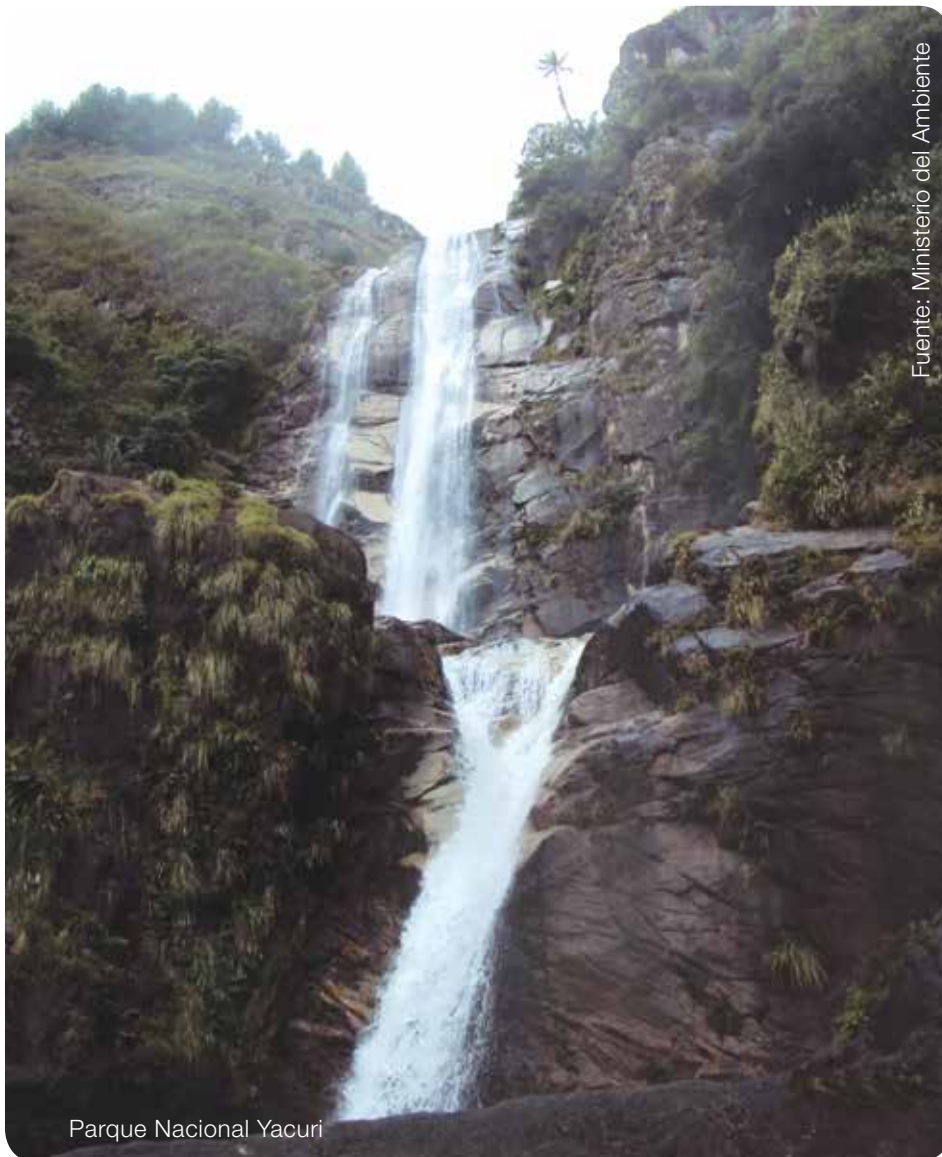
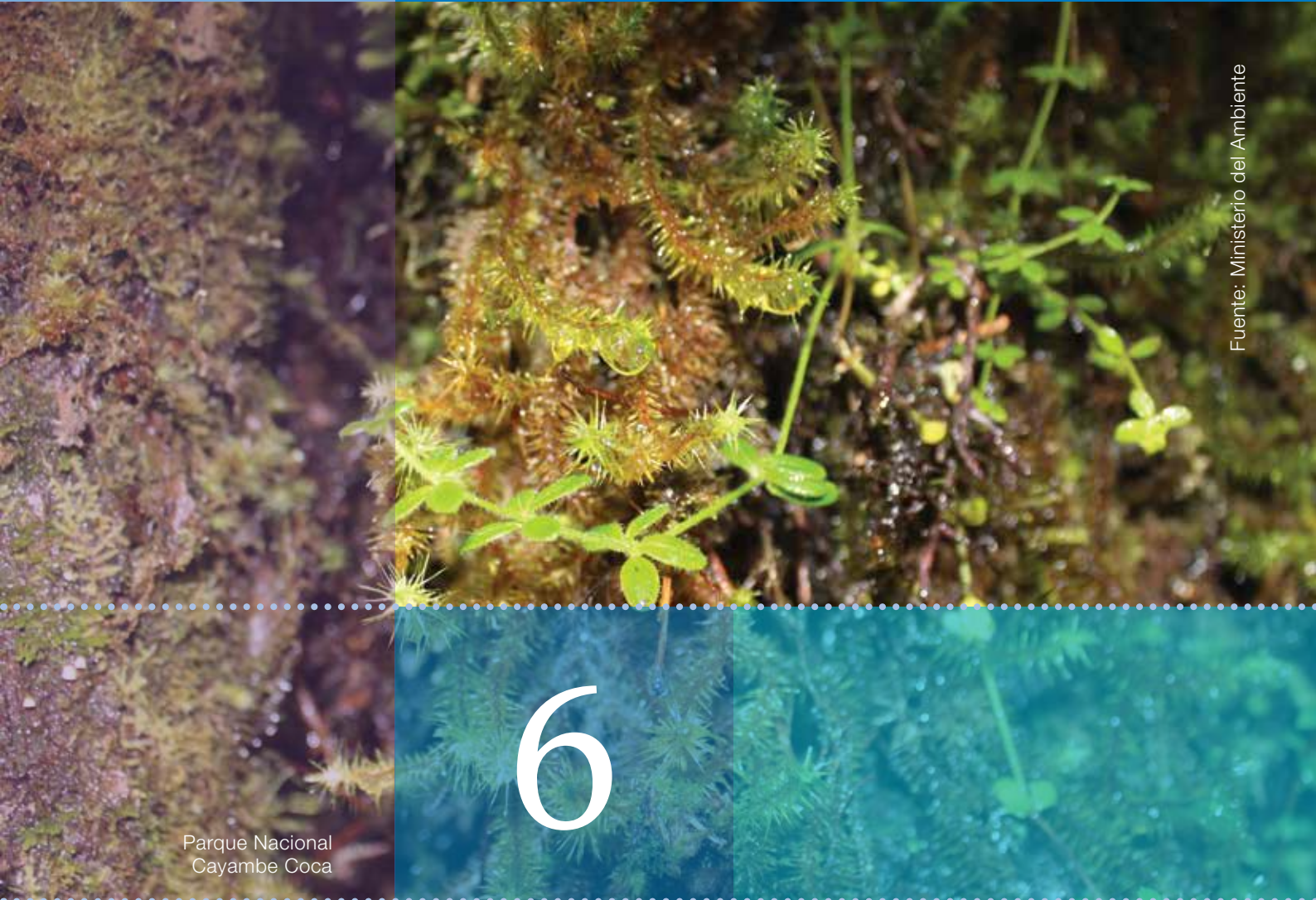


Tabla 18: Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua y control de la sedimentación en la cuenca de drenaje de Marcel Laniado

Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua control de la sedimentación	Superficie	
	Hectáreas	%
Zonas fuera de áreas protegidas		
Conservación y protección bajo figuras como Socio Bosque, reservas municipales, etc.	53 830	12,90
Protección y conservación de fuentes de agua	34 207	8,20
Prácticas de manejo sostenible de la tierra: agrobiodiversidad, cosecha de agua, protección de vertientes, forestación y reforestación, sistemas silvopastoriles control de erosión, labranza mínima y cultivos en terrazas	181 023	43,40
Restauración imperante con prácticas de manejo sostenible de la tierra orientadas a agrobiodiversidad, cosecha de agua, protección de vertientes, control de erosión, labranza mínima y cultivos en terrazas	145 955	35,00
Restauración imperante y/o prácticas de manejo sostenible de la tierra: agrobiodiversidad, cosecha de agua, protección de vertientes, forestación y reforestación, sistemas silvopastoriles control de erosión, labranza mínima y cultivos en terrazas	1 610	0,50
Total	416 625	100,00

Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura.



Parque Nacional
Cayambe Coca

6

Fuente: Ministerio del Ambiente

Valoración económica para el escenario BAU y proyección a 20 años



Reserva Ecológica
Antisana

Fuente: Ministerio del Ambiente

A continuación, se presentan los supuestos y cálculos de la valoración económica de la contribución de los servicios ambientales hídricos provistos por la vegetación bajo conservación a la productividad hidroeléctrica. El enfoque está en el servicio de regulación de sedimentación y su efecto en los costos de dragado y mantenimiento de las tres hidroeléctricas que forman parte del estudio⁹.

6.1 Situación actual para el escenario BAU

En la actualidad las centrales hidroeléctricas que se encuentran funcionando se ven enfrentadas a desarrollar labores de dragado como una forma de remediar los problemas de sedimentación existentes en las cuencas. La siguiente tabla presenta información que permite conocer más sobre la naturaleza de este problema.

Tabla 19: Resumen nivel de conservación por cuenca

Clasificación	Coca Codo Sinclair	Paute	Marcel Laniado
Área Protegida (ha)	304 781	99 331	
Conservada con vegetación natural	209 818	72 011	
Requiere conservación	94 963	27 320	
Otros, sin protección del SNAP (ha)	67 132	416 157	416 625
Con vegetación natural	51 129	199 120	53 830
Requiere conservación	16 003	217 037	362 795
Total (ha)	371 913	515 488	416 625

Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura.

La tabla anterior indica que la cuenca asociada al Proyecto Coca Codo Sinclair es la que presenta mejor estado de conservación, al contar con 81,95% de su cobertura bajo el SNAP. Para Hidropaute, el área bajo conservación del Sistema solo representa 19,27% y no existe este esquema de conservación en la cuenca de Marcel Laniado. También se debe destacar el grado de conservación existente en estas zonas, ya que de ellas solo 31,16% en Coca Codo y 27,50% en Paute requieren el desarrollo de

⁹ El análisis presentado en este escenario se basa en el modelamiento de los indicadores de cobertura vegetal y costos de mantenimiento y de operación, el mismo que se presenta en las siguientes secciones de este capítulo.

actividades tendientes a mejorar sus condiciones de conservación actuales. El caso de Marcel Laniado es especial, ya que solo 12,92% de estas áreas se encuentran en buen estado en la actualidad.

Al considerar la información anterior, se puede esperar que los niveles de sedimentación en Coca Codo Sinclair (CCS), sean los más bajos, los de Marcel Laniado los más elevados, solo al considerar su nivel de cobertura vegetal conservada. En particular, al explorar qué acontece con otros tipos de cobertura, encontramos que 76,16% de esta se encuentra en un buen estado de conservación para CCS, mientras que solo 47,85% lo está en Hidropaute. Debido a esto, que la caracterización del escenario *Business as Usual* (BAU) se basa en el análisis de los costos de operación y monitoreo de cada proyecto, ya que estos se encuentran relacionados con los costos de remediar los problemas provocados por la sedimentación en los embalses y reservorios; es decir, a los costos de dragado.

Tabla 20: Resumen de indicadores por hidroeléctrica considerada en la actualidad

Indicadores	Coca Codo Sinclair	Hidropaute	Marcel Laniado
Costo de operación y mantenimiento (USD)	207 032,34*	608 167,73	2 999 415,20
Producción anual (Gwh)	8 734,00	5 830,43	647,83
Costo de operación y mantenimiento por Gwh generado al año (USD)	24,72	104,31	4 629,92
Costo de operación y mantenimiento por área degradada (USD/Ha)	1,87	2,49	8,27

* Es el resultado de una estimación del valor de operación que tendría la hidroeléctrica una vez que empiece a operar.

Fuente: Fuente: CELEC, 2014. **Elaboración:** Mentefactura.

En la Tabla 20 se aprecia la existencia de una relación directa entre el nivel de protección que tienen las cuencas y los costos de operación y mantenimiento que deben pagar las hidroeléctricas anualmente; a mayor nivel de protección, menores costos. En particular, al ser considerados los costos corregidos por el nivel de producción se observa que éstos son más elevados para Marcel Laniado que para Hidropaute, lo cual se explica en parte a que esta última presenta mayores niveles de vegetación protectora. A partir de estos resultados, se puede plantear la hipótesis de que para aquellos proyectos emplazados en cuencas donde los procesos de degradación son amplios, los beneficios derivados de incrementar la calidad de las superficies protectoras existentes son más elevados que para aquellas que se encuentran relativamente protegidas.

Para calcular el costo unitario por hectárea degradada se consideró lo siguiente:

- El porcentaje de cobertura vegetal conservada en relación con la superficie total existente en cada una de las tres cuencas consideradas. Debe notarse que

esta información no está actualizada y hace referencia a la cobertura existente en 2008.

- ▶ La relación entre el grado de cobertura entre hidroeléctricas. Se considera como base para este cálculo Hidropaute, ya que posee la cobertura promedio de las tres hidroeléctricas consideradas. De este modo se obtiene que Marcel Laniado tiene 4,07 veces menos cobertura que Hidropaute; mientras que Coca Codo Sinclair es 0,75 veces la correspondiente a esta última.
- ▶ Los costos de operación y mantenimiento unitarios para Hidropaute y Marcel Laniado. Se utiliza el costo total de operación y mantenimiento anual disponible y la superficie total degradada de la cuenca en que se encuentran ubicados; formen o no parte del SNAP. A partir de esta relación se obtiene un valor de 2,49 USD/ha para Hidropaute y de 8,27 USD/ha para Marcel Laniado.
- ▶ La verificación de la relación entre los costos de operación y mantenimiento unitarios de Hidropaute y Marcel Laniado; los dos proyectos para los cuales se posee información y el grado de conservación de sus cuencas. Este resultado arroja que los costos de Marcel Laniado son aproximadamente 3,32 veces más altos que los de Hidropaute. Al analizar en conjunto el porcentaje de cobertura vegetal conservada y los costos anuales de operación y mantenimiento es posible observar la existencia de una relación directa entre cobertura vegetal conservada y costos; a mayor porcentaje de conservación los costos totales son menores.
- ▶ La estimación de los costos asociados a Coca Codo Sinclair consideran que el costo unitario de operación y mantenimiento por hectárea conservada es 75% de aquel asociado a Hidropaute. Por lo tanto, este costo alcanza los 1,87USD/ha, y es el menor entre los proyectos considerados, principalmente debido a la mejor cobertura vegetal disponible en esta cuenca.

Considerando la relación negativa que se ha encontrado para las dos variables de nivel de cobertura y los costos de operación y mantenimiento de los proyectos, se desarrolla la hipótesis de trabajo que permite la cuantificación del valor actual anual que significa la protección brindada por las áreas protegidas a las hidroeléctricas.

En un primer paso, se calcula el valor monetario del servicio ambiental del control de erosión



Fuente: Ministerio del Ambiente

Parque Nacional Llanganates



Fuente: Ministerio del Ambiente

Parque Nacional El Cajas

que entregan las áreas protegidas en la actualidad; es decir, en la línea base del escenario **BAU**. Para el logro de este objetivo, se comparan dos estados alternativos. El primero, denominado **Con SNAP**, contempla la situación actual de protección en las cuencas de las tres hidroeléctricas y costos asociados a estas; mientras que el segundo, llamado **Sin SNAP**, supone un escenario en el cual no existe ninguna conservación de la cobertura vegetal por parte de las AP; es decir, en esta situación hipotética, las hidroeléctricas solo se benefician del servicio de protección provisto por áreas conservadas fuera del Sistema. En el caso de Marcel Laniado, al no contar con áreas protegidas, los dos escenarios no se diferencian en cuanto a la cobertura bajo protección y los costos de dragado asociados.

La comparación de estos dos escenarios en términos económicos presenta una primera estimación de la contribución del SNAP en la protección de las cuencas contra erosión en

el escenario **BAU**, y el impacto monetario en los costos de operación y mantenimiento en las dos cuencas. Las áreas del SNAP localizadas en las cuencas en donde se emplazan Coca Codo Sinclair e Hidropaute, evitan costos de operación y mantenimiento de USD 3,8 millones por año en su conjunto. Si se toma en cuenta que este valor se aplica a solo dos de las 20 plantas hidroeléctricas existentes y en construcción, que se abastecen de cuencas con una cobertura por el SNAP de más de 20%, se puede derivar que el ahorro que aporta el SNAP al año para todo el sector hidroeléctrico es mucho más alto en total.

Cabe destacar que se aplicaron costos variables vinculados al grado de degradación de la cuenca, cuya estimación se orienta en el valor de costos de dragado máximo de USD 8,27 encontrado en Marcel Laniado, que está ubicada en la cuenca con el mayor grado de degradación. Como se esperaba, la contribución de las Áreas Protegidas en términos relativos entre costos con y sin el SNAP es más alta en Coca Codo Sinclair, donde los costos sin el SNAP serían 11.33 veces mayores que en el caso actual, mientras que en Hidropaute serían 3.75 veces más altos (Tabla 21).

Tabla 21: Escenarios para valorar la pérdida de vegetación protectora proveniente de las áreas protegidas en buen estado de conservación para el 2013

Descripción y cuantificación de los escenarios	Coca Codo Sinclair	Hidropaute	Marcel Laniado
1. Con SNAP:			
Área degradada total (ha)	110 966	244 357	362 795
Área conservada AP (ha)	209 818	72 011	0
Área conservada otros (ha)	51 129	199 120	53 830
Porcentaje correspondiente al área conservada total	70,16%	52,60%	12,92%
Costo de operación y mantenimiento con SNAP			
(USD/año)*	207 032	608 168	2 999 415
2. Sin SNAP:			
Área degradada total (ha)	320 784	316 368	362 795
Área conservada AP (ha)	0	0	0
Área conservada otros (ha)	51 129	199 120	53 830
Porcentaje correspondiente al área conservada total	13,75%	38,63%	12,92%
Costo de operación y mantenimiento sin SNAP			
(USD/año)	2 344 981	2 280 862	2 999 415
Ahorro de costos (USD/año)	2 137 949 04	1 672 694 74	0
Relación de costo con SNAP vs. sin SNAP	11,33	3,75	1

Fuente: CELEC, 2014. Elaboración: Mentefactura.

En la Tabla 21 se aprecia un resumen con los indicadores más relevantes para cuantificar económicamente el aporte de las áreas protegidas en cuanto a los costos evitados por las hidroeléctricas. Si se considera el ahorro en los costos de mantenimiento y dragado que genera la presencia del SNAP en las cuencas abastecedoras, se tiene que éstos corresponden a 3,42% y 3,30% de los ingresos operacionales por venta de energía para Coca Codo Sinclair e Hidropaute, respectivamente (Tabla 22). Aunque estas cifras parecen relativamente bajas en relación a los ingresos percibidos, se debe considerar que los procesos de sedimentación también acortan la vida útil de las centrales hidroeléctricas. A su vez, esto significaría una pérdida adicional de los ingresos netos por cada año de vida útil disminuido, por lo que el aporte del SNAP en realidad es mucho mayor al calculado actualmente.

Tabla 22: Valor económico del servicio de protección hídrica ofrecido por el SNAP

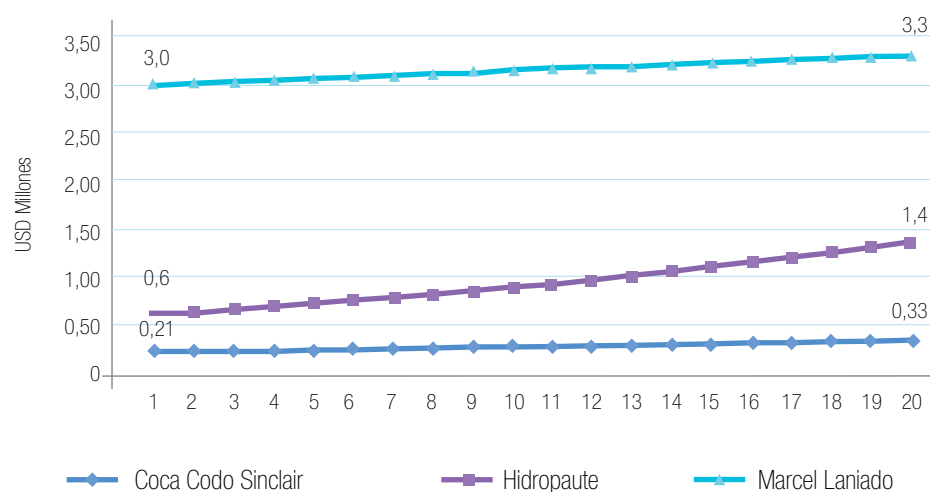
Indicadores	Coca Codo Sinclair	Hidropaute	Marcel Laniado
Valor del servicio provisto por las AP (USD/año)	2 137 949,04	1 672 694,74	0,00
Ingresos operacionales venta de energía (USD/año)	62 600 517,08	50 746 019,00	16 942 823,33
Producción anual (GWh)	8 734,00	7 080,07	1 113,19
Tarifa USD/GWh	7 167,45	7 167,45	15 220,06
Porcentaje de costos	3,42%	3,30%	0,00%

Fuente: Fuente: CELEC, 2014. **Elaboración:** Mentefactura.

6.2 Proyección del BAU en un horizonte de 20 años

Para la proyección del escenario **BAU** se consideran los siguientes supuestos: 1) Existe deforestación o degradación en las áreas con cobertura vegetal que se encuentran fuera del SNAP; 2) Se utilizan tasas de deforestación diferenciadas para cada central hidroeléctrica, considerando la tasa existente según su ubicación geográfica (MAE, 2012); 3) Se aplica un valor por hectárea deforestada en la cuenca, que crece proporcionalmente con el grado de degradación en la cuenca, basándose en los valores provistos oficialmente por parte de la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC; 4) No se implementan actividades o esquemas de conservación o restauración fuera del SNAP que aumenten el área con cobertura vegetal conservada.

Gráfico 12: Proyección del escenario BAU a 20 años: Costos de operación y mantenimiento (USD/año) por central hidroeléctrica



Fuente: CELEC, 2014. **Elaboración:** Mentefactura.

En el gráfico anterior, se puede apreciar que en todos los casos los costos anuales de operación y mantenimiento se incrementan anualmente debido a la degradación de la cobertura vegetal y el consiguiente aumento de la cantidad de sedimento a ser evacuado para su operación.

Tabla 23: Cambio del área degradada y de los costos de mantenimiento en el escenario **BAU** en un plazo de 20 años

Concepto	Coca Codo Sinclair	Hidropaute	Marcel Laniado
Área degradada total año 0 (en ha)	110 966	244 357	362 795
Área degradada al final año 20 (en ha)	120 445	245 152	382 056
Costo inicial año 0 (USD/año)	207 032	608 168	2 999 415
Costo final año 20 (USD/año)	330 591	1 369 572	3 326 347
Relación de aumento de costos	1,60	2,25	1,11

Fuente: CELEC, 2014. **Elaboración:** Manufactura.

En los datos presentados en la tabla anterior destaca el caso de Hidropaute, en el cual se duplican los costos de mantenimiento. Esto se debe a que solo un mínimo de la cobertura vegetal existente se encuentra protegida bajo el SNAP, mientras que la mayor parte está expuesta a actividades de deforestación y degradación. En el caso de Marcel Laniado se muestra que los costos de dragado y mantenimiento son más altos, este incremento se debe a que el área con cobertura vegetal en la cuenca se encuentra completamente fuera del SNAP y por lo tanto, experimenta un alto grado de presión por las actividades productivas a su alrededor.

Cabe mencionar que las hidroeléctricas se construyen con base en las condiciones actuales que se encuentran en la cuenca; así que, si aumenta la degradación, no solamente incrementan los costos variables de dragado y mantenimiento, sino que la planta puede enfrentar desde costos adicionales de reemplazo de partes de las máquinas por causa de erosión, hasta casos extremos en los cuales la planta deja de funcionar por el cambio en la calidad y cantidad de agua que abastece la planta. Además, se debería tomar en cuenta la cantidad de días que la planta deja de



Parque Nacional Llanganates

producir por razones de mantenimiento y reemplazo de partes, lo que causa pérdidas en la producción y los ingresos generados, así como fluctuaciones no deseadas en la provisión de electricidad a la red.

Es así que los impactos económicos en la productividad de las hidroeléctricas causados por cambios en la calidad de los ecosistemas y sus servicios ambientales provistos, representan una proyección muy conservadora, ya que no pueden tomar en cuenta todas las consecuencias que se derivarían de cambios en los ecosistemas, por la falta de información detallada. Sin embargo, para proyecciones futuras se recomienda expresamente el levantamiento de estos datos para poder demostrar la contribución completa de los ecosistemas bien protegidos en las cuencas de abastecimiento de las hidroeléctricas.

7

Parque Nacional Cotopaxi

Valoración económica
del escenario SEM,
proyección para un
horizonte de
20 años y costos
de implementación



Reserva Ecológica
Manglares Cayapas Mataje

Fuente: Ministerio del Ambiente



Con base en el mejor manejo de la cuenca propuesto en el análisis geográfico, que implica mejoras en la cobertura vegetal del área, ya sea en términos de sistema de reforestación o mejores prácticas agrícolas, se presenta la proyección de los beneficios económicos para las tres hidroeléctricas para un plazo de 20 años. Adicionalmente, se presenta la proyección de los costos de implementación de este escenario en cada cuenca para el mismo plazo¹⁰.

7.1 Descripción y proyección del escenario SEM en un horizonte de 20 años

El escenario **SEM** se desarrolla con base en las recomendaciones para la implementación de actividades de conservación, restauración y prácticas sostenibles para cada cuenca en los capítulos anteriores, donde:

- ▶ **Conservación:** acciones que conlleven a la protección y preservación de ecosistemas y paisajes que cumplen con funciones ecológicas importantes, principalmente para el almacenamiento del agua, regulación del régimen hídrico y control de la erosión.
- ▶ **Restauración:** acciones que permitan la recuperación de los servicios ecosistémicos en zonas que están siendo afectadas por diversos usos que sobrepasan la capacidad del suelo, agua y biodiversidad para mantenerse en el tiempo.
- ▶ **Prácticas de manejo sostenible de la tierra:** acciones de buen uso del suelo, el agua y la biodiversidad que garanticen el potencial para mantener las funciones ecosistémicas de los recursos.

En particular el escenario **SEM** considera las siguientes actividades en las tres cuencas:

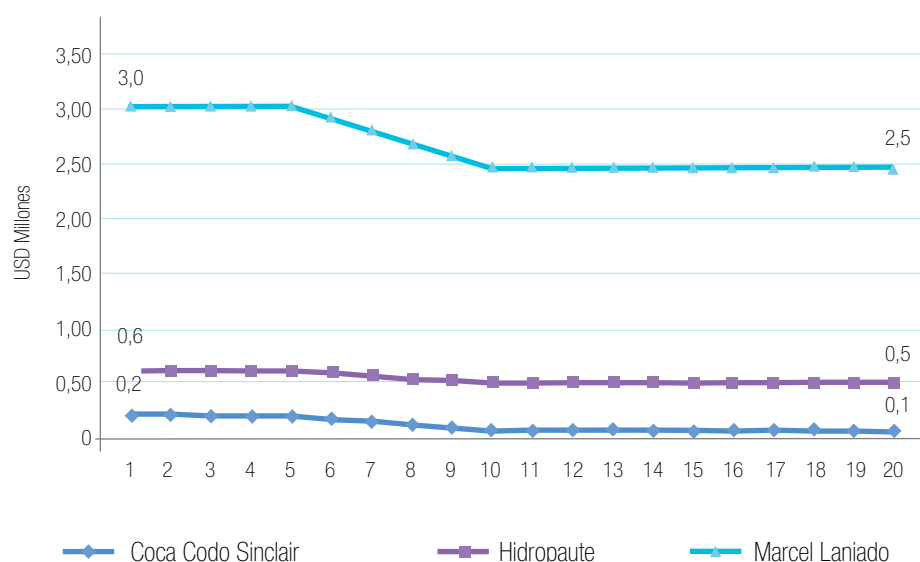
- ▶ Conservación del área con cobertura vegetal en el SNAP existente;
- ▶ Restauración del área del SNAP que requiere mejoramiento de las condiciones naturales;
- ▶ Restauración de las áreas consideradas importantes para el régimen hidrológico y el control de sedimentación en las zonas fuera del SNAP, identificadas en el análisis geográfico del capítulo anterior; y
- ▶ Eliminación gradual de la deforestación en la áreas fuera del SNAP mediante la aplicación de prácticas de manejo sostenible de la tierra.

¹⁰ El análisis presentado en este escenario se basa en el modelamiento de los indicadores de cobertura vegetal y costos de mantenimiento y de operación, el mismo que se presenta en las siguientes secciones de este capítulo.

- ▶ Se asume que las áreas conservadas/restauradas comienzan a ofrecer servicios ecosistémicos a partir del sexto año de iniciados estos procesos.

Como ya se indicó durante el desarrollo del escenario **BAU**, las condiciones de la superficie actual de la cuenca influyen fuertemente en el nivel de costos que soportan las hidroeléctricas así como de su progresión en el tiempo. Por lo tanto, se procedió a aplicar costos variables de operación y mantenimiento que se reducen gradualmente con el progreso en la restauración y la recuperación de la cobertura vegetal en las cuencas y la eliminación de la deforestación, de acuerdo a los supuestos de proporcionalidad aplicados en el escenario **BAU** para mantener la coherencia y la comparabilidad de los dos escenarios.

Gráfico 13: Proyección del escenario **SEM** a 20 años: Costos de operación y mantenimiento (USD/año) por central hidroeléctrica



Fuente: CELEC, 2014. Elaboración: Mentefactura.

En el gráfico anterior se puede apreciar el desarrollo de los costos de operación y mantenimiento anuales para las tres hidroeléctricas bajo las condiciones del escenario **SEM**. Se puede observar que las actividades de conservación y restauración tienen en cada caso un impacto directo en estos costos, aunque en niveles diferenciados. En el caso de Marcel Laniado se logra bajar los costos en 18% a USD 2,45 millones anuales. Esto se debe sobre todo a la eliminación de la deforestación y la recuperación de la cobertura vegetal en zonas clave para la conservación del régimen hídrico y el control de erosión en la cuenca. En el caso de Coca Codo Sinclair sorprende el ahorro en costos en términos relativos, bajando los costos de mantenimiento en casi 70% a apenas USD 63 862 por año. Esto se debe a que se identificó una superficie

relativamente extensa dentro de las AP de la cuenca que requiere restauración y recuperación de la cobertura vegetal. En el caso de Hidropaute se bajan los costos anuales en casi 20%, o en USD 115 000 por año. Esto se debe sobre todo a la recuperación de área degradada dentro de las AP en la cuenca abastecedora.

Tabla 24: Cambio del área degradada y de los costos de mantenimiento en el escenario **SEM** en un plazo de 20 años

Concepto	CCS	Hidropaute	Marcel Laniado
Área degradada total año 0 (en ha)	110 966	244 357	362 795
Area degradada final año 20 (en ha)	34 229	220 171	328 588
Costo inicial año 0 (en USD/año)	207 032	608 168	2 999 415
Costo final año 20 (en USD/año)	63 862	493 655	2 452 497
Ratio Costo Final/Costo Inicial	0,31	0,81	0,82

Fuente: CELEC, 2014. Elaboración: Mentefactura.

Si se suman los ahorros estimados en el escenario **SEM** con la contribución del SNAP actual, se puede concluir que solamente en las dos cuencas Coca Codo Sinclair e Hidropaute las áreas naturales protegidas pueden ahorrarles hasta USD 4,6 millones anuales en costos de operación y mantenimiento a partir del año 20. Otra vez, se debe destacar, que estas estimaciones presentan un valor conservador de la contribución del SNAP en términos de control de erosión, ya que no se toma en cuenta la vida útil o los días que tienen que parar las plantas por cuestiones de mantenimiento, que significan costos por no poder producir energía en estos mismos días.

7.2 Proyección de costos de implementación del escenario **SEM**

La proyección de costos del escenario **SEM** que se plantea a continuación considera el área conservada y restaurada de la cuenca de cada proyecto hidroeléctrico, tanto dentro como fuera del SNAP en un horizonte temporal de 20 años.

7.2.1 Supuestos

Dentro del SNAP

- ▶ El área conservada dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas mantiene la misma extensión durante los 20 años de esta proyección.
- ▶ El costo anual de conservación por hectárea dentro del SNAP es igual al costo señalado en el escenario ideal correspondiente a la Actualización del Estudio de Necesidades y Análisis de Brecha de Financiamiento del Sistema.
- ▶ Se realizará la restauración forestal dentro de las áreas protegidas en las de las cuencas bajo estudio durante los primeros cinco años de la proyección. Se ha previsto que dicha restauración forestal se realice bajo la modalidad de “recuperación mediante enriquecimiento de áreas con especies nativas”¹¹.
- ▶ En relación al Acuerdo Ministerial No. 211, los costos de restauración bajo la modalidad de enriquecimiento se diferencian por tipo de actor¹² y por región geográfica del país¹³. Cabe resaltar que se tomó en cuenta la localización de cada cuenca para asignar un costo de restauración por hectárea. Finalmente, se tomó como costo referencial al costo promedio anual.
- ▶ El costo de restaurar una hectárea de cobertura forestal se divide en dos partes:
 - Los primeros tres años se ha considerado el costo de implementación de las actividades de restauración, que consisten en costos operativos y de gestión.
 - A partir del 4º al 10º año se considera un incentivo para la consolidación de las áreas bajo restauración.

Fuera del SNAP

- ▶ La deforestación o degradación en las áreas protegidas que actualmente presentan cobertura vegetal y no pertenecen al SNAP.
- ▶ Se han aplicado las tasas de deforestación diferenciadas por cuenca, considerando la tasa existente según su ubicación geográfica.

11 El Acuerdo Ministerial No. 211, MAE, 21 de julio de 2014, señala que esta modalidad de restauración forestal busca incrementar servicios ecosistémicos mediante la implantación de especies florísticas nativas con material vegetativo proveniente de viveros o de bosque natural.

12 Los actores considerados dentro del Acuerdo Ministerial No. 211 son: Gobierno Autónomos Descentralizados Provinciales y Parroquiales, personas naturales, organizaciones de la Economía Popular y Solidaria, personas jurídicas sin fines de lucro (fundaciones y corporaciones), y personas jurídicas con fines de lucro.

13 Los actores considerados dentro del Acuerdo Ministerial No. 211 son: Gobierno Autónomos Descentralizados Provinciales y Parroquiales, personas naturales, organizaciones de la Economía Popular y Solidaria, personas jurídicas sin fines de lucro (fundaciones y corporaciones), y personas jurídicas con fines de lucro.

- ▶ Se prevé que el área de las cuencas bajo estudio que conserva cobertura natural fuera del SNAP mantenga su extensión a través del incentivo propuesto por el programa Socio Bosque. El valor de dicho incentivo varía de acuerdo al rango de superficie bajo conservación. Para este estudio se tomó como costo de conservación el valor promedio del incentivo de este programa.
- ▶ La proyección de costos asume la restauración de áreas que no han mantenido su cobertura vegetal, tanto las que han sido deforestadas previamente al inicio de esta proyección, como las que se degradan en los primeros años, bajo el supuesto planteado en el escenario **SEM** en el que se reduce la tasa de deforestación en las cuencas bajo estudio, a cero en cinco años.
- ▶ Los supuestos detrás de los costos de recuperación mediante enriquecimiento de la cobertura forestal son los mismos que los considerados para las áreas dentro del SNAP.
- ▶ Una vez restauradas las áreas, es necesario que éstas sean conservadas para que sigan aportando servicios ambientales a las cuencas hidrográficas. Por esta razón, supuso que las hectáreas restauradas se irán incorporando al total de áreas que requieren conservación, cuyo costo ha sido valorado a través del incentivo del Programa Socio Bosque.

7.2.2 Análisis de costos de implementación del escenario SEM

A continuación se presenta la proyección de los costos en los que se incurriría de implementarse el escenario **SEM**. Cabe destacar que este estudio no analiza cómo la presencia de las áreas protegidas genera beneficios a otros usuarios de la cuenca además de los proyectos hidroeléctricos. A modo de ejemplo, empresas de agua que captan el líquido vital para sus procesos productivos, también percibirían una reducción en sus costos al contar con agua de mejor calidad y flujos más constantes a lo largo del año.

Adicionalmente, hay que enfatizar que los costos evitados mencionados solo hacen referencia a aquellos relacionados con los procesos de sedimentación de la cuenca, ya que no se han estimado valores para otros servicios ambientales ofrecidos por las AP y el resto de cobertura vegetal. Estos servicios también son usufructuados por las hidroeléctricas y por otros actores que usan la cuenca como, por ejemplo, la regulación del caudal existente, el cual es el principal insumo en el proceso de generación de electricidad.

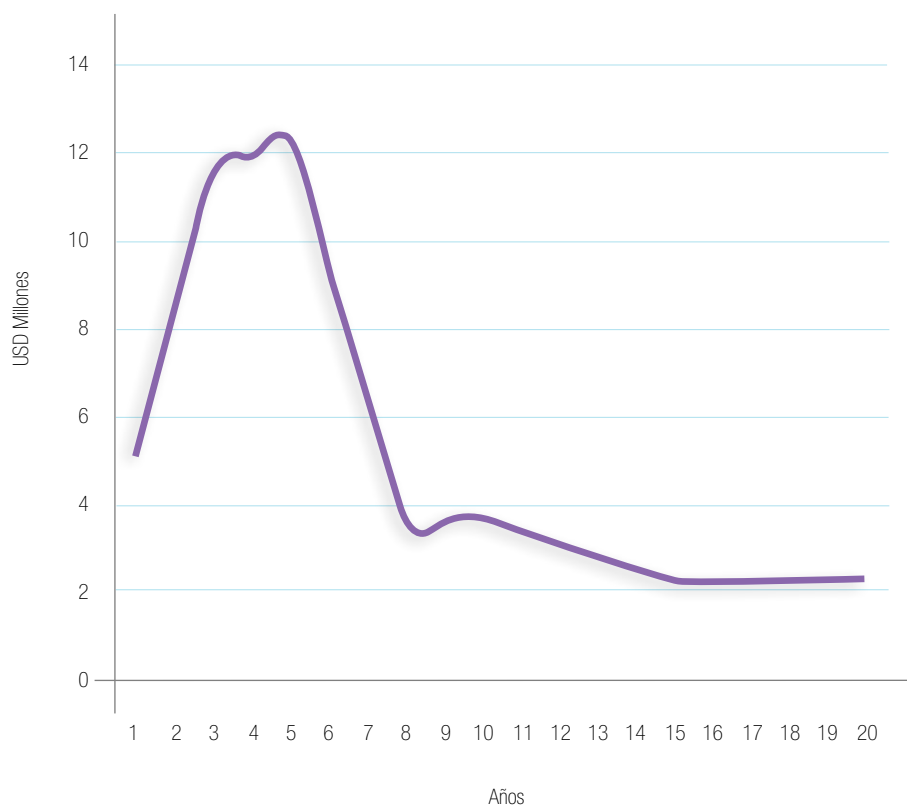
Coca Codo Sinclair

En el siguiente gráfico se presenta la proyección de los costos de la aplicación del escenario **SEM** en la cuenca de Coca Codo Sinclair. Como consecuencia de la

actividad de restauración de esta cuenca, los costos se acumulan en los primeros años de la proyección. A partir del año cinco, en el que se terminan de restaurar las áreas degradadas, los costos empiezan a decaer en el resto de la proyección.

Al acumular los costos previstos para los 20 años, se observa que 59% de los costos totales corresponden a restauración de la cobertura vegetal dentro del SNAP, tomando en cuenta que la necesidad de reforestación es de 76 030 ha. Cabe resaltar que, de las modalidades de restauración, se ha escogido la que corresponde a la restauración de ecosistemas, a través de la cual se espera la reposición satisfactoria de los servicios ambientales otorgados a la producción hidroeléctrica y a otras actividades económicas.

Gráfico 14: Costo anual de implementación del escenario **SEM** – Coca Codo Sinclair



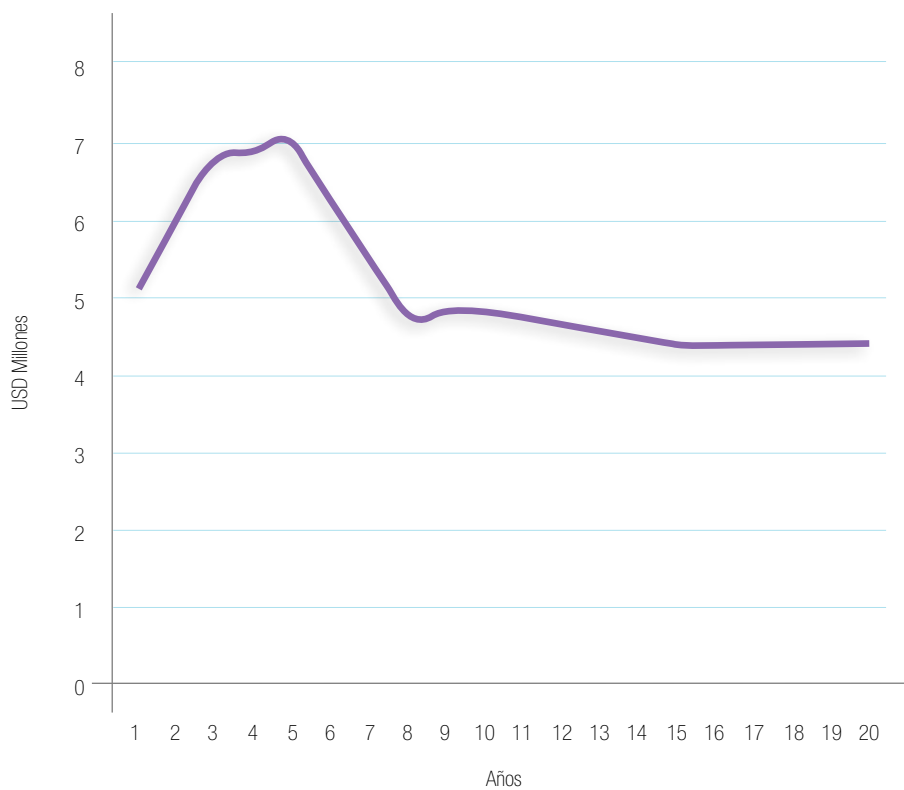
Fuente y elaboración: Mentefactura, 2014.

Hidropaute

En el siguiente gráfico se presenta la proyección de los costos de la aplicación del escenario **SEM** en la cuenca de Hidropaute. De forma similar a los costos asociados a la cuenca del proyecto hidroeléctrico Coca Codo Sinclair, los costos se acumulan

en los primeros años de la proyección debido que se debe restaurar la vegetación de alrededor de 24 200 ha. Así mismo, los costos caen gradualmente a medida que se avanza en el proceso de enriquecimiento de áreas previsto para este escenario. En el caso específico de esta cuenca, el mayor gasto al final de la proyección corresponde a la conservación de las áreas prioritarias fuera del SNAP, que ascienden a aproximadamente 199 000 ha.

Gráfico 15: Costo anual de implementación del escenario **SEM** – Hidropaute

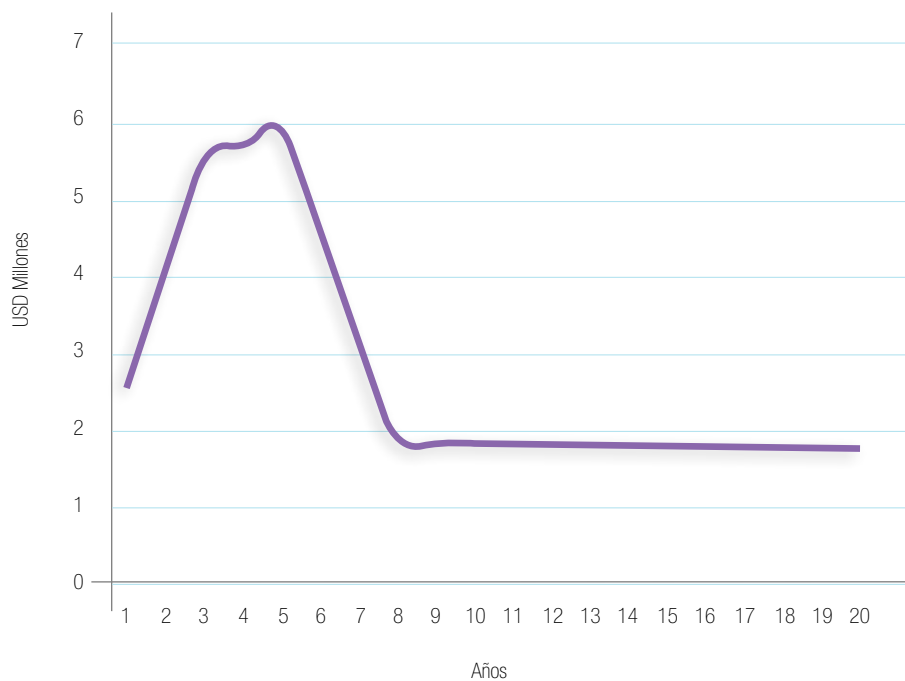


Fuente y elaboración: Mentefactura, 2014.

Marcel Laniado

En el siguiente gráfico se presenta la proyección de los costos de la implementación del escenario **SEM** en la cuenca de Marcel Laniado. En esta cuenca, el mayor costo (51%), al final de la proyección se asocia con la restauración de cobertura vegetal, en la que se ha proyectado el enriquecimiento de alrededor de 35,8 ha. Cabe acotar que no existen áreas protegidas en esta cuenca, por lo que la restauración se realizaría en áreas privadas. Una vez finalizada esta actividad, los costos se componen principalmente de la conservación de la vegetación, mismos que se valoraron a través del incentivo del Programa Socio Bosque.

Gráfico 16: Costo anual de implementación del escenario **SEM** – Marcel Laniado



Fuente y elaboración: Mentefactura, 2014.



Fuente: Ministerio del Ambiente

Parque Nacional
Llanganates

Conclusiones y recomendaciones del estudio



Parque Nacional
Cayambe Coca

- ▶ El sector hidroeléctrico es la principal prioridad dentro de la Nueva Matriz Energética (NME) del Ecuador, con el que se planifica cubrir 90% de la demanda eléctrica del país a partir del 2021.
- ▶ La producción hidroeléctrica depende altamente del estado de conservación y del uso de suelo de las cuencas de las que se abastece, ya que estos factores condicionan el régimen hídrico y la cantidad de sedimentos del agua. Por lo tanto, las condiciones ambientales en las cuencas que abastecen las hidroeléctricas inciden tanto en los costos de inversión como de operación, en el sentido de generar o ahorrar costos de dragado y remoción de sedimentos.
- ▶ Existe, en consecuencia, la posibilidad de estimar la relación económica entre los servicios ambientales que proveen las cuencas, y su efecto en los costos de producción de una central hidroeléctrica medidos por ejemplo en horas de operación, costos de mantenimiento o vida útil de la inversión inicial.
- ▶ La evidencia que se presenta a lo largo de este estudio demuestra la importancia estratégica del SNAP para el sector hidroeléctrico. Al ser la principal herramienta de ordenamiento territorial que tiene Ecuador, el Sistema permite la conservación de grandes extensiones de territorio de una manera eficiente, lo cual a su vez incide en menores costos de operación y asegura la sostenibilidad de las inversiones hidroeléctricas.
- ▶ Las cuencas hidrográficas dentro del SNAP abastecen a 20 de las 75 hidroeléctricas que se encuentran en funcionamiento o en construcción incluyendo a Coca Codo Sinclair, pronto cubrirán el 90% de la demanda eléctrica nacional.
- ▶ Los costos de dragado de sedimentos en la cuenca con el menor porcentaje de cobertura vegetal (Marcel Laniado), son los más altos por GWh producido. La sostenibilidad del cumplimiento de responsabilidad de esta Cartera de Estado, en cuanto a asegurar la provisión del recurso principal para la producción hidroeléctrica, sugiere la necesidad de esquemas que permitan que las centrales hidroeléctricas incorporen dentro de sus costos aquellos relacionados a la conservación de las cuencas y las AP dentro de las mismas.
- ▶ El análisis de las tres cuencas que forman parte de este estudio, destacó que una gran parte de las áreas de alta importancia para el régimen hídrico y el abastecimiento de agua se encuentran fuera del SNAP y no bajo ningún esquema de conservación. El Artículo 78 de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos contempla la creación de áreas de conservación hídrica. “Se denominan áreas de protección hídrica a los territorios donde existan fuentes de agua declaradas como de interés público para su mantenimiento, conservación y protección, que abastezcan el consumo humano o garanticen la soberanía



Parque Nacional Llanganates

Fuente: Ministerio del Ambiente

alimentaria, las mismas formarán parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas”. Esto sugiere oportunidades para ampliar el SNAP, así como para atender a nuevas prioridades bajo el Sistema Nacional de Incentivos Ambientales.

- ▶ Actualmente, las competencias relacionadas con la planificación, construcción, operación, regulación y control del recurso hídrico y de las hidroeléctricas se encuentran desagregadas en varias instancias del Estado (SENAGUA, MAE, CONELEC, CELEC, Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, Empresas Públicas, etc.). Este Ministerio invita a todas las instituciones involucradas en el tema a desarrollar un trabajo coordinado para fortalecer el enfoque multisectorial para la gestión integral del recurso hídrico.
- ▶ Dentro de este mosaico de instituciones, esta Cartera de Estado se destaca por su experiencia y capacidad específica en la gestión de paisajes y unidades de conservación. Una capacidad y competencia del MAE que presenta un aporte concreto al sector hidroeléctrico, en términos de su experiencia en programas de conservación y uso sostenible del territorio.
- ▶ Más allá del SNAP, el Ministerio del Ambiente posee otras herramientas de política para generar las condiciones y favorecer la conservación de cuencas hídricas. Dentro de estas destacan el Sistema Nacional de Incentivos, el Programa Nacional de Desechos Sólidos, el Sistema Único de Información Ambiental, así como las iniciativas de reforestación y restauración de ecosistemas degradados. Estas capacidades y competencias del MAE justifican su participación en espacios clave de coordinación multisectorial como el Sistema Nacional Estratégico del Agua.
- ▶ Este Ministerio, como Autoridad Nacional Ambiental responsable de la conservación de la cobertura vegetal natural en el Ecuador y de la biodiversidad que alberga, se enfrenta al reto de asumir un rol estratégico en la planificación territorial de las cuencas que abastecen a la producción hidroeléctrica. En este sentido, se propone acompañar y promover activamente su participación en iniciativas de gestión integrada de cuencas hídricas, dentro del cumplimiento de sus competencias y atribuciones. Esto incluye fortalecer el seguimiento técnico a los procesos de planificación para el aprovechamiento de los servicios hídricos por parte de las hidroeléctricas, tomando en cuenta que para dicha producción se requiere la conservación de cuencas y subcuencas hidrográficas, muchas de las cuales se encuentran dentro de AP, a pesar que las centrales hidroeléctricas se encuentren fuera del SNAP.



Parque Nacional Sangay



Fuente: Ministerio del Ambiente

- ▶ Idealmente el Sistema Nacional de Áreas Protegidas debería estar en capacidad de reportar su aporte en términos de volumen y calidad de agua, por lo menos en los grandes proyectos como es el caso de Coca Codo Sinclair, donde el SNAP representa más de 80% de la cuenca hidrográfica. Para esto, se propone la conformación de una red de monitoreo hidrometeorológico dentro de las áreas protegidas, en coordinación con SENAGUA y el INAMHI. El entendimiento de cómo funcionan y cómo se relacionan los ecosistemas y los procesos hidrológicos de los cuales depende la oferta hídrica nacional, ayudará a establecer balances hídricos confiables y cuantificar la cantidad de agua disponible en el país para los diferentes usos, incluida el agua requerida para el mantenimiento de los ecosistemas.
- ▶ Un espacio clave que está alineado a los objetivos institucionales del MAE consiste en la generación y estructuración de sistemas de información. Este Ministerio posee sistemas de información como el Sistema Único de Información Ambiental (SUIA), o la Unidad de Monitoreo de la Subsecretaría de Patrimonio Natural (UMSPN), los cuales podrían incorporar dentro de sus variables de seguimiento indicadores biofísicos y económicos, particularmente enfocados en las AP que abastecen al sector hidroeléctrico.



Fuente: Ministerio del Ambiente

Parque Nacional
Podocarpus

9

Referencias



Parque Nacional
Podocarpus

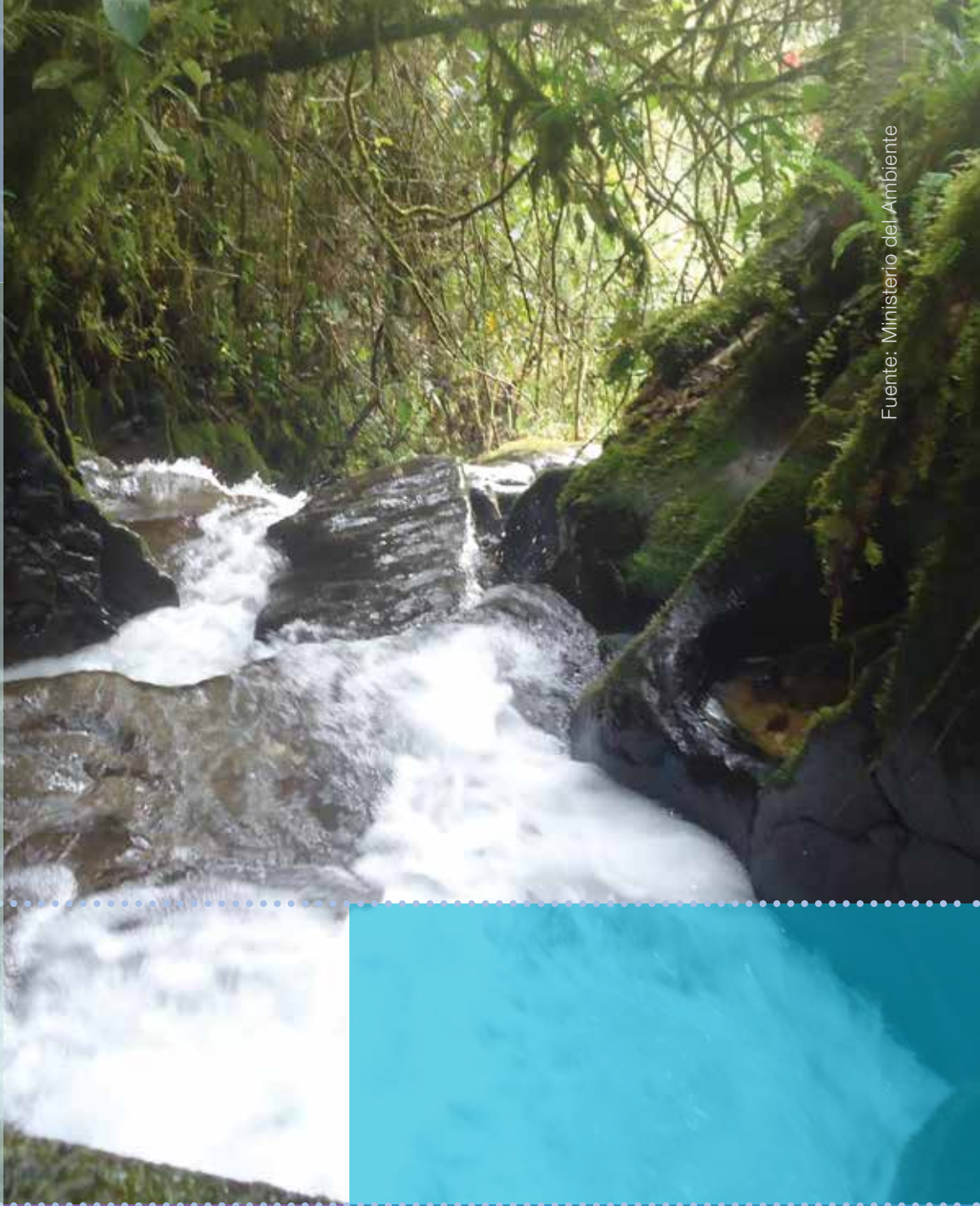
- Alpizar, F. y Bovarnick, A. (2013). *Targeted Scenario Analysis: A new approach to capturing and presenting ecosystem values for decision making*. PNUD.
- Banco Interamericano de Desarrollo (2015). *Apoyo al cambio de la matriz energética del Ecuador*. (EC-L1140). BID
- Banco Central del Ecuador (2013). *Información Estadística Mensual, Estadísticas del Sector Real, Producto interno bruto por industria*.
- Bovarnick, A., Alpizar, F., Schnell, C. (2010). *The Importance of Biodiversity and Ecosystems in Economic Growth and Equity in Latin America and the Caribbean: An economic valuation of ecosystems*. PNUD.
- Castro, M. (2011). *Hacia una Matriz Energética Diversificada en Ecuador*; CEDA.
- Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP (2011). *Informe Anual 2011 Corporación Eléctrica del Ecuador: Unidad de Negocio Hidropaute*.
- Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP (2012). *Informe Anual 2012: Unidad de Negocio Hidropaute*.
- Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP (2013). *Informe de Gestión 2013: Unidad de Negocio Hidronación. Corporación Eléctrica del Ecuador*.
- Coe, M., M. Costa y B. Soares-Filho (2009). *The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River – Land surface process and atmospheric feedbacks*. *Journal of Hydrology*, Vol. 369, pp. 165-174.
- CONELEC. (2012). *Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2011. Folleto multianual. Directorio del Consejo Nacional de Electricidad*. Recuperado de: http://www.conelec.gob.ec/images/documentos/doc_10215_Folleto%20Multianual%202002-2011.pdf
- CONELEC. (2013). *Plan Maestro de Electrificación 2013 - 2022*. Quito.
- CONELEC. (2014). *Producción anual de energía eléctrica a nivel nacional por tipo de fuente energética (GWh)*. Recuperado de http://www.conelec.gob.ec/enlaces_externos.php?l=1&cd_menu=4223
- Cui, X., S. Liu y X. Wei (2012). *Impacts of forest changes on hydrology: a case study of large watersheds in the upper reaches of Minjiang River watershed in China*. *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 16, pp. 4279-4290.
- Decreto Ejecutivo 3516. (31 de marzo 2004). *Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULAS)*.
- Enders, W. (2004). *Applied Econometric Time Series. Second Edition. Wiley Series in Probabilities and Statistics*. Wiley, John & Sons, Incorporated.
- Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador, EP Petroecuador. (2013). *El Petróleo en el Ecuador, la nueva era petrolera*. Quito.
- Evaluación de Ecosistemas del Milenio. (2005). *Ecosistemas y el bienestar humano: síntesis*. Island Press, Washington, DC.
- FAO. (1987). *Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía. Boletín de Suelos de la FAO. Volumen 68. Capítulo 7 - Estimaciones a partir de modelos*. Recuperado de [http://www.fao.org/docrep/t0848s/t0848s09.htm#calculode de la pérdida de suelo](http://www.fao.org/docrep/t0848s/t0848s09.htm#calculode%20la%20p%C3%A9rdida%20de%20suelo)
- FAO. (1996). *Planificación y ordenación de cuencas hidrográficas con ayuda de computadora. Tecnologías para la planificación nacional. Guía de conservación*. Volumen 20. Capítulo 1. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/006/v9927s/v9927s00.htm>
- Guo, Z., X. Xiao y D. Li. (2000). *An assessment of ecosystem services: Water flow regulation and hydroelectric power production*. *Ecological Applications*. Vol. 10, Issue 3, pp. 925-936.
- Guo, Z., X. Xia, Y. Gan y Y. Zheng (2001). *Ecosystem functions, services and their values – a case study in Xingshan County of China*. *Ecological Economics*, Vol. 38, pp. 141-154.
- Guo, Z., Y. Li, X. Xiao, L. Zhang, y Y. Gan. (2007). *Hydroelectricity production and forest conservation in watersheds*. *Ecological Applications*. Vol. 17, Issue 6, pp. 1557-1562.
- Gobernación del Azuay (2015). *Con energía hidroeléctrica Ecuador contribuye a reducir 11 millones de toneladas de CO₂*. Recuperado de: <http://www.gobernacionazuay.gob.ec/con-energia-hidroelectrica-ecuador-contribuye-a-reducir-11-millones-de-toneladas-de-co2/>

- Hamilton, J. (1994). *Time Series Analysis*. First Edition. Princeton University Press.
- Hangdi, T. (YREC/GEODATA) (2013), *Proyecto Hidroeléctrico Coca Codo Sinclair: Estimación de la carga de sedimentos al embalse compensador*, CCS SediCon Sluicer, pp.8.
- Haupt, A. (2015). *Energy Introduction - Renewable Energy Sources and Technologies (RENAC AG)*. Berlin. Germa
- Hofstede, R.; Lips, J., Jongsma, W. & Sevink, J. (1998). *Geografía, Ecología y Forestación de la Sierra Alta del Ecuador*. Editorial Abya Yala, Ecuador. 242 p.
- Jacobson, T. (YREC/GEODATA) (2012), *Proyecto Hidroeléctrico Coca Codo Sinclair: Calculation report of CCS sedicon sluicer design*, CCS SediCon Sluicer, pp.11 .
- Leguia, E.J., B. Locatelli, P. Imbach, C.J. Perez y R. Vignola. (2008). *Servicios ecosistémicos e hidroenergía en Costa Rica. Ecosistemas, Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*. Vol. 17, num. 1, pp.16-23.
- Lele, S. (2009). *Watershed services of tropical forests: from hydrology to economic valuation to integrated analysis*. Environmental Sustainability. Vol. 1, pp.148-155.
- León, F. (2007). *El aporte de las Áreas Protegidas Naturales a la Economía Nacional*. Primera Edición. Perú.
- Mentefactura. (2007). *Valoración Económica de los aportes de las Áreas Protegidas a las condiciones de vida de las poblaciones humanas en sus áreas de influencia (no publicado)*.
- Meunier, M. (1996). *La cubierta forestal y las crecidas en las pequeñas cuencas de montaña. En FAO. (1996). Influencias de los bosques. Revista internacional de silvicultura e industrias forestales*. Volumen 47. Capítulo 1. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/w0312s/w0312s07.htm>
- Ministerio del Ambiente. (2012). *Estrategia Nacional de Cambio Climático 2012 - 2025*. Primera Edición. Quito, Ecuador.
- Ministerio del Ambiente. (2005). *Análisis de las Necesidades de Financiamiento del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador*. Quito, Ecuador.
- Ministerio del Ambiente. (2012). *Establecimiento de los valores que debería cobrar el Ministerio por concepto de tarifas de ingreso a las Áreas Protegidas para fortalecer su sostenibilidad financiera*. Informe 2. Encuestas de percepción realizadas en físico y escaneadas, junto con un documento de análisis estadístico de cada AP. Quito.
- Ministerio del Ambiente. (2012). *Línea base de deforestación del Ecuador continental*. Quito – Ecuador. Recuperado de: <http://sociobosque.ambiente.gob.ec/files/Folleto%20mapa->
- Ministerio del Ambiente. (2013). *Estudio de Necesidades y Brecha de Sostenibilidad Financiera del SNAP. Proyecto Sostenibilidad Financiera del SNAP GEF – PNUD*. Quito, Ecuador.
- Ministerio del Ambiente. (2013). *Plan Nacional de Forestación y Reforestación*. No publicado.
- Ministerio del Ambiente (2014). Ecuador demuestra acciones concretas contra el Cambio Climático. Recuperado de <http://www.ambiente.gob.ec/cumbre-climatica-de-las-naciones-unidas/Ministerio> Coordinador de Sectores Estratégicos. (2013). *Revista Sectores Estratégicos – Alcanzamos en el cambio de la matriz energética*. Quito.
- Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2014) *Balance Energético 2013 – Año base 2012*. Quito
- Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2014) *Balance Energético 2014 – Año base 2012*. Quito
- Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2014) *Catálogo de Inversión para Proyectos Estratégicos. 2014 - 2017*. Quito
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (2014). *Plan estratégico institucional 2014 – 2017*. Quito, p.p. 30.
- Molina, A., G. Govers, F. Cisneros y V. Vanacker (2009). *Vegetation and topographic controls on sediment deposition and storage on gully beads in a degraded mountain area. Earth Surface Process and Landforms*, Vol. 37, pp. 755-767.
- Mora, D. (2005). *Actualización del conocimiento sobre la producción de sedimentos a diversas escalas en la Cuenca Hidrográfica del Río Paute. Tesis Centro de Estudios de Postgrado Programa para el Manejo del Agua y del Suelo*. Universidad de Cuenca.

- Oñate, F. y G. Aguilar. (2003). *Aplicación del modelo SWAT para la estimación de caudales y sedimentos en la cuenca alta del Río Catamayo*. Disponible en: http://www.fronate.pro.ec/fronate/wp-content/media/2006/10/swat_catamayo.pdf
- Oñate, F. (2004). *Metodología para la evaluación del riesgo de erosión hídrica en zonas áridas y su aplicación en el manejo de protección de proyectos hidráulicos*. Revista Electrónica de la REDLACH. Número 1, Año 1.
- Postel, S. y B. Thompson. (2005). *Watershed protection: Capturing the benefits of nature's water supply services*. *Natural Resources Forum*. Vol. 29, pp. 98-108.
- Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador, EP Petroecuador. (2013). *El Petróleo en el Ecuador, la nueva era petrolera*. Quito.
- ProEcuador. (2014). Boletín comercial 2014. Recuperado de http://www.proecuador.gob.ec/pubs/proec_ic_04_41/
- Registro Oficial 449. (20 de octubre de 2008). Constitución de la República del Ecuador.
- Registro Oficial 305. (6 de agosto de 2014). Ley orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento de Agua.
- Rosero, E. et al. (2011). *Observatorio de Energías Renovables en América Latina y el Caribe*; OLADE.
- Salas, C., N. Ríos, M. Ibrahim y C. Sepúlveda (2013). *Valoración económica preliminar de la erosión hídrica en sistemas ganaderos de la cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica*. Ponencia presentada en: VII Congreso Latinoamericano de Sistemas Agroforestales para la Producción Agraria Sustentable.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (Senplades). (2015). *Cambio de la matriz Energética* – Folleto informativo.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (Senplades). (2013). *Plan Nacional del Buen Vivir 2013 – 2017*. Quito.
- Stickler, C., M. Coe, M. Costa, D. Nepstad, D. McGrath, L. Dias, H. Rodrigues y B. Soares-Filho (2013). *Dependence of hydropower energy generation on forests in the Amazon Basin at local and regional scales*. *PNAS* 2013 110 (23) 9601-9606.
- Southgate, D. y R. Macke. (1989). *The Downstream Benefits of Soil Conservation in Third World Hydroelectric Watersheds*. *Land Economics*. Vol. 65, Issue 1, pp.38.
- TRACTEBEL, Coyne et Bellier y OTEC. (2012). *Update of the sediment content studies according to the meeting of the 12/07/2012 between SHC/YREC/COB-OTEC and ASOC*.
- Vanacker, V., G. Gloves, S. Barros, J. Poesen y J. Deckers (2003). *The effect of short-term socio-economic and demographic change on landuse dynamics and its corresponding geomorphic response with relation to water erosion in a tropical mountainous catchment, Ecuador*. *Landscape Ecology*, Vol. 18, pp.1-15.
- Vicepresidencia de la Republica. (2013). Enlace Ciudadano N° 306: Ecuador transforma la matriz energética y productiva. Quito.



Parque Nacional Sangay





Parque Nacional
Podocarpus

10

Anexos



Parque Nacional
Cayambe Coca

Fuente: Carla Aguas

10.1 Anexo Metodológico

El presente estudio se elaboró con base en la aproximación metodológica *Targeted Scenario Analysis* - TSA (en español “Análisis de Escenarios Meta”), pionera en América Latina y desarrollada por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2013), adaptando estos pasos genéricos a la realidad del sector hidroeléctrico del Ecuador y la información existente y accesible para poder realizar la valoración económica. El enfoque del TSA radica en los impactos económicos sectoriales de un ecosistema seleccionado, ya que mide los costos y beneficios de los cambios específicos que resulten de la ejecución de intervenciones políticas concretas.

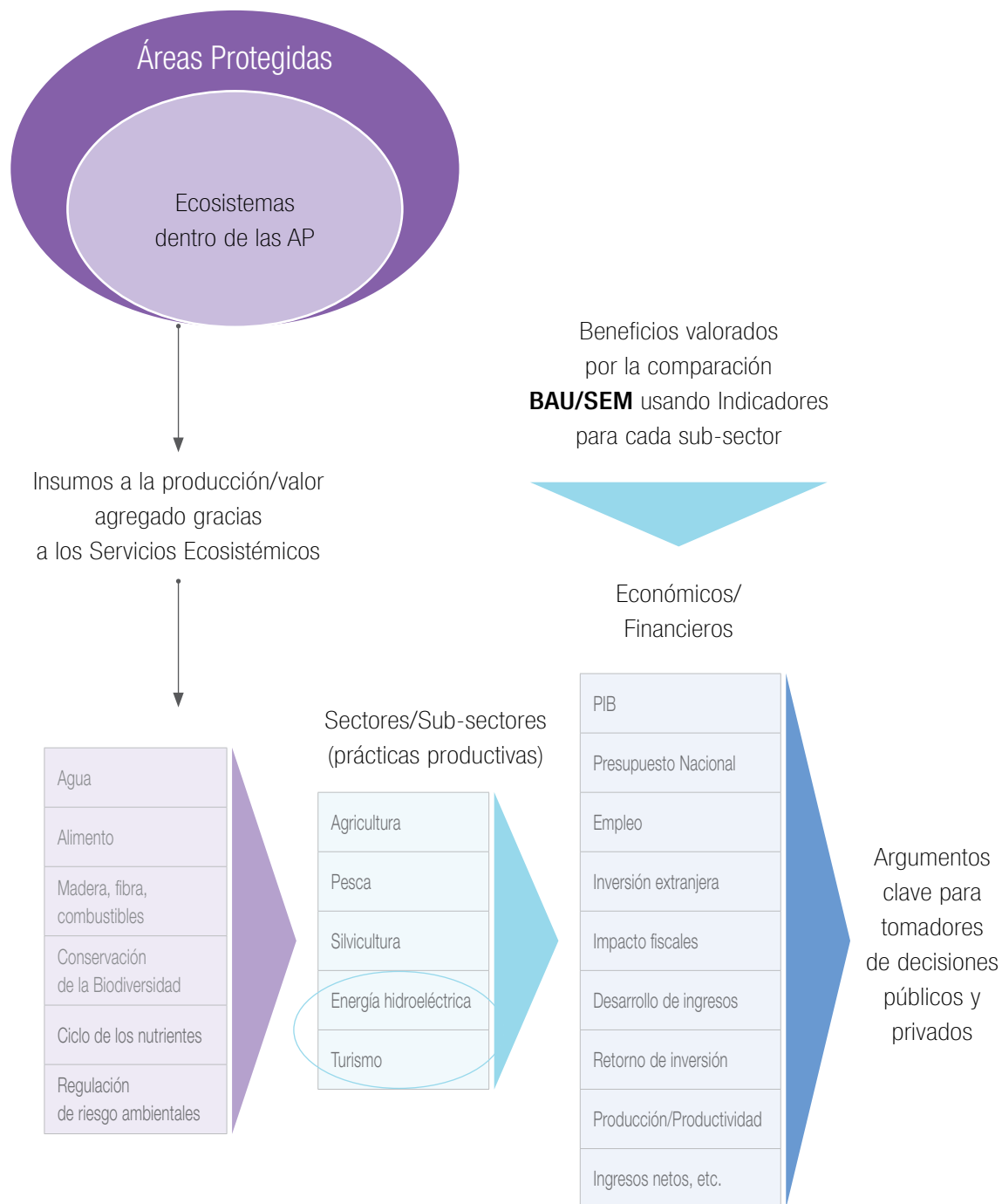
El enfoque de la metodología TSA tiene como objetivo proporcionar la evidencia de los beneficios económicos, tanto directos como indirectos, de los ecosistemas bajo protección. El análisis busca evidenciar las consecuencias económicas de la disminución potencial de la productividad debido a la degradación de los ecosistemas que resultaría bajo las condiciones de manejo actual (Escenario Sin Cambios - **BAU**) y las compara con la productividad y los beneficios económicos generados bajo el uso y la gestión sostenible de los ecosistemas (*Sustainable Ecosystem Management* – **SEM**).

La selección del sector hidroeléctrico, como representante de la Nueva Matriz Energética (NME), fue resultado de un proceso altamente participativo en el que se generaron matrices de priorización que permitieron identificar los sectores que presentan mayor dependencia de los servicios ambientales que genera el SNAP¹⁴.



14 El resultado de este proceso fue la identificación de cuatro sectores prioritarios: turismo, producción hidroeléctrica, agricultura, pesca y mariscos.

Gráfico 17: Metodología TSA



Fuente: Alpizar. *et al.*, 2013. Elaboración: Mentefactura.

El alcance del análisis, los objetivos de gestión, las definiciones operativas (proceso clave que encamina todas las definiciones y proyecciones posteriores), la descripción y el diseño de los diferentes escenarios, así como, la selección de los indicadores que serán medidos en los dos escenarios propuestos en este documento fueron entregados por la Autoridad Ambiental.

10.1.1 Selección de casos de estudio

Las hidroeléctricas están en cuencas con diversas condiciones ambientales, lo cual influye en su producción de energía. Sobre esta base se caracterizó las zonas de drenaje o vertientes que aportan con caudal a las hidroeléctricas a fin de determinar la contribución de las AP y la vegetación natural en los caudales de los ríos a lo largo de los años y el aporte de sedimentos derivados de actividades de aprovechamiento del uso del suelo. Estos dos factores permiten poner en evidencia la disminución en el potencial de la productividad de las hidroeléctricas, debido a la degradación de los ecosistemas en las condiciones de manejo actual, así como, proyectarlas a un escenario en el cual el uso y la gestión sostenible de los ecosistemas mejoran dicho potencial.

Para este análisis se utilizó sistemas de información geográficos. Se partió de la delimitación de zonas de drenaje efectivo que aportan con caudal a una hidroeléctrica (cuenca de drenaje). Esta información se cruzó con mapas de vegetación, áreas protegidas y uso del suelo a fin de calcular su extensión dentro de cada cuenca. Desde este primer análisis se estableció la correlación entre la superficie de la cobertura vegetal protegida y no protegida con la potencia de generación de cada hidroeléctrica. De los diversos tipos de relación entre los parámetros analizados se definieron tipologías de relaciones entre la superficie de áreas protegidas y vegetación con la potencia de una hidroeléctrica. A partir de esta se definieron tres hidroeléctricas en las cuales se aplicó la metodología TSA para definir los escenarios de las condiciones actuales (**BAU**) y de manejo sostenible de ecosistemas (**SEM**).

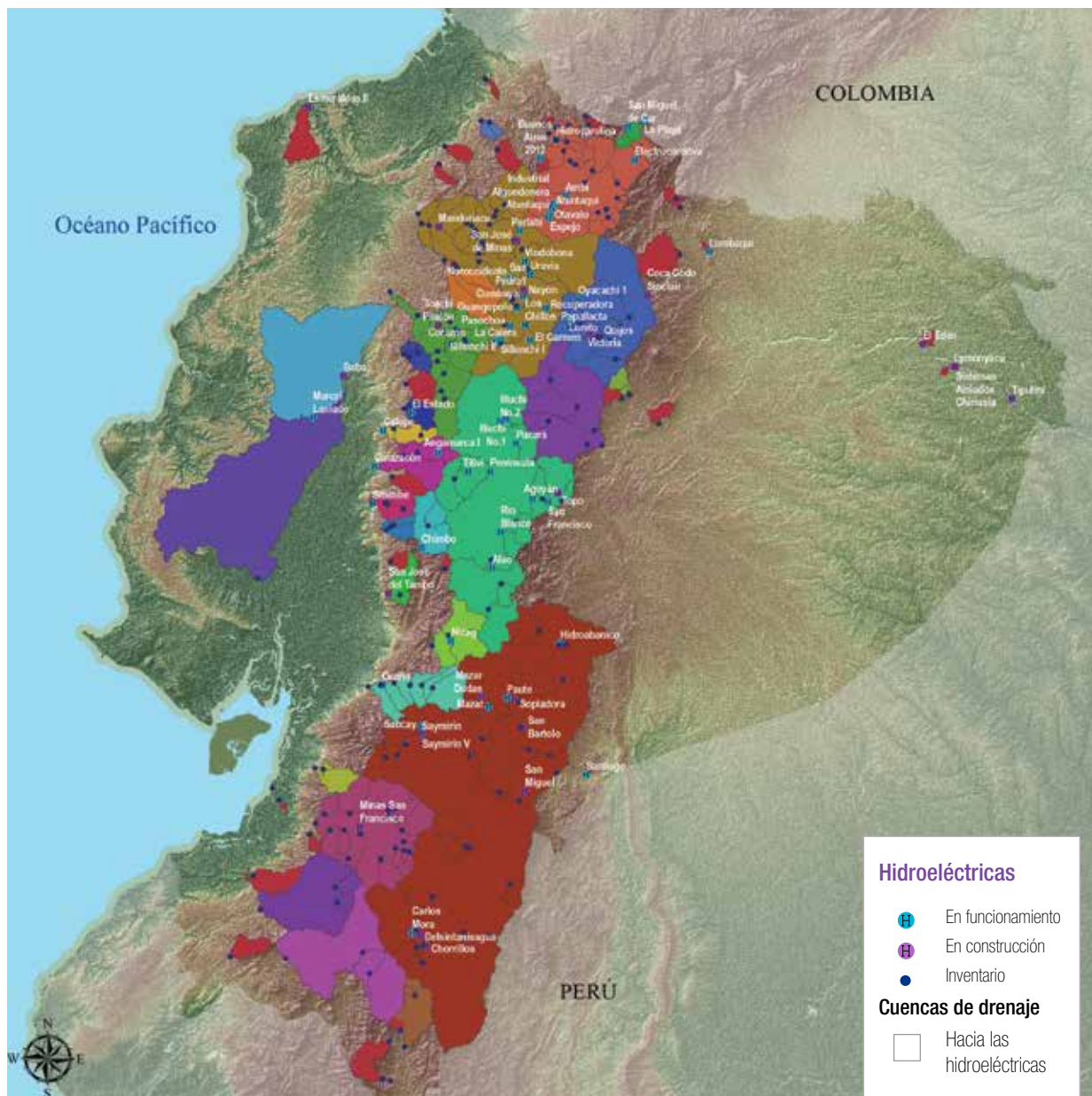
Para la delimitación de las zonas de drenaje, se generó un modelo digital de elevación a partir de curvas de nivel del Ecuador obtenidas de la cartografía oficial del Instituto Geográfico Militar (IGM) a escala 1:250 000, la cual fue tratada topológicamente para crear un modelo de drenaje a partir del cual se restituyeron los valores cuya orientación o vertiente derivan en el sitio de localización de las hidroeléctricas¹⁵. Estos valores son las cuencas de drenaje o todas las vertientes de una zona determinada cuyo flujo de agua se orienta hacia un cauce principal o río, el cual recoge las aguas de la cuenca que son utilizadas por una hidroeléctrica. De esta manera se calculó la superficie de las cuencas de drenaje delimitadas.

¹⁵ Se hizo un ajuste en la localización de las hidroeléctricas a fin de que coincidan con las zonas de drenaje o flujos (ríos) que se generaron a partir del modelo de elevación.

Dentro de algunas cuencas de drenaje de una hidroeléctrica que está a menor altitud sobre el nivel del mar y que abarca una gran superficie de drenaje, se delimitaron otras cuencas de drenaje de menor extensión que están aguas arriba, puesto que dentro de una misma unidad hídrica pueden haber varios sitios de aprovechamiento de caudal para la instalación de una hidroeléctrica. En estos casos se hizo una sumatoria de las cuencas que delimitó el modelo para conocer la superficie. En el siguiente mapa se observan las hidroeléctricas y sus respectivas microcuencas que resultaron del análisis y se muestra en el recuadro la cuenca de drenaje de la hidroeléctrica Coca Codo Sinclair que a su vez agrupa a otras cuencas más pequeñas de drenaje de las hidroeléctricas Papallacta, Oyacachi, Quijos, entre otras.



Mapa 25: Cuencas de drenaje de cada hidroeléctrica¹⁶



Fuente: Cartografía base del Ecuador a escala 1:250000. IGM (2014) y Listado de hidroeléctricas del Ecuador. CONELEC (2014).
 Elaboración: Mentefactura, 2014.

16 Se obtuvo información geográfica de puntos de localización de todas las hidroeléctricas de servicio público que el CONELEC tiene inventariadas. Cada punto contiene información de referencia como nombre, localización a nivel de división político administrativa, la potencia de generación eléctrica y el estado actual de la misma. Esta información agrupa 270 registros de hidroeléctricas que están en funcionamiento, las que están en construcción y las que son parte de los inventarios de potenciales sitios para la instalación de una hidroeléctrica.



La superficie de las cuencas de drenaje¹⁷ varía de acuerdo a la cuenca de drenaje que capta cada hidroeléctrica. La cuenca con mayor superficie, con más de 22 mil kilómetros cuadrados, corresponde a la hidroeléctrica en inventario Santiago Zamora G8¹⁸ ubicada en la provincia de Zamora, que recoge todas las aguas de la cuenca del Río Santiago entre las que figuran todos los ríos de la vertiente oriental de las provincias de Azuay y Cañar, entre otros. En esta cuenca se encuentran varias hidroeléctricas como Hidropaute, Mazar y Sopladora. En el otro extremo existen cuencas de drenaje de menos de 0,03 kilómetros cuadrados.

Cada una de las unidades hidroeléctricas fue cruzada con información del mapa de áreas protegidas del Ecuador con el fin de

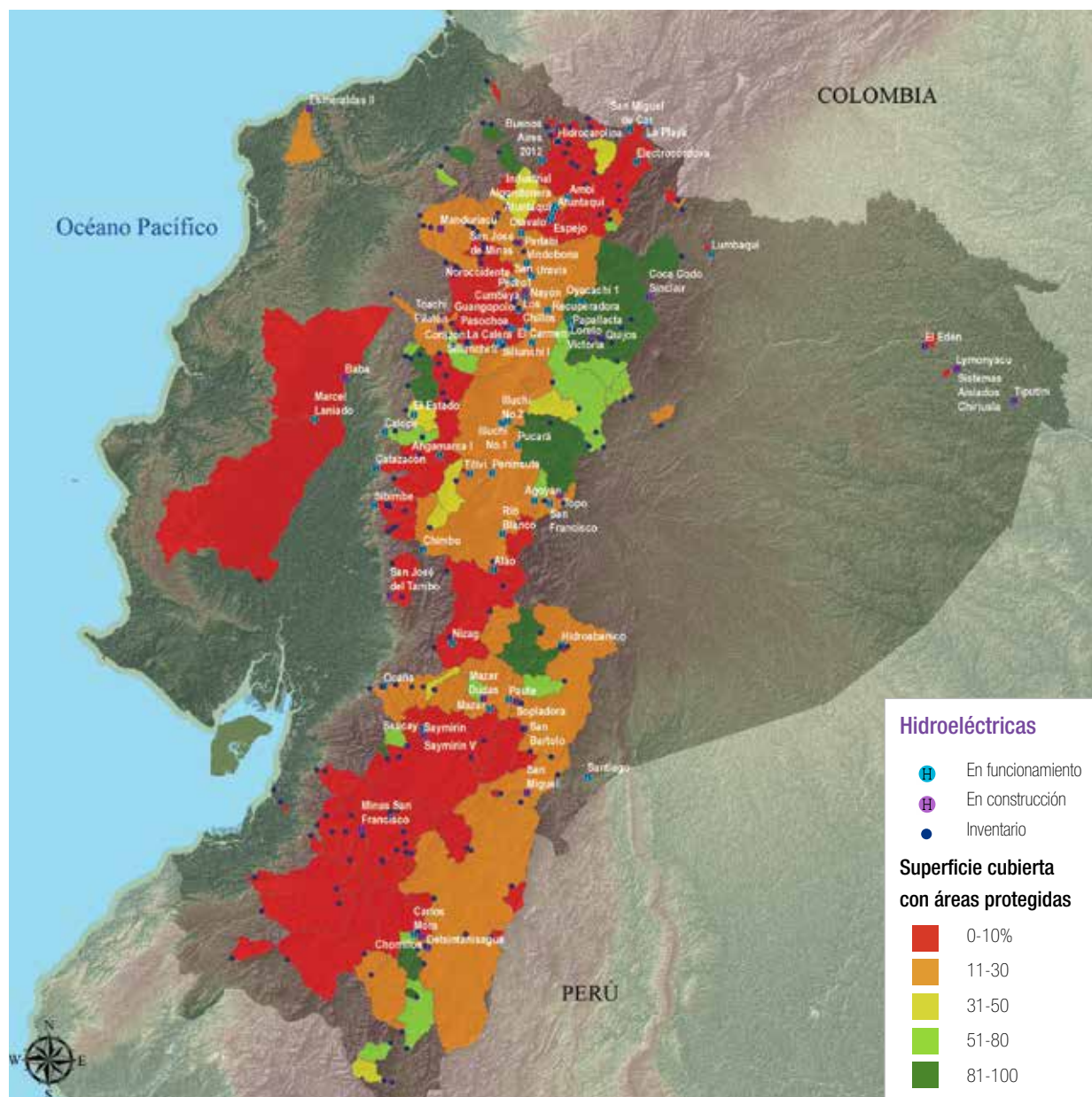
determinar el porcentaje de la superficie de cada unidad hídrica que está bajo un régimen de protección del Estado, con lo que se encuentra asegurada la capacidad de la cuenca para almacenar agua y controlar los sedimentos. La conservación de los remanentes de vegetación en las áreas protegidas es de extrema importancia puesto que aportan a la productividad de varias hidroeléctricas instaladas en un mismo sistema (Tabla 25).

En el siguiente mapa se observa como una gran parte de las cuencas de drenaje para las hidroeléctricas tienen bajos porcentajes de cobertura de AP, particularmente en la zona sur de la sierra, en los valles interandinos del centro y norte, así como la costa del Ecuador. Además destacan entre las cuencas de drenaje, aquellas que están en las vertientes de la cordillera oriental y occidental en donde hay una mayor cobertura de las cuencas por las AP. Un ejemplo es la hidroeléctrica Coca Codo Sinclair en donde más de 80% del total de las cuencas de los Ríos Quijos y Salado, que aportan directamente con sus caudales a la generación de energía, están dentro de áreas protegidas.

17 Algunas hidroeléctricas están situadas en las partes bajas de una cuenca hídrica, razón por la que su extensión es considerable. Sin embargo, debido a la falta de localización exacta no se pudo determinar el cauce que es aprovechado por la hidroeléctrica y por ende la extensión real de su cuenca de drenaje. Por esta razón se observan hidroeléctricas con una producción marginal de energía pero que tienen una extensión considerable de superficie. (Ver tabla 25).

18 Esta hidroeléctrica, de acuerdo al inventario, podría generar más de 3 500 MW (la más grande y de mayor potencia en el Ecuador) debido al gran caudal en la parte baja del Río Santiago, en donde, de acuerdo a los estudios de factibilidad se espera construir una represa para el almacenamiento y aprovechamiento del caudal.

Mapa 26: Porcentaje de cobertura de áreas protegidas por cuenca de drenaje por hidroeléctrica



Fuente: Mapa de AP actualizado, MAE (2014) y Listado de hidroeléctricas del Ecuador. CONELEC (2014). Elaboración: Mentefactura, 2014.

La información de cada cuenca de drenaje se cruzó con los datos existentes de los remanentes de vegetación a fin de determinar el porcentaje de la superficie que tiene vegetación remanente que no está protegida (mapa 27). Se sumaron los porcentajes de superficie cubierta por área protegida y remanentes de vegetación y se determinó que más de 70% de las cuencas de drenaje de las hidroeléctricas tienen más de

la mitad de su superficie cubierta con vegetación natural, de la cual una parte está protegida (20 % de las cuencas de drenaje de las hidroeléctricas).

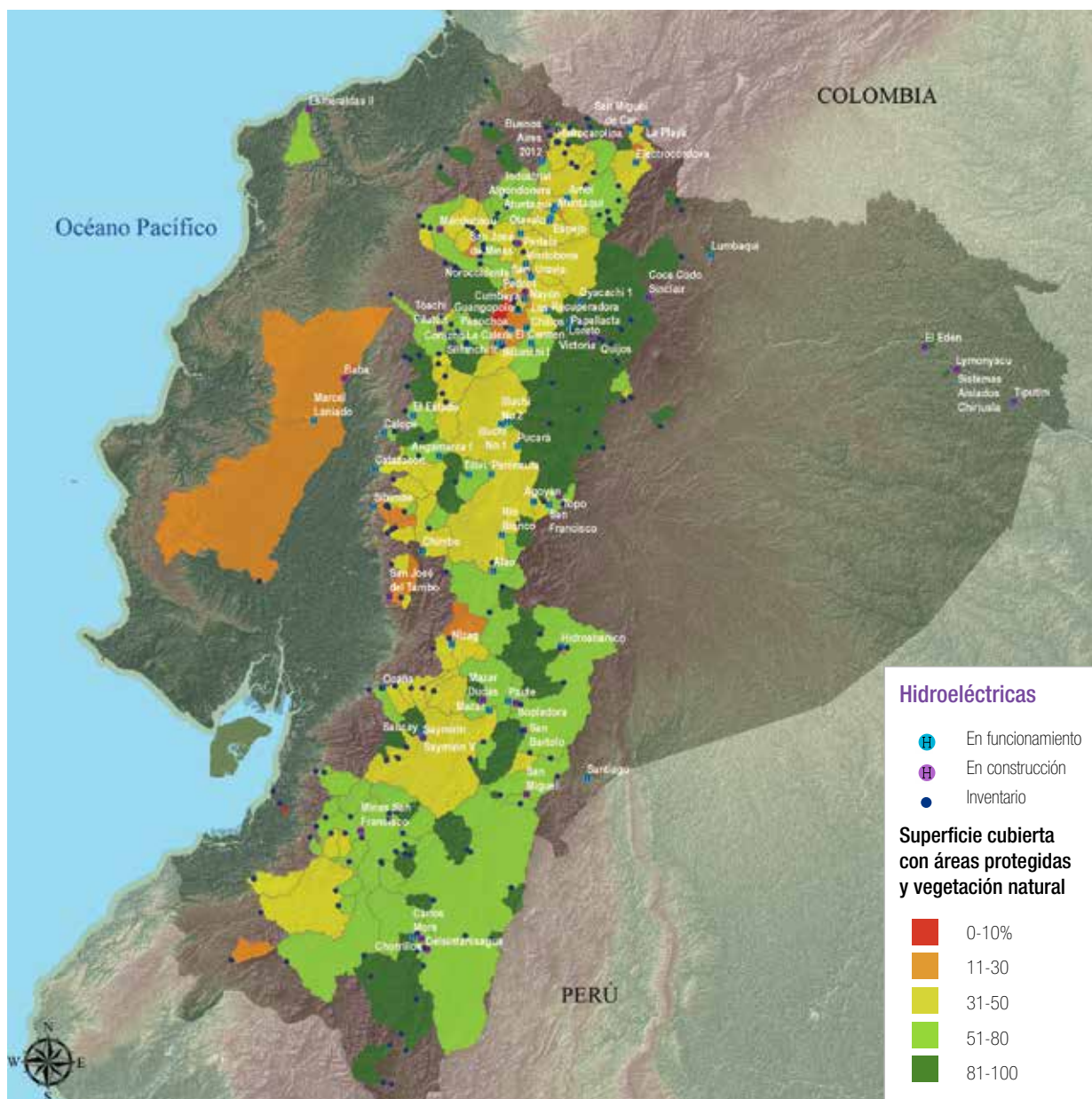
Sin embargo, en algunas microcuencas la situación es crítica debido a la falta de vegetación y presencia de alguna AP. En la zona alta y media de la subcuenca del Río Guayllabamba, existen 40 hidroeléctricas (10 en funcionamiento, las otras en estado de inventario o construcción) que aprovechan de los caudales de los diversos ríos que conforman esta unidad de drenaje. Incluso varias hidroeléctricas aprovechan de un solo caudal para la generación de electricidad, como es el caso de las centrales de Los Chillos, Guangopolo I, Guangopolo II, Cumbayá y San Pedro, que aprovechan el agua del Río San Pedro. La falta de un sistema de protección de la vegetación remanente, que es menor a 10% de cada cuenca de drenaje, afectará a la disminución del caudal del río principal en detrimento de la productividad de energía eléctrica en todas las centrales hídricas.



Fuente: Ministerio del Ambiente

Reserva Ecológica Antisana

Mapa 27: Porcentaje de cobertura de áreas protegidas y vegetación natural remanente por cuenca de drenaje por hidroeléctrica



Fuente: Mapa de línea base de deforestación y, MAE (2014). Elaboración: Mentefactura, 2014.

En la Tabla 25 se presenta un listado de las hidroeléctricas que están funcionando y las que están en proceso de construcción. En los registros sombreados de la tabla se muestran principalmente aquellas hidroeléctricas en las que la vegetación remanente cubre más de 50% de la cuenca de drenaje y son vulnerables para la producción de energía eléctrica por la falta de mecanismos de protección.

Tabla 25: Hidroeléctricas en funcionamiento y en construcción, superficie y porcentaje de la cobertura de áreas protegidas y vegetación natural remanente

Nombre hidroeléctrica	Potencia MW	Superficie de la unidad hídrica km ²	Áreas protegidas %	Nombre de las AP	Vegetación natural %	Áreas protegidas + vegetación natural %
Hidroeléctricas en funcionamiento						
Loreto	2,30	26,11	100	Parque Nacional Cayambe Coca	0	100
Tiliví	0,10	11,83	0		100	100
Oyacachi 1	0,10	86,75	100	Parque Nacional Cayambe Coca	0	100
Papallacta	6,60	54,25	100	Parque Nacional Cayambe Coca Reserva Ecológica Artesana	0	100
Corazón	18,00	66,12	22	Reserva Ecológica Illinizas	76	98
Saucay	24,00	130,52	0		97	97
Pucará	73,00	255,23	96	Parque Nacional Llanganates	0	96
Lumbaqui	0,20	19,38	0		96	96
Santiago	0,50	25,68	0		91	91
Carlos Mora	2,40	76,90	58	Parque Nacional Podocarpus	32	90
Angamarca I	0,30	75,00	0		89	89
El Carmen	8,40	8,17	0		88	88
Recuperadora	14,70	54,81	18	Parque Nacional Cayambe Coca Reserva Ecológica Artesana	66	84
Illuchi No,1	4,20	67,10	20	Parque Nacional Llanganates	64	84
San Miguel de Carchi	3,00	73,99	1	Reserva Ecológica El Ángel	80	81
Los Chillos	1,80	581,95	23	Parque Nacional Cotopaxi	56	79
Calope	16,60	297,08	68	Reserva Ecológica Illinizas	9	77
Río Blanco	3,10	145,01	10	Parque Nacional Sangay	66	76
El Estado	1,70	213,42	45	Reserva Ecológica Illinizas	29	74

Nombre hidroeléctrica	Potencia MW	Superficie de la unidad hidrica km²	Áreas protegidas %	Nombre de las AP	Vegetación natural %	Áreas protegidas + vegetación natural %
Hidroeléctricas en funcionamiento						
Península	3,00	815,29	27	Reserva de Producción de Fauna Chimborazo	44	71
Hidroabanico	38,50	1,33	0		70	70
Saymirín	14,40	3,29	0		63	63
Illuchi No,2	5,20	97,70	13	Parque Nacional Llanganates	49	62
Hidropaute	1 075,00	5 156,21	19	Parque Nacional Sangay Parque Nacional Cajas	39	58
Alao	10,40	1 737,54	9	Parque Nacional Sangay	49	58
Buenos Aires 2012	1,00	70,75	0		57	57
Mazar	183,70	4 030,87	5	Parque Nacional Cajas	45	50
Hidrocarolina	0,60	3 888,58	7	Reserva Ecológica El Ángel	42	49
Cumbayá	40,00	1 479,47	17	Reserva Ecológica Antisana	31	48
San Francisco	230,00	8 467,69	16	Parque Nacional Sangay Parque Nacional Llanganates	32	48
Ocaña	26,10	1 110,59	20	Parque Nacional Sangay	27	47
Agoyán	160,00	8 184,84	15	Parque Nacional Sangay Parque Nacional Llanganates Reserva de Producción de Fauna Chimborazo Parque Nacional Cotopaxi Reserva Ecológica Antisana	32	47
Vindobona	6,10	3 865,84	13	Parque Nacional Cayambe Coca	33	46

Nombre hidroeléctrica	Potencia MW	Superficie de la unidad hídrica km²	Áreas protegidas %	Nombre de las AP	Vegetación natural %	Áreas protegidas + vegetación natural %
Hidroeléctricas en funcionamiento						
La Calera	2,50	15,50	41	Reserva Ecológica Ilinizas	5	46
Chimbo	1,70	766,98	18	Reserva de Producción de Fauna Chimborazo	28	46
Paschoa	4,50	16,20	0		45	45
Urvia	1,00	2582,01	14	Parque Nacional Cayambe Coca Reserva Ecológica Antisana	30	44
La Playa	1,30	182,47	1	Reserva Ecológica El Ángel	43	44
Catazación	0,80	959,84	1	Reserva Ecológica Ilinizas	41	42
Nizag	0,80	348,08	6	Parque Nacional Sangay	36	42
Ambi	8,00	709,21	10	Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas	31	41
Espejo	0,20	331,21	0		39	39
Otavalo	0,40	336,69	0		39	39
Atuntaqui	0,40	468,28	6	Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas	33	39
Perlabí	2,70	41,58	0		35	35
Sibimbe	15,40	404,42	0		27	27
Electrocórdova	0,20	47,68	0		23	23
Noroccidente	0,30	18,29	0		21	21
Guangopolo	20,90	413,59	1	Parque Nacional Cotopaxi	17	18
Marcel Laniado	213,00	4 166,00	0		18	18
Sillunchi I	0,10	27,01	13	Reserva Ecológica Ilinizas	4	17
Industrial Algod, Atuntaqui	0,60	38,58	0		15	15
Sillunchi II	0,30	0,31	0		10	10
Hidroeléctricas en construcción						
Victoria	10,00	35,73	100	Parque Nacional Cayambe Coca	0	100
Lymonyacu	0,40	22,33	0		100	100
Topo	29,20	386,50	95	Parque Nacional Llanganates	5	100

Nombre hidroeléctrica	Potencia MW	Superficie de la unidad hídrica km²	Áreas protegidas %	Nombre de las AP	Vegetación natural %	Áreas protegidas + vegetación natural %
Hidroeléctricas en construcción						
El Edén	0,40	68,19	3	Reserva de Producción de Fauna Cuyabeno	97	100
Quijos	50,00	769,02	86	Parque Nacional Cayambe Coca	11	97
Coca Codo Sinclair	1 500,00	3 719,13	82	Parque Nacional Cayambe Coca Parque Nacional Sumaco Napo Galeras Reserva Ecológica Antisana	14	96
Saymirin V	7,00	101,27	0		92	92
Mazar Dudas	21,00	152,36	65	Parque Nacional Sangay	19	84
San Miguel	686,30	10 606,75	11	Reserva Biológica El Quimi	63	74
ToachiPilatón	254,00	1 985,41	19	Reserva Ecológica Ilinizas	48	67
San Bartolo	48,10	6,32	0		64	64
Minas San Francisco	276,00	2 654,79	0		62	62
Chorrillos	4,00	1 385,62	16	Parque Nacional Podocarpus	45	61
Sopladora	487,00	5 300,44	21	Parque Nacional Sangay Parque Nacional Cajas	38	59
Delsintanisagua	180,00	1 136,72	6	Parque Nacional Podocarpus	49	55
Esmeraldas II	96,00	487,37	13	Reserva Ecológica Mache Chindul	41	54
Manduriacu	60,00	6 944,56	11	Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas	39	50
San José de Minas	6,00	4 442,97	12	RG Pulahua	33	45
San José del Tambo	8,00	367,67	0		22	22
San Pedro 1	86,20	61,86	0		11	11
Baba	42,00	33,36	0		2	2

Fuente: Lista de hidroeléctricas del Ecuador (CONELEC, 2014). Elaboración: Mentefactura.

A partir de los cálculos de superficie por hidroeléctricas se determinaron los niveles de correlación entre la potencia nominal asignada para cada hidroeléctrica y la superficie de la cuenca de drenaje de cada una de ellas.

En el análisis territorial desarrollado, se establece que el caudal de un río depende de algunos factores tales como superficie de la cuenca, vegetación, precipitación a lo largo de un año, tipo de relieve, suelo, geomorfología entre otros. En este sentido, a través de los datos obtenidos durante este estudio se establece la correlación¹⁹ entre la potencia que se deriva directamente del caudal que una hidroeléctrica aprovecha para la generación eléctrica y los siguientes parámetros de la cuenca: superficie de captación de la cuenca, superficie de la cuenca con AP (asumiendo que dentro del área protegida la vegetación es natural y remanente) y AP más vegetación natural no protegida (Tabla 26).

Tabla 26: Niveles de correlación entre la potencia nominal y la superficie de la cuenca de drenaje de las hidroeléctricas

Variable fija	Variables complementarias	Correlación
Potencia (MW)	Superficie de la cuenca de drenaje (kilómetros cuadrados)	0,713
	Superficie de la cuenca de drenaje cuya vegetación natural está protegida (kilómetros cuadrados)	0,798
	Superficie de la cuenca de drenaje con vegetación protegida y sin protección (kilómetros cuadrados)	0,802

Fuente: Lista de hidroeléctricas del Ecuador (CONELEC, 2014). Elaboración: Mentefactura.

Del cálculo de la correlación se establece que la potencia de una hidroeléctrica es mayor cuando está relacionada con la superficie de la cuenca cubierta con vegetación natural protegida y sin protección, destacando el rol que cumple la vegetación en una cuenca para el almacenamiento y regulación hídrica para la potencia de las hidroeléctricas.

Algunos otros factores derivados de la información y procedimientos metodológicos para el presente análisis podrían hacer variar la correlación antes explicada. Por un lado, dentro de las hidroeléctricas se excluye para el cálculo de la potencia el caudal ecológico que se deja para el sostenimiento de las funciones ecológicas mínimas de un río. En otros casos, la potencia de una hidroeléctrica es mayor debido al salto de

¹⁹ El coeficiente de correlación lineal se calcula como el cociente entre la covarianza y el producto de las desviaciones típicas de ambas variables. Se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

donde:

σ_{xy} es la covarianza

σ_x es la desviación típica de la variable x

σ_y es la desviación típica de la variable y

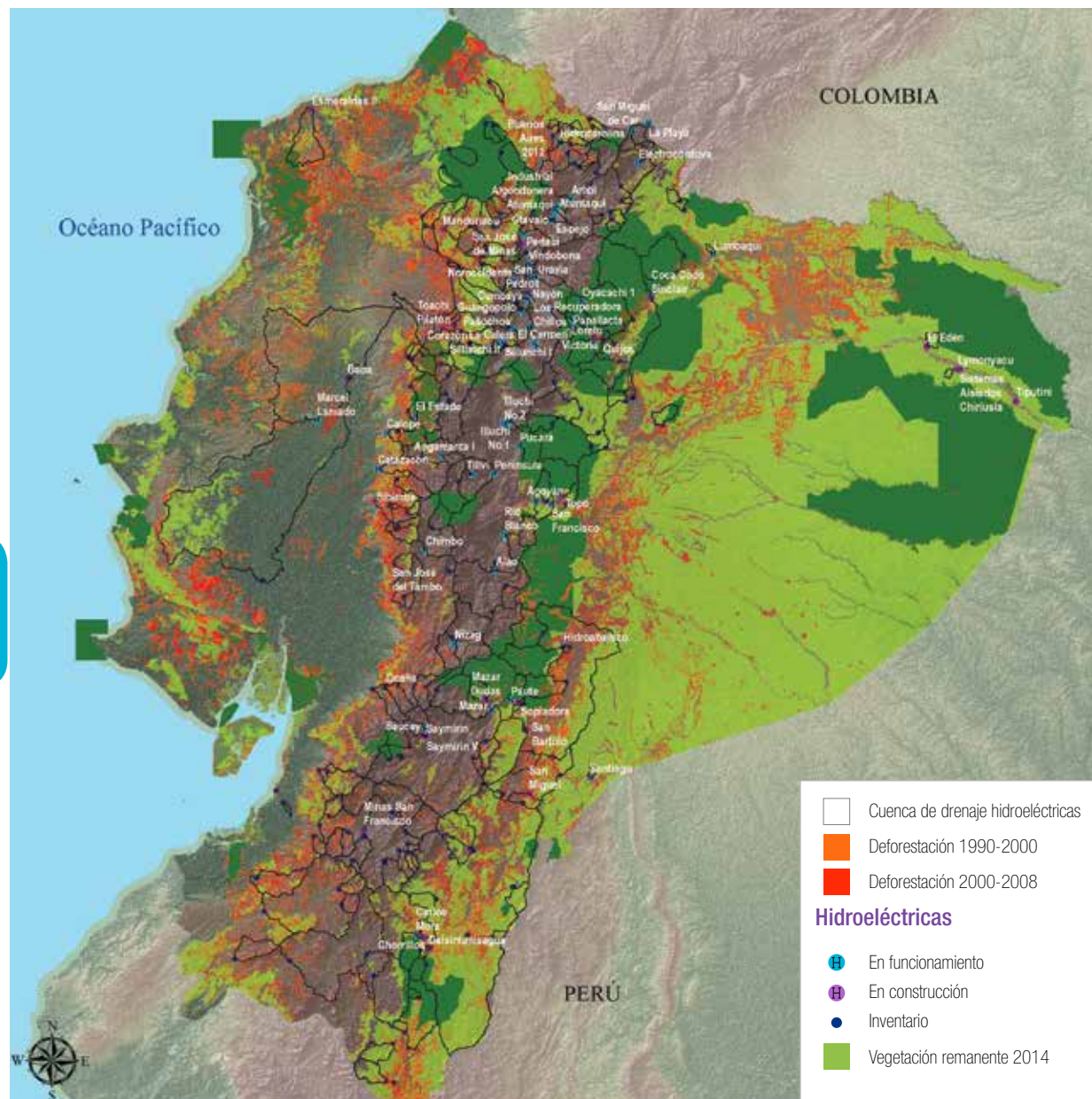
nivel entre la captación y las turbinas; o simplemente el diseño de la hidroeléctrica está enfocado en el aprovechamiento de un caudal marginal puesto que el principal objetivo es el aprovechamiento del caudal para control de sedimentación o inundaciones y regadío, como es el caso del proyecto multipropósito Baba. En algunos proyectos hidroeléctricos, utilizan trasvases entre diversas cuencas a través de sistemas de conducción, con el fin de optimizar el caudal o almacenar agua para tiempos de estiaje, como es el caso del proyecto Toachi Pilatón. Finalmente, durante la generación de las cuencas de drenaje para cada hidroeléctrica la localización de éstas dentro del modelo de drenaje no se pudo determinar en el cauce o río del cual aprovechan su potencia, y el modelo lo generalizó y obtuvo un área de cuenca de drenaje muy superior.

En la correlación entre la potencia de la hidroeléctrica y la superficie de la cuenca de drenaje, esta supone que debería ser mayor debido a que existe una relación directa con la superficie de captación del recurso hídrico; sin embargo, como se muestra en la tabla anterior, estas dos variables tienen el menor nivel de correlación de las tres comparaciones. La causa más probable se debe a que, gran parte del caudal que debería tener la cuenca no está presente principalmente por el cambio de vegetación natural por cultivos u otro tipo de uso antrópico del suelo. Esto hace que el agua no pueda ser almacenada y queda expuesta a una evaporación más rápida haciendo que la cuenca pierda agua por evaporación. Otra causa probable tiene que ver con el uso y aprovechamiento del agua para usos consuntivos y no consuntivos propios de zonas pobladas y zonas agrícolas, las cuales disminuyen caudal al río principal.

La segunda correlación entre potencia y superficie cubierta por AP es mayor, debido a que gran parte de las zonas protegidas son principalmente vegetación remanente original o vegetación protectora. Pero no es toda la vegetación remanente, es únicamente la parte protegida, lo cual expresa mejor la relación entre la vegetación natural con el caudal de un río pero todavía no es la más alta porque muestra una parte del aporte de la vegetación para generar el caudal para la producción de energía eléctrica. En esta correlación cuando se compara la potencia con todas las zonas de vegetación natural, las que están protegidas o no protegidas, la superficie será mayor y la correlación se incrementa.

Esta escala comparativa entre diversos niveles de correlación muestra principalmente cómo la vegetación remanente presente en las cuencas de drenaje hacia las hidroeléctricas son la base para el mantenimiento de los caudales; sin embargo, están amenazadas principalmente por procesos de deforestación y expansión de la frontera agrícola. Estudios previos (MAE, 2012) indican que la deforestación de estos últimos años tiene un promedio de 77 mil hectáreas por año, muchas de estas zonas están en las vertientes de los Andes en donde se localizan gran parte de las hidroeléctricas que cada vez pierden en sus cuencas de drenaje la capacidad de almacenamiento y regulación del agua, así como el control de la erosión (mapa 28).

Mapa 28: Las zonas de deforestación y cuencas de drenaje para las hidroeléctricas



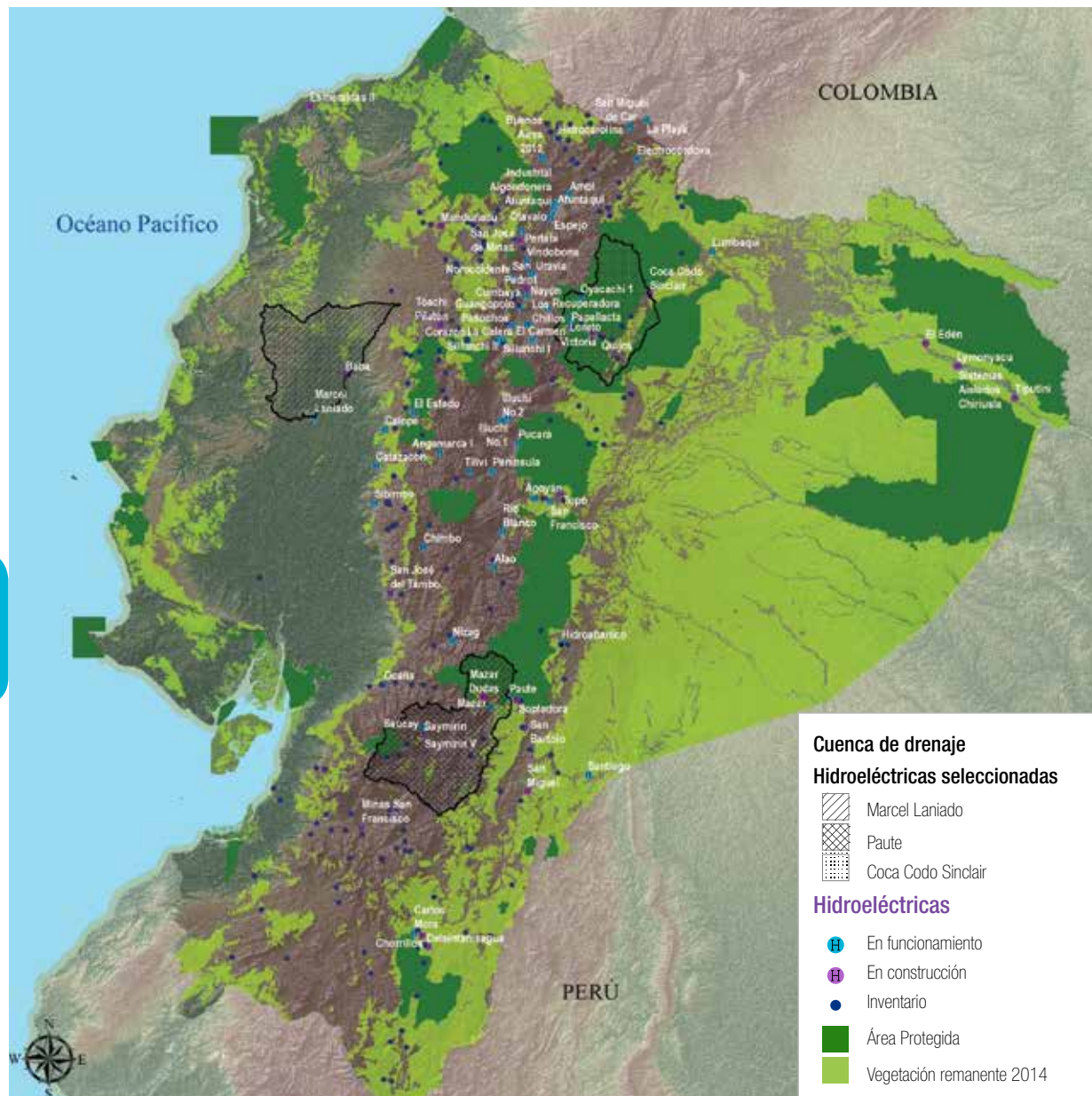
Fuente: Mapa de línea base de deforestación del Ecuador que sirvió de base para la identificación de las tasas de deforestación entre 1990 y 2008. MAE, 2012. **Elaboración:** Mentefactura, 2014.

A partir del análisis de las cuencas de drenaje para cada hidroeléctrica y en función de los tres tipos de correlación determinada entre la potencia y la extensión de la cuenca, superficie de vegetación natural no protegida y superficie de vegetación natural protegida y no protegida, se procedió a la identificación de una hidroeléctrica por cada tipo de correlación (mapa 29). El propósito de tener cubiertos estos tres tipos de relaciones es demostrar en cada uno:

- ▶ Cómo la vegetación remanente, protegida o no, contribuye a la reserva de agua, control del régimen hídrico y control de la erosión en la cuenca de captación de agua para el aprovechamiento en la producción de energía hidroeléctrica, además de que las AP preservan las funciones ecosistémicas que soportan la productividad de la hidroeléctrica, las cuales significan una inversión para la generación de agua y un ahorro en el mantenimiento de los embalses de las hidroeléctricas.



Mapa 29: Hidroeléctricas seleccionadas para el análisis de escenarios (TSA)



Elaboración: Mentefactura, 2014.

Tabla 27: Características de las hidroeléctricas seleccionadas

Características hidroeléctrica	Paisaje 1	Paisaje 2	Paisaje 3
Nombre	Marcel Laniado	Hidropaute	Coca Codo Sinclair
Empresa	CELEC-Hidronación	CELEC-Hidropaute	Coca Codo Sinclair EP
Tipo de empresa	Generadora	Generadora	
Tipo de central	Hidráulica	Hidráulica	Hidráulica
Sistema	S.N.I.	S.N.I.	S.N.I.
Tipo de energía	Renovable	Renovable	Renovable
Provincia	Guayas	Azuay / Morona Santiago	Napo
Cantón	El empalme	Sevilla de oro	El Chaco
Parroquia	Guayas (pueblo nuevo)	Amaluza	Gonzalo días de pineda
Ubicación	Carlos Julio - Daule Peripa	Guarumales	Unión de los Ríos Salado y Quijos
Estado actual	En funcionamiento	En funcionamiento	En construcción
Fecha de inicio	4/1/1999	5/1/1983	6/25/2012
Sistema Hidrográfico	Guayas /Pacífico	Santiago/Amazonas	Napo/Amazonas
Río	Daule/Peripa	Hidropaute	Coca
Caudal de diseño (m ³ /s)	625	100	265
Caída metros	42,6	377,6	630
Potencia MW	213	1 075,00	1 500,00
Energía media (GWh/año)	520,80	5 075,10	11 086,00
Tiempo Estimado de construcción (meses)	60	48	72
Costo unitario aproximado (USD/kW)	346,93	12 631,25	6 002,32
Costo Total aproximado (Millones USD)	216,83	1 263,13	1 590,62
Año referido del costo total y fuente	Hidronación, año 1998	Hidropaute, año 1981	Estudio de factibilidad año 2008
Costo de operación & mantenimiento (Millones USD/año)	6,51	50,53	47,72
Costo de venta en Centavos (USD/kWh)	3,94	2,91	4,69
Área del reservorio (ha)	63 870	1 123	
Inclusión en otras cuencas de drenaje de hidroeléctricas aguas abajo		Zamora Santiago G8, Naiza, Hidropaute - Cardenillo, Sopladora	

Características hidroeléctrica	Paisaje 1	Paisaje 2	Paisaje 3
Superficie de la unidad hídrica km ²	4 166,00	5 156,21	3 719,13
Microcuencas por central	2	12	16
Áreas protegidas por cuenca de drenaje %	-	19,26 PN Sangay PN Cajas	81,95 PN Cayambe Coca PN Sumaco Napo Galeras R Antisana
Vegetación natural por cuenca de drenaje %	18	39	14
Áreas protegidas + vegetación natural por cuenca de drenaje %	18	58,26	95,95
Agricultura y ganadería por cuenca de drenaje %	75	25	4
Otros usos	7	16,74	0,05

Fuente: Biblioteca del Ex Inecel, CONELEC y Mentefactura. Pag. WEB Hidropaute. Diseños Definitivos MEER, CONELEC y Mentefactura.

Elaboración: Mentefactura.

10.1.2 Metodología para la valoración económica del aporte de las Áreas Protegidas al Sector Hidroeléctrico

Un primer paso en la construcción de la línea de base para cualquiera de los dos escenarios y su valoración está dado por la comprensión de la relación existente entre los servicios de protección hídrica y la operación/producción en las plantas hidroeléctricas.

La relación mencionada anteriormente ha sido objeto de numerosos estudios; sin embargo, no existe consenso a nivel general sobre la existencia de parámetros o estándares de aplicabilidad universal. En este sentido, el paradigma que se presenta es que a pesar de la evidencia existente sobre los valores ecosistémicos de los bosques, no es posible extrapolar resultados directamente de un estudio a otra cuenca, ya que las características de estos servicios tienen una relación directa con las condiciones de la cuenca y de su área circundante. Es necesario tener en cuenta las condiciones geográficas e hidrológicas locales de la cuenca bajo estudio, y ajustar los parámetros de la mejor manera posible a estas condiciones.

Existen varios estudios realizados en países desarrollados (Guo *et al.* 2000, 2001, 2007) que han logrado la construcción de modelos metodológicos que permiten: (1) la estimación del efecto de las características de la cuenca sobre la calidad del agua, siendo uno de sus componentes el nivel de sedimentación existente, y (2) como este resultado afecta los niveles de producción hidroeléctrica de la planta Tres Gargantas en China.

A nivel de América Latina, podemos citar estudios realizados en Costa Rica (Salas *et al*, 2013), Ecuador (Vanacker *et al*, 2003; Mora, 2005; Molina *et al*, 2009), y Brasil (Stickler *et al*, 2013) donde se evidencia el vínculo entre el grado de cobertura vegetal y su tipo – en conjunto con otras variables, tales como pendiente, evo transpiración, tipo de suelo, nivel de pluviosidad, entre otras – sobre la generación de sedimentos en diversas cuencas con vocación de generación hídrica.

Adicionalmente, informes técnicos preparados por expertos para las hidroeléctricas bajo estudio también manifiestan la importancia de considerar esta relación. Al respecto, CELEC EP (2011) indica en su informe *“mantener la mayor cantidad de área protegida con vegetación nativa, es decir minimizar al máximo la expansión de las fronteras agrícolas, ayuda a la regulación natural de caudales y mejora la capacidad de retención de sedimentos en los propios terrenos, disminuyendo la cantidad que ingresa a los embalses de Mazar y Amaluza, aumentando la vida útil de estos y disminuyendo el potencial de ampliar el sistema de dragado de los embalses. En conclusión, fortalecer este tipo de iniciativas implica a mediano y largo plazo una optimización de recursos económicos para la empresa y el país.”* (pp.46).

Por otro lado, CELEC EP (2013) señala *“La vida útil del embalse está íntimamente relacionada con el nivel de sedimentos, por lo tanto con un manejo adecuado del embalse evitamos la sedimentación y la contaminación del agua...”* (pp. 35 y 36).

El Proyecto Coca Codo Sinclair establece la importancia del control de la sedimentación ya que estima que cuando comience a operar la central hidroeléctrica *“830 000 metros cúbicos de sedimentos entrarían al embalse compensador del proyecto al año”* (Hangdi, 2013, pp. 8).

Adicionalmente, el informe técnico de Jacobson (2012) indica que Coca Codo Sinclair contará con un sistema de remoción de sedimentos incorporado, lo cual implica que el proyecto está considerando en adelanto las características de sedimentación de la cuenca, aun cuando esta se presenta como la menos vulnerable dentro de hidroeléctricas bajo estudio. Esto último debido a su elevado estado de conservación y a estar en una cuenca “protegida” por parte del SNAP.

Respecto a una cuantificación matemática de la relación entre cobertura vegetal y sedimentación, la literatura indica la dificultad de establecer una relación exacta entre estas variables. Sin embargo, Molina *et al* (2008) [en Molina *et al*, 2009] establece que *“... para cuencas pequeñas (1-25 Km²) un incremento relativamente pequeño en la cobertura vegetal (10-25%) puede conducir a una caída significativa (60%) en la producción de sedimento”* (pp. 755). Adicionalmente, Vanacker *et al* (2003) y MacGlynn (2005) [en Molina *et al*, 2009] recalcan que no es solo de importancia el contar con una buena cobertura vegetal para detener procesos de erosión, sino que también debe considerarse su distribución geográfica, ya que la estructura del paisaje controla como la conexión y desconexión de flujos de agua. En este sentido es



importante el alcance del trabajo realizado por Mora (2005) respecto a cómo deben ser enfocadas las labores de protección y recuperación de la cobertura vegetal a nivel de cuenca, ya que el autor encuentra evidencia de que *“se obtendrá una mitigación de la producción de sedimentos más eficiente, si se ataca puntualmente a los sectores de las áreas degradadas en lugar realizar proyectos de retención de sedimentos en áreas muy grandes, limitando el uso de la tierra para otras querencias”*.

Adicionalmente, encuentra esfuerzos de reforestación en parte de la cuenca del Río Paute que no han generado impactos en el nivel de sedimentación ya que fueron desarrollados en áreas que no necesitaban actividades de este tipo.

Tomando en cuenta estos antecedentes de estudios a nivel internacional, el presente estudio desarrolló su metodología y resultados en el marco del TSA, basado en la información existente y accesible al momento de la investigación.

Al momento de definir la metodología para medir la contribución del SNAP a la producción hidroeléctrica en los tres proyectos, se identificaron una serie de desafíos, particularmente relacionados con la recolección de información así como en la calidad de aquella disponible. Al respecto, se puede mencionar la carencia de datos referentes a la cantidad de sedimentación existentes para la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind (Hidronación), mientras que para Hidropaute los resultados de batimetrías solo reflejan el periodo 1983-2000²⁰. En el caso de Coca Codo Sinclair, por ser un proyecto que aún se encuentra en ejecución y no operativo, los datos hacen referencia detallada a la situación de la cuenca en cuanto a caudal, y presentan proyecciones del nivel de producción y sedimentos que deberían ser tratados.

Para realizar un análisis que establezca de manera veraz la relación existente entre cobertura vegetal y caudal o entre ésta y sedimentación se requiere contar con información de la calidad de suelos y cobertura a nivel de cada cuenca con la periodicidad adecuada; mientras que este estudio, solo tuvo acceso a mapas cartográficos a escala nacional y relativos únicamente a tres períodos (1990, 2000 y 2008). En este contexto, se puede realizar una primera recomendación para el desarrollo de futuras evaluaciones, la cual consiste en la actualización de los mapas e información satelital existente para el Ecuador, y de forma especial la obtención de mapas de mayor detalle a nivel de cuenca, particularmente para aquellas donde se encuentren ubicadas las plantas hidroeléctricas más relevantes para la producción en el País.

²⁰ Esta información fue obtenida de Morales (2005), no recibiendo información directa referente a este punto desde el CONELEC.

10.1.2.1 Generación de información geográfica y ecosistémica con base en mapas a nivel de cuenca para determinar la provisión de los servicios ambientales hídricos relevantes para la productividad del sector hidroeléctrico

Como se destacó en el marco teórico, es imprescindible en un primer paso analizar las condiciones geográficas y ecosistémicas de las cuencas seleccionadas para determinar la situación actual de la provisión de los servicios hídricos. Por esta razón, se elaboraron mapas específicos para cada cuenca seleccionada.

Estos mapas proporcionan la línea de base para la caracterización de cada cuenca en términos de la cobertura vegetal existente y uso de suelo; capacidad de almacenamiento de la cuenca; grado de vulnerabilidad a erosión hídrica, conflictos en el uso del suelo y acciones tendientes a controlar la pérdida de cobertura vegetal y por ende de regulación del flujo hídrico, así como de reducción de los niveles de sedimentos en las cuencas.

Para la definición de las variables presentadas en los mapas se trató de considerar de la mejor forma posible los factores ecológicos que pueden influenciar el nivel de sedimentación y caudal en la cuenca; es decir, la relación cobertura vegetal-pendiente-características del suelo (Guo, 2000, 2001, 2007).

En un primer mapa, se consideró el cambio del uso del suelo y de la cobertura vegetal, para las tres cuencas de drenaje de las hidroeléctricas seleccionadas, a partir de los mapas de uso de suelo y cobertura vegetal elaborados para los años 1990, 2000 y 2008 por el Ministerio del Ambiente (MAE, 2012). Estas cuencas de drenaje representan tres tipos de escenarios que van desde los que poseen una superficie con cobertura vegetal y áreas protegidas superior a 80% (Coca Codo Sinclair), un paisaje con un porcentaje de la superficie cubierta por áreas protegidas y/o cobertura vegetal de alrededor del 50% (Hidropaute) y un paisaje con 20% de su superficie de cobertura vegetal natural y sin áreas protegidas (Marcel Laniado). Sobre la base de estas diferencias en el cambio en el uso del suelo y cobertura vegetal durante los 18 años de diferencia entre los mapas, se pretende mostrar las posibles tendencias de cambio en cada paisaje. Se identificaron dos grandes grupos de unidades: el primero tiene que ver con la presencia de vegetación natural la cual está subdividida en cuatro unidades (bosque nativo, vegetación leñosa, vegetación herbácea y páramo o pajonales), además de la inclusión de glaciares, dependiendo de la cuenca en las que se encuentre el proyecto. Estas varían en cuanto a la fecha²¹ de cada mapa y

21 Los mapas de uso del suelo y cobertura vegetal contruidos a partir de imágenes satelitales pueden mostrar diferencias notables en cuanto a los límites de las unidades definidas, principalmente por parámetros como fecha de toma (si la imagen fue tomada en época lluviosa o no), tamaño o resolución de la imagen, sensor del satélite, entre otras. Por esta razón una unidad de vegetación puede variar de una época a otra con respecto al tipo. En el caso de definición de unidades antrópicas, en general, son más distinguibles o reconocibles, lo que facilita su delimitación.

de acuerdo a las tres cuencas. En conjunto estas unidades muestran la vegetación o condiciones naturales cuya influencia es muy importante en el cumplimiento de funciones ecológicas como son la retención o almacenamiento del agua en los suelos y el control en la generación de sedimentos. El segundo grupo tiene que ver con la categoría uso del suelo y se muestran los diversos tipos de cultivos tales como cultivos de ciclo corto, semipermanente y permanente; además de pastizales y mosaico agropecuario (zonas indiferenciadas o en asociación de cultivos, pastizales y restos de cobertura vegetal); también se muestran las zonas pobladas, infraestructura y zonas sin cobertura, entre otras. Estas unidades revelan la superficie que se ha transformado de vegetación natural a otras formas de usos que afectan la capacidad del suelo para almacenar agua y aportan con sedimentos debido a la erosión. Se elaboró un mapa de uso del suelo y cobertura vegetal para el año 2008, para cada una de las cuencas de drenaje, el mismo que sirvió de base para el análisis del conflicto entre el uso actual del suelo y las condiciones ambientales en las que cada tipo de uso del suelo se encuentra asentada.

El segundo paso en el análisis geográfico abarcó las características de algunos factores físicos que contribuyen a la definición de la capacidad del suelo para almacenar agua y su vulnerabilidad a la erosión. Con el fin de determinar las condiciones de los componentes ambientales que más contribuyen en el ciclo hidrológico en cada cuenca de drenaje, particularmente en los procesos de almacenamiento de agua, así como la definición de los sitios que aportan o son más vulnerables a procesos erosivos, se procedió a la definición de variables que dispongan de información geográfica, que aporten en la caracterización de estas condiciones. Entre las variables analizadas se establecieron:

- ▶ **Zonas homogéneas de precipitación**, determinadas a través del mapa de precipitación del Ecuador, generado por el MAE a partir de datos meteorológicos de precipitación del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, para la definición del mapa de tipos de vegetación (INAMHI, 2012).
- ▶ **Zonas homogéneas por características de profundidad, textura y drenaje, pendiente**, determinadas a partir del mapa de suelos del Ecuador, generado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (ex MAG) y el Instituto para la Investigación y Desarrollo del Gobierno Francés (ex ORSTOM) a través del Programa Nacional de Regionalización Agraria (PRONAREG), elaborado en 1986. Este mapa es el único mapa que existe a nivel nacional y se puede asumir que la distribución de suelos no ha cambiado, ya que estas variaciones requerirían de procesos muy intensos de cambio, como la construcción de una ciudad.
- ▶ **Zonas homogéneas del índice ombrotérmico, determinado a través del mapa de ombrotérmico del Ecuador**, generadas por el MAE a partir de datos meteorológicos de precipitación, temperatura y evapotranspiración del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), para la definición del mapa de tipos de vegetación (2012).

Cada una de estas variables fue valorada con respecto a su contribución a la producción de agua y vulnerabilidad a la erosión en tres categorías: baja, media y alta. A partir de esta valoración, se construyeron cuatro mapas: precipitación, suelos (profundidad del suelo, textura y drenaje), pendientes y ombrotérmico. Se procedió a cruzar estos mapas con el fin de intersectar cada una de las variables establecidas y determinar su interacción y localización en el territorio. Como resultado se obtuvieron dos mapas para cada cuenca de drenaje: mapa de capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y mapa de vulnerabilidad a la erosión del suelo.







Tabla 28: Resumen de variables analizadas, rangos y valoración

Variables analizadas		Almacenamiento de agua	Vulnerabilidad a la erosión	
Precipitación Fuente:	0 - 1500 mm al año	Baja	Baja	
	1500 - 2500	Media	Media	
	2500 - 4000	Alta	Alta	
	más de 4000	Alta	Alta	
Suelo	Profundidad	Superficial (0-20 cm)	Baja	Baja
		Poco profundo (20 - 50 cm)	Baja	Baja
		Moderadamente profundo (50 - 100 cm)	Media	Media
		Profundo (>100 cm)	Alta	Alta
	Textura	Gruesa: arenosa	Baja	Alta
		Moderadamente gruesa: franco arenosa - limoso	Baja	Alta
		Media: limoso - arcilloso	Media	Media
		Fina: arcilloso - arcilloso limoso	Alta	Baja
		Muy fino: arcilloso	Alta	Baja
	Drenaje	Excesivo	Baja	Alta
		Bueno	Baja	Alta
		Moderado	Media	Media
		Mal drenado (imperfecto)	Alta	Baja
Pendiente	0 % - 5 % - Plano	Alta	Baja	
	5 % - 12 % - Inclinado (Moderadamente Ondulado)	Alta	Baja	
	12 % - 25 % - Ondulado	Media	Media	
	25 % - 50 % - Colinado	Baja	Alta	
	50 % - 70 % - Fuertemente Escarpado	Baja	Alta	
Índice ombrotérmico	0 a 3 meses húmedos	Baja	Baja	
	4 a 6 meses húmedos	Media	Media	
	7 a 9 meses húmedos	Alta	Alta	
	9 a 12 meses húmedos	Alta	Alta	

Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura.

En consecuencia, se analizaron también los conflictos entre las condiciones físicas naturales de las cuencas de drenaje y el uso del suelo que impactan la provisión de los servicios hídricos relevantes para la producción hidroeléctrica; es decir, el almacenamiento de agua y la regulación de la sedimentación en las tres cuencas, estableciendo de tal manera la línea base para la proyección del escenario **BAU**.

Los mapas para la identificación de conflictos para cada cuenca de drenaje analizada se realizaron mediante el cruce de información entre el mapa de uso del suelo, que representa las acciones de uso antrópico que se están realizando en el territorio, y los mapas de capacidad de almacenamiento de agua del suelo y la vulnerabilidad a la erosión, los cuales muestran las condiciones naturales de las cuencas de drenaje y servicios ecosistémicos que brinda el suelo.

-  Alta: sin conflictos de uso (vegetación natural)
-  Media: sin conflictos de uso (vegetación natural)
-  Baja: sin conflictos de uso (vegetación natural)
-  Baja: con conflictos de uso (uso antrópico)
-  Media: con conflictos de uso (uso antrópico)
-  Alta: con conflictos de uso (uso antrópico)

A partir de estos cruces entre los mapas antes mencionados se obtuvieron las siguientes categorías:

En primer lugar, cada categoría muestra la intensidad en que la capacidad de almacenamiento de agua o la vulnerabilidad a la erosión se presenta en el territorio, sobre la base del análisis de las condiciones naturales del clima, suelo, pendiente y el número de meses húmedos. Inmediatamente después se establece si una zona presenta o no conflictos de uso del suelo.

De acuerdo al análisis del uso del suelo y la cobertura vegetal, en el marco del ciclo hidrológico, la vegetación natural no presenta conflictos, mientras que las zonas de uso antrópico presentan conflictos ya que estas significan una alteración de las condiciones naturales para la reproducción del ciclo hidrológico. Esto permite identificar aquellas zonas cuyos usos del suelo están repercutiendo de manera negativa en suelos para cumplir con la función de almacenamiento de agua o erosión y generación de sedimentos, lo cual influye directamente en la productividad en la generación de energía, así como en los costos de mantenimiento y operación.

Por último, con base en los análisis anteriores, se establecieron las medidas de mejoramiento de las condiciones ecosistémicas para la provisión de servicios ambientales hídricos al sector hidroeléctrico, estableciendo de esta manera las condiciones para la proyección del **SEM**. Una vez caracterizadas las condiciones actuales que muestran las tendencias en las relaciones entre el uso del suelo y la

cobertura vegetal con los servicios que presta el suelo al almacenar agua y controlar la erosión, se definieron las principales acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua y control de la sedimentación por cuenca de drenaje. Para esto se valoró la particularidad de cada tipo de relación (entre el uso del suelo y los servicios ecosistémicos que el suelo y la vegetación brindan) y se establecieron tres principales acciones prioritarias para intervención en cada una de las cuencas de drenaje, con el fin de mejorar los servicios ecosistémicos que brinda la vegetación y el suelo:

- ▶ **Conservación:** acciones que conllevan a la protección y preservación de ecosistemas y paisajes que cumplen con funciones ecológicas importantes, principalmente para el almacenamiento del agua, regulación del régimen hídrico y control de la erosión.
- ▶ **Prácticas de manejo sostenible de la tierra:** acciones de buen uso del suelo, el agua y la biodiversidad, de manera que permitan a sus usuarios obtener beneficios económicos y sociales, pero que garanticen al mismo tiempo, el potencial para mantener las funciones ecosistémicas de los recursos en el presente y futuro.
- ▶ **Restauración:** acciones que permitan la recuperación de los servicios ecosistémicos en zonas que están siendo afectadas por diversos usos del suelo que sobrepasan la capacidad del suelo, agua y biodiversidad para mantenerse en el tiempo.

Dentro de este marco de acciones, se establecieron variaciones que se enfocan en la identidad de cada una de las unidades ambientales determinadas mediante el análisis geográfico identificado en las cuencas seleccionadas. Entre las unidades o categorías se establecieron las siguientes:

- Conservación y protección
- Conservación, protección y restauración
- Conservación y protección bajo figuras como Socio Bosque, reservas municipales, etc.
- Protección y conservación de fuentes de agua
- Práctica de manejo sostenible de la tierra: agrobiodiversidad, cosecha de agua, protección de vertientes, forestación y reforestación, sistemas silvopastoriles, control de erosión, labranza mínima y cultivos en terrazas.
- Restauración imperante y/o Prácticas de manejo sostenible de la tierra: agrobiodiversidad, cosecha de agua, protección de vertientes, forestación y reforestación, sistemas silvopastoriles, control de erosión, labranza mínima y cultivos en terrazas.
- Restauración imperante con prácticas de manejo sostenible de la tierra orientadas a agrobiodiversidad, cosecha de agua, protección de vertientes, control de erosión, labranza mínima y cultivos de terrazas.

Se cruzó cada una de estas categorías con el mapa actualizado de áreas protegidas (MAE, 2014) con el fin de conocer las zonas naturales e intervenidas que ya se encuentran protegidas.

10.1.2.2 Valoración económica para el escenario **BAU** y proyección a 20 años

Con base en la caracterización de la cubierta vegetal que entregan los mapas y la información disponible referente a los niveles de producción por central hidroeléctrica; es decir, sus costos de dragado (en caso de estar disponibles) y costos directos de operación, se describe el estado actual de los diferentes proyectos en términos de su relación con las áreas protegidas que los rodean.

Para calcular el valor económico del servicio de protección hídrica en el escenario base (**BAU**), se utilizaron indicadores relacionados con los costos derivados de los niveles de sedimentación existentes en las cuencas; es decir, costos de dragado, debido a que con un mayor nivel de sedimentación, se aumentan los costos de dragado y de operación de una hidroeléctrica y baja la rentabilidad de la misma. El nivel de sedimentación, a su vez, está directamente vinculado al uso del suelo y la vulnerabilidad a la erosión de una cuenca; en otras palabras, a su estado de conservación.

Cabe mencionar que se realizó además una estimación de la contribución del régimen hidrológico en cuanto al servicio ambiental de almacenamiento de agua y el caudal provisto en cada cuenca a la producción de cada proyecto hidroeléctrico bajo estudio. Sin embargo, por la falta de información requerida a las tres hidroeléctricas, se alcanzaron a resultados concluyentes parciales.

10.1.2.3 Valoración económica para el escenario **SEM** y proyección a 20 años

Al respecto, este escenario considera actividades tendientes a mejorar las características del servicio de protección hidrológica ofrecido por los ecosistemas boscosos existentes en el área de influencia de la cuenca. Estas actividades se basan en lo propuesto en el análisis geográfico, tanto en cuanto al tipo de actividad como a la extensión de su implementación en cada cuenca.

Con base en el mejor manejo de la cuenca que implica mejoras en la cobertura vegetal del área, ya sea en términos de sistema de reforestación o mejores prácticas agrícolas, se presenta la proyección de los beneficios económicos para las tres hidroeléctricas para un plazo de 20 años. Además, en este escenario existen costos asociados a estas acciones propuestas, los cuales se estiman a continuación.

En general; como se mencionó anteriormente, la falta de información requerida y accesible limitó el alcance del estudio. Por esta razón, se propone una metodología para la valoración económica de los servicios hídricos y de su contribución al sector hidroeléctrico más rigurosa en el caso de que se cuente con un nivel y detalle de información relevante a futuro.

10.1.2.4 Resumen de los indicadores intermedios y finales

La tabla siguiente presenta el resumen de los indicadores intermedios y finales analizados en este estudio. Mientras que los indicadores intermedios se relacionan principalmente a describir las características naturales en la cuales se encuentran los diferentes proyectos y forman la base para la valoración económica, los indicadores finales se refieren a indicadores monetarios y de productividad derivada de los indicadores intermedios.

En general, la selección, la forma de medición (cualitativa o cuantitativa) y el análisis consecuente de cada indicador se basó en la relevancia para el estudio y la disponibilidad de la información existente.

Tabla 29: Resumen de indicadores y unidades de medida

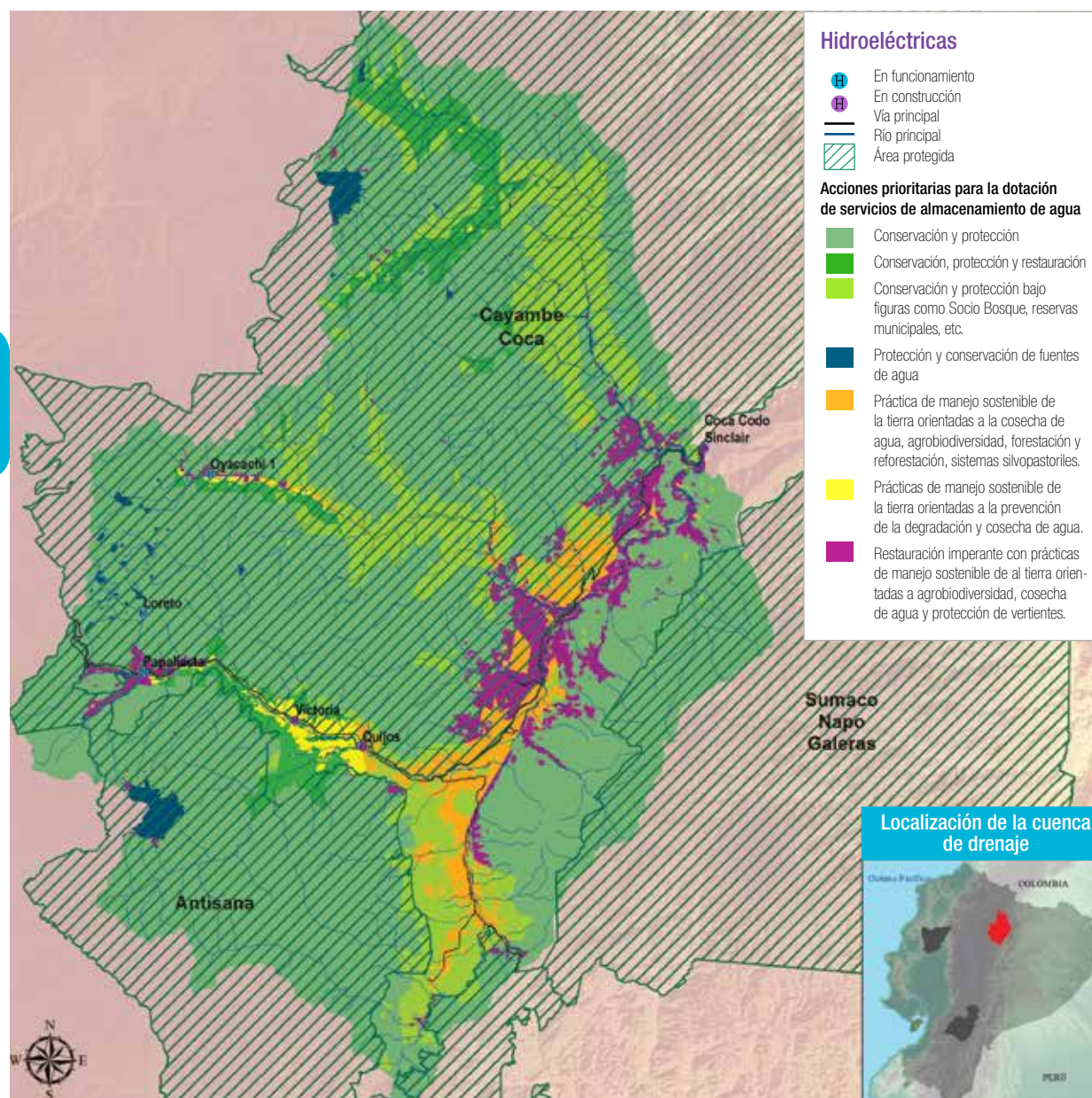
Tipo de Indicador	Indicador	Unidad de medida
Intermedios	Cobertura vegetal	ha
	Uso del suelo	ha
	Precipitación	mm
	Profundidad del suelo	cm
	Textura del suelo	Nominal
	Drenaje del suelo	Ordinal
	Pendiente	%
	Índice ombrotérmico	Número de meses
	Nivel de conflictos de uso de suelo	Ordinal
	Capacidad de almacenamiento de agua	Ordinal
	Vulnerabilidad a la erosión	Ordinal
Finales o de Resultado	Costos de mantenimiento y de operación	Valor (USD/año)
	Costos de implementación de actividades de conservación	Valor (USD/año)

Fuente: Mentefactura, 2014.

La construcción de estos indicadores permite la estimación de la contribución económica de los escenarios **BAU** y **SEM**, los mismos que se presentan en el capítulo 6 y 7, respectivamente.

10.2 Mapas y tablas de escenarios de manejo sostenible de ecosistemas (SEM) en las tres cuencas de drenaje de las hidroeléctricas seleccionadas, para los servicios de almacenamiento de agua en el suelo

Mapa 30: Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua en el suelo en la cuenca de drenaje de Coca Codo Sinclair



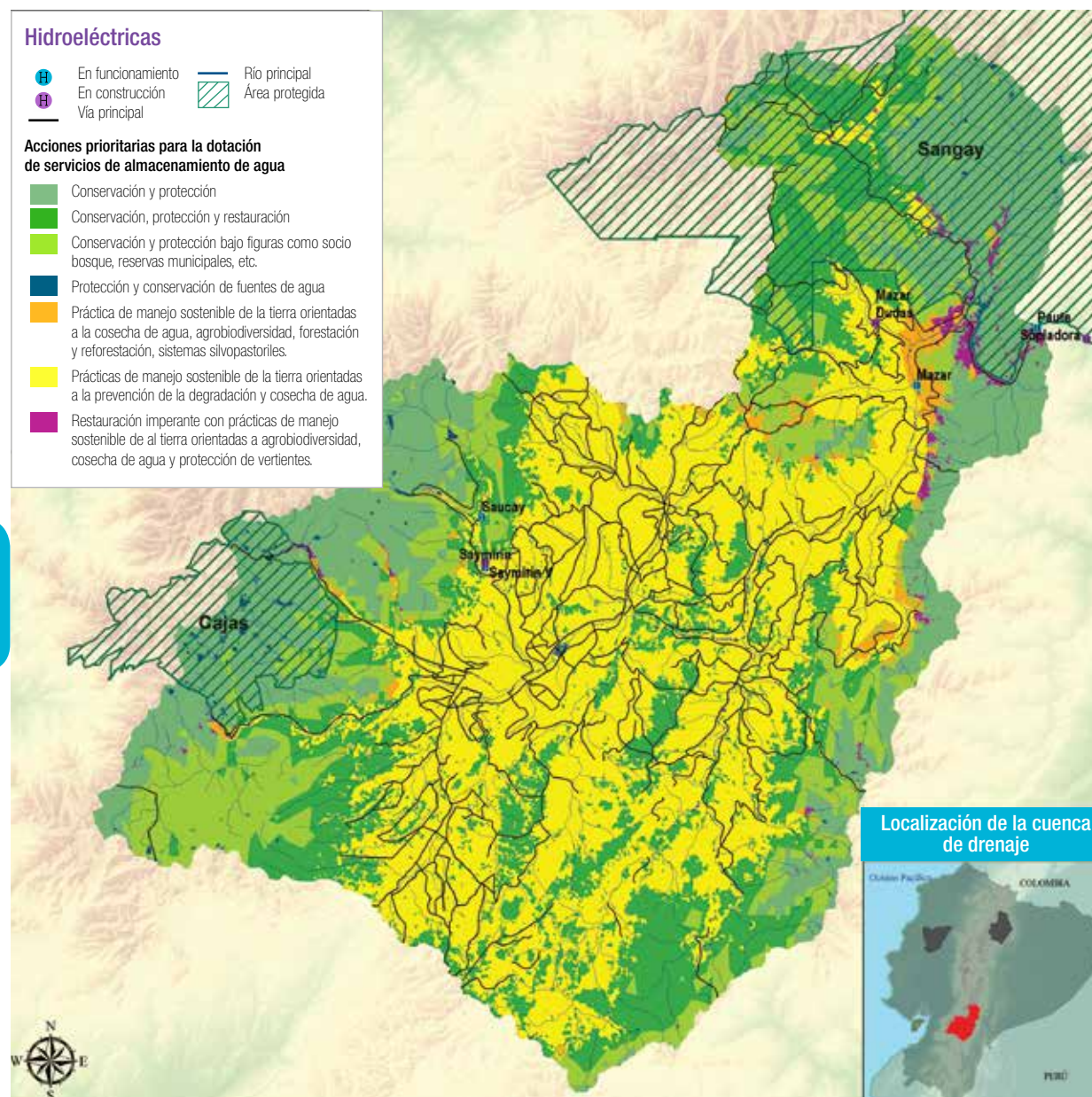
Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura, 2014.

Tabla 30: Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua en el suelo en la cuenca de drenaje de Coca Codo Sinclair

Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua	Superficie	
	Hectáreas	%
Conservación y protección	263 867	70,90
Conservación, protección y restauración	18 320	4,90
Conservación y protección bajo figuras como Socio Bosque, reservas municipales, etc.	50 440	13,60
Protección y conservación de fuentes de agua	5 057	1,40
Prácticas de manejo sostenible de la tierra orientadas a la cosecha de agua, agrobiodiversidad, forestación y reforestación y sistemas silvopastoriles,	13 409	3,60
Prácticas de manejo sostenible de la tierra orientadas a la prevención de la degradación y cosecha de agua	3 621	1,00
Restauración imperante con prácticas de manejo sostenible de la tierra orientadas a agrobiodiversidad, cosecha de agua y protección de vertientes	17 199	4,60
Total	371 913	100,00

Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura.

Mapa 31: Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua en el suelo en la cuenca de drenaje de Hidropaute



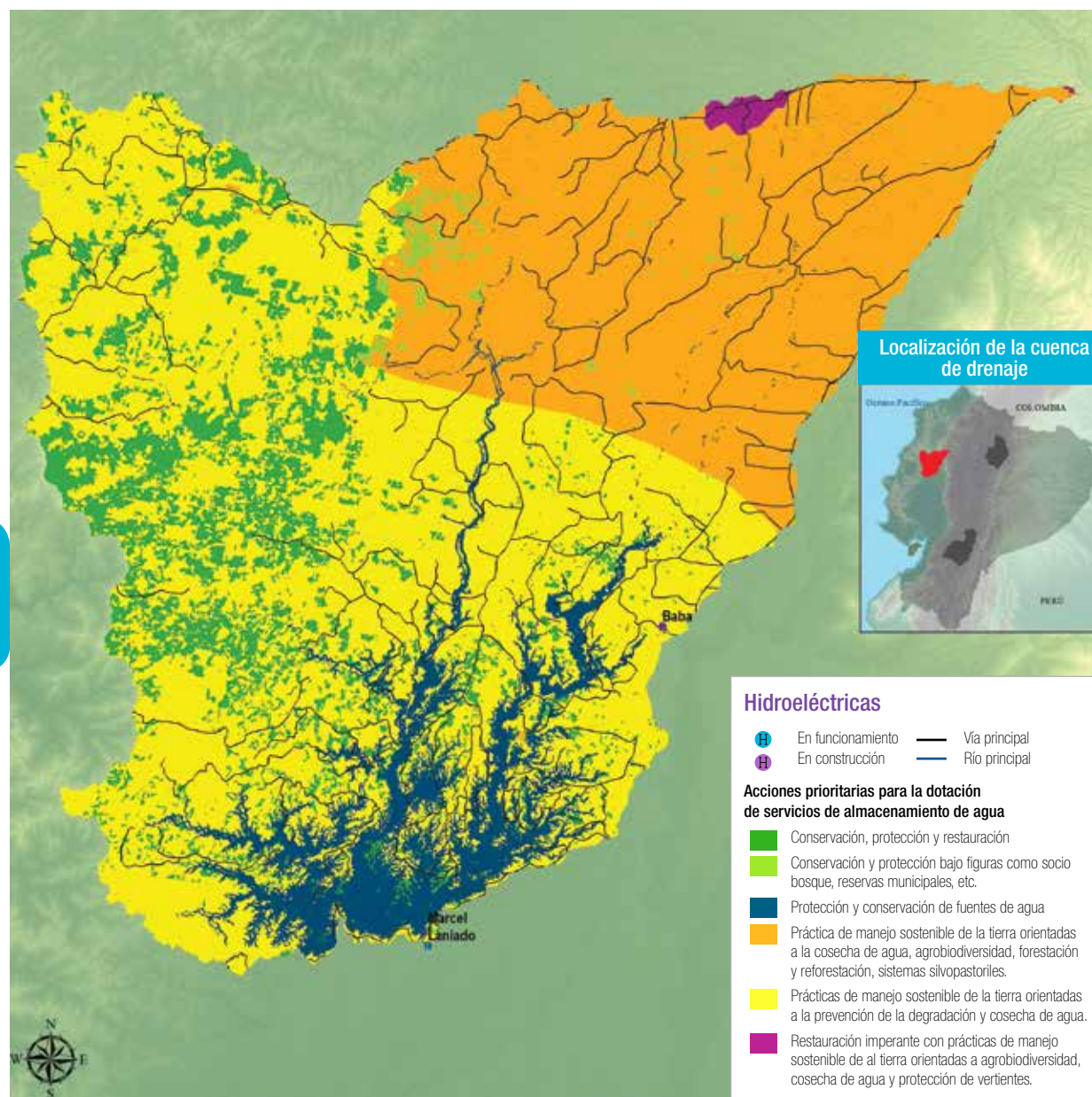
Fuente: AGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura, 2014.

Tabla 31: Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua en el suelo en la cuenca de drenaje de Hidropaute

Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua	Superficie	
	Hectáreas	%
Conservación y protección	112 490	21,82
Conservación, protección y restauración	108 466	21,04
Conservación y protección bajo figuras como Socio Bosque, reservas municipales, etc.	72 321	14,03
Protección y conservación de fuentes de agua	2 041	0,40
Prácticas de manejo sostenible de la tierra orientadas a la cosecha de agua, agrobiodiversidad, forestación y reforestación y sistemas silvopastoriles,	8 622	1,67
Prácticas de manejo sostenible de la tierra orientadas a la prevención de la degradación y cosecha de agua	207 499	40,25
Restauración imperante con prácticas de manejo sostenible de la tierra orientadas a agrobiodiversidad, cosecha de agua y protección de vertientes	4 049	0,79
Total	515 488	100,00

Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura.

Mapa 32: Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua en el suelo en la cuenca de drenaje de Marcel Laniado



Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura, 2014.

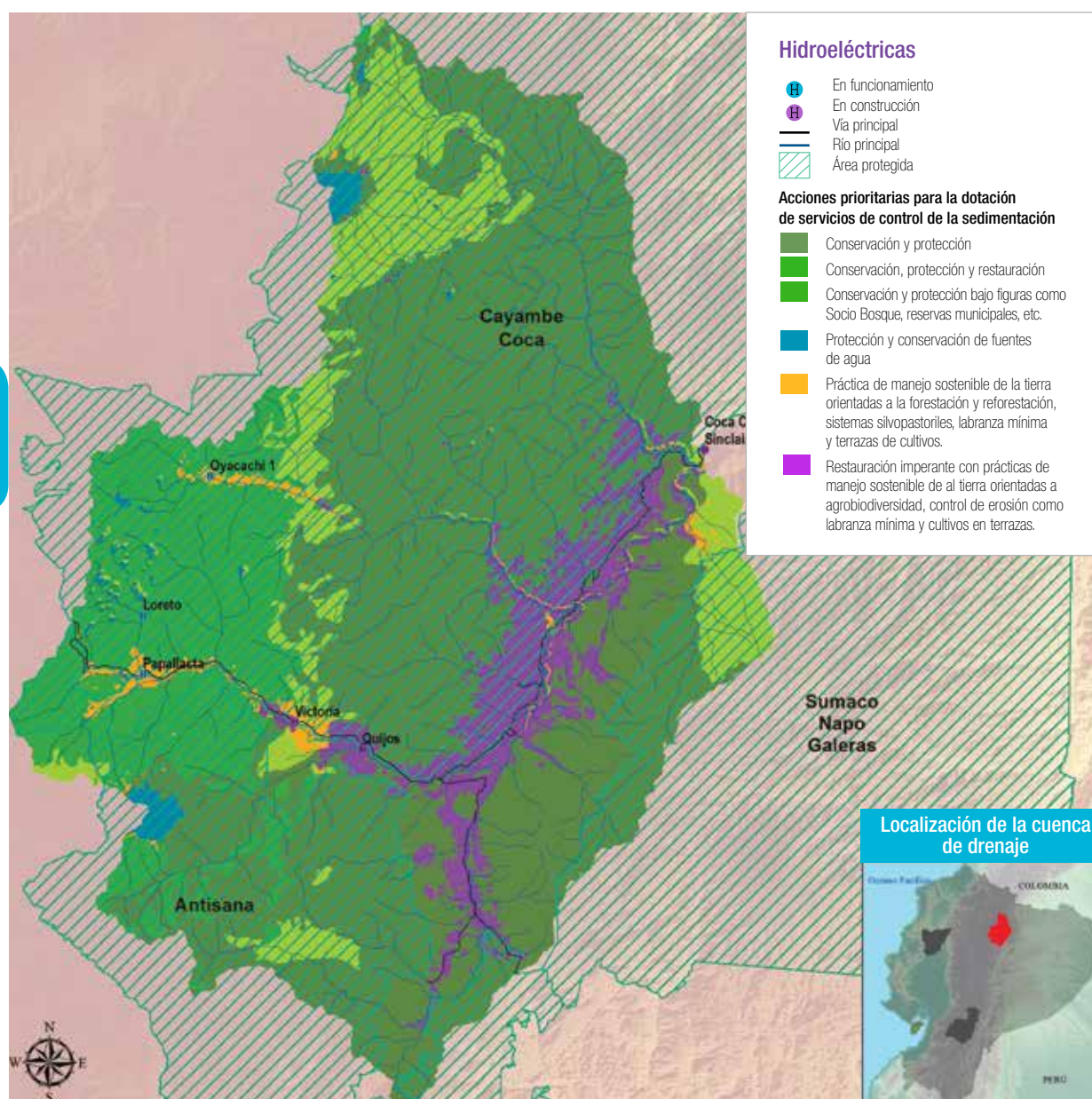
Tabla 32: Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua en el suelo en la cuenca de drenaje de Marcel Laniado

Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua	Superficie	
	Hectáreas	%
Conservación, protección y restauración	50 458	12,11
Conservación y protección bajo figuras como Socio Bosque, reservas municipales, etc.	3 368	0,81
Protección y conservación de fuentes de agua	34 207	8,21
Prácticas de manejo sostenible de la tierra orientadas a la cosecha de agua, agrobiodiversidad, forestación y reforestación y sistemas silvopastoriles,	124 570	29,90
Prácticas de manejo sostenible de la tierra orientadas a la prevención de la degradación y cosecha de agua	202 409	48,58
Restauración imperante con prácticas de manejo sostenible de la tierra orientadas a agrobiodiversidad, cosecha de agua y protección de vertientes	1 613	0,39
Total	416 625	100,00

Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura.

10.3 Mapas y tablas de escenarios de manejo sostenible de ecosistemas (SEM) en las tres cuencas de drenaje de las hidroeléctricas seleccionadas, para los servicios de control de sedimentación

Mapa 33: Acciones prioritarias para la dotación de servicios de control de la sedimentación en el suelo en la cuenca de drenaje de Coca Codo Sinclair



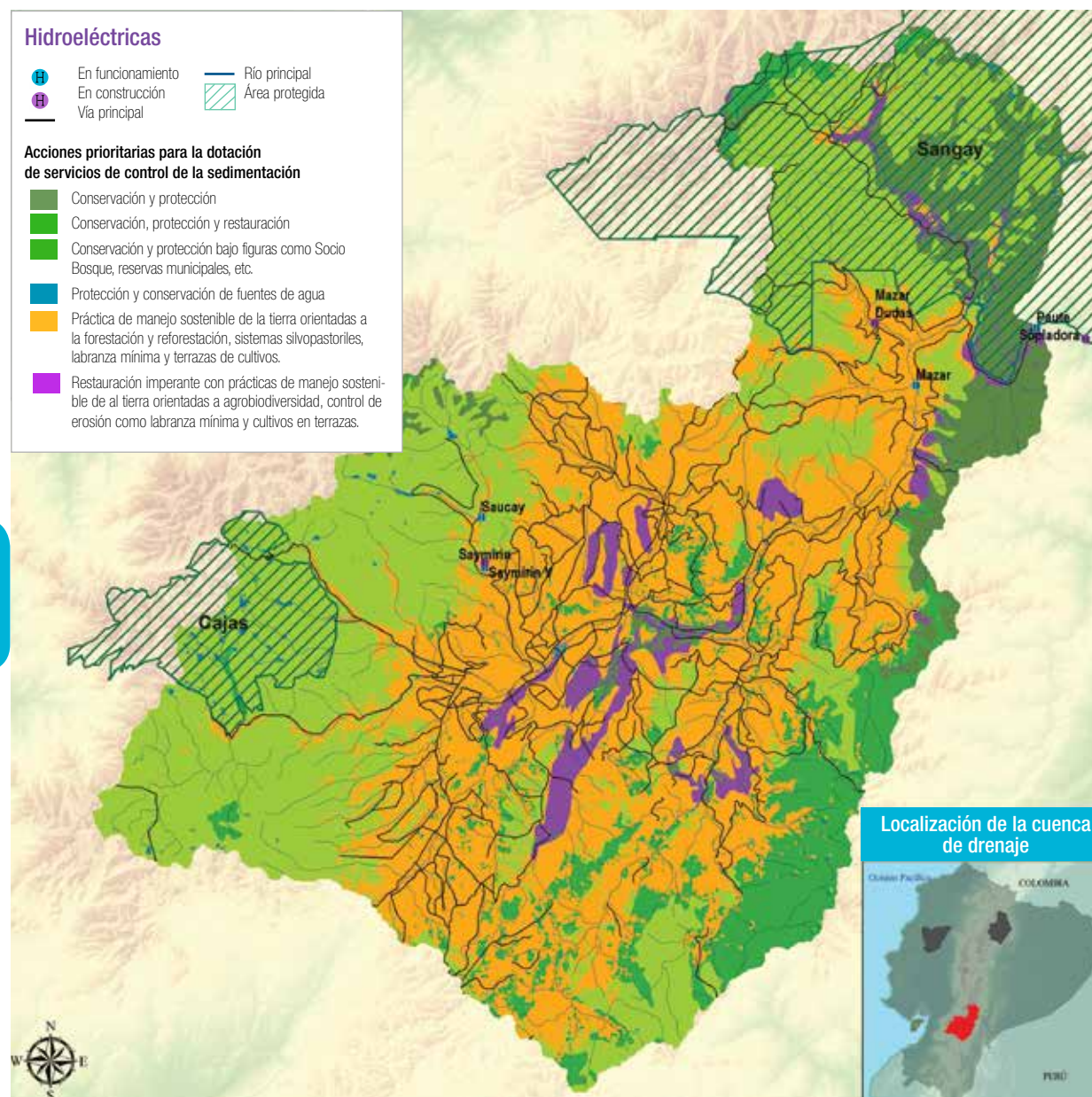
Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura, 2014.

Tabla 33: Acciones prioritarias para la dotación de servicios de control de la sedimentación en el suelo en la cuenca de drenaje de Coca Codo Sinclair

Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua	Superficie	
	Hectáreas	%
Conservación y protección	225 032	60,51
Conservación, protección y restauración	64 372	17,31
Conservación y protección bajo figuras como Socio Bosque, reservas municipales, etc.	43 224	11,62
Protección y conservación de fuentes de agua	5 057	1,36
Prácticas de manejo sostenible de la tierra orientadas a la forestación y reforestación, sistemas silvopastoriles, labranza mínima y terrazas de cultivos	5 445	1,46
Restauración imperante con prácticas de manejo sostenible de la tierra orientadas a agrobiodiversidad, control de erosión como labranza mínima y cultivos en terrazas	28 783	7,74
Total	371 913	100,00

Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura.

Mapa 34: Acciones prioritarias para la dotación de servicios de control de la sedimentación en el suelo en la cuenca de drenaje de Hidropaute



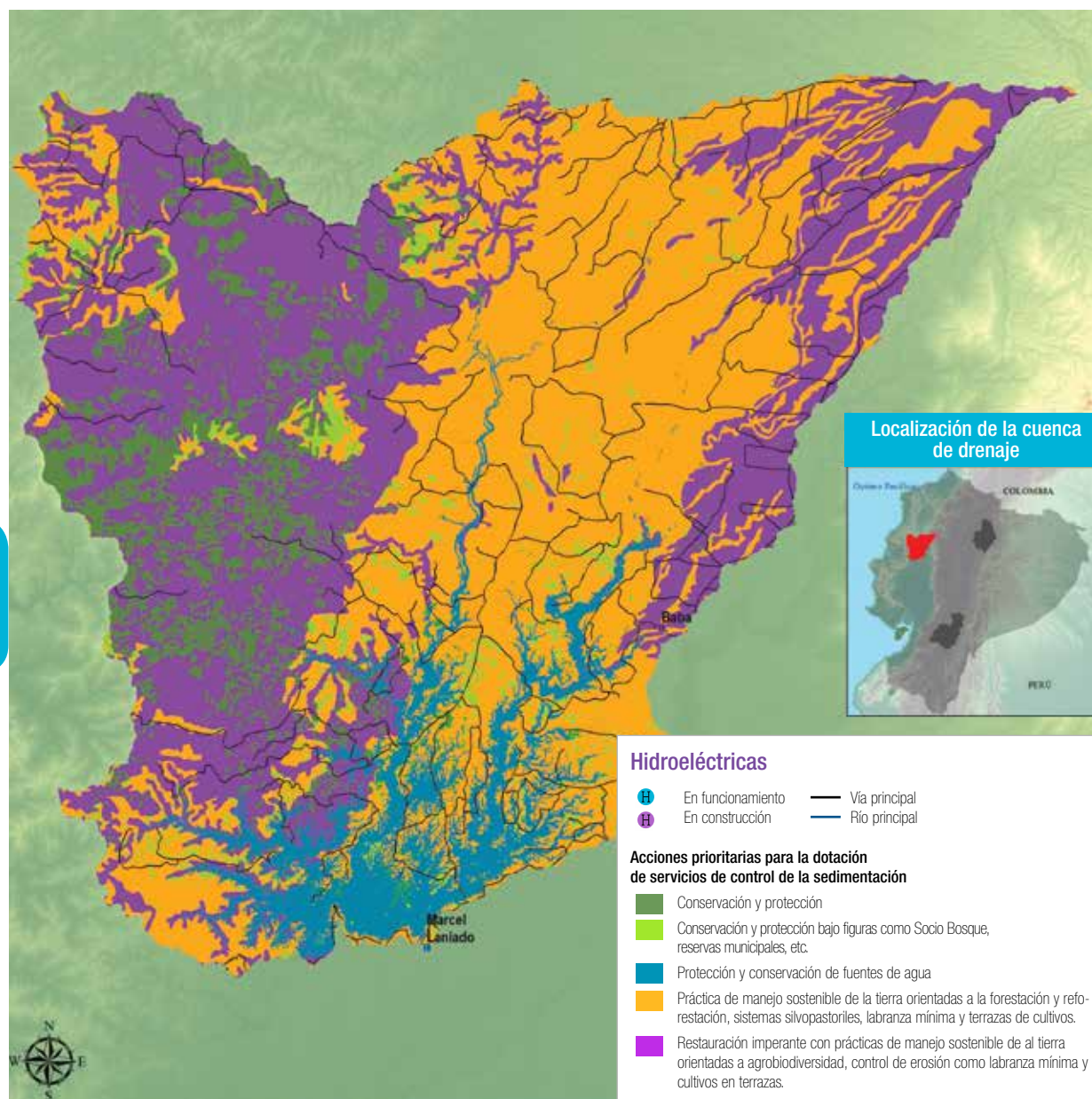
Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura, 2014.

Tabla 34: Acciones prioritarias para la dotación de servicios de control de la sedimentación en el suelo en la cuenca de drenaje de Hidropaute

Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua	Superficie	
	Hectáreas	%
Conservación y protección	41 062	8,00
Conservación, protección y restauración	54 210	10,50
Conservación y protección bajo figuras como Socio Bosque, reservas municipales, etc,	198 004	38,40
Protección y conservación de fuentes de agua	2 041	0,40
Prácticas de manejo sostenible de la tierra orientadas a la forestación y reforestación, sistemas silvopastoriles, labranza mínima y terrazas de cultivos	201 976	39,20
Restauración imperante con prácticas de manejo sostenible de la tierra orientadas a agrobiodiversidad, control de erosión como labranza mínima y cultivos en terrazas	18 195	3,50
Total	515 488	100,00

Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura.

Mapa 35: Acciones prioritarias para la dotación de servicios de control de la sedimentación en el suelo en la cuenca de drenaje de Marcel Laniado



Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura, 2014.

Tabla 35: Acciones prioritarias para la dotación de servicios de control de la sedimentación en el suelo en la cuenca de drenaje de Marcel Laniado

Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua	Superficie	
	Hectáreas	%
Conservación y protección	39 612	9,50
Conservación, protección y restauración	1 533	0,40
Conservación y protección bajo figuras como Socio Bosque, reservas municipales, etc.	12 685	3,00
Protección y conservación de fuentes de agua	34 207	8,20
Prácticas de manejo sostenible de la tierra orientadas a la forestación y reforestación, sistemas silvopastoriles, labranza mínima y terrazas de cultivos	182 633	43,80
Restauración imperante con prácticas de manejo sostenible de la tierra orientadas a agrobiodiversidad, control de erosión como labranza mínima y cultivos en terrazas	145 955	35,00
Total	416 625	100,00

Fuente: MAGAP, 1986. Elaboración: Mentefactura.

10.4 Propuesta Metodológica para la estimación del aporte de las Áreas Protegidas del SNAP a la protección de cuencas

En esta sección se describe la metodología propuesta para la cuantificación de los servicios ecosistémicos entregados por las áreas protegidas del SNAP a la producción hidroeléctrica del País. Al respecto, se debe indicar que las metodologías que se presentan a continuación no han sido aplicadas directamente a la constatación del aporte de áreas protegidas sino a cuantificar de manera más general los servicios ecosistémicos ofrecidos por los bosques. No obstante lo anterior, el grado de aplicabilidad de éstas en el contexto del Sistema y su aporte al sector de energía hidroeléctrica implica incrementar el nivel y detalle de la información disponible, así como la generación de otra adicional en campo. De esta forma, una caracterización de las condiciones de los bosques del SNAP ubicados en las cuencas bajo estudio, en términos de tipos de vegetación, suelo y características del terreno, sumada a investigación en terreno de las características del acuífero en su área de influencia permitirían dilucidar y cuantificar este tipo de procesos.

En este contexto, la primera metodología presenta como cuantificar los niveles de sedimentación existentes en las cuencas bajo estudio y los requerimientos de información existentes; mientras que la segunda se centra en el vínculo y cuantificación entre protección entregada por áreas boscosas y el régimen hídrico de la cuenca, el cual afecta el nivel de producción de las centrales hidroeléctricas que se encuentran en su área de influencia.

Finalmente, se presenta una breve descripción metodológica de como valorar económicamente estos procesos servicios ecosistémicos. Al respecto, se debe señalar que los valores monetarios que puedan obtenerse solo presentan el umbral inferior del valor real estos servicios. Esto se debe a que la presente metodología se centra exclusivamente en como se ve afectado el sector producción de energía hidroeléctrica, pero debido a que los servicios no son excluyentes existen otros sectores que se verían beneficiados de cambios en el manejo de la cuenca. Por ejemplo, si en la cuenca se desarrollan acciones tendientes a mejorar la cobertura vegetal con el objetivo de disminuir el nivel de sedimentación existente, no solo se ve beneficiada la empresa hidroeléctrica que percibe una disminución de los costos de dragado, sino también que hay externalidades positivas para quienes extraen de agua de la cuenca para consumo humano, es decir, las empresas de agua potable locales también verán una reducción en sus costos debido a que cuentan con agua de mayor calidad.

1. Propuesta metodológica para evaluar el aporte de la cobertura boscosa de las áreas protegidas para reducir procesos de sedimentación

Para determinar el nivel de sedimentos en la cuenca donde se encuentran ubicadas las centrales hidroeléctricas se debe considerar la tecnología actualmente disponible en

ellas y/o el uso de metodologías alternativas que permitan la comparación y verificación de los datos recopilados. En consideración a lo anterior, y en la base a la revisión de literatura referente a la medición de la carga de sedimentos y a como las características de la cuenca afectan su presencia, presentamos una aproximación desarrollada en el país para la cuenca del Río Paute en el trabajo de tesis de Mora (2005).

Es interesante considerar este estudio ya que además de enfocarse en una de las cuencas analizadas en dicho trabajo, el autor presenta en detalle los desafíos que enfrenta en cuanto a la recopilación de información, ya sea debido a la desaparición de las instituciones que realizaban su captura como a la escasa periodicidad de la misma. De este modo, se hace patente la necesidad de la creación de un organismo que permita la sistematización y difusión de información de carácter técnico-científica de lo que está aconteciendo en diferentes ríos del Ecuador, principalmente de aquellos relacionados con la producción de energía hidroeléctrica como de agua para consumo humano.

La propuesta de Mora (2005) se basa al cálculo del aporte que hacen diferentes fuentes a la producción de sedimentos en la cuenca. Adicionalmente, propone considerar las diferencias existentes en producción en zonas donde la cubierta vegetal esta degradada *versus* aquellas en que no lo está.

Para el cálculo del volumen de sedimentos en suspensión el autor hace uso de estaciones de muestreo, y considera lo siguiente:

1. Con base en la ecuación de aforos, determinar la relación existente entre el nivel de calado del río con su caudal.
2. Determinar la distribución vertical de la concentración de sedimentos en los distintos puntos de muestro y como esta se relaciona con la concentración media obtenida de las estaciones automáticas.
3. Obtener la relación entre caudal y concentración media de sedimentos.
4. Calcular el caudal de sólidos en suspensión (Q_{ss}) considerando la siguiente ecuación:

$$Q_{ss} = Q \cdot C_m \quad (1)$$

5. Donde Q representa el caudal líquido (litros por segundo) y C_m la concentración media de sedimentos en suspensión (gramos por litro). Esta última fue determinada en un laboratorio mediante el uso de papel filtrante.
6. Determinar la cantidad de masa de sedimentos (carga de sedimentos en suspensión) en los cursos de agua bajo monitoreo durante un año haciendo uso del área bajo la curva de duración de caudal de sólidos (ecuación 2).

$$SL_s = \frac{\sum Q_{ss} \cdot \Delta t}{1\,000 \cdot T} \quad (2)$$

Siendo SL_s la carga anual de sedimentos en suspensión (toneladas por año), Q_{ss} el caudal de sólidos en suspensión (gramos por segundo), Δt el tiempo correspondiente al incremento del porcentaje en la curva de duración, y T el tiempo de monitoreo (años).

Una segunda etapa considera el cálculo de la carga de sedimentos usando la presencia de diques de gavión, los cuales retienen todo tipo de sedimentos a diferencia de las estaciones automáticas solo permiten verificar el nivel de sedimentos en suspensión. Para la determinación de esta carga de sedimentos se propone el uso de la siguiente ecuación:

$$SL_D = \frac{V_D P_{SD}}{T} \quad (3)$$

Donde SL_D representa la carga anual de sedimentos correspondiente a diques de gaviones (toneladas por año), V_D el volumen de sedimento depositado en los diques (metros cúbicos), P_{SD} la densidad de los sedimentos depositados en los diques (toneladas por metro cúbico), y T el tiempo aproximado de llenado de los diques (años). Para el cálculo de V_D pueden ser empleados los denominados métodos Simple y Complejo [(Van Hemelryck, 2004) en Mora, 2005].

La tercera etapa corresponde a la medición de los sedimentos depositados en los embalses existentes en la cuenca bajo estudio. En el marco de la presente investigación, cabe mencionar que Hidropaute ha realizado mediciones batimétricas²² en los embalses de la cuenca del Rio Paute; mientras que Marcel Laniado (Hidronación) contrató una batimetría durante 2013 (CELEC EP, 2013). Para la aplicación de la metodología se consideran los siguientes pasos:

1. Determinar la carga anual de sedimentos en el embalse bajo consideración usando la ecuación (4).

$$SL_E = \frac{V_E P_{SE}}{T} \quad (4)$$

Con SL_E la carga anual de sedimento depositado en el embalse (toneladas por año), V_{SE} el volumen de sedimento depositado en el embalse (metros cúbicos), P_{SE} la

²² Mora (2005) indica la existencia de información sobre los resultados de batimetrías realizadas para el período 1983-2000, mientras que CELEC EP (2012) indica que también se realizaron en el período 2010-2012. Lamentablemente, no es claro si se realizaron otros trabajos de batimetrías durante 2000-2010.

densidad de los sedimentos depositados en el embalse (toneladas por metro cúbico), y T el tiempo entre batimetrías (años).

- Determinar el porcentaje de carga de sedimentos en las estaciones automáticas y/o diques de gaviones usando las siguientes ecuaciones según corresponda:

$$\%SL_S = 100 \cdot SL_S \frac{(5 \cdot a)}{SL_E}$$

$$\%SL_D = 100 \cdot SL_D \frac{(5 \cdot b)}{SL_E}$$

Donde $\%SL_S$ y $\%SL_D$ corresponden al porcentaje de carga de sedimentos en las estaciones automáticas y en los diques de gaviones, respectivamente; mientras que SL_S representa la carga anual de sedimento en suspensión del río monitoreado por la estación (toneladas por año), y SL_D la carga anual de sedimento en el dique considerado (toneladas por año).

La última etapa para la estimación del volumen total de sedimentos en la cuenca implica la consideración de otras fuentes que contribuyen a los procesos de degradación dentro de ésta, y por ende a un aumento de la carga de sedimentos. En este contexto, Mora (2005) propone el uso de información adicional referente a la explotación de áridos²³, la cual es medida en términos del volumen (metros cúbicos) explotado anualmente en la cuenca. Adicionalmente, debe tenerse en cuenta que la producción de sedimentos en un embalse no es lo mismo que la carga de sedimentos depositada en este, ya que parte de los sedimentos que ingresan al embalse logran salir de éste. Debido a esto se calcula la denominada eficiencia de atrapamiento [(U.S. Army Engineers Corp, 1995) en Mora, 2005] usando la siguiente ecuación:

$$\%TE = 100 \cdot \frac{(SY_{IN} - SY_{OUT})}{SY_{IN}} \quad (6)$$

Con $\%TE$ la eficiencia de atrapamiento de sedimentos (adimensional), SY_{IN} y SY_{OUT} la producción de sedimentos de la cuenca que abarca el reservorio (toneladas por hectárea por año) aguas arriba y aguas abajo, respectivamente. Para medir la eficiencia de atrapamiento, el autor recomienda el uso del índice de sedimentación de Churchill, ya que este incluye parámetros relacionados a la capacidad del reservorio, al volumen de agua que entra a éste y a su longitud, por lo que permite considerar sus diferentes características en el proceso de cálculo. Este índice puede calcularse usando la ecuación (7).

²³ En el caso de la cuenca del Río Paute resulta relevante esta actividad, pero para otras cuencas es necesario considerar que otros procesos se están desarrollando y que pudiesen afectar la calidad del agua de los ríos.

$$TE = 1 - SI = 1 - \frac{(C/I)^2}{L} \quad (7)$$

Donde TE indica la eficiencia de atrapamiento (%), C la capacidad del embalse (pies cúbicos), I el volumen medio anual de agua que entra al embalse (pies cúbicos por segundo), L y la longitud del embalse (pies). Por lo tanto, la carga de sedimentos que dejan pasar los embalses ($SL_{(1-TE)}$) puede ser capturada por la ecuación (8).

$$SL_{(1-TE)} = SL_E \cdot (1 - TE)$$

Finalmente, considerando los valores estimados previamente se debe proceder al cálculo de la producción de sedimentos de la cuenca. De esta forma, se están considerando sus principales fuentes de producción: sedimentos depositados en el embalse SL_E , los sedimentos que pasan por éste $SL_{(1-TE)}$ y aquellos que corresponden a la explotación minera ($SL_{EXPLOTADO}$). Al respecto, debe considerarse que los ítems anteriormente citados están directamente relacionados con los procesos que enfrenta la cuenca del Río Paute y que son analizados por el autor, por lo que estos pueden diferir de cuenca a cuenca según sus características. Por lo tanto, la carga anual de sedimentos en la cuenca (SL_T) puede ser calculada usando la siguiente ecuación:

$$SL_T = SL_E + SL_{(1-TE)} + SL_{EXPLOTADO}$$

Una vez obtenida la carga de sedimentos, el siguiente paso es intentar establecer una relación entre la producción de sedimentos y la cobertura vegetal existente en la cuenca. Al respecto, el autor cuenta con información correspondiente a dos tipos de coberturas de suelo: degradadas y no degradadas. Por lo que realiza el cálculo de la producción de sedimento por cada tipo de cobertura de la siguiente manera:

$$SY_{A_COB_ND} = \frac{SL_T}{A_{COB_ND}}$$

$$SY_{A_COB_D} = \frac{SL_T}{A_{COB_D}}$$

Donde $SY_{A_COB_ND}$ y $SY_{A_COB_D}$ representan a la producción anual de sedimentos (toneladas por hectárea por año) en el área no degradada y degradada, respectivamente; mientras que A_{COB_ND} y A_{COB_D} reflejan al área de cobertura (hectáreas) no degradada y degradada, respectivamente. Este cálculo resulta de importancia en el contexto de la presente consultoría, ya que entrega una primera aproximación del comportamiento de esta variable en relación a las características de la cuenca en la cual se ubican las centrales hidroeléctricas. Sin embargo, no es suficiente debido a que su alcance no discierne si estas áreas son de propiedad particular o pertenecen a algunas de las áreas protegidas del SNAP.

A partir de esta metodología de trabajo se podría generar información más certera de la relación existente entre la protección hidrológica ofrecida por las áreas protegidas del SNAP versus a aquella derivada de zonas que se encuentran degradadas. En este contexto, resulta relevante la determinación del comportamiento de la cuenca y de sus embalses – en cuanto a procesos de sedimentación – en áreas que se vean bajo la influencia de áreas protegidas y en otras que se encuentran bajo procesos de degradación, como por ejemplo erosión debida a baja cobertura vegetal. A partir de mediciones en zonas de la cuenca que se encuentren bajo estos dos tipos de paisaje se puede obtener información de primera mano de la relación entre estas dos variables. Lamentablemente, la información digital disponible al momento de realizar el presente estudio no permite obtener mayores antecedentes de la relación entre los procesos de sedimentación existentes en cada cuenca y su nivel de cobertura vegetal, pero si entrega una idea de donde se encuentran las áreas que deberían ser sujeto de mayores estudios posteriormente, al identificar las zonas de la cuenca que se encuentra bajo la influencia del Sistema y aquellas que evidencian procesos de erosión y/o deforestación y requieren el desarrollo de actividades tendientes a evitar su expansión en el tiempo.

Una de las ventajas de la metodología planteada por Mora (2005) es que se basa primordialmente en datos obtenidos en el campo mediante el uso de estaciones de medición, diques de gaviones y batimetrías, técnicas que han sido o están siendo implementadas por las centrales hidroeléctricas. Sin embargo, la ubicación de las estaciones así como de los diques deben ser tales que permitan identificar de forma certera el aporte de las áreas protegidas.

2. Propuesta metodológica para evaluar el aporte de la cobertura boscosa de las áreas protegidas para mantenimiento de caudal

Esta segunda propuesta metodológica se basa en otro de los servicios provistos por los ecosistemas boscosos: la protección y regulación del caudal existente en los ríos. En este contexto, la información requerida para el análisis difiere de la primera propuesta ya que se emplean primordialmente mapas que detallen las características de la cuenca así como información recabada en campo. Adicionalmente, las metodologías presentadas a continuación se basan en modelos matemáticos desarrollados con base en simulaciones.

La primera alternativa en este contexto se encuentra en el trabajo de Guo *et al* (2000, 2001 y 2007), quienes desarrollan su investigación en la cuenca del río Yangtze localizado en la provincia de Hubei en China, abordando como el servicio de protección y regulación del flujo hídrico ofrecido por los ecosistemas boscosos afecta la producción eléctrica en la cuenca. Guo *et al* (2000) se enfocan al desarrollo de un modelo basado en simulaciones que permita determinar la capacidad que tienen los ecosistemas terrestres como reguladores del caudal de la cuenca al considerar variables como la intercepción del dosel, el suelo del bosque, la conservación del agua

en el suelo/tierra y la descarga de aguas subterráneas [(Lee, 1980; Hewlett, 1982; y Ma, 1993) en Guo *et al* (2000)]. Estas simulaciones combinan el desarrollo de un modelo que permita establecer la relación entre las variables anteriores y el caudal de la cuenca, así como información derivada de Sistemas de Información Geográfica (SIG) que incorporan bases de datos con consideración espacial. De este modo los autores son capaces de identificar 90 posibles combinaciones de tipo de suelo-vegetación-y-pendiente existentes en la cuenca. Adicionalmente, estas requirieron su trabajo en campo para incorporar información en el modelo como para validar su ubicación. Es importante destacar la precisión del trabajo realizado por los autores al permitir identificar como cada una de las 90 combinaciones afecta la capacidad de los bosques como reguladores del caudal de la cuenca, una relación que tiene sustentos en resultados experimentales [(Lee, 1980) en Guo *et al* (2000)].

La base del trabajo de Guo *et al* (2000) se sustenta en el uso de las bases de datos espaciales para la vegetación, suelo y topografía de la cuenca considerada. Al respecto, el mapa de vegetación utilizado se desarrolló a partir de la interpretación visual de una imagen Landsat TM; mientras que los de suelo y topografía se basaron en la digitalización de la información existente. La sobreposición de estos tres mapas es la que resulta en las 90 posibles combinaciones de vegetación, suelo y pendiente.

El modelo desarrollado considera la estimación de las siguientes relaciones:

1. La tasa de intercepción del dosel cuando existen lluvias (dC/dt)

$$dC/dt = LAI \cdot dl/dt = LAI \cdot \alpha p [(l_0 - l)/l_0]^\beta \quad (11)$$

Donde C es la cantidad de lluvia interceptada por una unidad de área del dosel de un árbol (mm), LAI es el índice de área de la hoja (6,205), y l la cantidad interceptada por una unidad de área de hoja (mm). Los parámetros α , p , l_0 y β son el coeficiente de intercepción de la hoja; la intensidad de la lluvia; la cantidad saturada de lluvia interceptada por unidad de área de hoja (0,11); y el coeficiente de capacidad de carga de agua de la hoja (0,907), respectivamente.

2. La tasa de agua absorbida por el suelo del bosque (dL/dt):

$$dL/dt = \sigma(p - C_t) \cdot [(L_0 - L)/L_0]^\tau \quad (12)$$

Con C la cantidad de agua contenida por el suelo del bosque (mm); $(p - Ct)$ es la lluvia que cae a través del dosel, la cual se encuentra en función de la tasa de lluvia interceptada por el dosel (C_t). Los parámetros σ , L_0 y τ corresponden al coeficiente de acumulación de suelo del bosque (2,064); el valor de saturación de agua de lluvia contenido por el suelo del bosque (5,92); y el coeficiente de capacidad de carga del suelo del bosque (0,032), respectivamente.

Al considerar la capacidad de almacenamiento de agua del suelo y tierra, y debido a que sus efectos en la regulación de caudal son parecidos, los autores deciden agrupar estas variables en una variable de estado denominada almacenamiento de agua subterránea (G). De igual manera, consideran en conjunto la liberación de agua en los suelos y de forma subterránea, llamándola descarga de agua subterránea. La tasa de acumulación de agua subterránea se presenta en la siguiente ecuación:

$$dG/dt = [\delta_1(U_t - U_c) / (1 + \delta_2 \cdot G)] \quad (13)$$

Donde G es la cantidad de conservación de agua subterránea (mm) y $(U_t - U_c)$ hace referencia a la fluctuación de la carga de presión del agua subterránea con el tiempo. Los parámetros δ_1 , U_t , U_c y δ_2 corresponden al coeficiente de la carga de presión de agua subterránea (0,131); la fluctuación de la cantidad de agua en unidad de área de tierra con el tiempo (mm); la máxima cantidad de agua contenida en unidad de área de tierra cuando la penetración termina (0,6); y el coeficiente de capacidad de agua subterránea (-0,025), respectivamente.

4. La tasa de descarga de agua subterránea [(Ma, 1993) en Guo *et al* (2000)] puede ser calculada como:

$$dR/dt = r_0 \cdot e^{-(t/K \cdot g_t)} \quad (14)$$

Con R la tasa de descarga de agua subterránea (mm/min); mientras que los parámetros r_0 , K y g_t reflejan el valor inicial del agua subterránea (5,88), el coeficiente de liberación de agua subterránea (0,65), y la cantidad de agua subterránea conservada por unidad de tiempo (147,01), respectivamente.

5. La cantidad de descarga de agua subterránea durante un periodo Δt se aprecia en la siguiente ecuación:

$$R = \int_t^{t+\Delta t} r_0 \cdot e^{-(t/K \cdot g_t)} dt = K \cdot g_t \cdot r_0 \cdot e^{-(t/K \cdot g_t)} [1 - e^{-(\Delta t/K \cdot g_t)}] \quad (14)$$

6. La capacidad de regulación de los ecosistemas terrestres del caudal en época lluviosa y seca, W_{rain} y W_{dry} respectivamente está dada por:

$$W_{rain} = C + L + G \quad (15.a)$$

$$W_{dry} = R \quad (15.b)$$

7. La capacidad de regulación del caudal de los ecosistemas terrestres en un año, W_{yr} , se puede calcular como:

$$W_{yr} = \mu (W_{rain} + W_{dry}) \quad (16)$$

Donde μ es un valor equivalente para las lluvias, el cual relaciona la caída de agua y los períodos de lluvia en la época lluviosa (61).

Para la obtención de los valores de los parámetros usados en las ecuaciones anteriores los autores utilizaron datos de campo para la combinación tipo de vegetación-suelo-y-pendiente. Para comenzar el proceso de simulación de las variables reflejadas en las ecuaciones previamente presentadas se consideró la siguiente información: a) datos de precipitación mensual en la cuenca; b) medidas de campo del contenido de agua en el suelo y suelo del bosque en diferentes sitios de la cuenca tanto en época seca como lluviosa; c) caudal mensual y producción de electricidad mensual. Además, los valores de inicio para el agua en los ecosistemas fueron fijados considerando aquellos observados en experimentos desarrollados en diferentes zonas de la cuenca.

Un interesante hallazgo de Guo *et al* es que la capacidad que tienen los bosques para regular el caudal de las cuencas está en función de los diferentes tipos de vegetación, suelo y pendientes existentes en ellas. De este modo, se hace imprescindible usar datos de campo y realizar experimentos que permitan determinar la eficiencia relativa de las diferentes combinaciones de las variables anteriormente citadas sobre la regulación del caudal. Con base en esto, los autores calculan como cada una de las 90 combinaciones de tipo de vegetación, suelo y pendiente afectan el caudal:

$$W_{yr}(\rho_i) = \epsilon_l \cdot \delta_j \cdot \eta_k \cdot \mu (W_{rain} + W_{dry}) \quad (17)$$

Donde $W_{yr}(\rho_i)$ es la cantidad de regulación del flujo de caudal de la i -ésima combinación en un año. En este sentido, para un tipo de combinación el modelo tiene ϵ_l ($l = 1, 2, \dots, 6$), δ_j ($j = 1, 2, \dots, 5$), y η_k ($k = 1, 2$ o 3); y la cantidad de agua regulada por todas las combinaciones durante varios años, AWP , está dada por:

$$AWP = \sum_i^{90} W_{yr}(\rho_i) \cdot A_i \quad (18)$$

Con A_i el área del i -ésimo tipo de combinación.

8. Relación entre el caudal en el río y la generación de electricidad. Un primer paso para conocer el comportamiento de estas variables es realizar un análisis gráfico de cómo responde el nivel de generación hidroeléctrica ante el comportamiento del caudal del río. Al respecto, los autores indican que “[si] el caudal es demasiado alto o demasiado bajo, la producción de electricidad de una planta hidroeléctrica podría verse reducida” (pp. 931), lo que los lleva a estimar una relación por tramos que indica cómo cambia la producción ante cambios de caudal. Adicionalmente, para el establecimiento de los puntos de corte utilizaron información del comportamiento del reservorio ante cambios en el flujo de agua. En particular como operaban los generadores ante diferentes niveles de agua.
9. Valor económico de un incremento en la producción hidroeléctrica debido a la regulación del caudal originada por los ecosistemas terrestres:

$$Va = H \cdot P \quad (19)$$

Con V_a el valor del producto de la central hidroeléctrica (unidades monetarias) y P es el precio de una unidad de electricidad (unidades monetarias/kWh)

Guo *et al* (2001) adicionalmente incorpora una ecuación que permite medir directamente la contribución del bosque a la conservación del agua (CFW):

$$CFW = (AWP - AWP_s) / AWP \quad (20)$$

Donde AWP_s es la cantidad de agua conservada bajo el supuesto de que los bosques son reemplazados con una mezcla de arbustos y pastos o hierbas (en una proporción de 3,7:1) en la zona bajo estudio. Mientras que obtiene el valor económico de los servicios ecosistémicos provistos por los bosques (Ve) a través de la siguiente ecuación:

$$Ve = CFW \cdot Fe \cdot Ps \quad (21)$$

Con Fe un efecto derivado de un servicio ecosistémico determinado para un caso específico y Ps el precio unitario por este efecto (unidades monetarias). En particular, si se desea valorar el servicio de regulación del caudal de la cuenca Fe representaría la producción total de electricidad en la cuenca bajo estudio y Ps el precio de la electricidad; mientras que si el objetivo es cuantificar el valor monetario del servicio de retención de agua y almacenamiento, Fe sería la cantidad de agua retenida y almacenada²⁴ en la región bajo estudio en su totalidad (toneladas) y Ps el precio del agua (unidades monetarias por tonelada). Por otro lado, si se desea considerar el servicio de prevención de incremento en el volumen de sedimentos Fe es definida como la cantidad que reduce el bosque de acumulación de sedimentos (metros cúbicos) y Ps el costo asociado a remediar esta situación, por ejemplo costos de dragado. Y si se persigue valorar la disminución de depósitos de tierra, el cual reduce la capacidad de almacenamiento de agua del embalse y acorta su vida útil, consideramos como Fe la cantidad de depósitos de tierra disminuidos debido a los bosques (metros cúbicos) y en vez de tomar en cuenta el precio por este servicio, se emplea el costo de construcción del embalse por metro cúbico como costo de oportunidad.

La segunda alternativa se basa en el trabajo de Stickler *et al* (2013) en la cuenca del Río Xingu en Brasil. El objetivo de los autores es modelar la relación existente entre deforestación, caudal y producción hídrica. Para esto hacen uso de modelos de simulación matemática que consideran el uso de la tierra, ciclo hidrológico y climatológico en la región Amazónica, que les permiten “examinar los efectos locales directos (a través de cambios en la evapotranspiración en la cuenca) y los potenciales efectos indirectos regionales (a través de cambios en el régimen de lluvias) de la deforestación en el caudal del río y en el potencial de generación de energía...” (pp. 9601). Los autores basan su trabajo en los modelos de ecosistema terrestre y clima desarrollados previamente por Coe *et al* (2009) para el Río Amazonas: Simulador de

²⁴ Esta cantidad de agua remanente se estima considerando la proporción de evaporación a precipitación en la región bajo estudio.

Biosfera Integrado (IBIS, por sus siglas en inglés), Modelo de Hidrología Terrestre con Bio-geo-química (THMB, por sus siglas en inglés), y el Modelo Climático Comunal acoplado al Simulador de Biosfera Integrado (CCM3/IBIS, por sus siglas en inglés). Los resultados de las simulaciones consideran como línea base la vegetación existente en el año 2000 y dos proyecciones alternativas para el año 2050. La primera involucra la aplicación de políticas que intentan disminuir la tasa de deforestación, mientras que la segunda continúa la tendencia actual en cuanto a estas prácticas.

Los resultados de los modelos aplicados indican que debe examinarse la relación entre cambios en la cobertura forestal a nivel regional y régimen de lluvias en la cuenca en consideración; así como aquella entre cobertura vegetal y caudal del río bajo consideración. En particular, indican que la probabilidad de que un incremento en la tasa deforestación a nivel regional disminuya el nivel de pluviosidad del área, afectando negativamente la producción de energía eléctrica, aumenta cuando existe una marcada estacionalidad en el régimen de lluvias y se espera un aumento en la deforestación a nivel local. Para calcular los cambios esperados en la generación de electricidad debidos a los escenarios considerados, Stickler et al (2013) utilizan la siguiente ecuación:

$$P_m = \Delta h \cdot Q_m \cdot g \cdot EF \cdot C_{AE} \quad (22)$$

Donde P_m es media mensual de poder hidroeléctrico potencial (megawatts); Δh es la diferencia en cabeza o caída de agua – varía de acuerdo al proyecto en consideración; Q_m es la media del caudal mensual ajustado (metros cúbicos por segundo); g es la fuerza de gravedad, 9,81 metros por segundo al cuadrado; EF es el factor de eficiencia dado por las turbinas y generadores – varía de acuerdo al proyecto en consideración -; y C_{AE} es un factor de calibración adicional, que en este caso fue de 0,92. Este último permite calibrar el poder de generación potencial con el producto anual medio asegurado en los documentos oficiales del proyecto.

La aplicabilidad de las metodologías anteriores para ver como cambios en la cobertura vegetal y/o tasa de deforestación afectan la producción de energía hídrica depende de los recursos y tiempos disponibles para realizar el análisis en las diferentes cuencas. Adicionalmente, debe considerarse que estos ejercicios no tiene un carácter estático en el tiempo, sino que más bien deben entregar información clara y oportuna de los cambios que están ocurriendo en las cuencas y de sus efectos en la producción hidroeléctrica, de forma que la autoridad competente pueda desarrollar un plan de acción para enfrentar fenómenos de carácter natural como antropocéntrico. Y luego, con esta nueva información los modelos deben ser retroalimentados de forma de evaluar los cambios derivados de estas acciones. En particular, para lograr clarificar el rol de las áreas protegidas en cuanto a regulación de flujo y protección de cuencas se requiere contar con información desagregada de las zonas que se encuentran bajo la influencia de estas, de forma de poder contrastarla de forma clara con las

características de otras áreas que estén experimentando procesos de deforestación, erosión y/o cambios en sus regímenes de lluvias.

3. Propuesta metodológica para la valorización económica del aporte del SNAP a la protección de cuencas

Las propuestas anteriormente presentadas sobre la identificación y cuantificación de los servicios ofrecidos por las áreas protegidas del SNAP difieren en términos de la metodología de valoración económica a ser utilizada. Para la propuesta basada en Mora (2005) la metodología de valoración económica se basa en la de costos evitados/inducidos por los procesos de sedimentación existentes. En este contexto, el valor del servicio de reducción de sedimentación se cuantifica en términos del costo que significa para la central hidroeléctrica la realización de actividades de dragado para disminuir el nivel de sedimentación existente en los reservorios y/o embalses. Entonces, para el cálculo de este valor además del coste de dragado se requiere conocer el nivel de sedimentos extraídos del embalse cada año.

En el caso de la metodología planteada por Guo et al (2000, 2001 y 2007) son los mismos autores quienes ofrecen una alternativa para valorar el servicio de mantenimiento del flujo o caudal de la cuenca. Ellos proponen valorar el incremento de producción hidroeléctrica derivado del control del caudal o flujo de agua en la cuenca a precios de mercado, entregando de esta manera un valor directo al servicio provisto por las áreas protegidas durante las estaciones lluviosa y seca, disminuyendo e incrementando el caudal en la cuenca, respectivamente.

Finalmente, en la metodología planteada por Stickler et al (2013) se propone el uso de la ecuación (22) en conjunto con los precios de mercado para la electricidad. En el contexto de este trabajo, el aporte de la cobertura vegetal a regulación hídrica estaría dado por la diferencia del valor en el escenario denominado situación actual, **BAU** (por sus siglas en inglés), y el escenario que considera la reducción en la tasa de deforestación de la cuenca.

Es importante destacar que para las tres metodologías se debe considerar primero la identificación de los sectores o zonas que se ven protegidos por la presencia de las áreas protegidas de forma de identificar claramente los diferenciales existentes con aquellos que se encuentran sometidos a algún proceso de erosión y/o deforestación. Debido a esto, resulta relevante el trabajo de campo para levantar información exacta de las características de cada uno de estos sitios de manera de poder usar las metodologías de forma diferenciada o de manera que permitan identificar su aporte de la mejor manera posible

Índice de gráficos

Gráfico 1	Estructura de la oferta de energía primaria	19
Gráfico 2	Ingresos petroleros para el Gobierno Central	20
Gráfico 3	Potencia efectiva nacional 2013	21
Gráfico 4	Estructura de consumo por fuente 2013	22
Gráfico 5	Estructura del consumo energético por sectores	24
Gráfico 6	Evolución de la potencia efectiva hidráulica instalada	30
Gráfico 7	Estructura de la generación eléctrica 2013	31
Gráfico 8	Inversión en la generación eléctrica (USD millones)	32
Gráfico 9	Cambio de la Matriz Energética (GWh/año %)	33
Gráfico 10	Fases del ciclo hidrológico esquematizado en una vertiente de una cuenca hidrográfica	36
Gráfico 11	Rol de la vegetación en la regulación hídrica	41
Gráfico 12	Proyección del escenario BAU a 20 años: Costos de operación y mantenimiento (USD/año) por central hidroeléctrica	100
Gráfico 13	Proyección del escenario SEM a 20 años: Costos de operación y mantenimiento (USD/año) por central hidroeléctrica	106
Gráfico 14	Costo anual de implementación del escenario SEM – Coca Codo Sinclair	110
Gráfico 15	Costo anual de implementación del escenario SEM – Hidropaute	111
Gráfico 16	Costo anual de implementación del escenario SEM – Marcel Laniado	112
Gráfico 17	Metodología TSA	128

Índice de tablas

Tabla 1	Cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo en la cuenca de drenaje de la hidroeléctrica Coca Codo Sinclair	57
Tabla 2	Cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo en la cuenca de drenaje de la hidroeléctrica Paute	60
Tabla 3	Cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo en la cuenca de drenaje de la hidroeléctrica Marcel Laniado	62
Tabla 4	Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo en la cuenca de drenaje de Coca Codo Sinclair	63
Tabla 5	Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo de la cuenca de drenaje de Hidropaute	66
Tabla 6	Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo de la cuenca de drenaje de Marcel Laniado	66
Tabla 7	Vulnerabilidad a erosión hídrica en el suelo en la cuenca de drenaje de Coca Codo Sinclair	68
Tabla 8	Vulnerabilidad a erosión hídrica en el suelo en la cuenca de drenaje de Hidropaute	70
Tabla 9	Vulnerabilidad a erosión hídrica en el suelo en la cuenca de drenaje de Marcel Laniado	73
Tabla 10	Conflictos en el almacenamiento de agua por uso de la cuenca de drenaje de Coca Codo Sinclair	75
Tabla 11	Conflictos en el almacenamiento de agua por uso de la cuenca de drenaje de Hidropaute	75
Tabla 12	Conflictos en el almacenamiento de agua por uso de la cuenca de drenaje de Marcel Laniado	78
Tabla 13	Vulnerabilidad a la erosión por conflictos de uso en la cuenca de drenaje de Coca Codo Sinclair	80
Tabla 14	Vulnerabilidad a la erosión por conflictos de uso en la cuenca de drenaje de Paute	82
Tabla 15	Vulnerabilidad a la erosión por conflictos de uso en la cuenca de drenaje de Marcel Laniado	82

Tabla 16	Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua y control de la sedimentación en la cuenca de drenaje de Coca Codo Sinclair	85
Tabla 17	Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua y control de la sedimentación en la cuenca de drenaje de Paute	89
Tabla 18	Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua y control de la sedimentación en la cuenca de drenaje de Marcel Laniado	92
Tabla 19	Resumen nivel de conservación por cuenca	95
Tabla 20	Resumen de indicadores por hidroeléctrica considerada en la actualidad	96
Tabla 21	Escenarios para valorar la pérdida de vegetación protectora proveniente de las áreas protegidas en buen estado de conservación para el 2013	99
Tabla 22	Valor económico del servicio de protección hídrica ofrecido por el SNAP	100
Tabla 23	Cambio del área degradada y de los costos de mantenimiento en el escenario BAU en un plazo de 20 años	101
Tabla 24	Cambio del área degradada y de los costos de mantenimiento en el escenario SEM en un plazo de 20 años	107
Tabla 25	Hidroeléctricas en funcionamiento y en construcción, superficie y porcentaje de la cobertura de áreas protegidas y vegetación natural remanente	136
Tabla 26	Niveles de correlación entre la potencia nominal y la superficie de la cuenca de drenaje de las hidroeléctricas	140
Tabla 27	Características de las hidroeléctricas seleccionadas	145
Tabla 28	Resumen de variables analizadas, rangos y valoración	151
Tabla 29	Resumen de indicadores y unidades de medida	155
Tabla 30	Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua en el suelo en la cuenca de drenaje de Coca Codo Sinclair	157
Tabla 31	Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua en el suelo en la cuenca de drenaje de Hidropaute	159
Tabla 32	Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua en el suelo en la cuenca de drenaje de Marcel Laniado	161

Tabla 33	Acciones prioritarias para la dotación de servicios de control de la sedimentación en el suelo en la cuenca de drenaje de Coca Codo Sinclair	163
Tabla 34	Acciones prioritarias para la dotación de servicios de control de la sedimentación en el suelo en la cuenca de drenaje de Hidropaute	165
Tabla 35	Acciones prioritarias para la dotación de servicios de control de la sedimentación en el suelo en la cuenca de drenaje de Marcel Laniado	167

Índice de mapas

Mapa 1	Precipitación anual en el Ecuador continental	37
Mapa 2	Meses secos en un año en el Ecuador continental e hidroeléctricas	39
Mapa 3	Remanentes de vegetación natural del Ecuador e hidroeléctricas	42
Mapa 4	Susceptibilidad a la erosión del Ecuador e hidroeléctricas	44
Mapa 5	Uso del suelo en el Ecuador e hidroeléctricas	46
Mapa 6	Áreas Protegidas y vegetación remanente en el Ecuador	47
Mapa 7	Uso del suelo y cobertura vegetal de la cuenca de drenaje de la hidroeléctrica Coca Codo Sinclair en 2008	56
Mapa 8	Uso del suelo y cobertura vegetal de la cuenca de drenaje de la hidroeléctrica Paute en 2008	59
Mapa 9	Uso del suelo y cobertura vegetal de la cuenca de drenaje de la hidroeléctrica Marcel Laniado en 2008	61
Mapa 10	Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo en la cuenca de drenaje de Coca Codo Sinclair	64
Mapa 11	Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo en la cuenca de drenaje de Hidropaute	65
Mapa 12	Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo en la cuenca de drenaje de Marcel Laniado	67
Mapa 13	Vulnerabilidad a erosión hídrica en el suelo en la cuenca de drenaje de Coca Codo Sinclair	69
Mapa 14	Vulnerabilidad a erosión hídrica en el suelo en la cuenca de drenaje Hidropaute	71
Mapa 15	Vulnerabilidad a erosión hídrica en el suelo en la cuenca de drenaje de Marcel Laniado	72
Mapa 16	Conflictos en la cuenca de drenaje de Coca Codo Sinclair	74
Mapa 17	Conflictos en el almacenamiento de agua por uso de la cuenca de drenaje de Hidropaute	76
Mapa 18	Conflictos en el almacenamiento de agua por uso de la cuenca de drenaje de Marcel Laniado	77

Mapa 19	Vulnerabilidad a la erosión por conflictos de uso en la cuenca de drenaje de Coca Codo Sinclair	79
Mapa 20	Vulnerabilidad a la erosión por conflictos de uso en la cuenca de drenaje de Paute	81
Mapa 21	Vulnerabilidad a la erosión por conflictos de uso en la cuenca de drenaje de Marcel Laniado	83
Mapa 22	Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua y control de la sedimentación en la cuenca de drenaje de Coca Codo Sinclair	86
Mapa 23	Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua y control de la sedimentación en la cuenca de drenaje de Paute	88
Mapa 24	Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua y control de la sedimentación en la cuenca de drenaje de Marcel Laniado	90
Mapa 25	Cuencas de drenaje de cada hidroeléctrica	131
Mapa 26	Porcentaje de cobertura de áreas protegidas por cuenca de drenaje por hidroeléctrica	133
Mapa 27	Porcentaje de cobertura de áreas protegidas y vegetación natural remanente por cuenca de drenaje por hidroeléctrica	135
Mapa 28	Las zonas de deforestación y cuencas de drenaje para las hidroeléctricas	142
Mapa 29	Hidroeléctricas seleccionadas para el análisis de escenarios (TSA)	144
Mapa 30	Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua en el suelo en la cuenca de drenaje de Coca Codo Sinclair	156
Mapa 31	Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua en el suelo en la cuenca de drenaje de Hidropaute	158
Mapa 32	Acciones prioritarias para la dotación de servicios de almacenamiento de agua en el suelo en la cuenca de drenaje de Marcel Laniado	160

Mapa 33	Acciones prioritarias para la dotación de servicios de control de la sedimentación en el suelo en la cuenca de drenaje de Coca Codo Sinclair	162
Mapa 34	Acciones prioritarias para la dotación de servicios de control de la sedimentación en el suelo en la cuenca de drenaje de Hidropaute	164
Mapa 35	Acciones prioritarias para la dotación de servicios de control de la sedimentación en el suelo en la cuenca de drenaje de Marcel Laniado	166



Al servicio
de las personas
y las naciones



ISBN 978-9942-07-987-9



9 789942 079879