



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

Iniciativa para la Conservación  
en la Amazonía Andina - ICAA



Conservando la naturaleza.  
Protegiendo la vida.

## Sitios prioritarios para la conservación de biodiversidad acuática de la Demarcación Hidrográfica de Napo

Producto D:

Memoria técnica y mapas que contenga la priorización de áreas cuyo índice se validará conjuntamente con el Plan Nacional de Recursos Hídricos

Producto F:

Documento técnico con ajustes y mapa final de priorización de áreas acompañado de database validada

(Enero/2013)

La presente publicación se elaboró para ser revisada por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). La misma fue preparada por: Fundación Ecuatoriana de Estudios Ecológicos- EcoCiencia. Juan Calles y Fabián Santos

# Sitios prioritarios para la conservación de biodiversidad acuática de la Demarcación Hidrográfica de Napo

Producto D: Memoria técnica y mapas que contenga la priorización de áreas cuyo índice se validará conjuntamente con el Plan Nacional de Recursos Hídricos.

Producto F: Documento técnico con ajustes y mapa final de priorización de áreas acompañado de database validada.

Esta publicación ha sido posible gracias al apoyo brindado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional en Ecuador y Perú, bajo los términos del **contrato No. AMAZONIA\_1507\_12053**

La Iniciativa para la Conservación en la Amazonía Andina - ICAA es implementada por un consorcio de empresas y organizaciones como: Nacionalidad Originaria A'I Kofan Del Ecuador (NOA'IKE); La Coordinadora Indígenas de las Organizaciones Indígenas de la Cuenca Amazónica (COICA); Instituto del Bien Común (IBC); y Conservation Strategy Fund (CSF).

## **Descargo de Responsabilidad**

Los contenidos y opiniones expresadas en este documento pertenecen al autor y no reflejan necesariamente las opiniones de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), el Gobierno de los Estados Unidos de América o TNC.

**Instituciones participantes.**

Secretaría Nacional del Agua.

The Nature Conservancy.

SENPLADES.

EcoCiencia.

**Autores:**

Juan Calles López.

Ecólogo acuático. Coordinación del estudio.

Fabián Santos.

Geógrafo. Análisis cartográfico y espacial.

Fundación Ecuatoriana de Estudios Ecológicos-EcoCiencia.

**Equipo técnico de apoyo**

Cristina Ibarra.

Bióloga. Recopilación de información sobre biodiversidad.

Cristina Argudo.

Recopilación de información sobre biodiversidad.

Fundación Ecuatoriana de Estudios Ecológicos-EcoCiencia.

Juan Carlos González. Coordinación interinstitucional.

Leonardo Sotomayor. Geógrafo.

The Nature Conservancy-Ecuador.

## Contenidos

<b>1) Introducción.....</b>	<b>4</b>
1.1. <i>Antecedentes .....</i>	4
1.2. <i>Condiciones generales de los ecosistemas acuáticos.....</i>	5
1.3. <i>Área de estudio.....</i>	10
<b>2) Objetivo General .....</b>	<b>11</b>
<b>3) Metodología.....</b>	<b>11</b>
3.1. <i>Descripción de la metodología.....</i>	13
3.1.1. <i>Definición de unidades hidrográficas de análisis.....</i>	13
3.1.2. <i>Definición del área activa del río (ARA).....</i>	15
3.1.3. <i>Clasificación de sistemas ecológicos.....</i>	16
3.1.4. <i>Condición ecológica de las unidades .....</i>	20
3.1.5. <i>Grado de amenaza de las unidades .....</i>	23
3.1.6. <i>Selección de sitios prioritarios .....</i>	28
3.1.7. <i>Información sobre biodiversidad .....</i>	31
<b>4) Resultados.....</b>	<b>33</b>
4.1. <i>Unidades hidrográficas de análisis.....</i>	33
4.2. <i>Área activa del río.....</i>	35
4.3. <i>Sistemas ecológicos.....</i>	36
4.4. <i>Condición ecológica actual de los sistemas.....</i>	38
4.5. <i>Grado de amenazas sobre los sistemas.....</i>	41
4.6. <i>Sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad acuática.....</i>	51
4.7. <i>Biodiversidad acuática.....</i>	53
<b>5) Estrategias de manejo para la Conservación, Recuperación y Mitigación de amenazas en los sistemas ecológicos de agua dulce y sitios prioritarios del portafolio .....</b>	<b>56</b>
5.1 <i>Objetivo estratégico 1: Planificación de la biodiversidad.....</i>	56
5.2 <i>Objetivo estratégico 2: Mitigación de las amenazas .....</i>	58
5.3 <i>Objetivo estratégico 3: Levantamiento y generación de información básica.....</i>	58
<b>6 Discusión y conclusiones .....</b>	<b>60</b>
<b>7 Referencias citadas:.....</b>	<b>61</b>
<b>8 Anexos .....</b>	<b>63</b>

# 1) Introducción

## 1.1. Antecedentes

En función de que la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) en su condición de autoridad nacional rectora del agua promueve los principios de gestión integrada de los recursos hídricos con una visión ecosistémica y sustentable, y de que The Nature Conservancy (TNC) tiene como misión conservar la diversidad mediante la protección de las tierras y aguas que necesitan para sobrevivir; por lo tanto dentro de este marco entre la SENAGUA y TNC se firma un acuerdo de entendimiento en agosto del 2011 con el objeto de efectuar un trabajo coordinado entre instituciones públicas y privadas para desarrollar conjuntamente actividades y proyectos. Una de las líneas de acción acordadas entre las dos instituciones es desarrollar una estrategia para la conservación y gestión de sitios prioritarios de agua dulce a nivel nacional, lo cual está alineada con lo establecido por el Gobierno Nacional en la Constitución Nacional del 2008:

“Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua.”

En el año 2010, la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) definió para el Ecuador 9 Demarcaciones Hidrográficas (DH). La de mayor extensión es la DH Napo que ocupa los territorios administrativos de las provincias de Sucumbíos, Napo, Orellana y en menor proporción Pastaza y Pichincha (Figura 1). La DH Napo ocupa una extensión de 64769 km<sup>2</sup>, cubriendo aproximadamente el 25% del territorio ecuatoriano.

La DH Napo tiene gran alta importancia para la conservación de la biodiversidad, el patrimonio cultural, y el desarrollo económico del Ecuador. Está conformada por la cuenca alta del río Napo y la cuenca alta del río Putumayo.



Figura 1. Mapa de demarcaciones hidrográficas del Ecuador. Fuente: SENAGUA 2012.

## 1.2. Condiciones generales de los ecosistemas acuáticos

La Demarcación Hidrográfica de Napo presenta condiciones de alta variabilidad altitudinal y climática. El punto más alto de la DHN corresponde a la cima del volcán Antisana con 5 758 metros de altitud, mientras el punto más bajo se encuentra en la llanura amazónica con un altitud aproximada de 219 metros. Del mismo modo las condiciones climáticas de la DHN son variables, con climas fríos en los páramos de la zona oeste de la DHN, clima templado en la zona media y clima tropical en la zona baja. La precipitación también tiene una variación espacial muy alta, se pueden registrar lluvias superiores a 6000 mm anuales en la zona del volcán el Reventador, y las zonas menos lluviosas ubicadas en los páramos de la zona oeste de la Demarcación con precipitaciones entre 1500 y 3000 mm anuales.

Estas condiciones climáticas y geográficas ha permitido la formación de una gran diversidad de ambientes acuáticos, conformados por lagunas, riachuelos, ríos, y zonas inundables (Figura 2). En la Demarcación se encuentra también la cascada más alta del Ecuador, la de San Rafael ubicada entre las provincias de Napo y Sucumbíos.



**Figura 2.** Diferentes ecosistemas acuáticos en la Demarcación Hidrográfica de Napo. Fotos: Juan Calles.

Los sistemas ecológicos de agua dulce se refieren a un conjunto de cuerpos de agua dulce (lagos, ríos, ciénagas, humedales, zonas inundables, etc.) que interactúan con zonas riparias o áreas inundables, dependen de diferentes regímenes ambientales, de intercambio de energía y dinámica de nutrientes que dentro de su dinámica espacial y temporal sostienen una variada comunidad biótica. Todos los sistemas ecológicos de agua dulce tienen asociada una cuenca hidrográfica que varía en su extensión espacial y que pueden ser jerárquicamente anidadas una dentro de otra, formando redes de drenaje que dependiendo de la escala, constituyen ecorregiones de agua dulce, unidades ecológicas de drenaje, Sistemas ecológicos de agua dulce y macro-hábitats. Bajo, esta perspectiva, puede afirmarse que la conservación de la biodiversidad de especies y comunidades de agua dulce es viable si se mantiene la integridad ecológica de todo el ecosistema de agua dulce en el que se encuentran (TNC, 2004), es decir de las unidades hidrográficas.

De acuerdo con Ward (1989), los sistemas ecológicos de agua dulce se diferencian fundamentalmente, de los ecosistemas terrestres, por su alta variabilidad en forma y por la naturaleza de su dinámica interna y externa. Los sistemas ecológicos de agua dulce por lo tanto experimentan frecuentes cambios tanto a escala espacial como temporal (p.e. cambios en el lecho del río y cambios en patrones estacionales de lluvias). Mientras que la dinámica interna de interacción de los componentes de estos sistemas, se manifiesta en 4 dimensiones: una dimensión longitudinal, una lateral, una vertical y una temporal (Figura 3).

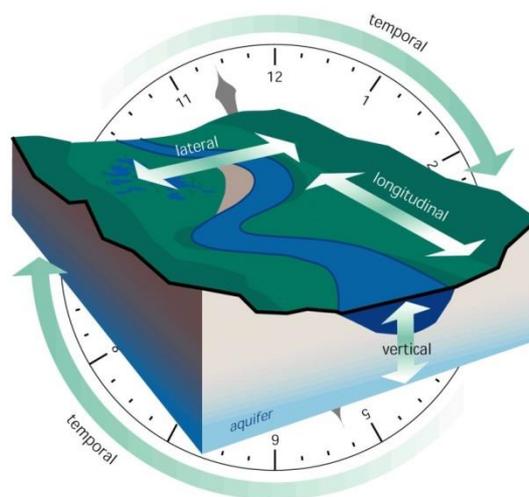


Figura 3. Dinámica de los sistemas ecológicos de agua dulce, dada en 4 dimensiones: longitudinal, lateral, vertical y temporal. Fuente: FISRWG 1998.

En la Dimensión Longitudinal, los sistemas ecológicos de agua dulce muestran patrones longitudinales en cuanto a sus variables bióticas y abióticas, es decir que se mantiene una dinámica continua desde el nacimiento de un río hasta su desembocadura, en donde las características geomorfológicas, de composición de suelos y régimen hidrológico son relevantes para la formación de diferentes tipos de hábitats físicos que serán los nichos de muchas especies de agua dulce, los cuales son producto de procesos como el transporte de sedimentos, escorrentía y patrones del régimen hidrológico (Ward J.V.1989) (Figura 4).

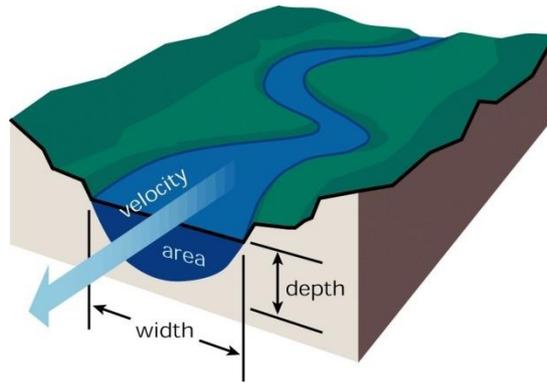


Figura 4. Dimensión longitudinal. Fuente: FISRWG 1998.

La **Dimensión Lateral** hace referencia a los movimientos activos y pasivos de organismos dentro del cauce principal y el sistema de planos inundables adyacente (bosques riparios y bosque inundables, meandros ciénagas, lagunas, etc.) y al intercambio de materia orgánica y nutrientes (Ward J. V., 1989). Esta dinámica lateral está influenciada por el régimen de caudal, sobre la composición, productividad y estados seccionales de la vegetación riparia, que a su vez influencia la morfología del canal, la temperatura acuática y el régimen de luz, la heterogeneidad del hábitat y la cantidad, calidad y secuencia temporal de entradas externar al sistema, las cuales son importantes para el desarrollo de la vegetación riparia (Ward J. V., 1989) (Figura 5).

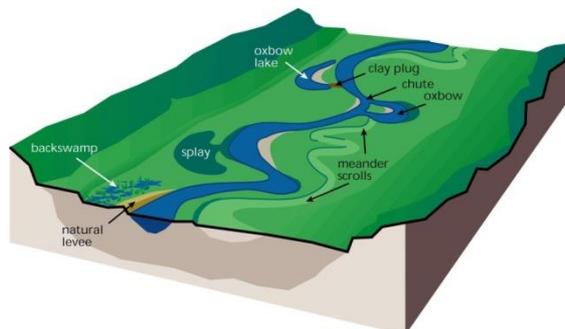


Figura 5. Dimensión lateral. Fuente: FISRWG 1998.

La **Dimensión Vertical** hace referencia a las significantes interacciones que ocurren entre las aguas superficiales y las aguas subterráneas, el movimiento de organismos, por ejemplo macroinvertebrados y la dinámica de procesos bioquímicos como el intercambio de carbón y otros nutrientes, son ejemplos típicos de interacciones entre estos (Ward, 1989) (Figura 6).

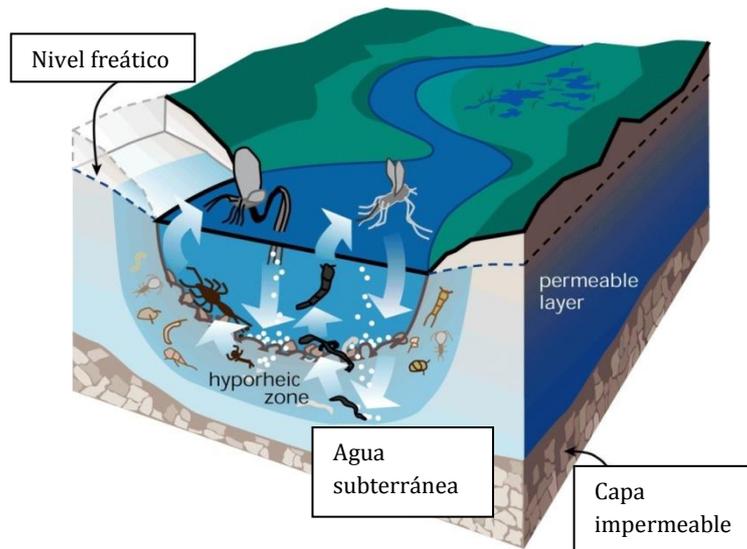


Figura 6. Dimensión vertical. Fuente: FISRWG 1998.

Por último, la **Dimensión Temporal** hace referencia a la importancia del régimen de flujo como variable maestra que interconecta las demás dimensiones, en el sentido que los cambios temporales hacen posible la ocurrencia de procesos de formación de hábitat y otros que están estrechamente relacionados con los ciclos de vida de diversas especies acuáticas de fauna y flora, como por ejemplo las épocas de migración de especies de peces y aves o, las épocas de formación de hábitat para la reproducción (Ward J. V.1989). La Figura 7 presenta un esquema representativo de la dimensión temporal.

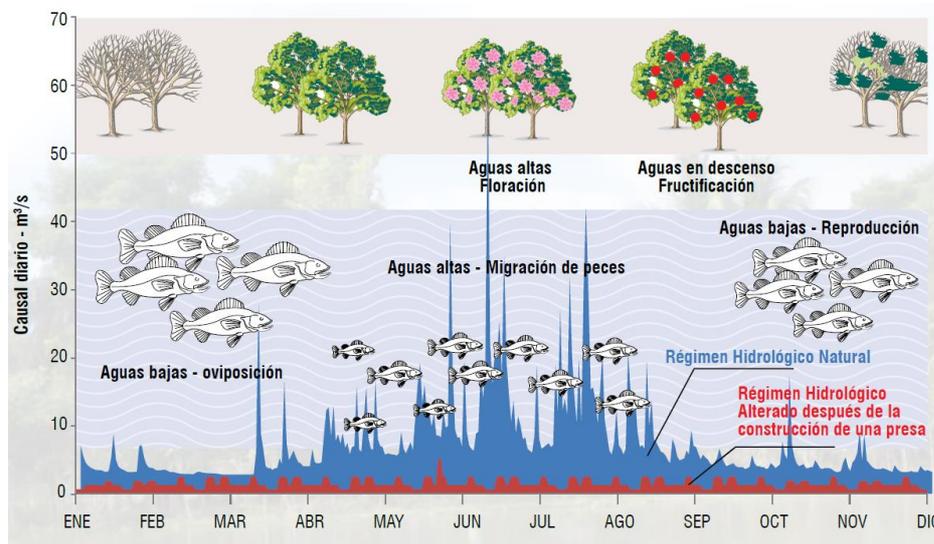


Figura 7. Dimensión temporal

En el estudio realizado en la cuenca del río Magdalena (Tellez *et al.*, 2011), indican que la integridad ecológica de los sistemas ecológicos acuáticos dependen de 6 atributos:

- 1) El régimen hidrológico, abarcando el régimen superficial, el agua subterránea, la inundación superficial y el régimen de humedad del suelo.

- 2) La conectividad longitudinal o el gradiente de continuidad aguas arriba y aguas abajo y la continuidad lateral o la continuidad hidráulica entre los planos inundables y la superficie adyacente.
- 3) Las condiciones del hábitat físico, es decir la morfológica del cauce que está influenciada por la acumulación de sedimentos y materia orgánica.
- 4) la composición y estructura biótica.
- 5) las interacciones entre especies y elementos del ecosistema, intercambios de energía y relaciones funcionales entre especies.
- 6) el régimen químico de agua (calidad), es decir, la salinidad, alcalinidad, dureza, temperatura, sales minerales, gases disueltos y turbiedad.

Estos seis atributos no solo definen el carácter específico de cada sistema, sino que también determinan la posible respuesta y resiliencia del mismo a la alteración de cada uno o de todos los atributos. La Figura 8 muestra un esquema de estos cinco atributos.



**Figura 8.** Atributos claves para la integridad ecológica de los sistemas ecológicos de agua dulce. Fuente: Tellez *et al.*, 2011.

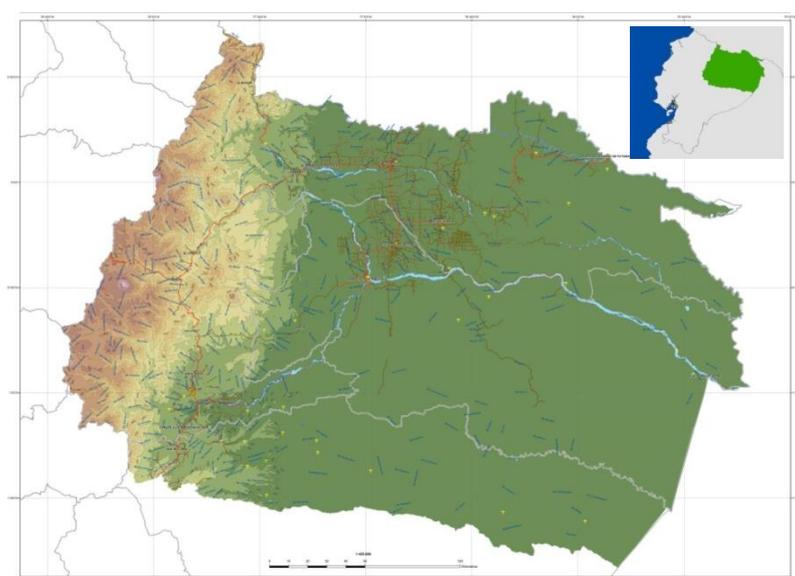
Para la zona alta de la cuenca del río Napo, del análisis realizado por Celi (2005) se determinó que los ecosistemas acuáticos son altamente vulnerables a los cambios en la cobertura vegetal y son afectados por los usos del suelo. Estos cambios pueden tener efectos sobre las condiciones de los hábitats de las especies y el mantenimiento de la calidad y cantidad del agua.

### 1.3. Área de estudio

La Demarcación Hidrográfica de Napo tiene una extensión de 65 260 km<sup>2</sup>, se ubica en la zona nororiental del Ecuador, y corresponde a aproximadamente el 25% de la superficie continental ecuatoriana. La Demarcación corresponde a las áreas administrativas de las provincias de Napo, Orellana, Sucumbíos, y parcialmente Pastaza (Figura 9). Se incluyen también pequeñas áreas de las provincias de Pichincha, y Carchi. Está conformada por la cuenca del río Napo (59 667 km<sup>2</sup>) y la cuenca del río San Miguel (5593 km<sup>2</sup>). Los principales ríos de la Demarcación son el Jatunyacu, Misahualli, Quijos, Coca, Napo, San Miguel, Aguarico, Cuyabeno, Tiputini y Yasuní. El río Napo es el más caudaloso de la Demarcación con un caudal máximo registrado en el mes de abril del año 2009 de 5 229 m<sup>3</sup>/seg (INAMHI, 2009).

Las principales ciudades ubicadas en la DH Napo son Francisco de Orellana (Coca), Nueva Loja (Lago Agrio) y Tena, la expansión de la explotación petrolera y la apertura de vías han permitido que la zona nor-occidental de la demarcación tenga un crecimiento poblacional importante. En la actualidad en la provincias de Napo, Sucumbíos, y Orellana, enteramente ubicadas en la Demarcación existe una población de 416 565 habitantes (INEC, 2011).

En el interior de la Demarcación se encuentran 10 áreas protegidas nacionales y alrededor de 23 bosques protectores. Las áreas de mayor importancia son el Parque Nacional Yasuní, Reserva de producción Faunística Cuyabeno, Parque Nacional Cayambe Coca, Parque Nacional Sumaco Napo-Galeras y Parque Nacional Llanganates. La diversidad biológica en la Demarcación está definida por la variación altitudinal que presenta desde los 5700 msnm en el volcán Antisana hasta los 210 msnm en las llanuras bajas amazónicas en la frontera con Perú. Esto permite la presencia de formaciones vegetales como páramos, bosques nublados, bosques montanos, bosques montanos bajos, y bosques húmedos tropicales. La importancia de la Demarcación para la conservación de la biodiversidad ha sido reconocida mundialmente por los altos niveles de biodiversidad registrados en zonas como el Parque Nacional Yasuní. Solo para el caso de peces, Barriga (2012), reconoce la presencia de un total de 618 especies para la zona correspondiente a la D.H. Napo.



**Figura 9.** Mapa base del área de estudio en la Demarcación Hidrográfica del Napo.

En la DH Napo se desarrollan los mayores campos de extracción petrolera del país, en fases de exploración y explotación. El inicio de la explotación petrolera en los años 60 y la posterior construcción del Oleoducto Transecuatoriano, permitió la construcción de las principales vías de acceso hacia la zona baja de la Demarcación siguiendo la ruta Quito-Papallacta-Baeza-Lago Agrio. La explotación petrolera ha definido los patrones de colonización y deforestación en la zona.

Desde la década de los 70's el país reconoció la importancia de la vertiente amazónica en el Napo para el aprovechamiento hidroenergético. Debido a diversas circunstancias, el alto potencial hidroenergético de esta vertiente no fue aprovechado a pesar de contar en muchos casos con estudios para su implantación. A partir del año 2007 se recuperaron las iniciativas para el aprovechamiento hidroenergético, y en el año 2009 se inició la construcción del proyecto Coca Codo Sinclair que será el mayor aprovechamiento hidroenergético del Ecuador con una potencia instalada de 1500 MW y un caudal de diseño de 222 m<sup>3</sup>/seg, este proyecto se ubica en la confluencia de los ríos Quijos y Salado en la zona media-alta de la Demarcación. El estado ecuatoriano tiene planeada la construcción de otros aprovechamientos hidroeléctricos en la vertiente amazónica como el proyecto Quijos y Dué.

En este año se ha conformado la Mancomunidad del río Dué, que pretende dotar de agua potable a las principales ciudades de la provincia de Sucumbíos y algunas de Orellana. Este proyecto busca la conducción de 1m<sup>3</sup>/seg desde el río Dué en el cantón Gonzalo Pizarro hacia las poblaciones ubicadas en la zonas baja de la microcuenca y que por diversas razones no cuentan con agua de buena calidad. En la actualidad se encuentra en fase de estudios para el desarrollo de este proyecto.

El desarrollo de aprovechamientos hidroenergéticos, el crecimiento poblacional y la industria petrolera ha provocado la conversión de miles de hectáreas de bosques en pastizales, cultivos y zonas industriales. Estas actividades han afectado a los ecosistemas acuáticos por su biodiversidad y también a los pobladores de la zona especialmente por contaminación relacionada a la actividad petrolera.

## **2) Objetivo General**

Definir un portafolio de sitios prioritarios para la conservación de biodiversidad de agua dulce y su respectiva base de datos, considerando como zona piloto de estudio la Demarcación Hidrográfica Napo.

## **3) Metodología**

El diseño del portafolio de sistemas de ecológicos de agua dulce para la Demarcación Hidrográfica del Napo (DN) constituida por las cuencas de los ríos Napo y San Miguel, se basa en la metodología original desarrollada por (Heiner y Higgins *et al.* 2010) para el río Yangtzé y adaptada por (Téllez, *et al.* 2011) para la cuenca del río Magdalena en Colombia.

El objetivo principal de este estudio es la selección de un conjunto de áreas prioritarias para la conservación y manejo de la biodiversidad y ecosistemas acuáticos, las cuales soportan elementos de biodiversidad de especies y elementos ecológicos representativos de la DH Napo.

Para esto, se tomarán en cuenta los siguientes criterios definidos y aplicados previamente en el estudio de (Heiner y Higgins et al. 2010):

- **Representatividad:** que indica el cumplimiento del objetivo de mantener una cantidad necesaria de elementos de biodiversidad para mantener su potencial ecológico y evolutivo en el tiempo. Los objetivos cuantitativos a menudo hacen referencia a los objetivos de representación. Se definen a los elementos de biodiversidad como la clasificación de ecosistemas acuáticos y se establecen los objetivos de representación como una fracción de la representación geográfica de cada tipo de ecosistema en la DH Napo.
- **Conectividad:** Seleccionar las cuencas y ríos que están longitudinalmente conectados y que permiten los procesos ecológicos que requieren conectividad longitudinal, como la migración de peces y los regímenes de transporte y sedimentación.
- **Condición ecológica:** Dentro de los límites de conocimiento y datos disponibles de información secundaria asegurarse que las cuencas y ríos seleccionados contengan elementos de biodiversidad con la mayor viabilidad relativa o integridad ecológica, medida a través de un índice de impacto humano.
- **Eficiencia:** El portafolio contiene la menor área y el número de sitios que cumplen con las metas de conservación de la biodiversidad.

Para diseñar el portafolio y cumplir con los criterios antes mencionados se completó en 3 fases, las cuales son:

#### **Recopilación de información.**

Se recopiló la información cartográfica disponible para la DH Napo principalmente la de carácter oficial proporcionada por la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), Secretaría Nacional de Planificación (SENPLADES), Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE), Instituto Geográfico Militar (IGM), CLIRSEN, Ministerio de Recursos No Renovables y del Sistema Nacional de Información. La información recopilada está integrada en una geodatabase y se trabajó en el sistema de coordenadas decimales con proyección WGS84. La información sobre biodiversidad se generó a partir de fuentes secundarias, publicaciones, monografías, bases de datos de museos, tesis. Los registros de biodiversidad se centraron en especies de aves acuáticas, peces y especies representativas de ecosistemas acuáticos como delfín de río, caimanes, y nutrias. La información se mantiene en una base de datos electrónica. Se determinó el estado de conservación de todas las especies con la información disponible de las Listas Rojas de la UICN.

#### **Reuniones con actores locales.**

Se realizaron 2 talleres a los se convocarán a diferentes actores cuya experiencia en ecología acuática, planificación territorial, manejo de recursos hídricos, y gestión ambiental permitirán orientar la selección de sitios prioritarios y definir las estrategias para la conservación de ecosistemas acuáticos en peligro. En el primer taller se presentó la metodología y en el segundo los resultados que se obtuvieron del estudio. Además, durante el desarrollo del estudio se mantuvo reuniones con los representantes del Ministerio del Ambiente, SENAGUA, SENPLADES y TNC.

#### **Selección de sitios para la representación de los ecosistemas.**

Mediante un análisis por medio de sistemas de información geográfica (SIG) se identificarán un conjunto de unidades hidrográficas para la definición de los portafolios. Este análisis

comprenderá tres pasos: (i) desarrollar un marco de trabajo basado en la metodología desarrollada por (Higgins, Bryer et al. 2005) para clasificar ecosistemas acuáticos basados en las características biogeográficas y los factores abióticos; (ii) identificar el área activa de inundación mediante las metodologías desarrolladas por (Smith, Schiff et al. 2008 y Stranger, Yuill et al. 2000) al ser este un componente importante en el análisis y que permite incluir la dimensión lateral de los ríos; (iii) desarrollar dos índices: el primero de la condición ecológica y el segundo del grado de amenaza, ambos por cada unidad hidrográfica en el sistema a través del análisis de la información espacial de las condiciones abióticas y bióticas; así como de los actuales y futuros impactos por la acción humana; y (iv) seleccionar y priorizar las unidades hidrográficas y ríos a conservar a través de un análisis multicriterio que en combinación con los talleres con expertos permitirá alcanzar los objetivos de representatividad de los ecosistemas en una configuración que optimizará la condición ecológica y la conectividad longitudinal. En la Figura 10 se muestra de manera esquemática la metodología que se utilizó.

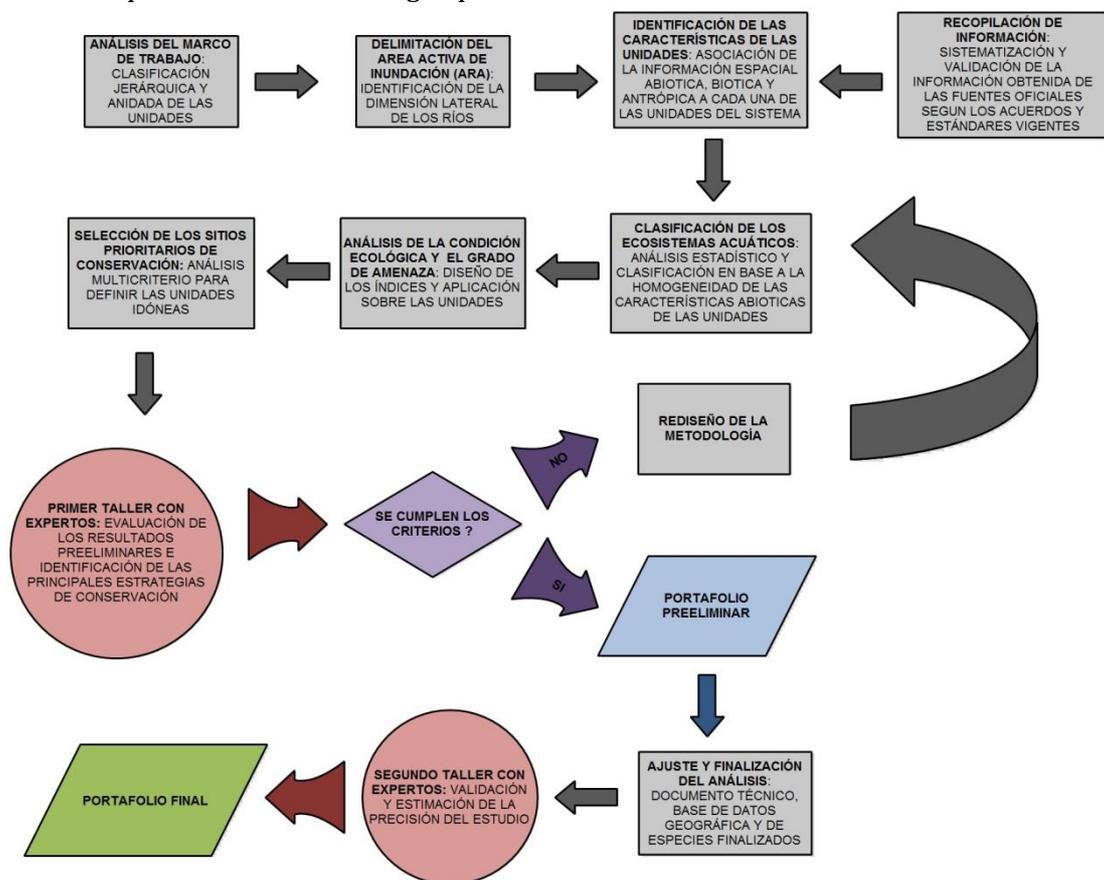


Figura 10. Flujograma de la metodología planteada

### 3.1. Descripción de la metodología

Se describe a continuación las operaciones realizadas para obtener el portafolio de sitios prioritarios para la conservación de ecosistemas acuático para la DH Napo:

#### 3.1.1. Definición de unidades hidrográficas de análisis.

Con el fin de disponer de un marco de análisis para modelar los sistemas ecológicos, se empleó la delimitación mediante cuencas hidrográficas ya que es un procedimiento que permite establecer diferentes niveles de análisis al establecer vínculos de agregación entre las unidades cuando se cambian las escalas de análisis.

La metodología empleada consistió en los siguientes pasos:

### Clasificación por tamaños

Se empleó el sistema desarrollado por Otto Pfafstetter (Pfafstetter 1989) que permite establecer de acuerdo a los niveles de análisis una jerarquía por tamaños al realizar divisiones sucesivas de las cuencas hidrográficas (cada nivel subdivide una cuenca del nivel anterior en 9 ó 10 subcuencas). Asimismo, esta metodología permite codificar las unidades e identificar fácilmente las intercuenas, las cuencas cabeceras, las cuencas cerradas y las cuencas de cierre en la unidad.

Al disponer de las delimitaciones por Pfafstetter para los niveles 1, 2, 3, 4, 5 y 6, el cual fue un trabajo realizado por la (SENAGUA 2012), se procedió a revisar estas capas de información para verificar la consistencia de las unidades con la cartografía base. Del análisis se pudo observar algunas discrepancias entre la hidrografía (IGM 2011) y la divisoria de agua de algunas unidades. La siguiente figura es un ejemplo de estos errores:

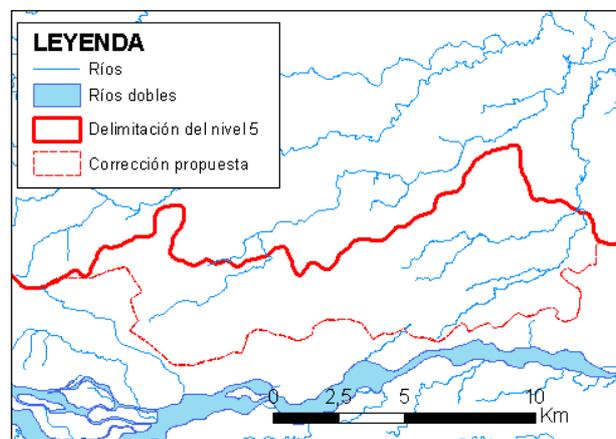


Figura 11. Sección del nivel 5 donde se muestra la inconsistencia entre la hidrografía y el límite de la unidad hidrográfica

Para corregir estos errores se editaron manualmente las coberturas, tomándose como referencia al modelo digital de elevaciones SRTM de 90 metros y observándose que los límites de las unidades estén trazados sobre las divisorias de aguas. Las correcciones se realizaron sobre los niveles 4, 5 y 6.

A pesar de que el nivel 6 es un nivel bastante detallado en la metodología de Pfafstetter se observó que el rango en la superficie de las unidades era bastante heterogéneo, abarcando superficies de 9 a 7577 km<sup>2</sup> lo que dificultaba utilizar este nivel en el análisis. Por ello, se procedió a delimitar unidades en el nivel 7 para lo cual se siguió el procedimiento metodológico descrito por (Rosas, 2009) para la obtención de las unidades hidrográficas según la metodología Pfafstetter. Se omitieron 5 unidades del nivel 6 ya que sus superficies eran muy pequeñas (inferiores a 10 km<sup>2</sup>) por lo que no tienen codificación para el nivel 7 en la capa de información creada. Los resultados de las superficies de las unidades fueron también muy heterogéneos, abarcando un rango que va desde los 2,7 hasta los 1522,1 km<sup>2</sup>.

Debido a los resultados antes mencionados, se consideró necesario crear un nivel que permita obtener unidades con superficies más homogéneas que faciliten el manejo y priorización en el portafolio. Por ello, se decidió crear una cobertura de unidades, cuyo rango de superficies varía

entre los 10 y 75 km<sup>2</sup>. Estas unidades están relacionadas e integradas por el código a las unidades ya delimitadas con el método de Pfafstetter.

El procedimiento metodológico empleado para crear la cobertura de unidades de análisis se resume en los siguientes puntos:

- Revisión y corrección de la red hídrica 1:50.000 del mapa base del (IGM 2011). Para ello se completaron los segmentos incompletos mediante la incorporación de la red hídrica 1:250.000 del (IGM 2011); y mediante digitalización directa se eliminaron o incorporaron los segmentos redundantes o ausentes.
- Corrección hidrológica del modelo digital de elevaciones SRTM de 90 metros. Con la red hídrica revisada se realizó la operación de optimización la cual consistió en excavar los canales de la red hídrica en el modelo digital de elevaciones para que el modelo de escurrimiento calculado posteriormente y usado en la delimitación de cuencas reconozca la hidrografía del mapa base. Los parámetros utilizados para la corrección mediante la cobertura de ríos (líneas) fueron los siguientes: 1) Distancia de influencia desde el centro del canal: 180 metros; 2) Excavación suavizada: 15 metros; y 3) Excavación abrupta: 8 metros. Los parámetros utilizados para la corrección de ríos dobles (polígonos) fue la siguiente: Excavación abrupta: 8 metros
- Delimitación automática de cuencas hidrográficas. Constituyó la aplicación del método tradicional el cual considera: 1) el rellenado de sumideros en el modelo digital de elevaciones; 2) cálculo de la dirección de flujo; 3) cálculo de la acumulación de flujo; 4) extracción de la red de drenaje (el umbral de cálculo alcanzó los 1111 píxeles ó 9.8 km<sup>2</sup>); 5) ordenamiento de la red de drenaje; y 6) extracción de cuencas (o unidades de análisis en este caso)
- Ajuste topológico de los límites y codificación de las cuencas con los niveles de Pfafstetter. Se unieron las coberturas de los niveles con las unidades de análisis para asignar la codificación respectiva. Las inconsistencias entre los límites fueron eliminados por el método de borde y por digitalización directa considerando que no deben existir superficies menores a 10 km<sup>2</sup>. En superficies mayores a 75 km<sup>2</sup> se dividieron las unidades en dos o tres según el caso. Finalmente, para que los límites se puedan ajustar lo más posible con los niveles de Pfafstetter, se aplicó un algoritmo de ajuste topológico el cual permitió forzar los límites de la cobertura de unidades de análisis para ajustarlos con los límites de los niveles de Pfafstetter.

### **3.1.2. Definición del área activa del río (ARA)**

La delimitación del área activa de los ríos (ARA) es un procedimiento realizado por TNC cuya metodología está basada en los trabajos de (Smith, Schiff et al. 2008) y (Stranger, Yuill et al., 2000). El ARA es fundamental para determinar las zonas de inundación que permiten la conectividad lateral de los ríos, especialmente en las zonas de llanura amazónica. Es calculado a partir de los modelos digitales de elevación y toma según el documento técnico de TNC (Smith, Schiff et al. 2008) algunos criterios tales como: valores de distancia – costo desde el río hacia las periferias, pendientes menores al 2%, valores elevados de humedad según el índice de topográfico de humedad y la elevación relativa.

Posterior al cálculo del ARA (el cual fue realizado por TNC), se realizaron conversiones raster – vector y se asociaron los polígonos aislados y de superficies despreciables a los polígonos de mayor dimensión.

Finalmente, se generalizó las categorías del ARA a una sola, esto porque la información original considera distintos tipos de ARA según las características de los ríos. Para el análisis se requiere contar con un ARA unificado para calcular su presencia en las unidades de análisis (Figura 12).

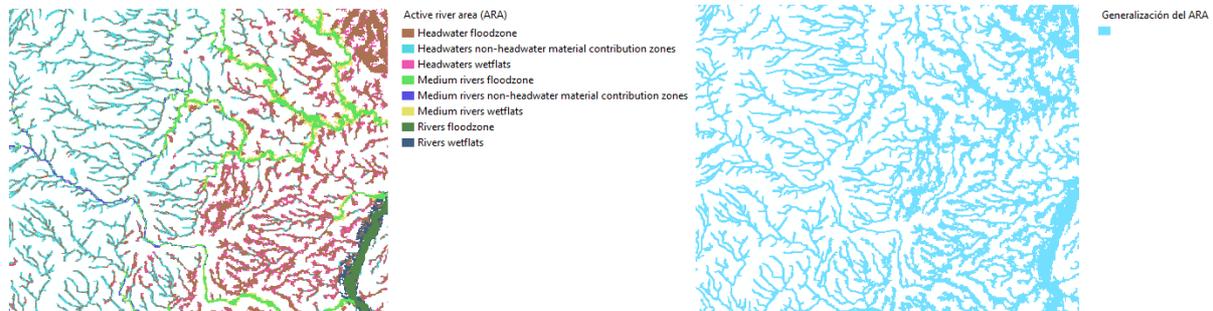


Figura 12. Izquierda, Área activa del río (ARA) de acuerdo a sus tipos, y derecha el ARA generalizada a una sola categoría.

### 3.1.3. Clasificación de sistemas ecológicos

Para poder identificar cuales eras las unidades que por sus características bióticas, abióticas y antrópicas se asemejaban entre sí se utilizó el método denominado “Hierarchical Clustering on Principal Components” (Husson, Josse et al. 2010). Este procedimiento se lo realizó en el software estadístico R (R Development Core Team 1997) y con el paquete FactoMineR (Husson, Josse et al. 2012), el cual permite no solo clasificar las unidades sino también realizar una serie de gráficas para facilitar la interpretación.

Entre las variables utilizadas para la clasificación de las unidades se mencionan las siguientes (en paréntesis se indican los prefijos usados):

1. Geología (G#), categoría períodos geológicos. Se tomó como valor el porcentaje de pertenencia de la formación en la unidad. Los nombres de los prefijos fueron:

	Edad	Prefijo
GEOLOGIA	Cenozoico	G1
	Cretáceo	G2
	Cretáceo/Paleoceno	G3
	Cuaternario	G4
	Eoceno	G5
	Jurásico	G6
	Jurásico/Cretáceo	G7
	Mioceno	G8
	Mioceno/Plioceno	G9
	Oligoceno/Mioceno	G10
	Paleozoico	G11
	Plioceno/Cuaternario	G12
	Triásico	G13

2. Geomorfología (Gm#), categoría formas de relieve. Se tomó como valor el porcentaje de pertenencia de la forma de relieve en la unidad.

	Forma de relieve	Prefijo
GEOMORFOLOGIA	ABANICO ALUVIAL	Gm1
	CHEVRONES	Gm2
	COLINAS	Gm3
	CUESTAS	Gm4
	EDIFICIOS VOLCANICOS	Gm5
	MESETAS	Gm6
	PLANICIES	Gm7
	RELIEVES MONTAÑOSOS	Gm8
	TERRAZAS	Gm9
	VERTIENTES	Gm10
	CUERPOS DE AGUA	Gm11

3. Promedio de la altitud, valor en m.s.n.m (Alt\_mean). que se calculó para cada unidad a partir del modelo digital de elevaciones.
4. Rango altitudinal, valor en en m.s.n.m (Alt\_range). que se calculó para cada unidad a partir del modelo digital de elevaciones.
5. Presencia de glaciares (Glaciar), categoría obtenida a partir del mapa de cobertura de suelo y que constituye el porcentaje de presencia en cada unidad.
6. Índice ombrotérmico (Ombr), que se calcula dividiendo la precipitación total media anual para la temperatura media anual, permitiendo por ello medir la disponibilidad relativa y efectiva del monto anual de la precipitación en relación a las temperaturas media anuales (MAE, 2012). Las categorías que se asignaron a cada unidad en función de su pertenencia significativa por lo que se utilizó la funcion majority que asigna una categoría a cada unidad en función de la presencia dominante por superficie en la unidad.
7. Promedio de temperatura mínima (Tmin\_mean), valor en grados centígrados que se calculó para cada unidad a partir de los insumos usados en el mapa de vegetación.
8. Densidad de drenaje (Dren\_dens), que fue calculado en función de la longitud de los ríos de cada unidad para la superficie total de la unidad. Su valor está representado como: km/km<sup>2</sup>.
9. Densidad de nodo (Nodos\_dens), constituye el número de confluencias de ríos dividido para la superficie total de la unidad. Su valor está representado como: # de confluencias/ km<sup>2</sup>
10. Sinuosidad (Sinuousity), constituye un valor que expresa cuan rectilíneos o no, son los ríos en cada unidad.
11. Pendientes (Pend\_maj), las cuales están reclasificas y codificadas según los siguientes rangos:

Clase	Pendiente (%)
1	0 - 0.02
2	0.02 - 0.1
3	0.1 - 0.25
4	0.25 - 0.5
5	0.5 - 2
6	2 - 4
7	4 - 10
8	>10

Se utilizó la función majority para definir el rango que mejor defina el carácter en la unidad ya que en algunos casos existía más de un rango.

12. Curvatura (Curv\_max), que es un índice calculado a partir del modelo digital de elevaciones y que permite diferenciar las áreas de valles, llanuras, vertientes y cimas de montañas. Su valor no representa una magnitud específica.

A pesar de que algunas de estas variables son similares entre sí y estadísticamente correlacionadas; el método seleccionado para la clasificación utiliza componentes principales, razón por la cual el conjunto de variables (que con todas las categorías sumó 35) se redujeron a 21 componentes principales, los cuales resumen casi toda la información y eliminan la redundancia de los datos.

Se escogió este determinado número de componentes principales debido al resultado del análisis de representatividad, obteniéndose que con 21 componentes se lograba representar el 90% de la información, según lo muestra el siguiente gráfico (Figura 13):

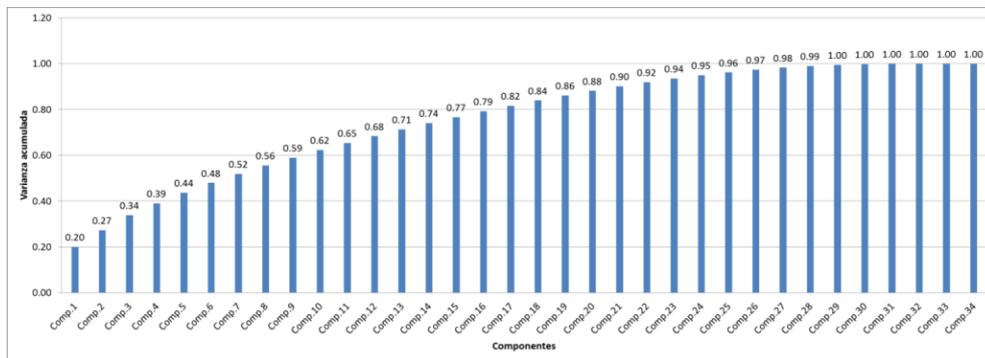


Figura 13. Varianza acumulada de acuerdo al número de componentes principales

Conociendo el número adecuado de componentes, se procedió a evaluar el número de clusters<sup>1</sup> que definen los sistemas ecológicos, los cuales son mejor explicados en la Figura 14:

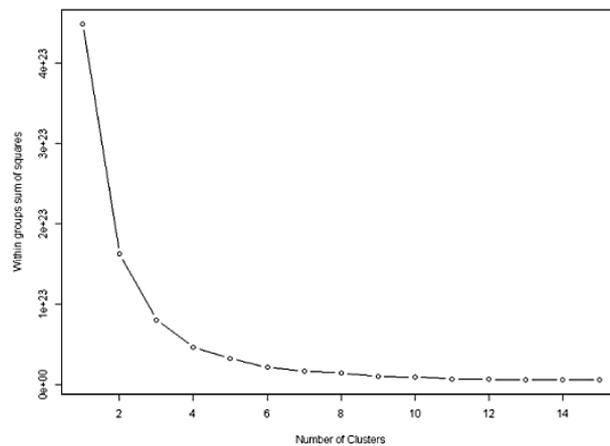


Figura 14. Representatividad (medida como sumas de cuadrados) de los clusters (sistemas ecológicos) según el número.

A partir de la identificación del punto de quiebre de la pendiente en el gráfico, el número adecuado de clusters puede ser de 3 ó 4, ya que a partir de este punto los clusters tienden a parecerse entre sí siendo por ello poco representativos.

Con estos análisis, se realizó la calibración del modelo de clasificación jerárquica. A pesar de que el número adecuado de clusters fue definido en 4, se realizaron ensayos con otras configuraciones para obtener hasta 8 clusters. Se muestran a continuación algunos de los resultados (Figura 15):

<sup>1</sup> Este término se refiere al conjunto de unidades que estadísticamente son similares entre sí y que pueden ser agrupadas como un sistema ecológico. Solamente en este trabajo, puede entenderse también a este término como un sinónimo de sistema ecológico.

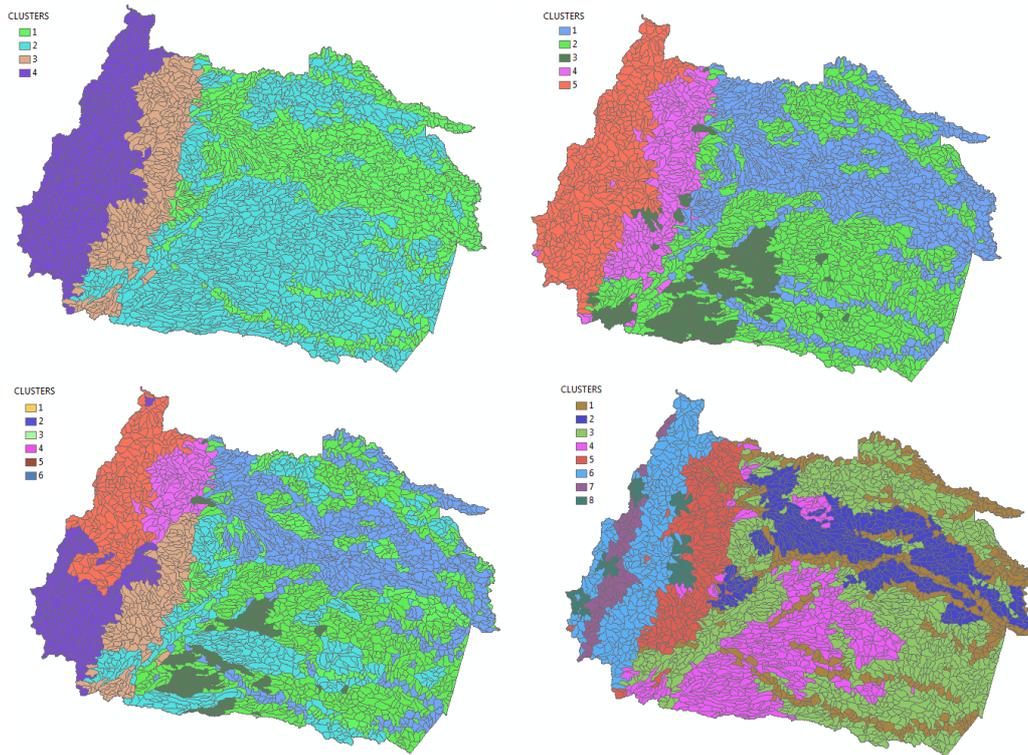


Figura 15. Resultados de la clasificación jerárquica por clusters, casos para 4, 5, 6 y 8 clusters

Observándose los casos, se concluyó que el resultado para 4 clusters era el que mejor representaba la clasificación de sistemas ecológicos, esto porque expresa de mejor manera la variabilidad paisajística de la Demarcación si se toma en cuenta las grandes regiones geomorfológicas.

Se distingue por ello los siguientes Sistemas Ecológicos: 1) Zonas inundables en la cuenca del río Napo y el Curaray; 2) Relieves colinados de la llanura Amazónica; 3) Pie de monte andino-amazónico; y 4) Región Andina. La similitud y coherencia que guardan con las grandes regiones geomorfológicas y climáticas permiten asociar que los clusters diferencian también zonas biogeográficas y por tanto sistemas ecológicos diferenciados.

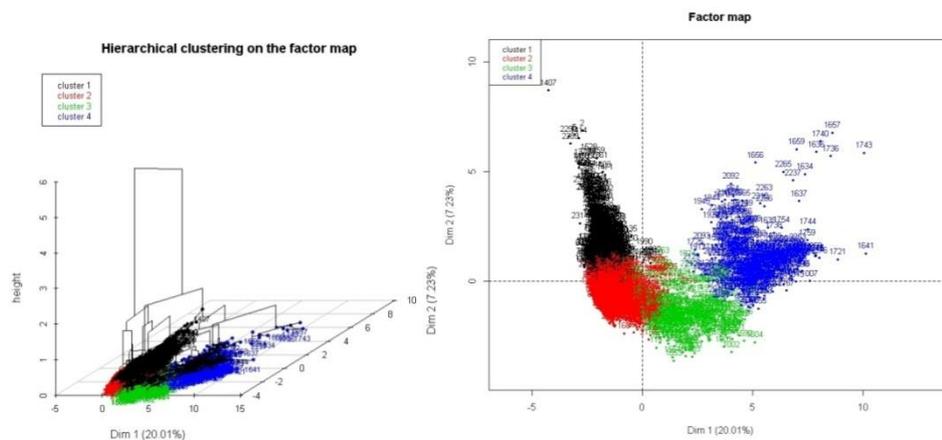


Figura 16. Mapas estadísticos de la clasificación jerárquica para 4 clusters

Estos dos son mapas estadísticos (Figura 16) donde los puntos coloreados representan las unidades de análisis y su pertenencia al cluster respectivo. Ambos mapas usan los componentes principales 1 (eje x) y 2 (eje y) para generar un plano cartesiano, donde se puede observar que el cluster 4, por ejemplo, se relaciona más en sentido positivo con los componentes 1 y 2; a diferencia del cluster 2 que lo hace en sentido negativo. Por ello, la diferencia entre el cluster 4 (Región Andina) y 2 (Relieves colinados de la llanura Amazónica) es relativamente alta.

En función de estos resultados se pueden describir las características de los sistemas ecológicos pero para facilitarlos se han tomado en cuenta las variables sin su transformación a componentes principales. Para poder hacer esto, se identificó los centros estadísticos de cada cluster los cuales son unidades específicas para cada cluster y que son las que mejor expresan las características de los sistemas ecológicos clasificados. Para observarlo mejor, el siguiente gráfico muestra todas las variables por cada sistema ecológico clasificado (Figura 17):

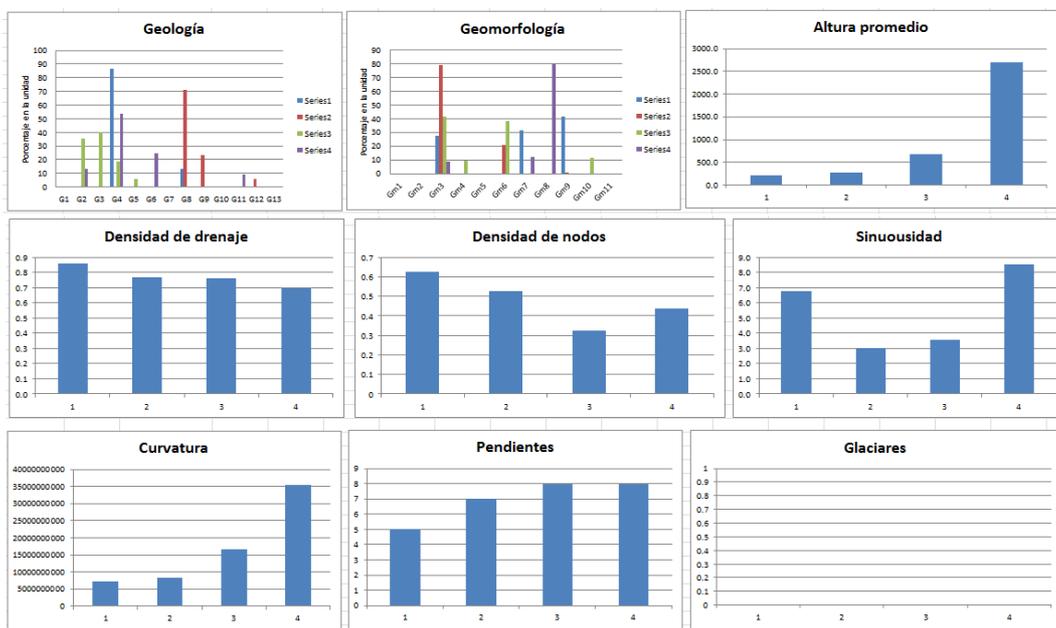


Figura 17. Resultados de las variables para las unidades representantes de cada sistema ecológico

Es importante indicar que con la variable “glaciares” los valores son nulos, esto no significa que no existan en la Demarcación, sino que estas condiciones particulares fueron generalizadas por la clasificación en 4 clúster.

### 3.1.4. Condición ecológica de las unidades

Para el análisis de la condición ecológica se diseñó y adaptó diferentes índices tanto aplicados en el portafolio del río Magdalena (Téllez *et al.*, 2011) como en otros ejercicios de priorización de cuencas realizados en diferentes lugares como República Dominicana (Urania, 2001) y el archipiélago de Hawaii (Marine and Coastal Solutions International, 2009).

Se consideró para evaluar la condición ecológica 3 variables, las cuales se describen a continuación (en paréntesis los prefijos usados en los shapefiles<sup>2</sup>):

13. Porcentaje cubierto por vegetación natural en el sistema (pc\_sis\_vn), que como su nombre lo indica, muestra la remanencia de cobertura vegetal natural en el sistema. La fórmula empleada fue:

$$\text{Porcentaje cubierto por vegetación natural en el sistema} = \text{superficie cobertura vegetal} * 100 / \text{superficie total de la unidad.}$$

14. Porcentaje cubierto por el área activa de río (ARA) en el sistema (pc\_ARA), que representa el área activa del río en la unidad. La fórmula empleada fue:

$$\text{Porcentaje cubierto por el área activa de río (ARA) en el sistema} = \text{superficie del ARA} * 100 / \text{superficie total de la unidad}$$

15. Porcentaje cubierto por vegetación natural en área activa del río (ARA) dentro del sistema (pc\_ARA\_vn), que es la remanencia de cobertura vegetal dentro el área activa del río en la unidad. En esta variable se eliminan del ARA las áreas de cuerpos de agua y otras coberturas que no implican intervención. La fórmula empleada fue:

$$\text{Porcentaje cubierto por vegetación natural en área activa del río (ARA) dentro del sistema} = \text{superficie cobertura vegetal en el ARA} * 100 / \text{superficie total del ARA}$$

Estas tres variables se definieron en un principio para evaluar la condición ecológica de las unidades en el sistema, sin embargo después de varios ensayos se decidió eliminar la variable “Porcentaje cubierto por el área activa de río (ARA) en el sistema (pc\_ARA)” ya que estadísticamente esta correlacionada con la variable del “Porcentaje cubierto por vegetación natural en área activa del río (ARA) dentro del sistema (pc\_ARA\_vn)” y esto generaba que el resultado final tenga una tendencia de selección hacia las unidades con mayores ordenes de ríos según Stralher, desequilibrando por ello la evaluación de la condición ecológica. Es decir las zonas bajas aparecían como en mejor condición sin que esto reflejara las condiciones ecológicas que se observaban.

Con las dos variables restantes se procedió a asignar una ponderación tomando en cuenta las discusiones al interior del equipo técnico para establecer los valores. Las ponderaciones que se definieron fueron las siguientes:

VARIABLES	PONDERACION
Porcentaje cubierto por vegetación natural en el sistema (pc_sis_vn)	0,4
Porcentaje cubierto por vegetación natural en área activa del río (ARA) dentro del sistema (pc_ARA_vn)	0,6
<b>Sumatoria</b>	<b>1</b>

<sup>2</sup> Es un término que se refiere a una capa de información geográfica que bien puede ser de puntos, líneas o polígonos, todos ellos georeferenciados en un sistema de coordenadas

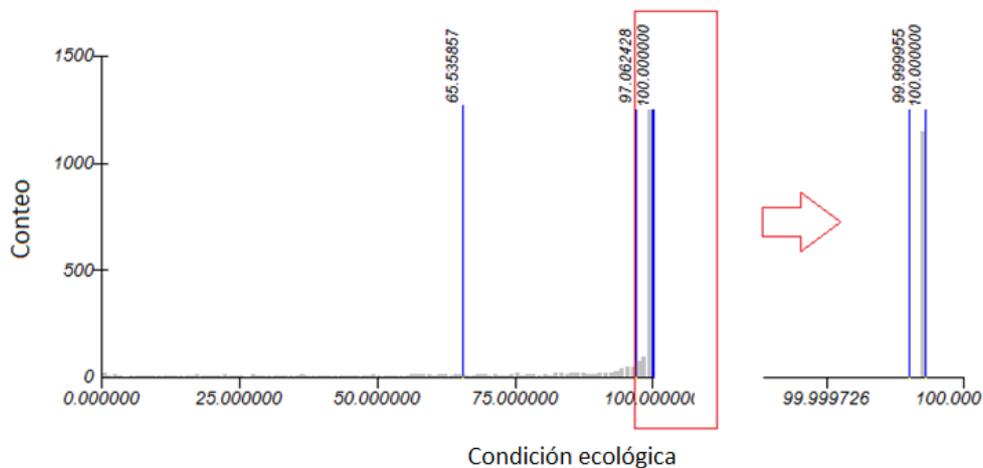
Con estos valores se elaboró posteriormente el índice de condición ecológica el cual empleó la siguiente fórmula:

**Índice de condición ecológica (c\_eco)** = (Porcentaje cubierto por vegetación natural en el sistema\*0,4) + (Porcentaje cubierto por vegetación natural en área activa del río (ARA) dentro del sistema \*0,6).

Para este resultado, se normalizaron los valores de 0 a 100 para poder mantener una misma escala y facilitar la interpretación de los mismos. Las operaciones de normalización indican en la siguiente fórmula:

**Normalización en un rango de 0 a 100** = Valor obtenido para cada unidad \* 100 / Valor máximo alcanzado por una unidad en la variable a normalizar.

Finalmente, para poder clasificar los valores obtenidos en 4 rangos que expliquen la condición ecológica se utilizó la metodología denominada clasificación por cuantiles ya que esta permite una mejor observación de los mínimos cambios en los valores extremos y medios en una distribución asimétrica. El siguiente gráfico muestra el histograma obtenido para la condición ecológica en donde se pueden observar el carácter asimétrico negativo de la distribución (la mayor frecuencia se registró en el lado derecho de la distribución donde se encuentran los valores de 90 a 100 en el índice) y los cortes (líneas azules) que se realizaron para obtener los rangos:



Es por este método que los rangos obtenidos para la condición ecológica representan la siguiente información:

Condición ecológica (categoría nominal)	Rango en el índice	Rango cubierto por las variables	
		Porcentaje cubierto por vegetación natural en el sistema	Porcentaje cubierto por vegetación natural en área activa del río (ARA) dentro del sistema
Mala	0 - 65	0 - 56 %	0 - 71 %
Regular	65 - 97	56 - 98 %	71 - 97 %
Buena	97 - 99	98 - 99 %	97 - 99 %
Excelente	99 - 100	99 - 100 %	99 - 100 %

### 3.1.5. Grado de amenaza de las unidades

En la evaluación de las amenazas se consideraron 10 variables, tomándose en cuenta las particularidades de la región amazónica en el Ecuador y de la Demarcación en particular. A continuación se nombran las que se utilizaron (en paréntesis los prefijos usados):

**1.- Índice hidroeléctricas (ind\_hidro)**, que constituye la operación de las características de cada punto georeferenciado de las hidroeléctricas por unidad de acuerdo a la siguiente fórmula:

**Índice hidroeléctricas** =  $(\sum \text{del número de hidroeléctricas "construidas" en la unidad} * \sum \text{de la potencia en MW de las hidroeléctricas "construidas" en la unidad}) + (\sum \text{del número de hidroeléctricas "en construcción" en la unidad} * \sum \text{de la potencia en Mw de las hidroeléctricas "en construcción" en la unidad}) + \{(\sum \text{del número de hidroeléctricas "planificadas" en la unidad} * 0.5) * \sum \text{de la potencia en Mw de las hidroeléctricas "planificadas" en la unidad}\}$

**2.- Densidad de vías carrozables en el sistema (dns\_vias)**, medida en km/km<sup>2</sup> indica la presión ejercida por caminos de primer y segundo orden (vías pavimentadas y lastradas) en la unidad. La operación realizada responde a la siguiente fórmula:

**Densidad de vías** = longitud de vías (km) / superficie total de la unidad (km<sup>2</sup>)

**3.- Porcentaje ocupado por áreas urbanizadas en el sistema (pc\_urb)**, que indica el porcentaje de cobertura de suelo utilizado por las áreas urbanas en la unidad. La fórmula empleada:

**Porcentaje ocupado por áreas urbanizadas en el sistema**=superficie urbanizadas \* 100 / superficie total de la unidad .

**4.- Población urbana en el sistema (pobl\_urb)**, indica la población urbana en la unidad. El dato se obtuvo del censo 2010 de la cobertura de sectores amanzanados (INEC). No se aplicaron fórmulas para esta variable.

**5.- Porcentaje ocupado por agricultura de alta intensidad en el sistema (pc\_agA)**, que constituye el porcentaje de cobertura de suelo utilizado por cultivos agrícolas permanentes (por ejemplo los cultivos de palma) en la unidad.

**Porcentaje ocupado por agricultura de alta intensidad en el sistema**=superficie de agricultura de alta intensidad \* 100 / superficie total de la unidad

**6.- Porcentaje ocupado por agricultura de baja intensidad en el sistema (pc\_agB)**, que constituye el porcentaje de cobertura de suelo utilizado por pastizales y mosaicos agropecuarios en la unidad.

**Porcentaje ocupado por agricultura de baja intensidad en el sistema**= superficie de agricultura de baja intensidad \* 100 / superficie total de la unidad

**7.- Porcentaje ocupado por agricultura de alta intensidad en el área activa del río (ARA) dentro del Sistema (pc\_ARA\_agA),** que es porcentaje de cobertura de suelo utilizado por cultivos agrícolas permanentes en el área activa del río dentro de la unidad

**Porcentaje ocupado por agricultura de alta intensidad en el área activa del río (ARA) dentro del Sistema**=superficie de agricultura de alta intensidad en el ARA \* 100 / superficie total del ARA.

**8.- Porcentaje ocupado por agricultura de baja intensidad en el área activa del río ó ARA dentro del Sistema (pc\_ARA\_agB),** que es porcentaje de cobertura de suelo utilizado por pastizales y mosaicos agropecuarios en el área activa del río dentro de la unidad

**Porcentaje ocupado por agricultura de baja intensidad en el área activa del río (ARA) dentro del Sistema**=superficie de agricultura de baja intensidad en el ARA \* 100 / superficie total del ARA.

**9.- Índice de minería (ind\_min),** que constituye la operación de las características de la información asociada a cada polígono georeferenciado del catastro minero por unidad de acuerdo a la siguiente fórmula:

**Índice minería** =  $\sum$  de todos los tipos de concesiones por unidad +  $\sum$  de las concesiones que explotan minerales tipo “materiales de construcción” +  $\sum$  de las concesiones que explotan minerales tipo “metálicos” +  $\sum$  de las concesiones que explotan minerales tipo “metálicos, no metálicos” +  $\sum$  de las concesiones que explotan minerales tipo “no metálicos” + porcentaje de área cubierta por la concesión minera en el sistema

**10.- Índice petrolero (ind\_petr),** que es la operación de las características de las coberturas asociadas a la explotación petrolera por cada unidad, de acuerdo a la siguiente fórmula:

**Índice petrolero** = Porcentaje de superficie relativa ocupada por los pozos petroleros en la unidad +  $\sum$  de los pozos petroleros por unidad +  $\sum$  de pasivos por unidad + Densidad tuberías de transporte de hidrocarburos

Donde: Porcentaje de superficie relativa ocupada por los pozos petroleros en la unidad =  $\sum$  del área de influencia (50 metros de radio) de cada pozo \* 100 / superficie de la unidad

Siendo:  $\sum$  de pasivos por unidad =  $\sum$  piscinas de formación por unidad +  $\sum$  aguas de formación por unidad

Y donde: Densidad tuberías de transporte de hidrocarburos = (Longitud de tuberías tipo “gas” por unidad + Longitud de tuberías tipo “petroleo” por unidad + Longitud de tuberías tipo “otros” por unidad + Longitud de tuberías tipo “sin información” por unidad) / superficie de la unidad

Las 10 variables utilizadas fueron en todos los casos (excepto los porcentajes calculados directamente) normalizadas siguiendo la misma fórmula usada previamente con la condición

ecológica, es decir transformando los valores en rangos de 0 al 100 tomando en cuenta el valor máximo en la variable. Esto permitió transformar todos los valores obtenidos a una misma magnitud adimensional, de valores escalados y comparables entre sí.

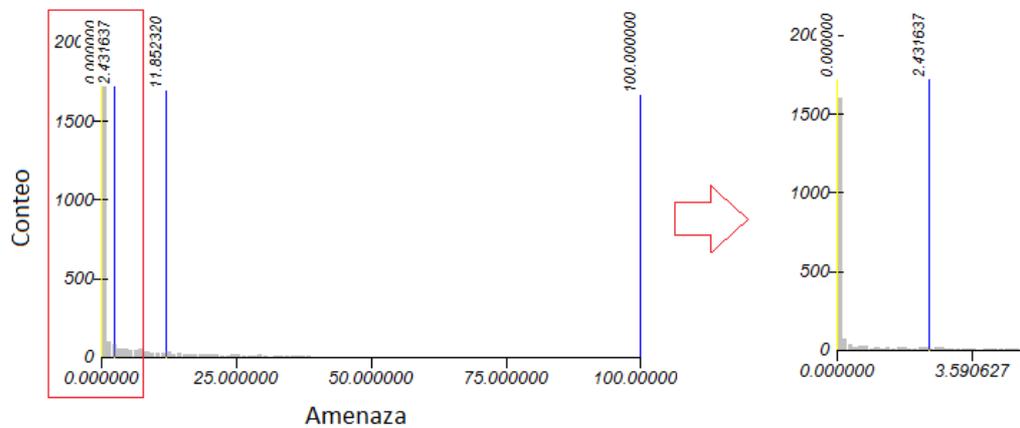
Para establecer el Índice de amenazas considerando las 10 variables previamente indicadas, se realizó una ponderación de importancia de cada una de las variables que fue discutida con el equipo técnico. Se estableció una valoración relativa para definir la importancia de cada una de las variables. Con esta valoración se aplicó la metodología de jerarquías analíticas desarrollado por Satty la cual permite obtener los valores de la ponderación de manera que estos representen la jerarquía definida en la discusión. Las ponderaciones que se asignaron se resumen en el siguiente cuadro:

VARIABLES	VALORACION	PONDERACION
Porcentaje ocupado por agricultura de ALTA intensidad en el sistema (pc_agA)	5	0,142857143
Densidad de vías carrozables en el sistema (dns_vias)	5	0,142857143
Porcentaje ocupado por agricultura de ALTA intensidad en el area activa del rio (ARA) dentro del Sistema (pc_ARA_agA)	4	0,114285714
índice hidroelectricas (ind_hidro)	3	0,114285714
Porcentaje ocupado por áreas urbanizadas en el sistema (pc_urb)	4	0,114285714
Población urbana en el sistema (pobl_urb)	4	0,085714286
Porcentaje ocupado por agricultura de BAJA intensidad en el sistema (pc_agB)	3	0,085714286
Porcentaje ocupado por agricultura de BAJA intensidad en el area activa del rio (ARA) dentro del Sistema (pc_ARA_agB)	3	0,085714286
Índice de minería (ind_min)	2	0,057142857
Índice petrolero (ind_petr)	2	0,057142857
<b>Sumatoria</b>	-	1

Con estas ponderaciones se elaboró el índice de amenazas que puede resumirse en la siguiente fórmula:

**Índice de amenazas** = (Porcentaje ocupado por agricultura de ALTA intensidad en el sistema \* 0,142857143) + (Densidad de vías carrozables en el sistema normalizado \* 0,142857143) + (Porcentaje ocupado por agricultura de ALTA intensidad en el área activa del río (ARA) dentro del Sistema \* 0,114285714) + (índice hidroeléctricas normalizado \* 0,114285714) + (Porcentaje ocupado por áreas urbanizadas en el sistema \* 0,114285714) + (Población urbana en el sistema normalizado \* 0,114285714) + (Porcentaje ocupado por agricultura de BAJA intensidad en el sistema \* 0,085714286) + (Porcentaje ocupado por agricultura de BAJA intensidad en el área activa del río (ARA) dentro del Sistema \* 0,085714286) + (Índice Minería normalizado \* 0,057142857) + (Índice Petrolero normalizado \* 0,057142857).

Finalmente, el resultado fue al igual que el índice de condición ecológica, normalizado en un rango de 0 a 100. Para la definición de los rangos de corte en la distribución se siguió el mismo método de los cuantiles por lo que se puede mostrar el siguiente gráfico:



A diferencia de la Condición ecológica, la distribución presento una asimetría positiva (donde la mayor frecuencia se presentó en los valores de 0 a 5 del índice) lo que indica un comportamiento opuesto en cuanto a los resultados para este índice.

Con estos rangos definidos, a continuación se resume los rangos máximos y mínimos por cada variable sin normalizar que definió la categoría nominal del índice (los rangos por variable no significan que la unidad tenga todas esas amenazas para tomar determinada categoría nominal, por ello pueden presentarse diferentes configuraciones en los valores de las variables por lo que cada unidad es un caso particular):

VARIABLES	ÍNDICE DE AMENAZAS				
	Sin amenaza	Baja	Media	Alta	← Amenazas (Categoría nominal)
	0	0 - 2	2 - 11	11 - 100	← Rango cubierto en el índice
Porcentaje ocupado por agricultura de ALTA intensidad en el sistema (pc_agA)	0	0 %	0 - 11 %	0 - 96 %	Rango cubierto por la variable
Densidad de vías carrozables en el sistema (dns_vias)	0	0 - 0.21 (km/km <sup>2</sup> )	0 - 0.83 (km/km <sup>2</sup> )	0 - 3.92 (km/km <sup>2</sup> )	
Porcentaje ocupado por agricultura de ALTA intensidad en el área activa del río (ARA) dentro del Sistema (pc_ARA_agA)	0	0 %	0 - 6.43 %	0 - 64 %	
índice hidroeléctricas (ind_hidro)	0	0 - 20 (al menos 1 hidroeléctrica planificada de menos de 40 mw)	0 - 374 (al menos 1 hidroeléctrica planificada de menos de 748 mw ó una construida de 50 mw)	0 - 1500 (al menos 1 hidroeléctrica en construcción de 1500 mw ó planificada de 1172 mw)	
Porcentaje ocupado por áreas urbanizadas en el sistema (pc_urb)	0	0 - 0.53 %	0 - 3.06 %	0 - 52 %	
Población urbana en el sistema (pobl_urb)	0	0 - 266 habitantes en zonas urbanas	0 - 3257 habitantes en zonas urbanas	0 - 33823 habitantes en zonas urbanas	
Porcentaje ocupado por agricultura de BAJA intensidad en el sistema (pc_agB)	0	0 - 7.26 %	0 - 38.71 %	0 - 99 %	
Porcentaje ocupado por agricultura de BAJA intensidad en el área activa del río (ARA) dentro del Sistema (pc_ARA_agB)	0	0 - 4.54 %	0 - 19%	0 - 52 %	
Índice minería (ind_min)	0	0 - 27.35 (un máximo de 5 concesiones metálicas ó 12 de materiales de construcción entre otras que no suman más del 25% de la superficie de la unidad)	0 - 109 (un máximo de 11 concesiones metálicas ó 27 de materiales de construcción entre otras que no suman más del 97% de la superficie de la unidad)	0 - 211 (un máximo de 11 concesiones metálicas ó 111 de materiales de construcción entre otras que llegan al 100% de la superficie de la unidad)	
Índice petrolero (ind_petr)	0	0 - 3.08 (un máximo de 2 pozos, 2 pasivos ambientales y 19 km de tuberías)	0 - 22 (un máximo de 17 pozos, 17 pasivos ambientales y 26 km de tuberías)	0 - 76 (un máximo de 23 pozos, 54 pasivos ambientales y 30 km de tuberías)	

Los factores considerados para el análisis de condición y de amenazas afectan en positivo o negativo alguno/os de los 5 atributos de los sistemas ecológicos (Figura 8). En las siguientes tablas se resumen las variables utilizadas y el atributo con el que se relacionan o afectan.

### Condición ecológica

<b>VARIABLES UTILIZADAS PARA ANÁLISIS DE CONDICIÓN</b>	<b>ATRIBUTO DE INTEGRIDAD ECOLÓGICA RELACIONADO</b>
Porcentaje del sistema cubierto por cobertura natural	Régimen hidrológico
	Hábitat físico
	Calidad del agua
	Oferta energía/carbón
	Composición biológica
Porcentaje de área activa del río dentro del sistema cubierta por vegetación natural	Régimen hidrológico
	Hábitat físico
	Conectividad

### Amenazas

<b>VARIABLES UTILIZADAS PARA ANÁLISIS DE AMENAZAS</b>	<b>ATRIBUTO DE INTEGRIDAD ECOLÓGICA AFECTADO</b>
Porcentaje ocupado por agricultura de ALTA intensidad en el sistema (pc_agA)	Calidad del agua
	Oferta energía/carbón
	Composición biológica
Densidad de vías carrozables en el sistema (dns_vias)	Régimen hidrológico
	Conectividad
	Calidad del agua
Porcentaje ocupado por agricultura de ALTA intensidad en el área activa del río (ARA) dentro del Sistema (pc_ARA_agA)	Calidad del agua
	Hábitat físico
	Conectividad
Población urbana en el sistema (pobl_urb)	Conectividad
	Calidad del agua
Índice hidroeléctricas (ind_hidro)	Conectividad
	Régimen hidrológico
Porcentaje ocupado por áreas urbanizadas en el sistema (pc_urb)	Calidad del agua
	Hábitat físico
Porcentaje ocupado por agricultura de BAJA intensidad en el sistema (pc_agB)	Calidad del agua
	Hábitat físico
Porcentaje ocupado por agricultura de BAJA intensidad en el área activa del río (ARA) dentro del Sistema (pc_ARA_agB)	Calidad del agua
	Hábitat físico
Índice minería (ind_min)	Calidad del agua
	Hábitat físico
	Composición biológica
Índice petrolero (ind_petr)	Calidad el agua

#### 3.1.6. Selección de sitios prioritarios

Para la selección de sitios prioritarios en función de los criterios de representatividad, conectividad, condición ecológica y eficiencia; se describe la funcionalidad de la herramienta

desarrollada y de la diversidad de análisis que se pueden desprender de ella. Los sitios seleccionados consideran las amenazas y la condición de las unidades analizadas y sus efectos sobre la biodiversidad y los ecosistemas acuáticos.

La estructura de la base de datos georeferenciada del shapefile denominado “portafolio” esta diseñado de la siguiente manera (el orden va de la primera a la última columna, en paréntesis los prefijos):

- Código de la unidad (COD\_U), es la clave principal y representa el código para cada unidad de análisis o unidad hidrográfica. Esta columna es la que permite enlazar otras bases de datos por lo que se sugiere respetar esta función.
- Clúster o sistemas ecológicos (CLUSTER), indica la pertenencia de la unidad a los sistemas ecológicos definidos.
- Cantón (CANTON), representa la pertenencia de la unidad a este nivel de administración territorial. Se tomó en cuenta que la unidad debe tener al menos el 80% de su superficie en un solo cantón para pertenecer a este. En caso de unidades con pertenencia a dos o más cantones, se utilizó el atributo nominal de “más de un cantón”.
- Área en kilómetros cuadrados (AREA\_KM2), es la superficie de la unidad en esta magnitud.

Posteriormente, se continúa con las variables usadas en los cálculos de los índices de condición ecológica y de amenazas. No se explican aquí puesto que previamente fueron descritos y conceptualizados. Se procede después con las siguientes columnas:

- Índice de condición ambiental (C\_ECO), índice descrito previamente y se encuentra en una escala adimensional de 0 a 100 puntos.
- Índice de amenazas (AMENZ), índice descrito previamente y se encuentra en una escala adimensional de 0 a 100 puntos.
- Porcentaje de cobertura de áreas protegidas (PORC\_PROT), que es el porcentaje en la unidad de cualquiera de los siguientes tipos de áreas protegidas en la unidad: SNAP, socio bosque comunitario y privado, bosque protectores y reservas municipales.
- Jerarquía según el método de Stralher (STRAL), que define la magnitud de ríos que la unidad contiene, siendo los de orden 8 ó 7 los de mayor caudal y dimensión; y los de orden 1 ó 2 los de menor caudal y dimensión.
- Número total de concesiones por unidad para consumo de agua (CONC\_AGUA), que es número total de concesiones para el año 2010 para los usos destinados a: abrevaderos, agua potable, uso doméstico, piscícola y riego.
- Número total de registros de especies acuáticas endémicas por unidad (ESP\_END).

Las columnas antes descritas definen de manera específica las características de las unidades en función de los índices, los ríos a los que pertenecen, las concesiones de agua que tienen y las especies endémicas acuáticas registradas. Es posible ampliar esta descripción revisando las columnas de las variables usadas en la elaboración de los índices.

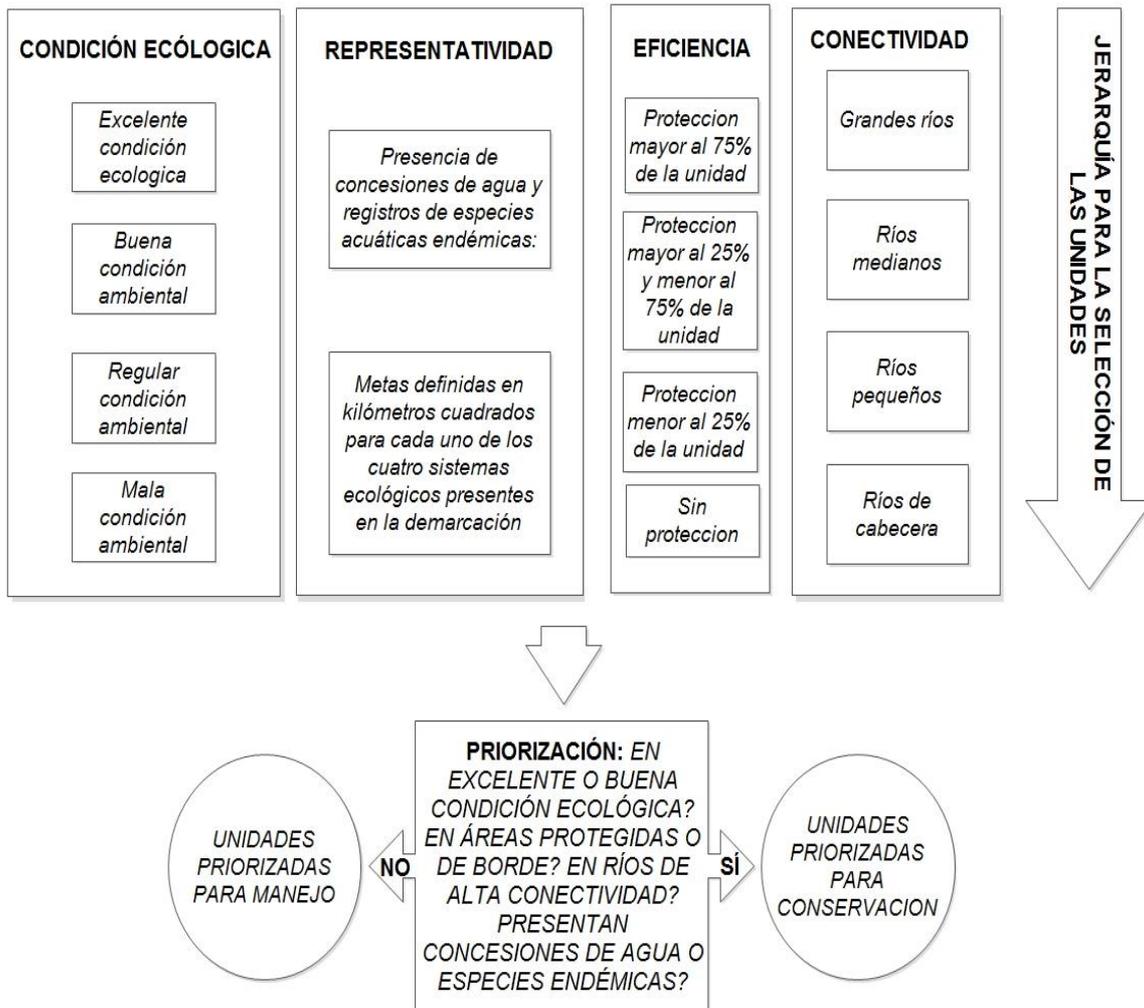
Para facilitar la selección, priorización y definición de las estrategias en las unidades; las columnas que se describen a continuación se derivan de la clasificación en grupos de algunas columnas previamente mencionadas (se continúa el orden para la descripción y con los prefijos en paréntesis):

- Clasificación por el método de cuantiles del índice de condición ambiental (C\_ECO\_CAT), que constituyen 4 clases nominales (mala, regular, buena y excelente) que definen el estado de la unidad en términos ambientales.
- Clasificación por el método de cuantiles del índice de amenazas (AMENZ\_CAT), que constituyen 4 clases nominales (sin amenaza, baja, media, alta) que definen las amenazas en la unidad.
- Clasificación del porcentaje de cobertura de áreas protegidas (PROT\_CAT), que constituyen 4 clases nominales (Sin protección, protección menor al 25% de la unidad, protección mayor al 25% y menor al 75% de la unidad, protección mayor al 75% de la unidad) que definen la pertenencia nula, parcial o mayoritaria de una unidad a un área protegida (sea esta: SNAP, socio bosque comunitario, privado, bosque protector o reserva municipal).
- Clasificación de los órdenes de los ríos según el método de Stralher (STRAL\_CAT), que constituyen 4 clases nominales (grandes, medianos, pequeños, de cabecera) que definen la dimensión de los ríos de acuerdo al orden de Stralher. Para los grandes ríos se agruparon los órdenes 7 y 8; para los ríos medianos los órdenes 5 y 6; para los ríos pequeños los órdenes 3 y 4; y para los ríos de cabecera 1 y 2.

Con estas clasificaciones nominales se realizó la selección y priorización de las unidades tomando en cuenta que la suma de las unidades no sobrepase las siguientes metas definidas para cada sistema ecológico:

<b>METAS CONSERVACION</b>			
	<b>Conservación de unidades en áreas protegidas únicamente en excelente y buena condición ecológica (60% de la meta) (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Manejo en el resto de unidades con o sin áreas protegidas y en condición ecológica variable (40% de la meta) (km<sup>2</sup>)</b>	<b>TOTAL (km<sup>2</sup>)</b>
CLUSTER 1: LLANURA INUNDADA	4944	3296	8240
CLUSTER 2: LLANURA COLINADA	5251	3500	8751
CLUSTER 3: ESTRIBACIONES ANDINO-AMAZONICAS	2509 (solo hay 2132)	1673 (+ 377 para completar la meta = 2050)	4182
CLUSTER 4: ANDES	1949	1299	3248

Para la priorización y selección de las unidades se tomaron en cuenta los criterios definidos al principio de este trabajo y pueden ser representados en el siguiente esquema:



No se usaron ponderaciones para esta selección sino selecciones por atributos. El siguiente es un ejemplo de este tipo de selección por atributos para las unidades del cluster 1 en su preselección para el portafolio de conservación:

"CLUSTER" = 'CLUSTER 1: LLANURA INUNDADA' AND( "C\_ECO\_CAT" = 'Excelente condición ecológica' OR "C\_ECO\_CAT" = 'Buena condición ecológica' ) AND( "PROT\_CAT" = 'Protección mayor al 75% de la unidad' OR "PROT\_CAT" = 'Protección mayor al 25% y menor al 75% de la unidad' ).

Posteriormente, con las unidades preseleccionadas se estableció un orden de mayor a menor en la clasificación por el método de Stralher para deseleccionar las unidades que no tienen interés por conectividad (ríos de cabecera o pequeños según el caso). Se eliminaron las suficientes unidades hasta alcanzar la superficie de la meta por clúster mostrada previamente. Algunas otras unidades se las consideró automáticamente dentro del portafolio porque presentaron concesiones de agua o especies endémicas.

### 3.1.7. Información sobre biodiversidad

La recopilación de registros de biodiversidad se centró en especies de aves acuáticas, peces y especies representativas de ecosistemas acuáticos como delfín de río, caimanes, y nutrias. La información se mantiene en una base de datos electrónica.

La información que se recopiló para cada especie se compiló en tablas en formato de base de datos Access y se definieron los campos de cada tabla de la siguiente manera:

**Tabla taxonómica:** código/identificador de especie, orden, familia, nombre científico, nombre común, hábitat general, categoría conservación IUCN, endemismo, tipo de alimentación, migración, reproducción, nativo/introducido y código/identificador de fuente de información.

**Tabla de ocurrencias:** código/identificador de especie, localidad, unidad hidrográfica, fecha de observación o, latitud, longitud, altitud y código/identificador de fuente de información.

**Tabla Bibliografía:** código/identificador de fuente de información, tipo de documento, tema, autor (es), título, año, y palabras clave.

**Tabla Especies Peces:** código/identificador de especie, orden, familia, género y especie.

**Tabla Especies Aves:** código/identificador de especie, orden, familia, género y especie.

**Tabla otras especies:** código/identificador de especie, orden, familia, género y especie.

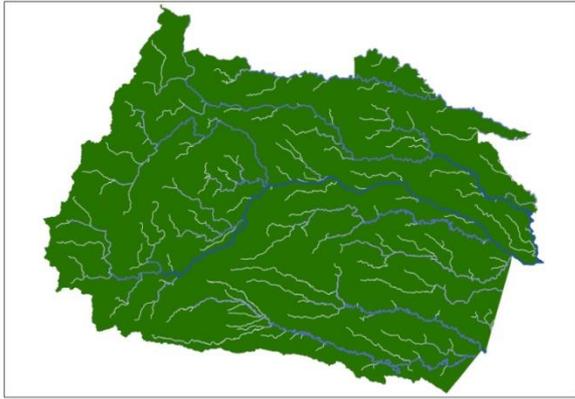
La información sobre biodiversidad ayudó a establecer las prioridades de conservación de los portafolios.

La ubicación de las localidades se realizó transformando las coordenadas disponibles en las publicaciones o referencias utilizadas y además, cuando existía una buena referencia del sitio de colección se ubicó el registro en el sitio más cercano. Para esto se utilizó la cartografía base e información referencial de fuentes como Google Earth.

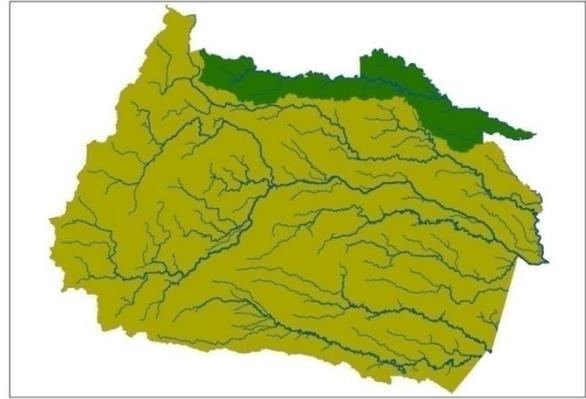
## 4) Resultados

### 4.1. Unidades hidrográficas de análisis

Una vez clasificadas las unidades hidrográficas de acuerdo a la metodología Pfafstetter se determinó las siguientes unidades entre los Niveles 3 y 7. Para el nivel 3, la Demarcación está representada por una sola gran unidad de 65 260 km<sup>2</sup>. En el siguiente nivel de clasificación, el nivel 4, se divide la Demarcación en 2 unidades correspondientes a la cuenca del río San Miguel cuya cuenca se comparte con Colombia de un tamaño de 5 593 km<sup>2</sup>, y la segunda unidad corresponde a la cuenca del río Napo con una extensión de 59 667 km<sup>2</sup>.

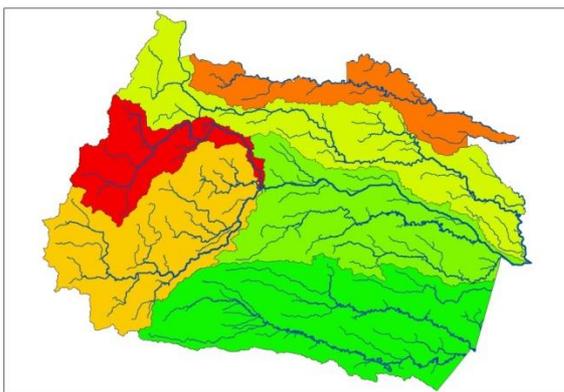


Nivel 3. 1 unidad

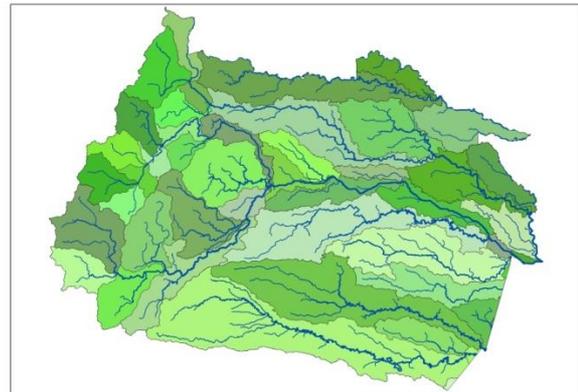


Nivel 4. 2 unidades.

En el siguiente nivel de clasificación, el nivel 5, la Demarcación está representada por 7 unidades, la más extensa corresponde al río Curaray con 16 563 km<sup>2</sup> y la más pequeña la del río Coca con una extensión de 5372 km<sup>2</sup>. En el nivel 6 la Demarcación se divide en un total de 47 unidades, y ya se puede identificar las correspondientes a las zonas montañosas y las de las zonas bajas de la Amazonía. Sus tamaños varían entre 9,38 km<sup>2</sup> y 7609 km<sup>2</sup>. Las unidades más pequeñas se ubican en las zonas fronterizas con Perú en donde la división administrativa recorta las unidades hidrográficas en unidades de ese tamaño.



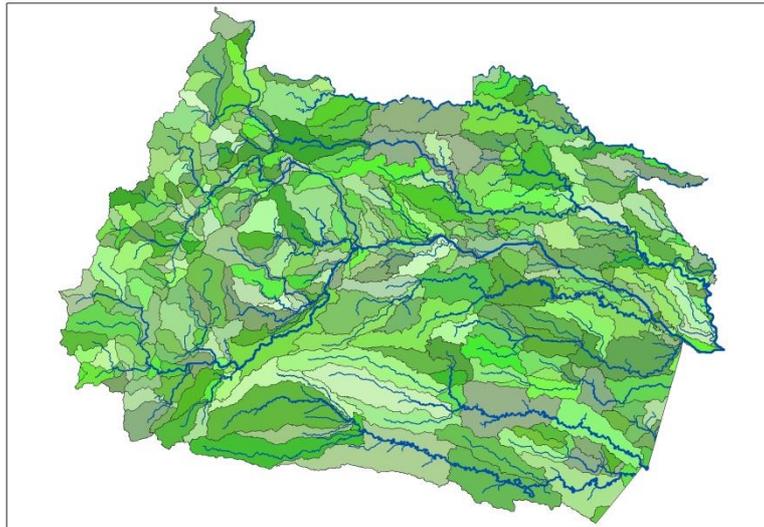
Nivel 5: 7 unidades



Nivel 6: 47 unidades

Finalmente, en el Nivel 7, utilizando el método Pfafstetter se pudo clasificar la Demarcación en un total de 371 unidades hidrográficas. Los tamaños de estas unidades varían entre 2,79km<sup>2</sup> y 1522 km<sup>2</sup>. Debido a esta alta variación de tamaños de las unidades no se utilizó este nivel de clasificación para

realizar los análisis correspondientes de condición y amenazas ya que los resultados serían poco comparables.



Nivel 7: 371 unidades hidrográficas.

Debido a la limitación encontrada con el método Pfafstetter para definir unidades de análisis homogéneas, se aplicó la metodología previamente descrita utilizando un Modelo digital de terreno y análisis geográfico convencionales de drenaje y se determinó un total de 2755 unidades de análisis cuyos tamaños varían entre 10 y 75km<sup>2</sup> (Figura 18).

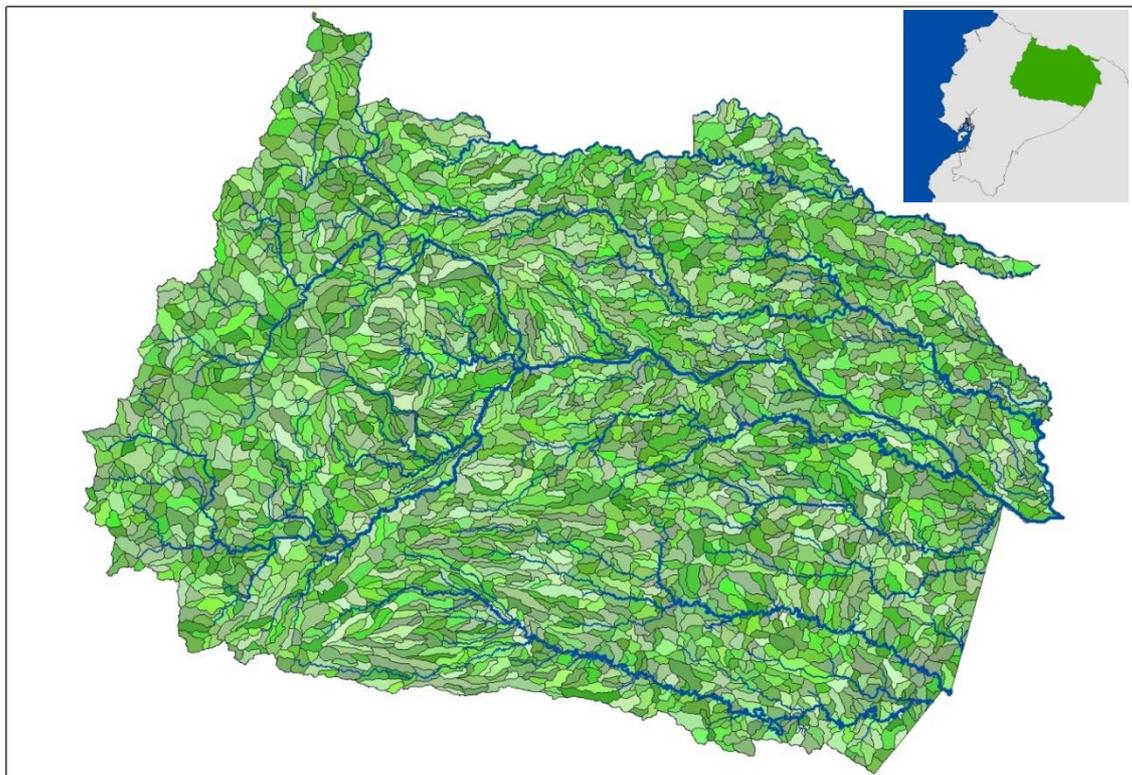


Figura 18. Unidades hidrográficas de análisis.

La mayoría de las unidades (1341) se encuentran en un rango de tamaño entre 10 y 20 km<sup>2</sup> (1000-2000 ha), y una menor proporción (52 unidades) en un rango entre 60 y 75 km<sup>2</sup> (6000 y 7500 ha). En la figura 19 se muestran la frecuencia de cada rango de unidades clasificadas por su tamaño.

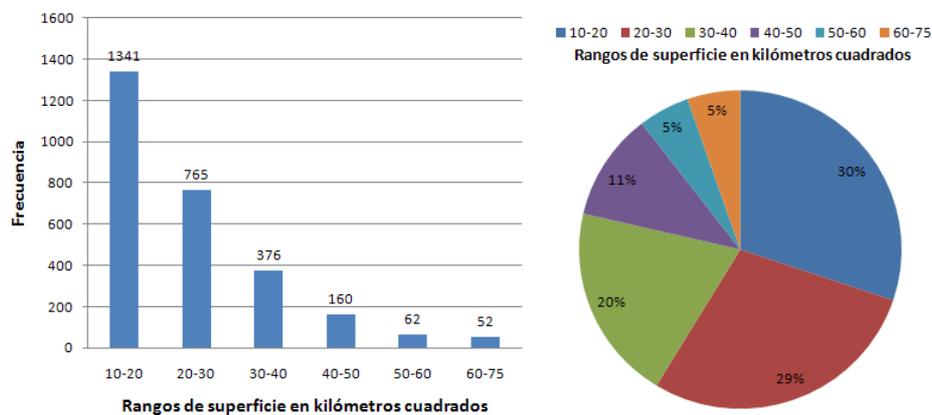


Figura 19. Izquierda, frecuencia de las unidades de análisis de acuerdo a los rangos de superficie; y derecha, gráfico de los rangos de superficie de acuerdo con el porcentaje ocupado en la superficie total de la demarcación

Es así que del total de unidades de análisis (siendo estas 2755 unidades), la gran mayoría tiene una superficie entre los 10 y 20 km<sup>2</sup> (1341 unidades) y estas representan el 30% (ó 19678 km<sup>2</sup>) del total de la superficie del área de estudio (65279 km<sup>2</sup>). Tanto las unidades de 20 – 30 y 30 – 40 km<sup>2</sup> representan en su conjunto el 49% del total de la superficie del área de estudio, siendo estas 1141 unidades. El resto de unidades (mayores a 40 y menores a 75 km<sup>2</sup>) corresponden al 21% del total de la superficie del área de estudio, siendo en total 274 unidades.

#### 4.2. Área activa del río

La definición del Área activa del río (ARA) es un elemento determinante para el análisis de condición ecológica de las unidades. Para el análisis de condición y de amenazas se unificó en un solo grupo el ARA para facilitar el análisis en toda la Demarcación.

El ARA permitió evidenciar su importancia en las zonas bajas de la Amazonía ecuatoriana en la Demarcación del Napo. Se evidencia la importancia del ARA especialmente en las zonas correspondientes a la Reserva Cuyabeno y los márgenes del río Napo (Figura 20).

El ARA representa las zonas en las cuales las especies de peces pueden moverse en la dimensión lateral de los ríos. Esta dimensión lateral es muy importante para la recolonización de los planos inundables de la llanura amazónica. El movimiento lateral de las especies permite mantener los ciclos reproductivos de muchas especies que durante las épocas de inundaciones se mueven hacia estas zonas.

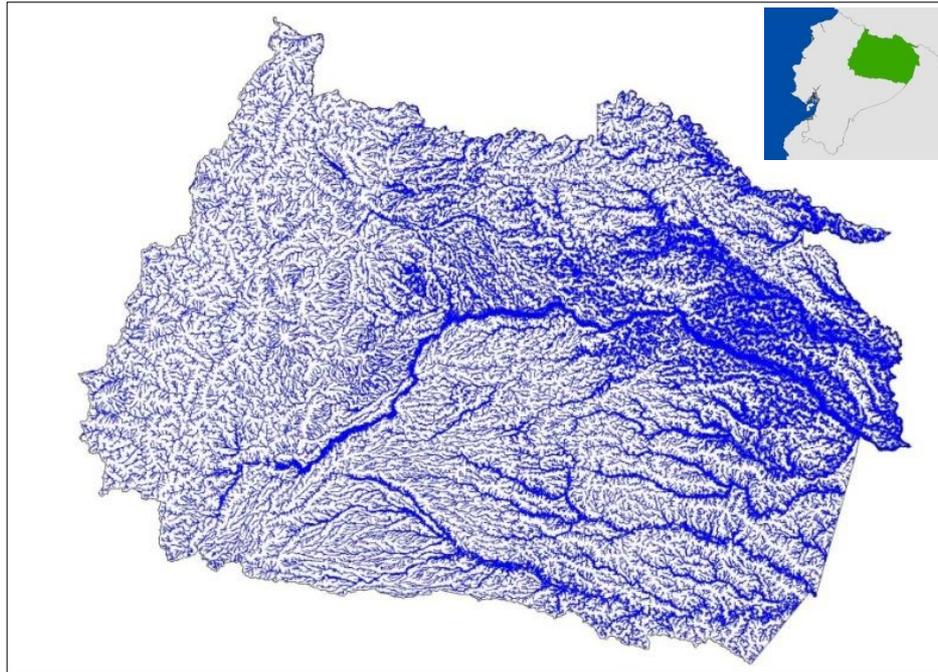


Figura 20. Área Activa del Río (ARA) definida para la Demarcación del Napo.

#### 4.3. Sistemas ecológicos

El análisis de cluster realizado para determinar los sistemas ecológicos de la Demarcación consideró 21 variables. Esto permitió establecer 4 Sistemas Ecológicos diferenciados en la DHNapo (Figura 21). La presencia de la cordillera de los andes permite la formación de estos 4 sistemas ecológicos que se describen a continuación.

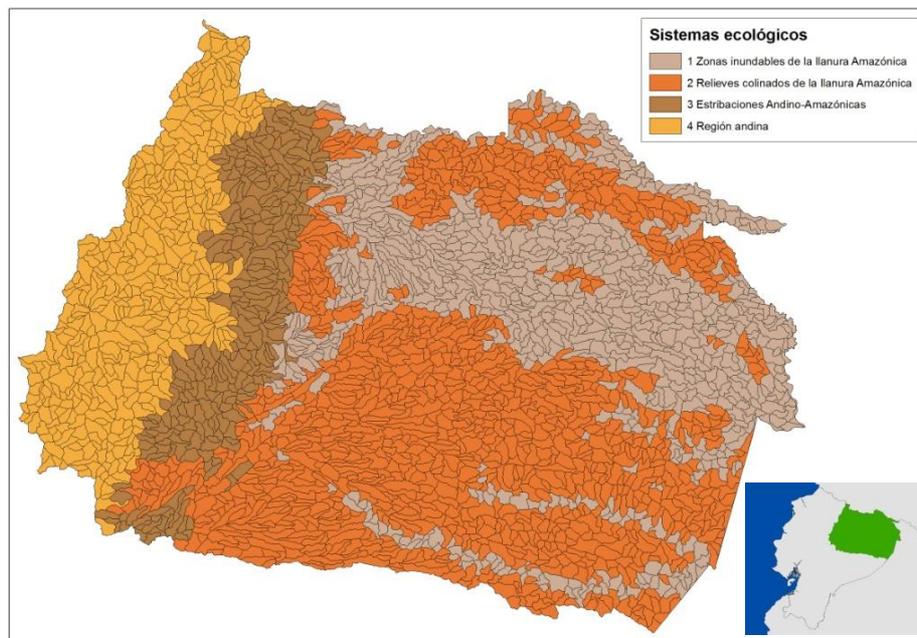


Figura 21. Sistemas ecológicos de la Demarcación Hidrográfica de Napo.

##### 1) Zonas inundables de la llanura Amazónica.

*Geología y geomorfología.*- Sus rocas son principalmente del cuaternario, con algunas excepciones del mioceno. Las formas de relieve típicas son las terrazas y las planicies. Son menos frecuentes las colinas. La altura promedio es de 221 m.s.n.m con un rango de variación máximo de 51 metros. Las pendientes promedio son de menos del 2% y el índice de curvatura de terreno normalizado con los valores máximo y mínimos de la demarcación, mostraron un valor de 0,20 / 1 lo que indica la presencia de relieves predominantemente planos, sin mayor diferencia altitudinal entre los puntos más altos y bajos de cada unidad.

*Clima.*- La temperatura mínima promedio es de 20<sup>0</sup> C. El índice ombrotérmico más común pertenece a la clase de "húmedo inferior".

*Hidrología.*- La densidad de drenaje y de nodos es la más elevada de toda la demarcación, siendo esta de 0.9 km/km<sup>2</sup> y de 0,6 confluencias de ríos/km<sup>2</sup>. La sinuosidad de 6,7 es importante también debido a las trayectorias sinuosas de los ríos, siendo esto característico de las cuencas bajas. A pesar de este valor de sinuosidad, el cluster no ocupa el primer lugar con esta variable en la demarcación.

## **2) Relieves colinados de la llanura Amazónica.**

*Geología y geomorfología.*- Con rocas predominantemente del mioceno y menos frecuentes del plioceno y del cuaternario. Las formas de relieve características son las colinas y las mesetas. La altura promedio es de 275 m.s.n.m. con un rango de variación máximo de 139 metros. La pendiente promedio está entre los 4 y 10% y tiene un valor de curvatura del 0,23 / 1 lo que indica sutiles irregularidades en el terreno con diferencias de altura altitudinal entre los puntos más altos y bajos de cada unidad no representativos.

*Clima.*- La temperatura mínima promedio es de 19,7<sup>0</sup> C. El índice ombrotérmico más común pertenece a la clase de "húmedo inferior".

*Hidrología.*- Constituye el cluster con mayores densidades de drenaje y nodos, siendo estas de 0.8 km/km<sup>2</sup> y de 0,52 confluencias de ríos/km<sup>2</sup>. La sinuosidad es la menor de los clusters, siendo esta de 3 e indicando por ello la presencia mayoritaria de trayectorias rectilíneas en los ríos.

## **3) Estribaciones Andino-Amazónicas**

*Geología y geomorfología.*- Con un conjunto heterogéneo, encontramos en orden de mayor a menor rocas del Cretáceo, Paleoceno, Cuaternario y Eoceno. Las formas de relieve más típicas son las colinas y las mesetas, seguidas de las vertientes y las cuestas. La altura promedio es de 675 m.s.n.m. con un rango de variación máximo de 682 metros. La pendiente promedio es mayor al 10% y tiene un valor de curvatura del 0,43 / 1 lo que indica irregularidades en el terreno y variaciones representativas entre los puntos más altos y bajos de cada unidad.

*Clima.*- La temperatura mínima promedio es de 17,2<sup>0</sup> C. El índice ombrotérmico más común pertenece a la clase "hiperhúmedo inferior".

*Hidrología.*- La densidad de drenaje es de 0,8 km/km<sup>2</sup> y la de nodos de 0,32 confluencias de ríos/km<sup>2</sup>. La sinuosidad es relativamente baja siendo esta de 3,6 e indicando por ello la presencia de trayectorias rectilíneas en los ríos.

## **4) Región Andina**

**Geología y geomorfología.-** Constituye un conjunto heterogéneo de rocas perteneciendo principalmente a los períodos Cuaternario y Jurásico, y menos frecuente al Cretáceo y Paleozoico. Las formas de relieve más importantes son los relieves montañosos y siendo menos frecuente encontrar planicies y colinas. . La altura promedio es la mayor en la demarcación siendo esta de 2705 m.s.n.m. y con un rango de variación máximo de 1785 metros. La pendiente promedio es mayor al 10% y tiene un valor de curvatura del 1 / 1 lo que indica la máxima irregularidad del terreno, encontrándose las mayores diferencias entre los puntos más altos y bajos de cada unidad.

**Clima.-** La temperatura mínima promedio es de 7,6<sup>0</sup> C. El índice ombrotérmico más común pertenece a la clase de “húmedo superior”.

**Hidrología.-** La densidad de drenaje es la menor en la demarcación siendo de 0,7 km/km<sup>2</sup> y la de nodos de 0,43 confluencias de ríos/km<sup>2</sup>. La sinuosidad es la más alta alcanzando el valor de 8,5, lo que indica que las trayectorias los ríos toman direcciones curvilíneas en la mayor parte de casos.

#### 4.4. Condición ecológica actual de los sistemas

Se evaluaron las 2755 unidades al interior de la Demarcación Hidrográfica de Napo. Para el análisis se consideró el Porcentaje del sistema cubierto por cobertura natural (pc\_sis\_vn) (Figura 22) y Porcentaje cubierto por vegetación natural en área activa del río (ARA) dentro del sistema (pc\_ARA\_vn) (Figura 23) .

La figura 22 refleja una marcada diferencia entre las zonas altas y bajas de la Demarcación con la zona intermedia, los patrones de remanencia de bosques están definidos por la accesibilidad a cada una de las zonas. Se identifica también que los ríos al igual que las carreteras permiten la colonización y posterior transformación de los ecosistemas en cultivos.

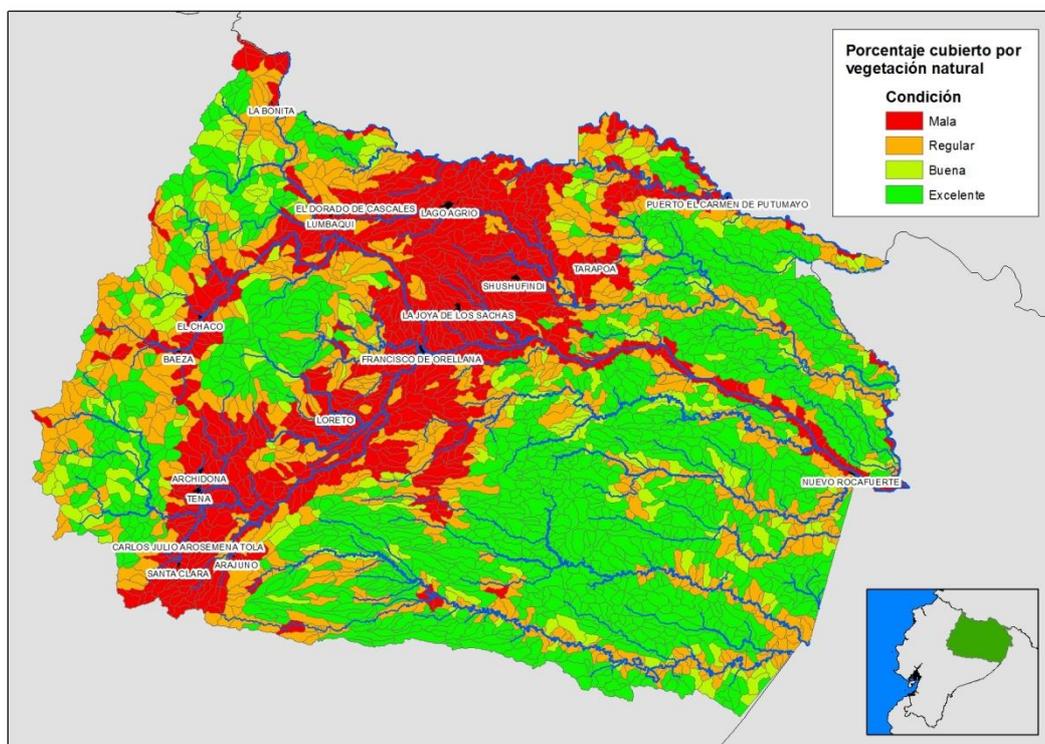


Figura 22. Porcentaje cubierto por vegetación natural en el sistema (pc\_sis\_vn).

La vegetación natural remanente muestra un patrón que depende en gran medida de la ubicación de las vías y las áreas protegidas nacionales. Las unidades con menor cobertura vegetal son las ubicadas en las cercanías a las vías y se observa el efecto de la accesibilidad a través de los principales ríos. Las unidades ubicadas en los márgenes del río Napo desde su origen en la ciudad de Tena muestra un patrón de colonización en sus orillas que se mantiene a lo largo de todo su recorrido en la Demarcación. Se evidencia que los ríos funcionan con una vía de colonización y expansión agrícola. Al contrario, se evidencia que las áreas protegidas nacionales (Yasuní, Cuyabeno, Cayambe Coca, Llanganates y Antisana) ubicadas al interior de la Demarcación han ayudado a proteger los ecosistemas y mantener una cobertura vegetal adecuada. Sin embargo, se evidencia zonas de intervención al interior del Parque Nacional Cayambe-Coca y de la Reserva Cuyabeno que podría indicar posibles zonas de invasiones al interior de las áreas protegidas, o como en el caso de Cayambe-Coca refleja la necesidad de definir claramente los límites del Parque.

La información utilizada para obtener este resultado se basó en el Mapa de vegetación y de Deforestación proporcionados por el Ministerio del Ambiente del Ecuador.

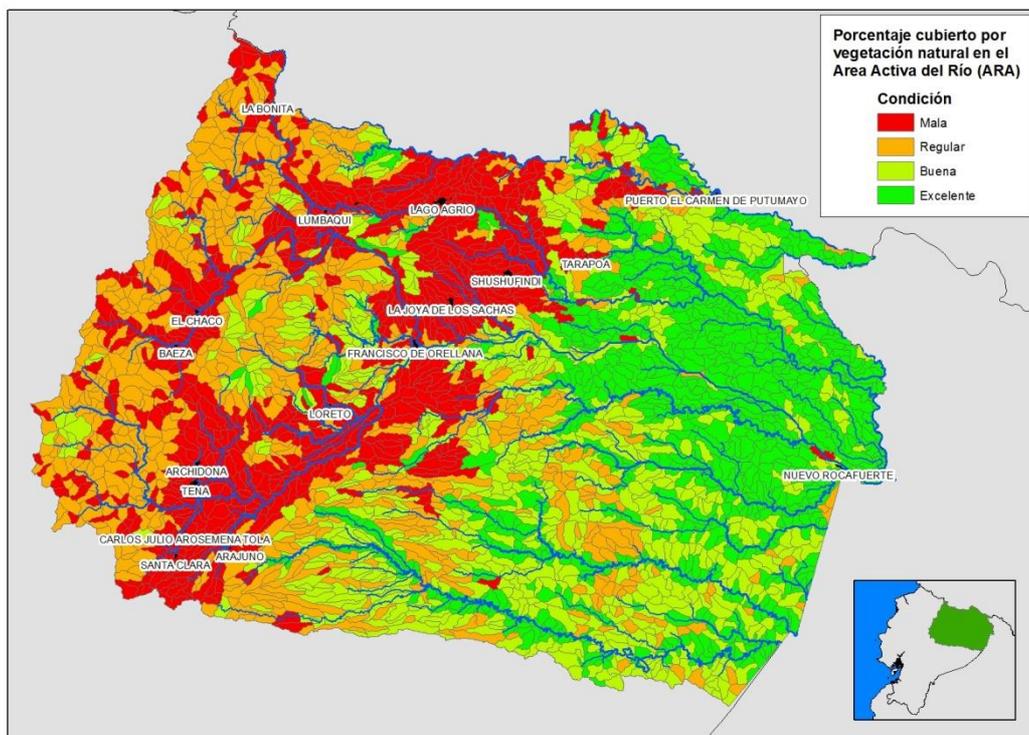


Figura 23. Porcentaje cubierto por vegetación natural en área activa del río (ARA) dentro del sistema (pc\_ARA\_vn).

Cuando se relacionó la vegetación natural remanente con el Área Activa del Río, se muestra la importancia de las llanuras de inundación ubicadas especialmente en la Reserva Cuyabeno y el Parque Nacional Yasuní. Por el contrario, y debido a las condiciones topográficas de las estribaciones de los Andes, la influencia del ARA en esta zona es menor. Es importante recalcar que para los objetivos del estudio, la presencia de vegetación natural dentro del ARA es crítica para el mantenimiento de la conectividad lateral de los ríos y el mantenimiento de los hábitats acuáticos. La alta diversidad que se observa en estas zonas se define principalmente por la buena condición de los bosques en las áreas de inundación de los ríos.

Como resultado del análisis realizado se obtuvo la **Condición ecológica** de las unidades analizadas en la Demarcación (Figura 24). En general se evidencia que la Demarcación presenta tres zonas claramente marcadas respecto a su condición ecológica, la primera ubicada en la zona alta de la Demarcación que presenta una condición excelente a buena interrumpida en la zona media por la vía que conduce a Quito entre El Chaco, Baeza y Papallacta. En esta zona están ubicadas las zonas protegidas Cayambe-Coca, Antisana y Llanganates y en parte el Parque Sumaco Napo Galeras. La segunda zona claramente marcada es la ubicada en la zona media-alta de la Demarcación, que tiene una condición ecológica mala a regular determinada por una mayor intervención de los ecosistemas debido a las actividades antrópicas. Esta zona cubre la cuenca media del río Aguarico y Coca, y la cuenca alta y media del río Napo. Finalmente, se define una tercera zona que tiene una condición ecológica buena a excelente con bajos niveles de intervención relacionados a los asentamientos ubicados en las orillas de los ríos. La mayoría de estos asentamientos corresponden a comunidades indígenas.

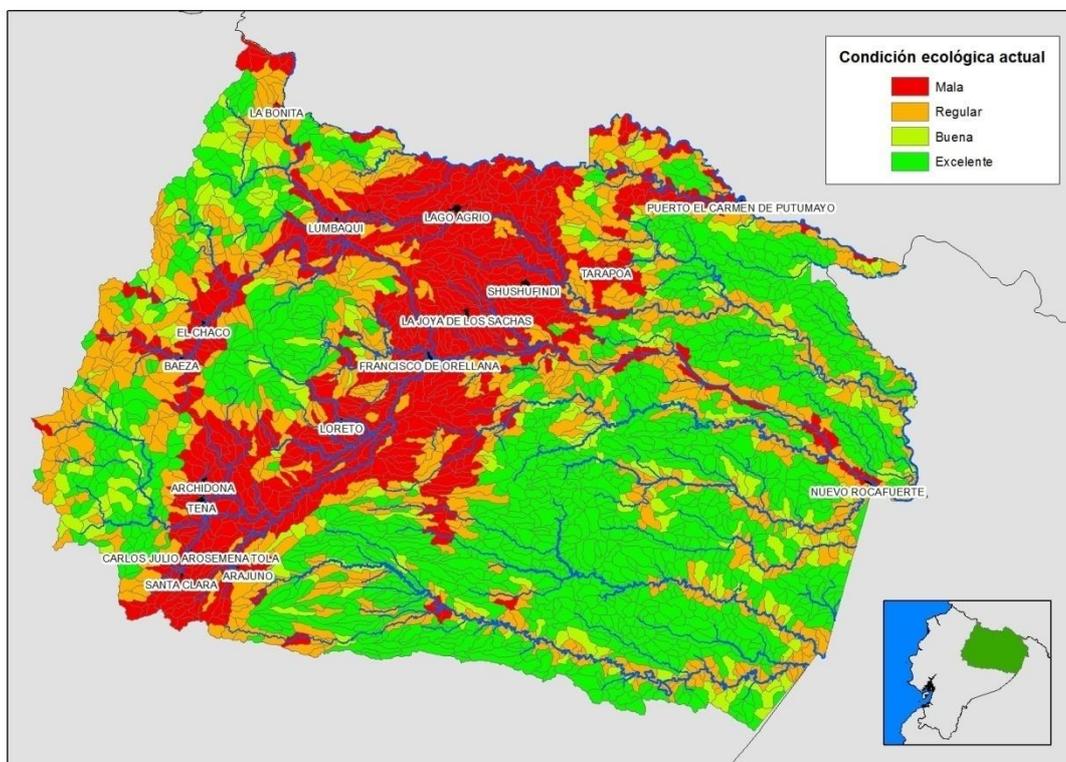


Figura 24. Condición ecológica actual de los sistemas ubicados en la Demarcación Hidrográfica del Napo.

La condición ecológica de las unidades es un punto crítico para la determinación del Portafolio, ya que los sitios con mejor condición representan sitios con un mejor estado de conservación y por tanto con mayor resiliencia y mayor diversidad de hábitats acuáticos, alimento y refugio para las especies acuáticas. Una mejor condición ecológica representa también una mejor regulación del régimen hidrológico y el mantenimiento de una buena calidad del agua.

De las 2755 unidades analizadas, 1155 unidades presentan una condición excelente, 509 buena condición, es decir, el 60,39% del total de las unidades (Figura 25). Esto representa una gran oportunidad para la conservación de la Demarcación ya que los costos de intervención y conservación serán menores en estas zonas.

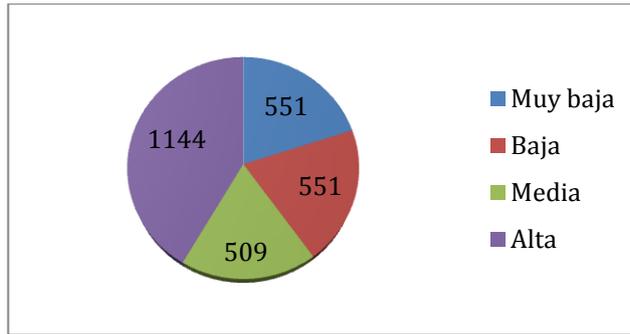


Figura 25. Número de unidades analizadas de acuerdo a su condición ecológica.

#### 4.5. Grado de amenazas sobre los sistemas

Otro de los factores determinantes para la determinación del Portafolio es el grado de amenazas al cual están sujetos las unidades hidrográficas. Para el análisis de amenazas se consideró 10 variables previamente descritas. Las variables analizadas afectan en algún grado los atributos ecológicos de los ecosistemas acuáticos.

##### ***Hidroeléctricas (represas y embalses)***

La primera variable analizada fue la presencia de hidroeléctricas al interior de la Demarcación, basados en el índice construido que consideró la potencia del proyecto y su estado de planificación o construcción, definió una influencia de las hidroeléctricas sobre todo en las estribaciones de la cordillera oriental (Figura 26). La presencia de hidroeléctricas y por tanto obras de captación en las unidades hidrográficas tiene un efecto directo sobre la conectividad longitudinal de los ecosistemas acuáticos. La construcción de obras civiles en el lecho de los ríos constituyen barreras para el movimiento de las especies.

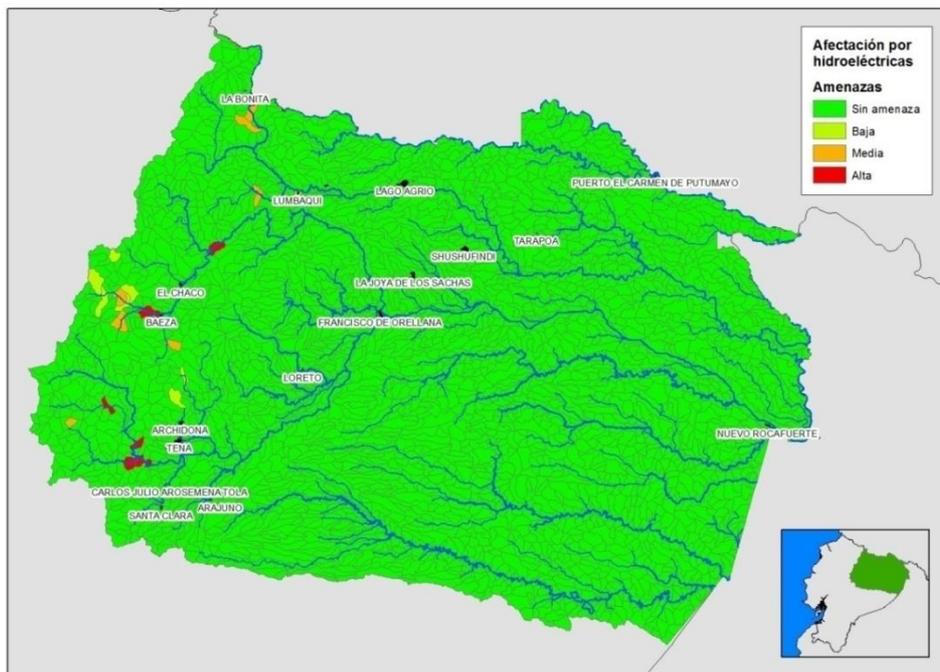


Figura 26. Índice de afectación por hidroeléctricas en el sistema en la Demarcación Hidrográfica del Napo.

El principal proyecto hidroeléctrico que se desarrolla en la Demarcación es Coca Codo Sinclair que tendrá una capacidad de generación de 1500 MW y aunque no poseen un embalse muy alto, su construcción significa la construcción de una obra de captación en la unión del río Salado y Quijos a 1800 metros de altitud. Hay que considerar que este proyecto también construirá un embalse compensador en la zona del Bosque Protector La Cascada y que no consta en el registro de CONELEC pues se considera únicamente el sitio de captación. El proyecto hidroeléctrico más pequeño se encuentra en la ciudad de Lumbaqui a aproximadamente 500 metros de altitud. A diferencia de la ubicación de Coca Codo Sinclair, a 500 metros de altitud la diversidad de peces es mucho más alta. La información utilizada para la obtención de este producto cuenta con los datos provistos por el CONELEC (Consejo Nacional de Electricidad).

### Vías

Las vías de acceso son uno de los factores determinantes sobre la condición ecológica y el grado de amenazas de las unidades hidrográficas. En este caso una mayor densidad de vías se observa en la zona centro norte de la Demarcación que corresponde a las vías de acceso a las ciudades de Lago Agrio, Shushufindi, Coca y Joya de los Sachas (Figura 27). Esta alta densidad de vías en parte se explica por la mayor densidad de infraestructura petrolera. Muchas de las vías construidas en esta zona son para el acceso a los diferentes campos petroleros ubicados en este sector. De esta manera la construcción de vías para la actividad petrolera ha permitido también el avance de la frontera agrícola y la colonización de la Demarcación. El análisis evidencia la construcción de vías en dirección del Parque Nacional Yasuní por la conocida como vía Maxus y también la vía Dayuma. Estas vías deben tener especial consideración en su ampliación pues significaría una mayor posibilidad de expansión de la frontera agrícola y cambio de uso de suelo. Son también estas vías las que permiten el ingreso de madereros y fomentan la tala selectiva de especies de interés comercial.

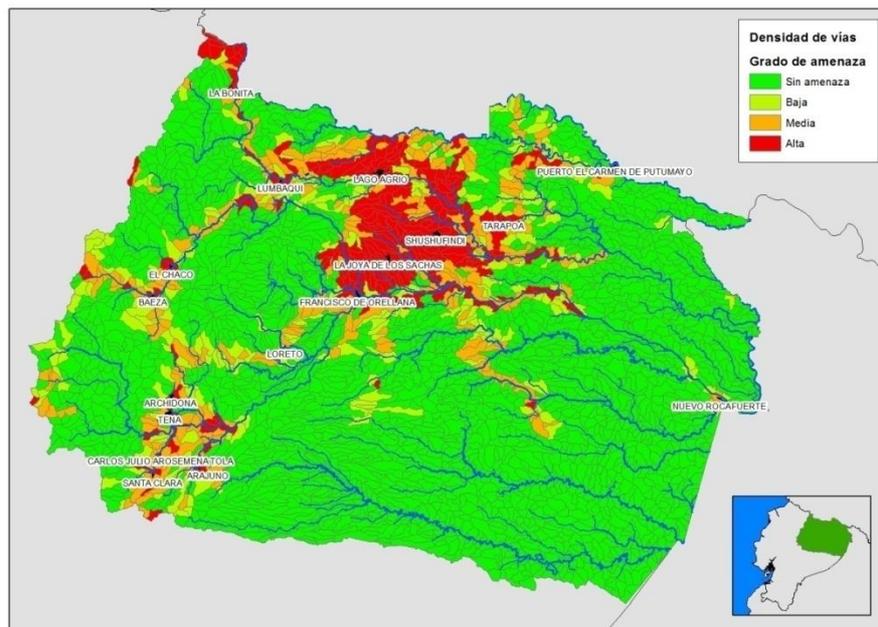


Figura 27. Densidad de vías (km/km<sup>2</sup>) carrozables en el sistema en la Demarcación Hidrográfica del Napo.

El análisis de densidad de vías indica que una mayor extensión de vías en una unidad hidrográfica tiene consecuencias sobre la calidad del agua, la conectividad de los cuerpos de agua, lleva a una modificación del hábitat físico que tiene finalmente consecuencias sobre las condiciones ecológicas de los ecosistemas acuáticos. La información base para este análisis corresponde a la generada por el Instituto Geográfico Militar (IGM) y entregada a SENAGUA para el presente trabajo.

### Área urbana

Los centros urbanos consolidados en la Demarcación se consideraron para el análisis, las áreas urbanas constituyen zonas que han sido transformadas de bosque a áreas urbanas. Este análisis considera la extensión del área urbana dentro de cada unidad. Se evidencia que las áreas urbanas de las principales ciudades ocupan extensiones importantes dentro de las unidades hidrográficas en las que se encuentran. Las extensiones urbanas más representativas son las de Lago Agrio, Joya de los Sachas, Archidona, Tena, Coca, que se asientan en algunos casos más en más de una unidad de análisis (Figura 28). Las áreas urbanas dentro de la Demarcación ocupan 85 km<sup>2</sup> que representa apenas el 0,1% de la extensión total. La expansión de las áreas urbanas históricamente ha estado relacionada a las oportunidades de trabajo creadas por la industria petrolera, reflejado principalmente en las ciudades de Lago Agrio y Francisco de Orellana (Coca).

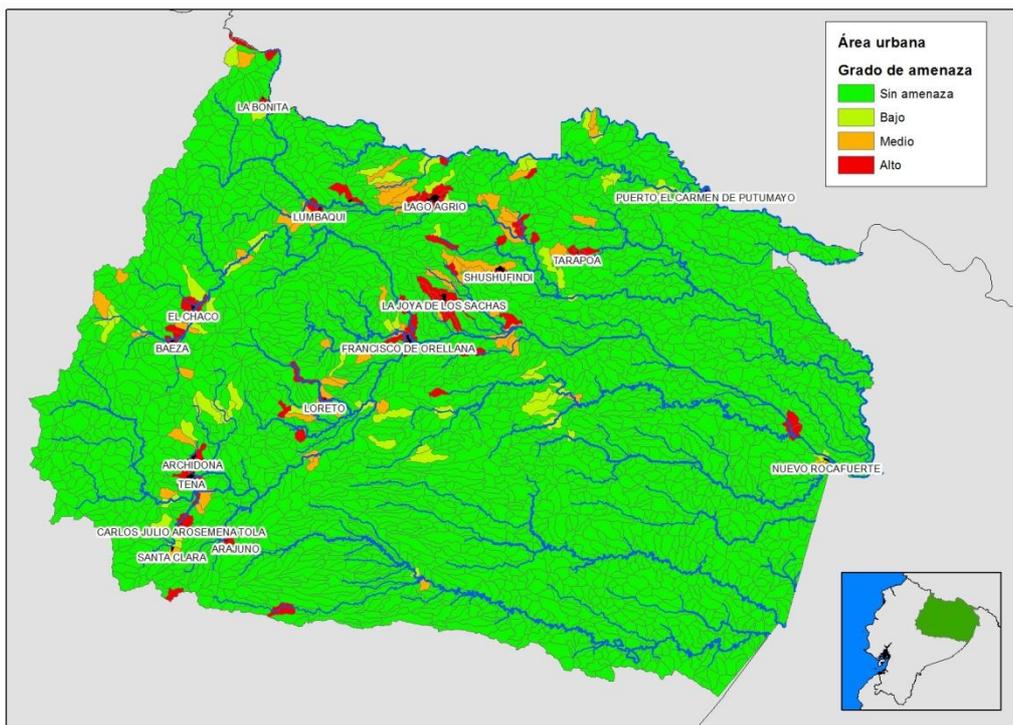


Figura 28. Porcentaje de área urbana en el sistema en la Demarcación Hidrográfica del Napo.

La información utilizada para esta variable corresponde a la generada por el IGM y actualizada con información del Mapa de cobertura vegetal del MAE.

## ***Población urbana***

La información disponible para la Demarcación indica que en las áreas urbanas existe una población de 230 736 habitantes asentados en las áreas urbanas, principalmente en las cabeceras cantonales (Figura 29). No se pudo analizar la población rural ya que la unidad espacial disponible estaba a nivel de parroquia. Por esta razón, se utilizó la información sobre sectores amanzanados urbanos del INEC. Esta variable está muy relacionada a la ubicación de las áreas urbanas, pero esta variable nos indica el grado de amenaza que representa una alta población para una determinada unidad hidrográfica. A mayor población en una unidad mayor es el grado de contaminación proveniente de esas áreas. Una de las principales afectaciones de una alta concentración de población es el deterioro de la calidad del agua, especialmente en las zonas río debajo de donde se ubican los asentamientos humanos. Cabe resaltar que de la información con la que se cuenta, el sector amanzanado más poblado se ubica en la zona urbana de Lago Agrio con 33 823 habitantes. Las descargas de aguas residuales de la mayoría de las poblaciones urbana no cuentan con ningún tratamiento previo a su disposición en los ríos adyacentes a los asentamientos humanos. Adicionalmente, una mayor cantidad de habitantes representa una mayor generación de desechos sólidos y por tanto lixiviados que se producen tanto en los botaderos a cielo abierto como en los rellenos sanitarios. Tanto los desechos sólidos como los desechos líquidos contaminan los cuerpos de agua y los efectos de estas descargas se pueden evidenciar varios kilómetros río debajo de las descargas. Desafortunadamente, los datos sobre calidad de agua con los que se contó para este estudio no permitió espacializar la información. Sin embargo, el haber determinado la ubicación de los centros poblados y la población en cada centro permite definir cuáles son las unidades más afectadas por estas variables, especialmente en las cabeceras cantonales y capitales provinciales.

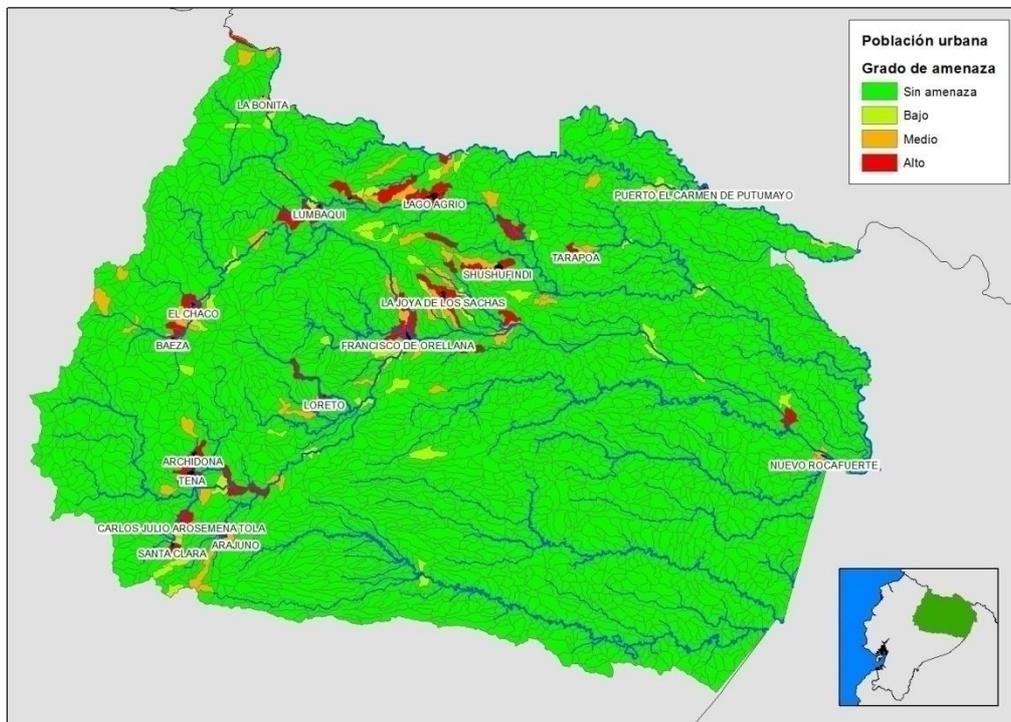


Figura 29. Población urbana en el sistema en la Demarcación Hidrográfica del Napo.

### ***Agricultura de alta intensidad***

Las actividades agrícolas en la zona están en gran parte limitadas por las condiciones ambientales, los altos niveles de precipitación, la alta humedad relacionada, provoca que muchos cultivos comerciales tradicionales tengan dificultad para su desarrollo. Sin embargo, en la última década hay un creciente aumento de los cultivos de alta intensidad. En el caso de la Demarcación relacionados al cultivo de palma africana, cuyo manejo requiere extensiones amplias y un control de plagas con muchos insumos químicos. La información recopilada permitió establecer que las zonas cercanas a Joya de los Sachas, Francisco de Orellana (Coca) y Shushufindi son las de mayor desarrollo de este cultivo. (Figura 30). Existen unidades que tienen amplias extensiones cubiertas por este monocultivo, y las consecuencias de actividades agrícolas de alta intensidad reflejan cambios en las condiciones de cobertura vegetal y calidad del agua especialmente.

La información base para esta variable proviene del mapa de vegetación del MAE.

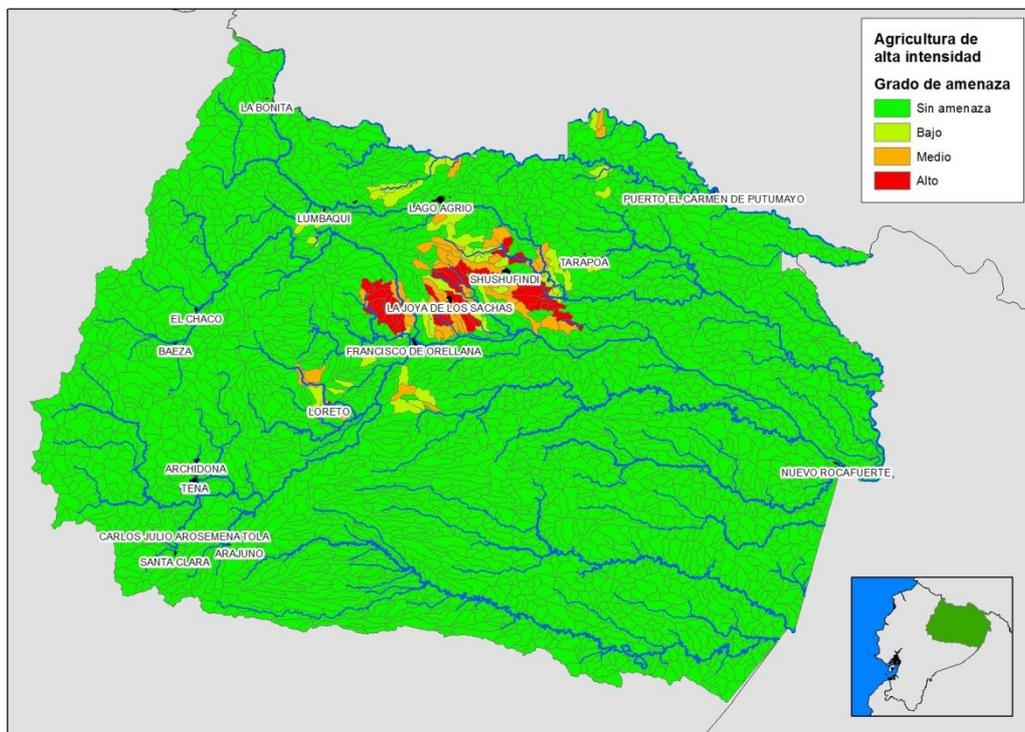


Figura 30. Porcentaje ocupado por agricultura de alta intensidad en el sistema.

### ***Agricultura de baja intensidad***

A diferencia de la agricultura de alta intensidad, para el análisis de agricultura de baja intensidad se agruparon todos los sistemas productivos menos demandantes de insumos agrícolas, pero que por su extensión representan una amenaza constante hacia los ecosistemas acuáticos. La Figura 31 muestra la distribución de la agricultura de baja intensidad donde se incluyen pastos, cultivos de ciclo corto, frutales y chacras tradicionales. El desarrollo de la agricultura de baja intensidad está claramente relacionado a la accesibilidad y evidencia una vez más que la accesibilidad terrestre y fluvial es determinante en los patrones de uso del suelo observados en la Demarcación.

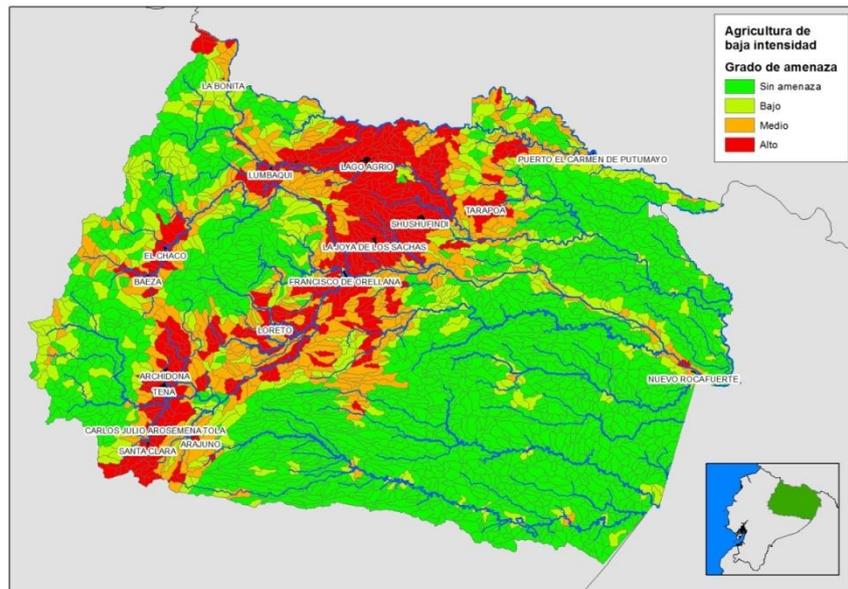


Figura 31. Porcentaje ocupado por agricultura de baja intensidad en el sistema en la DH Napo.

La agricultura de baja intensidad por su distribución amplia al interior del área de estudio requiere una especial importancia, ya que su expansión contribuye al deterioro de la calidad del agua, a la degradación de las riberas y áreas activas de los ríos y constituyen zonas de aportes de sedimentos a los cuerpos de agua. La información base para esta variable proviene del mapa de vegetación del MAE.

***Agricultura de alta intensidad en el Área Activa del Río (ARA)***

En la Figura 32 se observa la influencia de la agricultura de alta intensidad en el ARA. Su importancia radica en que las zonas de ARA con mayor cantidad de agricultura de alta intensidad contribuyen al deterioro del hábitat físico de las especies y reduce las áreas para el movimiento lateral de las mismas, especialmente en las llanuras de inundación.

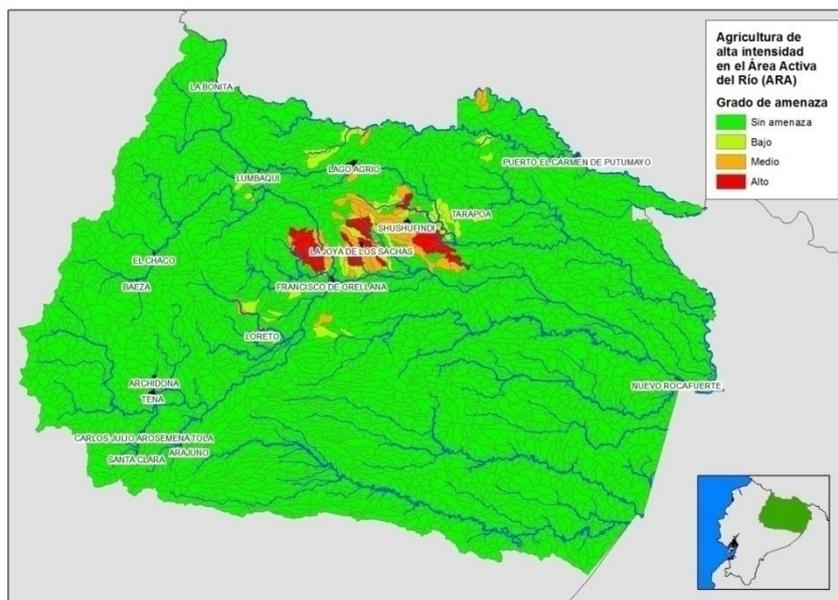


Figura 32. Porcentaje ocupado por agricultura de alta intensidad en el área activa del río (ARA) dentro del sistema en la DH Napo.

La información base para esta variable proviene del mapa de vegetación del MAE.

### ***Agricultura de baja intensidad en el Área Activa del Río (ARA)***

En la Figura 33 se observa la influencia de la agricultura de baja intensidad en el ARA. Su importancia radica en que las zonas de ARA con mayor cantidad de agricultura de baja intensidad contribuyen al deterioro del hábitat físico de las especies y reduce las áreas para el movimiento lateral de las mismas, especialmente en las llanuras de inundación. Al ser más extendida, la agricultura de baja intensidad requiere mayor atención para mejorar los sistemas productivos y reducir los impactos adversos en los ecosistemas acuáticos y terrestres.

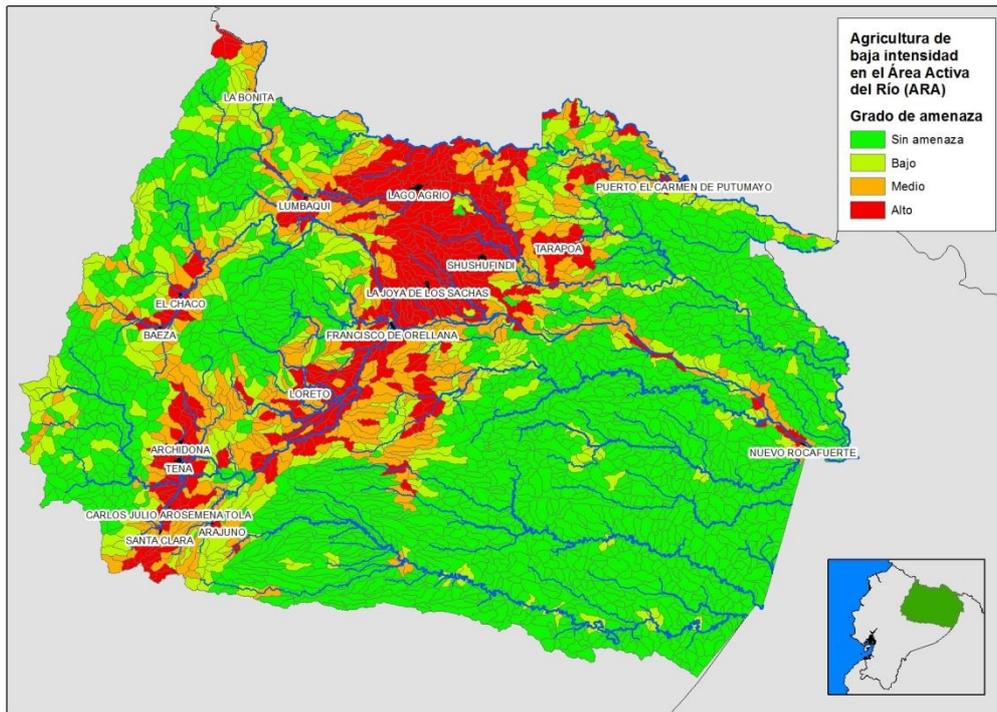


Figura 33. Porcentaje ocupado por agricultura de baja intensidad en el área activa del río (ARA) dentro del sistema en la DH Napo.

La información base para esta variable proviene del mapa de vegetación del MAE.

### ***Minería***

La minería ha sido una actividad que se ha desarrollado tradicionalmente en las orillas de los ríos Aguarico y Napo. Hace muchas décadas era común observar lavadores de oro en las orillas estos ríos. En la actualidad los patrones de explotación minera han cambiado y se desarrollan con equipos mecanizados. La mayoría de concesiones minera se encuentran cerca de los ríos principales Napo, Coca y Aguarico (Figura 34). El análisis realizado muestra la presencia de minería metálica y de material pétreo (arena y piedra) y áreas donde existe una acumulación de concesiones de diversos tipos. Los alrededores de Tena presentan varias unidades con un grado de amenaza alto con relación a la actividad minera.

La información base para esta variable proviene del catastro minero nacional del Ministerio de Recursos No Renovables.

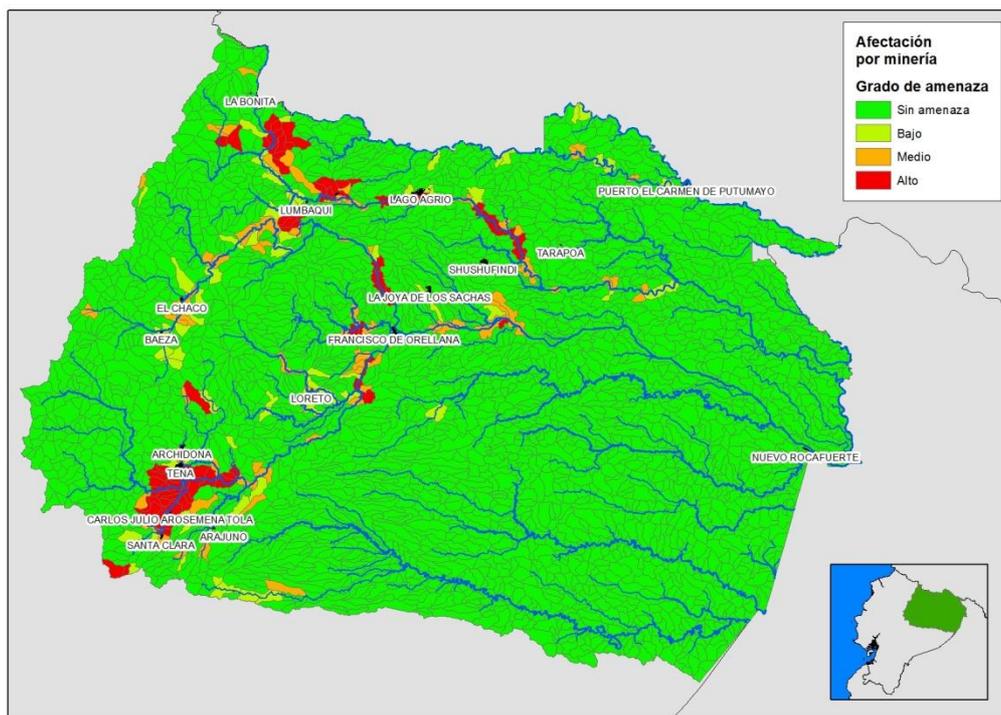


Figura 34. Índice de afectación por minería en el sistema.

### **Actividades petroleras**

La actividad petrolera es la que ha determinado el desarrollo económico de la Demarcación y está asentada especialmente en la zona centro norte (Figura 35). El análisis consideró la infraestructura petrolera presente en cada unidad referente a oleoductos, pozos, piscinas y puntos de derrames. La actividad petrolera ha definido los patrones de colonización en la Amazonía ecuatoriana desde la construcción del Oleoducto trans-ecuatoriano (SOTE) y la expansión de los nuevos campos petroleros en toda la zona centro norte de la Demarcación. Los derrames registrados y los pasivos ambientales presentes en la zona provocan que la calidad del agua se vea afectada así como la biodiversidad acuática. Al ser la actividad industrial más importante de la Demarcación es necesario definir sistemas de control y monitoreo ambiental de las actividades en todas sus fases de desarrollo, exploración, explotación y cierre.

Todos los vertidos de esta actividad terminan en algún momento en los acuíferos superficiales o los cuerpos de agua de la Demarcación. El análisis identifica las principales unidades amenazadas por la explotación petrolera ubicadas principalmente en los alrededores de Lago Agrio, Shushufindi, Joya de los Sachas y Tarapoa.

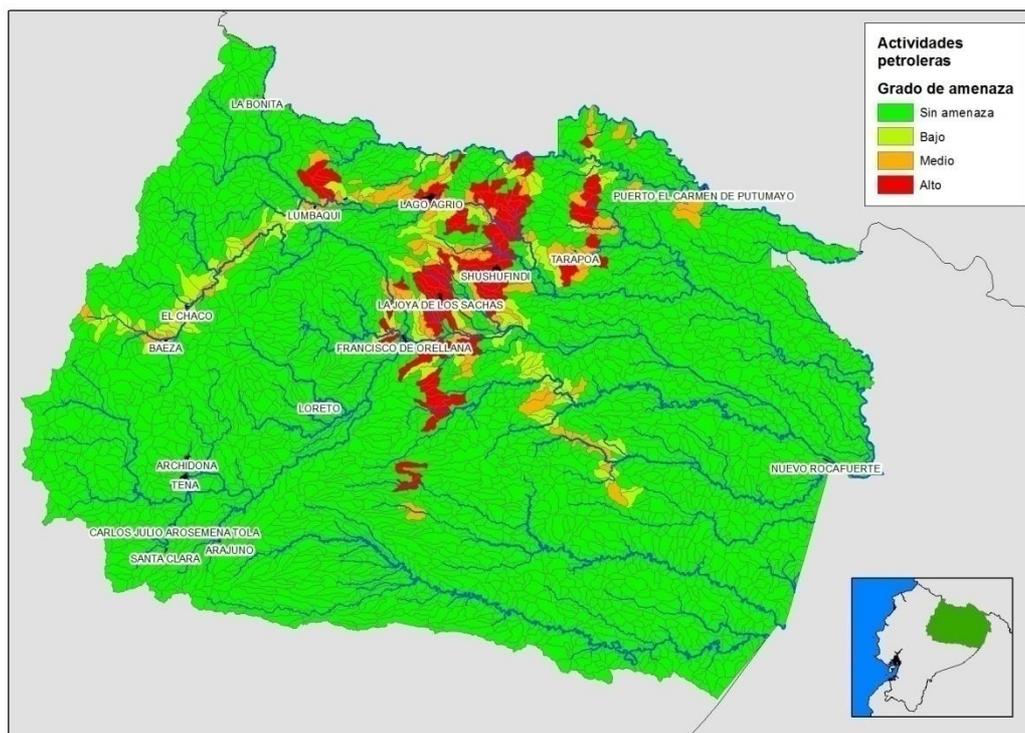


Figura 35. Índice de afectación por petróleo en el sistema.

La información base para esta variable proviene del Programa de reparación Ambiental y Social (PRAS) del Ministerio del ambiente, y de la información base del IGM.

### ***Amenazas en la Demarcación Hidrográfica de Napo.***

Como resultado del análisis realizado se obtuvo el **Grado de Amenazas** de las unidades analizadas en la Demarcación (Figura 36). En general se evidencia que la Demarcación presenta al igual que en caso de la **Condición Ecológica** tres zonas claramente marcadas respecto a las amenazas, la primera ubicada en la zona alta de la Demarcación que se presenta sin amenazas o con bajas amenazas las mismas que se incrementan con la presencia de la vía que conduce a Quito entre El Chaco, Baeza y Papallacta. En esta zona están ubicadas las zonas protegidas Cayambe-Coca, Antisana y Llanganates y en parte el Parque Sumaco Napo Galeras. A pesar de la presencia de estas áreas se evidencia que varias amenazas están presentes al interior de las áreas protegidas. La segunda zona claramente marcada es la ubicada en la zona media-alta de la Demarcación, presenta los niveles de amenaza más altos, en esta zona confluyen un gran número de amenazas sobre los ecosistemas debido a las actividades antrópicas. Esta zona cubre la cuenca media del río Aguarico y Coca, y la cuenca alta y media del río Napo. Finalmente, se define una tercera zona que tiene zonas sin amenazas o con amenazas bajas. Estas áreas con bajas amenazas corresponden a la Reserva Cuyabeno y al Parque Nacional Yasuní. Sin embargo, se detectan algunas unidades que a pesar de estar en estas áreas protegidas muestran huellas de deterioro y presencia de algunas amenazas a tener en cuenta.

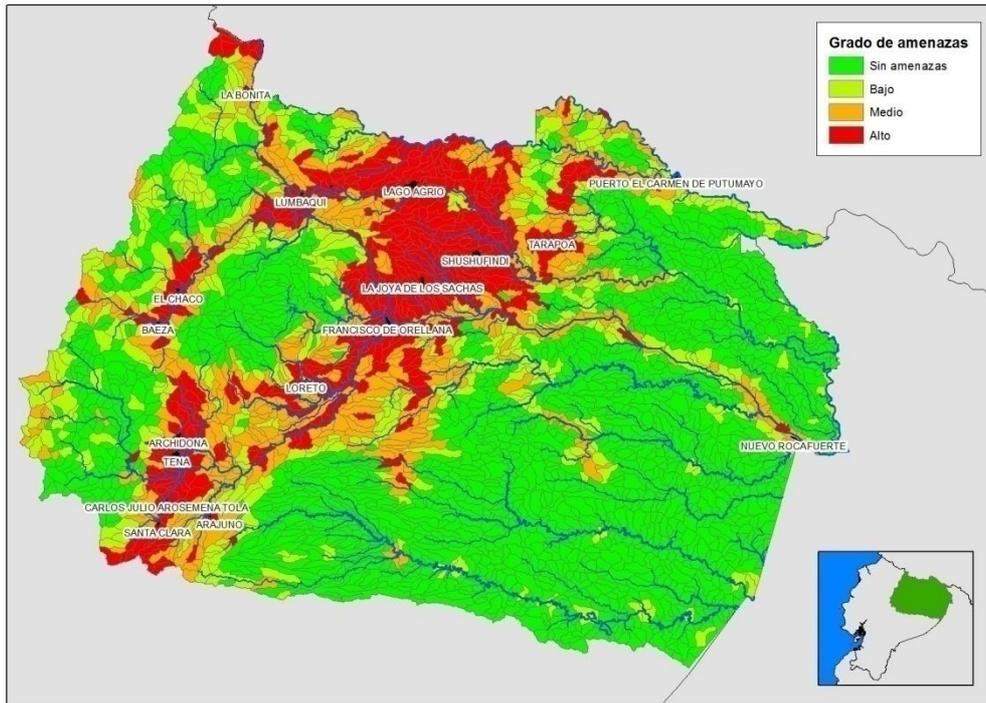


Figura 36. Amenazas actuales en los sistemas de la Demarcación Hidrográfica del Napo.

Las amenazas de las unidades es un punto crítico y complementario a la condición ecológica para la determinación del Portafolio, ya que los sitios sin amenazas y con amenazas bajas están en mejores condiciones y son capaces de resistir las alteraciones que ocurran.

De las 2755 unidades analizadas, 1491 unidades se presentan en la categoría de sin amenazas, 422 con amenazas bajas, es decir, casi el 70% del total de las unidades (Figura 37). Esto representa una gran oportunidad para la conservación de la Demarcación ya que los costos de intervención y conservación serán menores en estas zonas y se complementan a las zonas con condición ecológica excelente y buena.

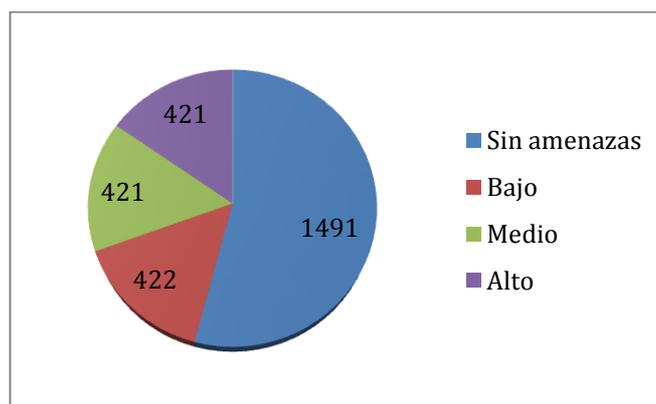


Figura 37. Número de unidades agrupadas de acuerdo a cada categoría de amenazas

#### 4.6. Sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad acuática

Para la Demarcación Hidrográfica del Napo se determinaron un total de 977 unidades prioritarias para la conservación de la biodiversidad acuática. Estas 977 unidades representan un área total de 24 464,86 km<sup>2</sup>, es decir, representa el 37,47 % de la Demarcación del Napo. Las 977 unidades priorizadas se en 2 grandes grupos (Figura 38):

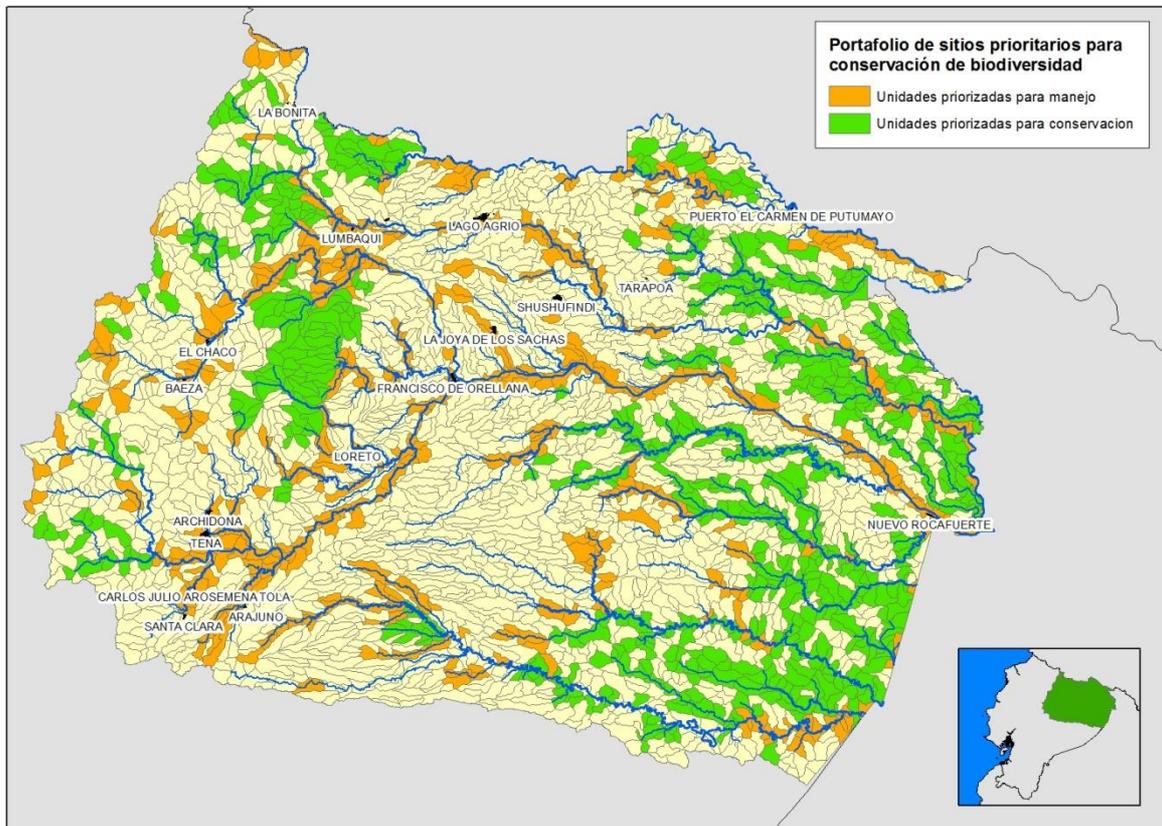


Figura 38. Portafolio de sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad acuática en la Demarcación Hidrográfica del Napo.

Las unidades seleccionadas cumplen los criterios de conectividad, representatividad, eficiencia

#### Unidades priorizadas para conservación

Representan un total de 573 unidades hidrográficas, abarcan un total de 14291,49 km<sup>2</sup>. Estas unidades se agrupan en los 4 sistemas ecológicos definidos de la siguiente manera:

Sistemas ecológicos	Total unidades	Área (km <sup>2</sup> )
Zonas inundables de la llanura Amazónica (Cluster 1).	200	4941,85
Relieves colinados de la llanura Amazónica (Cluster 2).	204	5269,74
Estribaciones Andino-Amazónicas (Cluster 3).	92	2132,61
Región Andina (Cluster 4).	77	1947,29

Estas unidades son las que están en mejor estado de conservación, sin amenazas o amenazas bajas, se encuentran dentro de áreas protegidas y permiten mantener la conectividad de los ecosistemas acuáticos (Figura 39). Estas áreas además son importantes para la conservación de especies endémicas y para el abastecimiento de agua de las poblaciones locales. Son unidades críticas para el mantenimiento de la soberanía alimentaria de las poblaciones indígenas principalmente.

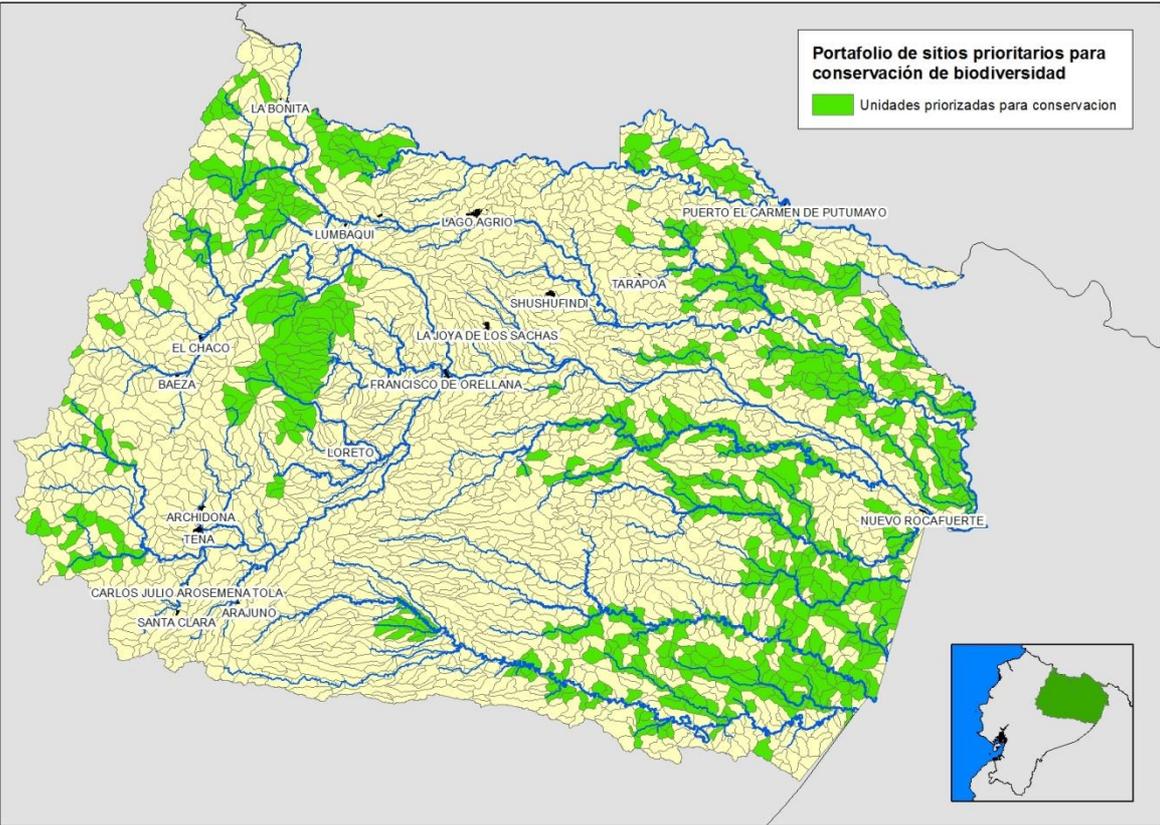


Figura 39. Mapa de sitios prioritarios para la conservación de biodiversidad acuática en la DH Napo.

**Unidades prioritizadas para manejo:**

Representan un total de 404 unidades hidrográficas, abarcan un total de 10173,37 km<sup>2</sup>. Estas unidades se agrupan en los 4 sistemas ecológicos definidos de la siguiente manera:

Sistemas ecológicos	Total unidades	Área (km <sup>2</sup> )
Zonas inundables de la llanura Amazónica (Cluster 1).	129	3290,77
Relieves colinados de la llanura Amazónica (Cluster 2).	144	3518,25
Estribaciones Andino-Amazónicas (Cluster 3).	82	2062,13
Región Andina (Cluster 4).	49	1302,22

Estas unidades son importantes en términos de conectividad, pero su condición ecológica es variable, poseen grados de amenazas medio y altos y son importantes para el mantenimiento a

largo plazo de los ecosistemas acuáticos y requieren acciones para la recuperación de dichas zonas (Figura 40).

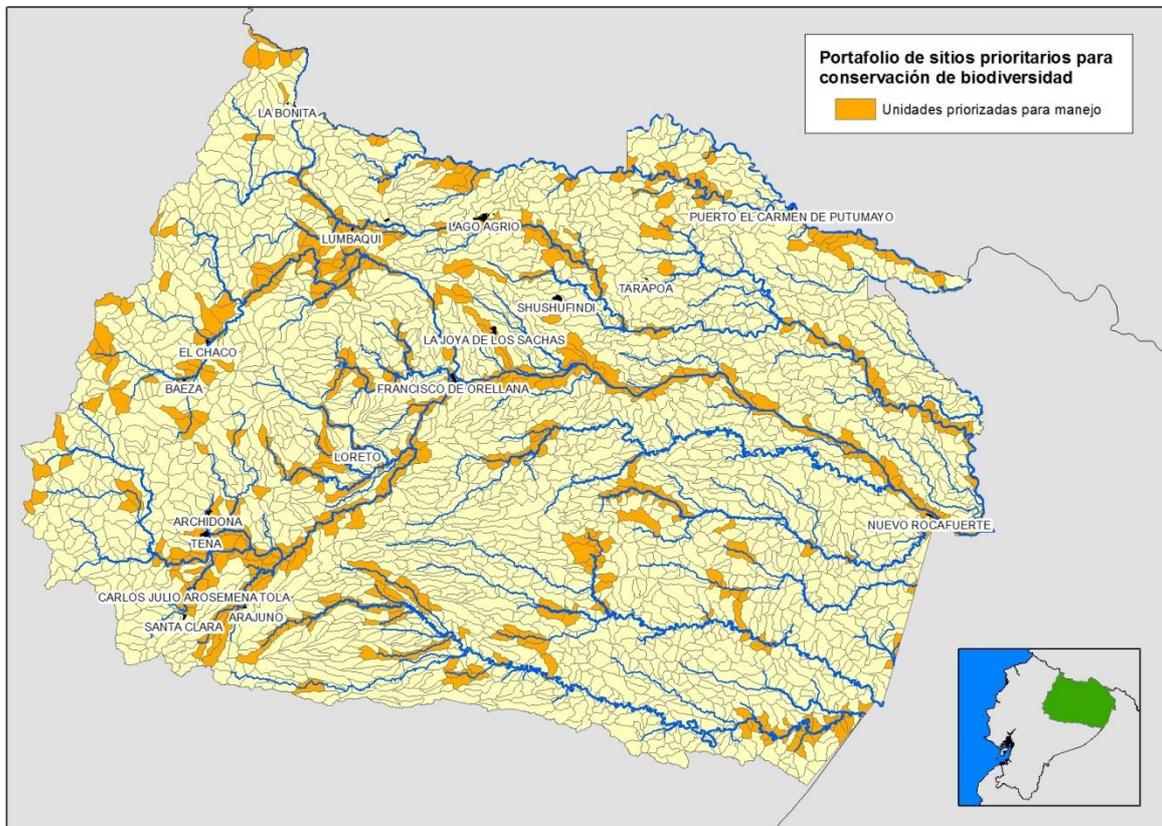


Figura 40. Mapa de sitios prioritarios para manejo en la DH Napo.

#### 4.7. Biodiversidad acuática

Para la determinación de los sitios prioritarios para la conservación de biodiversidad acuática se analizó la presencia de biodiversidad acuática en los diferentes ecosistemas de la Demarcación Hidrográfica de Napo. Toda la información recopilada sobre registros de biodiversidad acuática proviene de fuentes secundarias, se registró un total de 818 especies de los 4 grupos analizados, agrupadas en 697 especies de peces, 100 especies de aves acuáticas, 8 especies de mamíferos acuáticos, y 13 de especies de reptiles.

Se evaluó un total de 96 referencias bibliográficas y fuentes secundarias que incluyen también bases de datos de museos nacionales e internacionales. Se cuenta con una base de datos sobre biodiversidad acuática que contiene un total de 4982 registros, cada registro representa la ubicación de una especie en alguno de los 488 sitios definidos. De las 488 localidades identificadas, 384 (79%) poseen una ubicación con coordenadas geográficas, en el resto de casos no se pudo ubicar las coordenadas por una descripción muy ambigua de la localidad. De este total, 315 registros corresponden a peces (64,55%), 112 a aves acuáticas (22,95%), 24 a mamíferos (4,92%), y 37 a reptiles (7,58%) (Figura 41).

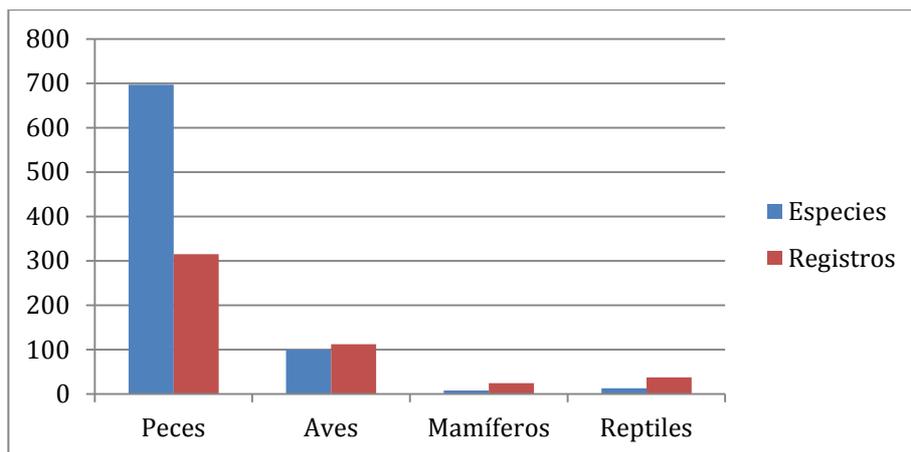


Figura 41. Número de registros y número de especies localizadas en fuentes secundarias para la Demarcación Hidrográfica del Napo.

Los registros son el número de localidades en las cuales se han identificado a las diferentes especies.

### **Biodiversidad de Peces**

La información sobre biodiversidad de peces se encuentra muy dispersa, las fuentes reconocidas sobre biodiversidad de peces para la cuenca del río Napo en Ecuador muestran números de especies diferentes, la publicación más reciente (Barriga, 2012) determina un total de 694 especies para la Demarcación del Napo, que corresponden a las Zonas ictiográficas del Alto Napo y Napo-Pastaza definidas por el autor. La recopilación de información realizada para este estudio determinó un total de 697 especies, agrupadas en 17 órdenes, 58 familias. Esto indica que la información recopilada puede representar de buena manera la diversidad de especies conocidas para la Demarcación del Napo. Se identificó un total de 11 especies endémicas. También se determinó la presencia de 9 especies introducidas.

Una de las mayores dificultades sobre la biodiversidad de especies de peces es que los en muchos de los estudios analizados (975 de 4192 registros) reportan especies únicamente a nivel de género (sp.) o especies por confirmar (cf.). La dispersión de información sobre peces y los diversos métodos de colección no permitieron realizar análisis comparativos de biodiversidad. Además, los registros varían en los años en los cuales se realizaron las colecciones. La colección más antigua corresponde al año 1964 y las más recientes al año 2012.

### **Biodiversidad de aves acuáticas**

En el caso de las aves, se seleccionó las especies que tienen una alta relación con los cuerpos de agua, como son patos, garzas, martines pescadores entre otras. La recopilación de información determinó un total de 100 especies acuáticas, agrupadas en 14 órdenes, y 31 familias. No se identificaron especies endémicas y 6 especies están en estado vulnerable.

### **Biodiversidad de mamíferos**

En el caso de los mamíferos, la información fue más escasa ya que a diferencia de los peces por obvias razones no se cuenta con colecciones. La información con que se cuenta es muy escasa y muchos registros se conocen únicamente de reportes de pobladores locales o técnicos de

gobiernos locales. Sin embargo, esta información no está documentada y por tanto no se puede utilizar para este trabajo. De esta manera, en este estudio se registró un total de 8 especies de mamíferos estrechamente relacionados al agua. Estas especies son las siguientes:

Delfín rosado (*Inia geoffrensis*)

Delfín gris (*Sotalia fluviatilis*)

Capibara (*Hydrochaeris hydrochaeris*)

Nutria gigante (*Pteronura brasiliensis*)

Nutria neotropical (*Lontra longicaudis*)

Manatí del amazonas (*Trichechus inunguis*)

Rata pescadora (*Aotomys leander*)

Raposa de agua (*Chironectes minimus*)

A pesar de la importancia de los mamíferos acuáticos en la dinámica de los ecosistemas acuáticos no se cuenta con un monitoreo para toda la demarcación de estas especies representativas. Esto dificulta determinar las zonas de mayor importancia para estas especies en particular.

### **Biodiversidad de reptiles**

Se registró un total de 3 órdenes, 5 familias y 13 especies. No se identificaron especies endémicas. Las especies de reptiles seleccionadas fueron aquellas con una relación estrecha al agua como el caimán blanco, caimán negro y las charapas.

Al igual que con los mamíferos, la información proviene principalmente de investigaciones puntuales como tesis de licenciatura realizadas en la Demarcación. Aunque se conoce que la distribución de estas especies de reptiles es amplia, se posee poca documentación formal de los avistamientos o registros de las mismas.

A diferencia del caso del río Magdalena, en esta ocasión no se utilizó ningún índice relacionado a la biodiversidad ya que la información disponible era muy dispersa y con grandes vacíos de información para varios sitios.

La alta biodiversidad presente en la Demarcación es una gran oportunidad para el desarrollo sustentable de las comunidades locales y para garantizar la seguridad de las poblaciones indígenas, especialmente de los pueblos no contactados que dependen de la conservación de los ecosistemas acuáticos para la provisión de su alimento.

## 5) Estrategias de manejo para la Conservación, Recuperación y Mitigación de amenazas en los sistemas ecológicos de agua dulce y sitios prioritarios del portafolio

Para la definición de las estrategias, se tomaron algunas expuestas en el Portafolio del Madgalena (Tellez *et al.*, 2011) que tienen relación con este trabajo y se las adaptaron para ser utilizadas considerando las condiciones específicas de la Demarcación del Napo:

### 5.1 Objetivo estratégico 1: Planificación de la biodiversidad

**Estrategia 1.1.** Recuperar y mantener la conectividad biológica entre fragmentos remanentes de ecosistemas naturales dentro de los sistemas ecológicos

- Reconversión de zonas cubiertas con pastizales y suelos con agricultura de baja y alta intensidad a sistemas silvopastoriles y agroforestales en corredores biológicos diseñados.
- Crear, fortalecer y articular corredores biológicos a través de zonas de manejo de riberas entre áreas protegidas y otros remanentes de ecosistemas naturales.
- Evaluar y diseñar otras herramientas para mejorar la conectividad, conservación y manejo del paisaje.

**Estrategia 1.2.** Apoyar y fortalecer los PDOT'S (Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de los gobiernos locales) y fomentar el Manejo integral de Cuencas hidrográficas definiendo estrategias específicas para la protección de los sistemas ecológicos priorizados.

- Generar procesos participativos liderados por la Secretaría Nacional del Agua para establecer consejos de cuenca y fomentar el manejo de cuencas y unidades hidrográficas (aplicadas principalmente a las unidades priorizadas con más de un cantón de pertenencia).
- Integrar y articular las zonificaciones ambientales y la selección de áreas prioritarias para conservación (terrestres y acuáticas) y regulación de servicios ambientales definidos dentro de los planes y esquemas de ordenamiento territorial provinciales, municipales y parroquiales.
- Incentivar y fortalecer los planes de manejo y protección de cuencas de cabecera ya definidos y fomentar la definición de los planes para las zonas prioritarias.

**Estrategia 1.3** Crear y fortalecer las áreas protegidas nacionales (Parques nacionales y Reservas) u otras figuras de conservación (Bosques protectores, Áreas de Socio Bosque, y reservas municipales) para la protección de los sistemas ecológicos acuáticos priorizados en el portafolio.

- Promover actividades de uso sostenible en remanentes boscosos.
- Crear y fortalecer las zonas de amortiguamiento de áreas protegidas y ampliarlas en lo posible para proteger sistemas ecológicos acuáticos.
- Fortalecer e implementar los planes de manejo de las áreas protegidas considerando los criterios de conectividad de los ecosistemas acuáticos.

- Proteger áreas importantes para la generación de servicios ambientales: oferta y regulación hídrica, calidad de agua y otros servicios que se consideren importantes, especialmente los ubicados en las estribaciones de la cordillera de los Andes.
- Coordinar el trabajo con el Ministerio del Ambiente para monitorear el estado de algunas zonas que muestran amenazas y deterioro de la condición ambiental al interior de las áreas protegidas.
- Desarrollar conjuntamente con el Ministerio del Ambiente la definición de nuevas áreas de socio bosque que considere los aspectos de protección de ecosistemas acuáticos prioritarios.

**Estrategia 1.4.** Recuperar y mantener la Integridad ecológica de sistemas ecológicos acuáticos.

- Generar procesos para el control de especies invasoras de agua dulce. Reducir el riesgo de escape de animales en acuicultura a cauces de ríos y quebradas, especialmente de tilapias.
- Proteger, mantener y recuperar hábitats acuáticos degradados e importantes para la supervivencia de fauna y flora acuática.
- Protección de cursos de agua y unidades hidrográficas pequeñas con presencia de especies endémicas y especies amenazadas.
- Mantener la funcionalidad y conectividad de las planicies inundables, humedales y ciénagas; controlando la desecación de humedales causada por la expansión de sistemas agropecuarios. Proteger el sistema de ciénagas por su importancia para el control inundaciones, la producción de fuentes de recursos alimentarios (peces), el anidamiento de aves acuáticas y en general como habitas para mantener la biodiversidad acuática. Esto es especialmente crítico en la zona baja de la Demarcación en el Parque Nacional Yasuní y la Reserva Cuyabeno.
- Proteger y restaurar la conectividad longitudinal de las planicies inundables para recuperar la conectividad de bosques riparios y hacia corredores terrestres.
- Proteger y restaurar los hábitat físicos de las planicies inundable (área activa del río) y las orillas del río.

**Estrategia 1.5.** Fomentar usos sustentables de la biodiversidad acuática y ecosistemas acuáticos

- Recuperar y fomentar las prácticas de pesca sostenible como oportunidad para garantizar la soberanía alimentaria, en especial de las comunidades indígenas asentadas en las orillas de los ríos.
- Reglamentar el uso de artes de pesca en las poblaciones mestizas e indígenas.
- Proteger y mantener cuencas importantes para la migración de peces, garantizando la conectividad longitudinal y lateral con la llanura de inundación
- Promover el turismo ecológico y actividades de uso no consuntivo del agua como rafting o kayak.
- Identificar los sitios de importancia para la conservación de la biodiversidad acuática que sean utilizados como atractivos turísticos.

## 5.2 Objetivo estratégico 2: Mitigación de las amenazas

**Estrategia 2.1** Formular, implementar y mantener recomendaciones de caudales ecológicos para proyectos de infraestructura especialmente del sector hidroeléctrico actualmente en funcionamiento y proyectados a futuro.

- Generar estudios para establecer recomendaciones de caudal ecológico y límites de alteración hidrológica permisible para diferentes tipos de ríos.
- Promover un sistema de compensación equivalente al grado de alteración de flujos naturales.
- Diseñar e implementar un protocolo de monitoreo para evaluar la respuesta ecológica con la implementación de recomendaciones de caudal ecológico que permita, posteriormente, ajustarlas de manera adaptativa.

**Estrategia 2.2.** Control de la contaminación a cuerpos de agua causada por fuentes puntuales (descargas urbanas, industriales, mineras y petroleras) y no puntuales (agroquímicos, aguas residuales).

- Implementar buenas prácticas agrícolas y ganaderas para la reducción del uso de agroquímicos y pesticidas.
- Promover mejores prácticas de uso del suelo para reducir la producción de sedimentos, especialmente en las áreas ganaderas.
- Apoyar a los Gobiernos Locales y otras instituciones relacionadas a la implementación de Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARs) y Plantas de tratamiento de lixiviados provenientes de rellenos sanitarios.
- Fortalecer los sistemas de monitoreo para el control y seguimiento de vertidos industriales provenientes de la industria petrolera y minera.
- Coordinar con las empresas petroleras para realizar el mantenimiento adecuado de los oleoductos primarios y secundarios para reducir el riesgo de derrames de petróleo. Del mismo modo, realizar un control estricto de las aguas de formación y piscinas con pasivos ambientales.
- Regular las concesiones de libre aprovechamiento de materiales de construcción que se efectúan en los lechos de los ríos que deterioran las condiciones de los ecosistemas acuáticos.
- Generar una política para reglamentar la expansión del sector agrícola y ganadero, presentes en sistemas ecológicos priorizados
- Generar procesos de negociación con los sectores del desarrollo para evitar, mitigar, minimizar y compensar impactos al recurso hídrico de las obras de infraestructura, captaciones y uso del agua y pérdida de conectividad (sector hidroeléctrico).
- Evitar obras de transvase de cursos de agua sin una definición de los caudales ecológicos necesarios.
- Planificación del sector agroindustrial con criterios sostenibles, de conservación y protección, de uso eficiente de del recurso hídrico y del suelo; especialmente con los sectores de producción de palma, y producción forestal.

## 5.3 Objetivo estratégico 3: Levantamiento y generación de información básica

**Estrategia 3.1:** Generar información base ecológica y biológica.

- Fomentar, apoyar y realizar estudios en campo para levantar información de biodiversidad acuática y procesos relacionados para evaluar la integridad ecológica de los sistemas ecológicos acuáticos y su respuesta ecológica con la alteración del flujo.
- Identificar la biodiversidad acuática (peces, aves, mamíferos) y caracterizar sus funciones ecológicas en humedales, ciénagas y sistemas ecológicos priorizados.
- Realizar Evaluaciones ecológicas rápidas de biodiversidad acuática en las zonas en las cuales no se cuenta con información como la cuenca del río Curaray, zonas internas del Parque Nacional Yasuní y estribaciones andino-amazónicas.
- Identificar las épocas reproductivas y de migración y proteger los hábitats de reproducción y reclutamiento de las especies de peces.
- Realizar estudios sobre la bio-acumulación de contaminantes, especialmente metales pesados, en peces en especial en los ríos Aguarico, y Napo en sus zonas bajas.

**Estrategia 3.2.** Generar, levantar y recopilar información base hidrológica y de calidad el agua.

- Realizar estudios de modelamiento hidrológico para cuantificar el recurso hídrico y planificar escenarios alternativos de uso del mismo.
- Recopilar la información de demanda de agua, localización de captaciones, cantidad de agua captada, etc.
- Establecer una línea base de calidad del agua en la Demarcación Hidrográfica del Napo que permita contar con datos actuales.
- Conformar una red de monitoreo básico de calidad del agua que considere indicadores físico-químicos y biológicos.
- Definir los nombres de las unidades hidrográficas de nivel 6 y 7 definidas por el método Pfastetter para la Demarcación. Esto facilitará la ubicación de ríos de referencia en cada unidad.

## 6 Discusión y conclusiones

La Demarcación Hidrográfica del Napo es una de las zonas de mayor importancia para el desarrollo económico del Ecuador y posee también una alta biodiversidad. Estas condiciones han provocado que las actividades antrópicas desarrolladas en la Demarcación provoquen el deterioro de los ecosistemas tanto terrestres como acuáticos. El 38% de la Demarcación se encuentra bajo algún estatus de protección (Parques nacionales, reservas, bosques protectores, reservas municipales, Socio bosque).

Esta iniciativa ha permitido identificar las principales amenazas para la biodiversidad acuática, muchas de las cuales están relacionadas principalmente a la apertura de vías para el desarrollo de la industria petrolera especialmente. Estudios como los realizados por Bojsen y Barriga (2002) demuestran claramente el efecto de la deforestación en las comunidades de peces de la Amazonía ecuatoriana. De la misma manera Celi (2005) muestra los efectos de las actividades antrópicas sobre los ecosistemas acuáticos. Ambos estudios evidencian la necesidad de contar con información más detallada sobre los efectos del uso del suelo sobre los ecosistemas acuáticos y las alternativas para su manejo y recuperación.

La definición de unidades hidrográficas de análisis en tamaños que varían entre 10 y 75km<sup>2</sup> permite contar con una espacialización muy detalladas de las amenazas y la condición actual de los ecosistemas. El tamaño de las unidades de análisis permite establecer áreas de intervención que son posibles de intervenir a través de los Gobiernos Locales en sus diferentes niveles, provincial, cantonal y parroquial.

Como se ha mencionado en este documento, uno de los aspectos más importantes a considerar en la conservación y manejo de los ecosistemas acuáticos, es el mantenimiento de la conectividad longitudinal y lateral de los ríos. En la Demarcación se identificó algunas represas para el aprovechamiento hidroenergético, estas construcciones constituyen barreras para el mantenimiento de la conectividad longitudinal de los ríos, y para el transporte de sedimentos desde las cabeceras de los Andes hacia las zonas bajas de la Amazonía. La definición del portafolio tomó como un criterio muy importante la conectividad entre las zonas bajas e intermedias de la Demarcación. En términos de biodiversidad acuática y de peces en particular, se determinó la importancia de esta conectividad para la presencia de especies de peces. Desafortunadamente, la falta de información sobre los patrones migratorios y de distribución de las especies limita el alcance del estudio en este tema en particular.

Es prioritario iniciar un proceso de evaluación de la contaminación por metales pesados en las poblaciones de peces y otros grupos acuáticos y determinar los efectos de la bioacumulación de contaminantes en los pobladores locales, especialmente en los pobladores indígenas de las zonas bajas de la Demarcación que dependen en gran medida del consumo de peces para su subsistencia.

Los resultados de este estudio son una primera aproximación a la definición de áreas prioritarias para la conservación de biodiversidad acuática en la DH Napo. El portafolio espera ser una herramienta que sirva a los tomadores de decisiones, actores locales y gobiernos locales a contar con más elementos para incluir en su planificación la importancia de conservar sitios de gran importancia para la biodiversidad acuática y el mantenimiento de servicios ambientales.

Definir espacios de réplica de este estudio para otras Demarcaciones a nivel nacional, priorizando las ubicadas en la región amazónica ecuatoriana.

Se requiere definir un proceso de transferencia de la información con los Gobiernos locales asentados en la Demarcación y las instituciones nacionales involucradas en el proceso. La integración del portafolio en la política pública de los gobiernos locales dependerá de un proceso de fortalecimiento y seguimiento a la implementación de diversas medidas que aporten a la conservación de la biodiversidad acuática al interior de la Demarcación.

## 7 Referencias citadas:

Barriga, 2012. Lista de peces de agua dulce e intermareales del Ecuador. Revista Politécnica. Quito-Ecuador.

Bojsen B. H. y Barriga, R. 2002. Effects of deforestation on fish community structure in Ecuadorian Amazon streams. *Freshwater Biology*. Vol. 47. 2246–2260

Celi, J. 2005. The vulnerability of aquatic systems of the upper Napo river basin (ecuadorian amazon) to human activities.

CONAGE (2010). Políticas Nacionales de Información Geoespacial. Registro Oficial No. 269. C. N. d. Geoinformática.

FISRWG . 1998. "Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices, 10/98, by the Federal Interagency Stream Restoration Working Group (FISRWG)."

Heiner, M., J. Higgins, Jonathan Higgins, Xinhai Li y Barry Baker. 2010. "Identifying freshwater conservation priorities in the Upper Yangtze River Basin." *Freshwater Biology* 56: 89-105.

Higgins, J., M. Bryer, et al. 2005. "A Freshwater Classification Approach for Biodiversity Conservation Planning." *Conservation Biology* 19: 432 - 445.

Husson, F., J. Josse, et al. 2012. FactoMineR Rennes - France, Agrocampus Rennes.

Husson, F., J. Josse, et al. 2010. "Principal component methods - hierarchical clustering - partitional clustering: why would we need to choose for visualizing data?" Technical Report - Agrocampus.

INAMHI. 2009. Anuario hidrológico 2009. INAMHI. Quito-Ecuador.

INEC. 2011. Base de datos de censo de población y vivienda 2010. Quito-Ecuador.

MAE, 2012. Mapa bioclimático del Ecuador. Proyecto Mapa de vegetación del Ecuador. Quito-Ecuador.

Marine and Coastal Solutions International. 2009. Hawai'i Watershed Prioritization Process. Kamuela, Hawaii 96743, Hawaii CZM Program, NOAA: 30.

Pfafstetter, O. 1989. Classification of hydrographic basins: coding methodology. Rio de Janeiro, Departamento Nacional de Obras de Saneamento.

R Development Core Team (1997). R, GNU project.

SENAGUA, UICN, et al. 2009. Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Ecuador Escala 1:250 000 Nivel 5. Quito, SENAGUA: 60.

Smith, M., R. Schiff, et al. 2008. THE ACTIVE RIVER AREA: A conservation Framework for Protecting Rivers and Streams. T. N. Conservancy. Boston, M.A.

Stranger, J., C. Yuill, et al. 2000. "Landscape - Based Riparian Habitat Modeling for Amphibians and Reptiles Using Arc/Info Grid and Arcview." ESRI User Conference 2000 575.

Téllez, P., P. Petry, et al. 2011. Portafolio de Conservación de Agua Dulce para la Cuenca del Magdalena - Cauca. Colombia, Programa NASCA - The Natural Conservancy y CORMAGDALENA.

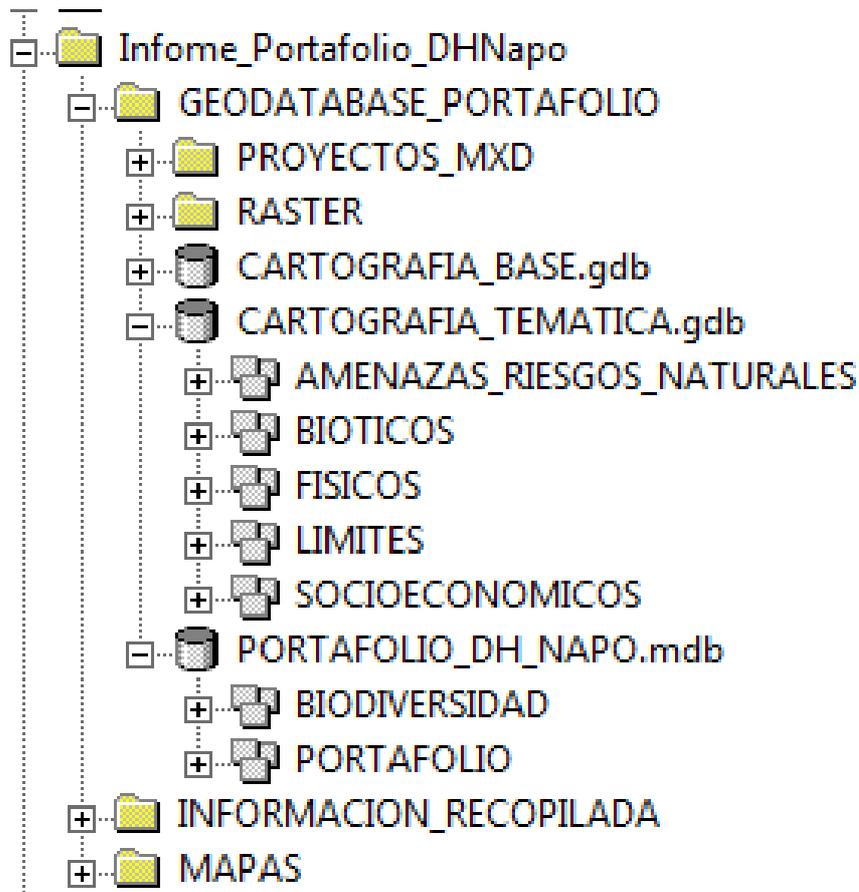
UICN (?). Práctica Guiada Proceso Semiautomático para la Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas, UICN: 6.

Urania, R. (2001). Metodología de Priorización de Cuencas Hidrográficas - Selección de Cuencas, Abt Associates Inc. / Agrofora S.A.

Ward J. V. 1989. The Four-Dimensional Nature of Lotic Ecosystems. Journal of the North American Benthological Society, 8(1): 2 – 8.

## 8 Anexos

### Estructura de la geodatabase de la información recopilada



**Lista de especies de peces registradas en la Demarcación Hidrográfica del Napo.**

Material complementario en digital.

**Lista de Aves acuáticas registradas en la Demarcación Hidrográfica del Napo.**

Material complementario en digital.

**Lista de mamíferos acuáticos registrados en la Demarcación Hidrográfica del Napo.**

Material complementario en digital.

**Lista de reptiles registrados en la Demarcación Hidrográfica del Napo.**

Material complementario en digital.

