

DESARROLLO DE UN PORTAFOLIO DE

Conservación de biodiversidad de agua dulce en la Amazonía peruana

CON IDENTIFICACIÓN DE CORREDORES DE PROTECCIÓN

PORTAFOLIO DE LAS CUENCAS NAPO, MARAÑÓN Y UCAYALI



DESARROLLO DE UN PORTAFOLIO DE

Conservación de biodiversidad de agua dulce en la Amazonía peruana

CON IDENTIFICACIÓN DE CORREDORES DE PROTECCIÓN

Portafolio de las cuencas Napo, Marañón y Ucayali

Copyright © 2024 – The Nature Conservancy

Todos los derechos de esta publicación están reservados a The Nature Conservancy.

TNC Perú

Director: Fernando Gherzi – Director TNC Perú

Coordinador de Agua Dulce: Aldo Cardenas Panduro

Coordinación general

Aldo Cardenas Panduro- Coordinador del programa Agua Dulce TNC Perú

Coordinación Científica

Paulo Petry – Científico senior de agua dulce para América Latina

Coordinación de diagramación y corrección de estilo

Iana Málaga – Especialista en comunicación TNC Perú

©Desarrollo de un portafolio de conservación de biodiversidad de agua dulce en la Amazonía peruana con identificación de corredores de protección

Autores:

Paulo Petry [1], Aldo Cárdenas [2]; Jorge Abad [3]; Raul Loayza [4]; Lucas Domínguez [5]; Tania Rojas [6].

[1] TNC Latinoamérica

[2] TNC Perú

[3] Red Yaku

[4] Red Yaku

[5] Red Yaku

[6] Red Yaku

Diseño y diagramación: Ana Periche

Corrección de estilo: Diana Quiñonez

Expresamos nuestros más profundos agradecimientos a los profesionales e instituciones quienes participaron en los talleres de expertos y contribuyeron con su conocimiento e información secundaria para enriquecer la base de datos de biodiversidad acuática, y llegar a validar el portafolio.

Contenido

Prólogo	6
Introducción	7
1. Aspectos generales de las cuencas en estudio	10
1.1. Cuenca Marañón	10
1.2. Cuenca Ucayali	12
1.3. Cuenca Napo	14
2. Metodología para el análisis multicriterio	16
2.1. Criterios de selección	16
2.2. Marco espacial para el análisis	17
2.2.1. Sistema ecológico	17
2.3. Integridad fluvial	17
2.4. Procedimiento metodológico para la obtención de los sistemas ecológicos	19
2.4.1. Clasificación jerárquica y anidada	20
2.4.2. Identificación de variables bióticas y abióticas presentes	22
2.4.3. Primer taller con expertos e instituciones involucrados en el ambiente en análisis	22
2.4.4. Delineación del área activa de inundación del río (ARA)	23
2.4.5. Clasificación de los sistemas ecológicos	23
2.4.6. Análisis y evaluación de la condición ecológica y grado de amenazas de los sistemas ecológicos	24
2.4.7. Generación del portafolio de conservación	30
2.4.8. Segundo y tercer taller con expertos e instituciones involucradas en las cuencas de análisis	30
2.4.9. Tercer taller con expertos e instituciones involucradas en las cuencas de análisis	31
3. Resultados	32
3.1. Clasificación espacial jerárquica y anidada	32
3.2. Clasificación de sistemas ecológicos por parámetros abióticos	34
3.3. Área de inundación del cauce (ARA)	36
3.4. Valoración de la condición ecológica y el grado de amenaza de los sistemas seleccionados	37
3.4.1. Valoración de condición ecológica	37
3.4.2. Valoración del grado de amenazas antrópicas	37
3.4.3. Áreas naturales protegidas y tierras indígenas	38
4. Selección del portafolio de sistemas ecológicos de agua dulce	55
4.1. Ajuste por biodiversidad acuática	55
4.2. Valoración de los sistemas ecológicos para medir el grado de prioridad	61
4.3. Selección final del portafolio	64
Conclusiones y recomendaciones	69
Referencias	70
Anexos	72

Prólogo

The Nature Conservancy (TNC) ha definido como paisaje icónico la cuenca amazónica, por ser el sistema fluvial más grande del mundo, cuyo origen se da mayormente en los andes peruanos. En esta cuenca desembocan los ríos más largos del mundo que aún mantienen su flujo libre; como son los ríos Marañón, Ucayali y Napo. Estos ríos cumplen un rol fundamental para la conexión de los Andes con la Amazonía, por lo que se constituyen como corredores biológicos naturales para especies migratorias como el delfín rosado, el bagre dorado y las tortugas de río. Además, se seleccionó estos ríos por ser los menos afectados por las actividades humanas en la Amazonía peruana.

Conocedores de la importancia de estos ríos, TNC elaboró este portafolio de conservación de biodiversidad de ecosistemas de agua dulce, conocido como *blueprint*, teniendo como base otras experiencias como el del río Magdalena en Colombia y el Tapajós en Brasil. El *blueprint* es un proceso metodológico, que, en base a mapas y base de datos, define áreas prioritarias para la conservación de ríos y humedales. El objetivo principal de este *blueprint* es mantener la conectividad de los ríos y humedales, por lo que los sistemas ecológicos seleccionados fueron ajustados para lograr este objetivo, considerando potenciales rutas migratorias para peces y otras especies.

Para este portafolio se trabajó con información secundaria extraída de bases de datos globales como [RAISG](#), [Amazon-fish](#), etc., que permitieron extraer información física, bióticas, condición ecológica y amenazas de las cuencas Marañón, Ucayali y Napo. Cabe recalcar que este portafolio se diferencia de otros porque se usó dos nuevas condiciones ecológicas: la morfodinámica reciente y los sedimentos suspendidos, los cuales ayudaron a priorizar un mayor número de sistema ecológicos. Sin embargo, este *blueprint* se debe considerar como una primera aproximación, la cual debe ser refinada a medida que se cuenta con más información de campo.

El trabajo se realizó en colaboración con [Red Yaku](#), quienes en base a su experiencia estudiando la morfodinámica, sedimentos y especies de los ríos amazónicos, lograron con éxito culminar este valioso estudio. Cabe resaltar que durante el proceso de priorización se llevó a cabo varios talleres con expertos y actores involucrados, en especial con comunidades nativas para dar a conocer los resultados del estudio.

Asimismo, este portafolio resulta de mucha ayuda para priorizar nuestro ámbito de trabajo en la Amazonía y que nos permitió afinar y ajustar nuestras metas de conservación de agua dulce al 2030, el cual se estima kilómetros de ríos y hectáreas de humedales conservadas. Finalmente, el *blueprint* sirvió de base para la creación de la iniciativa [Ríos de Vida](#), que es una campaña comunicacional liderada por TNC Latinoamérica, para visibilizar la importancia de los ríos y crear un movimiento que pueda contribuir a su conservación y recuperación. En dicha iniciativa se puede observar de forma interactiva el [blueprint de Perú](#) y de otros países, donde se puede navegar para visualizar los mapas que se usaron para el análisis y los resultados.

Esperamos que este portafolio de conservación de la biodiversidad sirva de ayuda a los tomadores de decisión, quienes tienen que implementar proyectos de infraestructura y servicios en las cuencas del Marañón, Ucayali y Napo.

Aldo Cárdenas Panduro

Coordinador del programa Agua Dulce, TNC Perú.

Introducción

La siguiente publicación describe detalladamente las actividades efectuadas para elaborar esta versión del portafolio (*blueprint*) de agua dulce para las cuencas de los ríos Marañón, Ucayali y Napo (Figura A), así como los resultados obtenidos.

En primer lugar, un portafolio se define como un plan de conservación. En ese sentido, un **mapa que identifica las áreas a conservar, su planificación y correlativa información de los objetivos de conservación** es el producto más significativo de un proyecto de planificación de la biodiversidad regional. En otras palabras, un portafolio es el resultado que sintetiza la recopilación y análisis detallado de la información (caracterización física y biótica), siendo el componente principal de cualquier plan regional integral para conservar la diversidad biológica (Grooves, 2003).

Por lo tanto, un portafolio de agua dulce se diseña para ser empleado como una herramienta de planificación de sitios estratégicos de conservación/mitigación y manejo de biodiversidad (Tellez et al., 2011). Nótese que debe ser considerado como una primera aproximación, la cual deberá ser refinada a medida que se cuente con más información de campo, especialmente con la constante colaboración de las diferentes instituciones del Gobierno, quienes al final son las encargadas de llevar a cabo las políticas de conservación.

En esta publicación nos centraremos en dos objetivos principales: la caracterización y descripción de los ambientes presentes en las cuencas para la selección de los que se encuentran en mejor condición (basados en la condición ecológica y el grado de amenaza), y en la formulación de planes de conservación y mitigación adaptados de manera regional e integral al ambiente. Se desprenden de estos objetivos los siguientes tópicos a tratar:

- Aspectos generales de las cuencas en estudio; sus principales características físicas, económicas, climáticas y bióticas

- Análisis y presentación de la metodología de multicriterio empleada.
- Presentación de los principales resultados metodológicos abordados.
- Presentación de la selección de ecosistemas.
- Recomendaciones de planes de conservación y conclusiones del estudio.

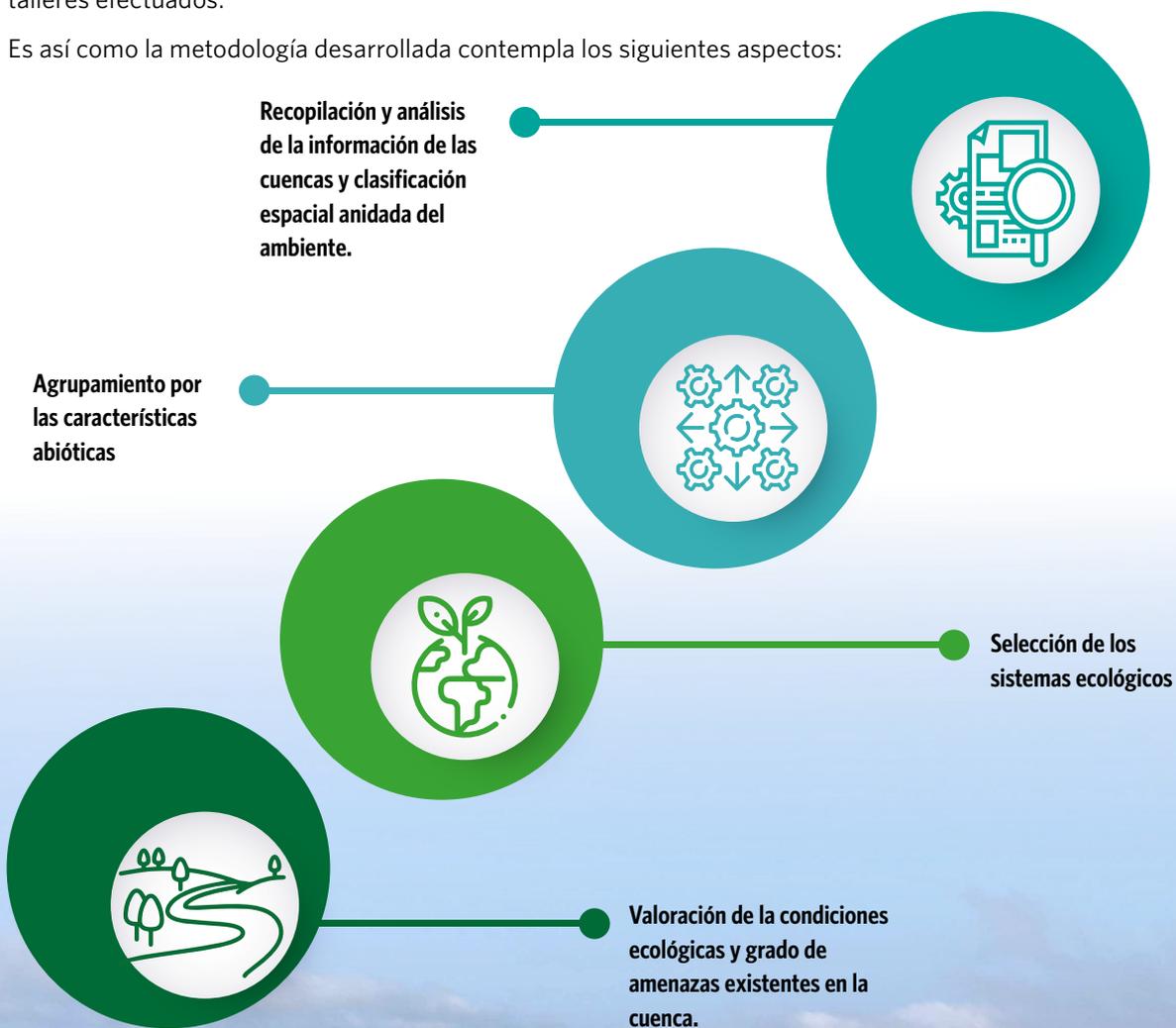
La metodología empleada para el diseño del portafolio ha sido adaptada al área en estudio de acuerdo con las experiencias internacionales presentadas por Higgins (2005), Thieme et al. (2007) y Sowa et al. (2007), como también tomando en cuenta lo hallado en Sudamérica por Tellez et al. (2011) y Petry et al. (2018). Además, se evaluaron los pasos propuestos por estos estudios y se incorporaron algunos pasos intermedios, con base en las nuevas herramientas disponibles, para lograr una buena representación del ambiente.

Las herramientas del sistema de información geográfica (SIG) y la información de sensoramiento remoto son esenciales para la conformación de un portafolio.

Estas permiten caracterizar los ambientes (bajo parámetros bióticos y abióticos) en diferentes escalas espaciales y temporales. Contar con una base de datos geoespacial integrada que permita tal fin es de fundamental importancia para la formulación de un portafolio, más aún en regiones extensas como las cuencas de análisis. Una vez efectuada la caracterización del ambiente, se seleccionarán regiones que cuenten con la mejor integridad ecosistémica; es decir, una buena condición ecológica y menor grado de impacto antrópico. Seleccionados los ambientes, se evaluarán los planes de conservación/mitigación vigente y se propondrán adecuados planes adaptados a los ambientes y sus particulares necesidades.

Se destaca que la versión que se presenta fue discutida con expertos en biodiversidad acuática, ambientalistas y organizaciones involucradas en la conservación de la cuenca amazónica durante los talleres efectuados.

Es así como la metodología desarrollada contempla los siguientes aspectos:



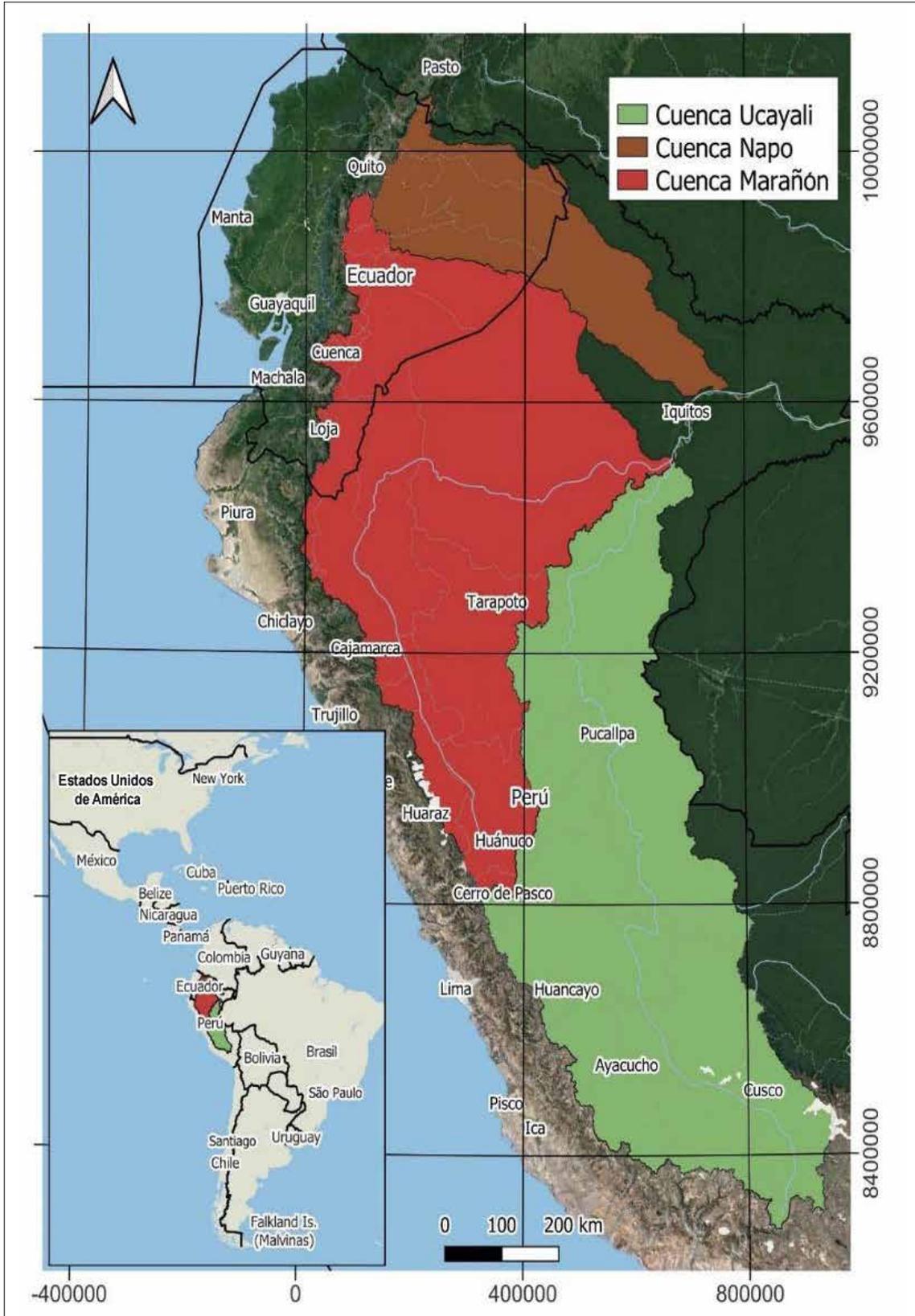


Figura A: Cuencas de estudio: Marañón, Ucayali y Napo

1 Aspectos generales de las cuencas en estudio

A continuación, se describen las características de las cuencas de estudio, detallando su actividad económica y social, sus actividades primarias y secundarias de producción, así como sus aspectos geográficos y climáticos característicos. Es esencial que estos aspectos sean tomados en cuenta en la formulación de planes estratégicos de conservación y mitigación, dado que podrían ser impactados de manera directa.

1.1. Cuenca Marañón

La cuenca del río Marañón forma parte del ecosistema tropical de la cuenca amazónica y se ubica al noreste del Perú (Figura 1.1). Esta abarca una superficie total de 363,000 km², donde el territorio peruano abarca un 84% y el 16% restante se ubica en territorio ecuatoriano.

El río Marañón, por su parte, tiene una longitud del cauce principal aproximada de 1,720.3 km, el cual se inicia desde la Cordillera Huayhuash, en Pasco, hasta su confluencia con el río Ucayali cerca de Natura, Loreto.

La cuenca del río Marañón comprende a diez regiones del territorio nacional (Loreto, San Martín, Amazonas, Cajamarca, Piura, Lambayeque, La Libertad, Ancash, Huánuco y Pasco) y nueve provincias del territorio ecuatoriano. Asimismo, alberga una población que aproximadamente representa el 13.71% de la población nacional. Climáticamente, la cuenca del río Marañón se caracteriza por su diversidad, que va desde lo tropical hasta lo andino (Senamhi, 2017).

Las actividades productivas en la cuenca del Marañón varían en gran medida. Se practican desde actividades agrícolas y pecuarias, de acuerdo a la tradición amazónica y andina, hasta proyectos y emprendimientos de agroindustria,

explotación forestal, explotación minera (en todas las escalas), explotación de hidrocarburos, turismo, entre otros. Dentro del ambiente físico, la cuenca alberga poblaciones andinas, comunidades campesinas, poblaciones ribereñas, zonas urbanas andinas y amazónicas, y comunidades nativas amazónicas. Respecto a estas últimas, el departamento de Amazonas alberga un total de 9,817 familias, distribuidas en 176 comunidades nativas; Cajamarca alberga un total de 281 familias, distribuidas en 2 comunidades nativas; Huánuco alberga un total de 402 familias, distribuidas en 16 comunidades nativas, y San Martín alberga un total de 961 familias, distribuidas en 30 comunidades nativas (Senamhi, 2017).

La cuenca del Marañón es rica en minerales e hidrocarburos, y se han otorgado muchas concesiones para su aprovechamiento. Existen pozos de petróleo tanto al norte como al sur del río Marañón. Dicho oleoducto cruza el extremo sureste de la Zona Reservada Santiago-Comaina. Los ductos transportan petróleo crudo de las regiones de la selva, a través de los Andes, a las refinerías del departamento costero de Piura. Un ramal del Oleoducto, en la Reserva Nacional Pacaya-Samiria, sigue el curso del Marañón y se encuentra con el conducto principal norte, justo río abajo del pongo de Manseriche. Allí, el oleoducto cruza el río Marañón y continúa su curso por una corta distancia, luego atraviesa los Andes. Dicho Oleoducto tiene una capacidad de traslado de 200,000 barriles por día (WCS, 2023).

Aparte de las pequeñas represas existentes en las zonas más altas y que son utilizadas principalmente para el almacenamiento de agua e irrigación, la única represa relativamente grande (400+ MW) es Chaglla, ubicada en el río Huallaga, a unos 1,200 metros de elevación y la cual ya terminó de construirse. A inicios de septiembre de 2015, se inició el llenado del embalse, el cual ha inundado de manera permanente 17 km del río Huallaga. Se ha propuesto la construcción de muchas más represas en la zona, la mayor de las cuales sería la del pongo de Manseriche. De concretarse, sería además la más grande del Perú.



Figura 1.1: Cuenca Marañón

1.2. Cuenca Ucayali

El río Ucayali es usualmente considerado como el principal tributario de la cuenca alta del río Amazonas (Figura 1.2). La longitud de su recorrido es considerada también como parte de la longitud de dicho río. La cuenca del río Ucayali, en su totalidad, abarca aproximadamente 350,000 km², esto es un 27% del territorio peruano. Un 67% de esta cuenca se encuentra comprendida en la región amazónica (selva alta y selva baja), que corresponde a la parte central y norte de la cuenca; mientras que el 33% restante se encuentra en la región andina (principalmente puna), localizada en la parte sur de esta cuenca.

El río Ucayali tiene una longitud de cauce principal aproximada de 1,571.7 km, desde la confluencia de los ríos Tambo y Urubamba hasta unirse con el río Marañón; y una longitud del cauce principal aproximada de 2,598.2 km desde la naciente de la cuenca en la quebrada Apacheta, en la provincia de Caylloma, Arequipa.

Esta cuenca tiene una población estimada de 5 millones de habitantes, de los cuales aproximadamente 3.5 millones (70% de la población de la cuenca) se encuentran en la región andina, donde se ubican ciudades importantes como Cusco (Cusco) y Huancayo (Junín); y 1.5 millones (30% del total) en la región amazónica, donde se ubican ciudades importantes como Pucallpa (Ucayali) y Chanchamayo (Junín).

La cuenca del río Ucayali cuenta con, por lo menos, tres pisos naturales: ceja de selva, selva alta y selva baja, lo que hace que contenga una gran variedad de recursos naturales y una alta disponibilidad de recursos hídricos, de flora y de fauna silvestre, que favorecen una realización diversificada de actividades productivas.

A lo largo de la cuenca, se realizan diferentes tipos de actividades económicas orientadas tanto a la industria como al consumo del mercado interno. Entre ellas destacan la pesca (boquichico, palometa, paiche, entre otros), la agricultura (de palma aceitera, caña de azúcar, maíz amarillo y cacao), la ganadería avícola, porcina y vacuna, el turismo y la extracción forestal maderable y no maderable. Esta última es especialmente posible debido a que su territorio se caracteriza por tener una importante aptitud forestal: 56% por ciento de su área está conformada por tierras forestales (bosque húmedo amazónico) según el sistema de apoyo a la toma de decisiones de la Macrocuenca de Ucayali.

La actividad minera se realiza de forma generalizada en la cuenca del Ucayali, especialmente en las regiones más altas, como en la cuenca del Mantaro, donde se encuentran las zonas mineras más famosas y desprestigiadas dado los altos niveles de contaminación que producen, principalmente de metales pesados y otros elementos peligrosos. En la cuenca del Mantaro también se encuentra el Complejo Hidroeléctrico del Mantaro, que es la principal fuente de energía hidroeléctrica de Perú. Numerosos proyectos de represas han sido propuestos en varios de los afluentes del río Ucayali, pero las protestas de los grupos indígenas y ambientalistas, además de la falta de financiamiento, los han dejado suspendidos momentáneamente (WCS, 2023).

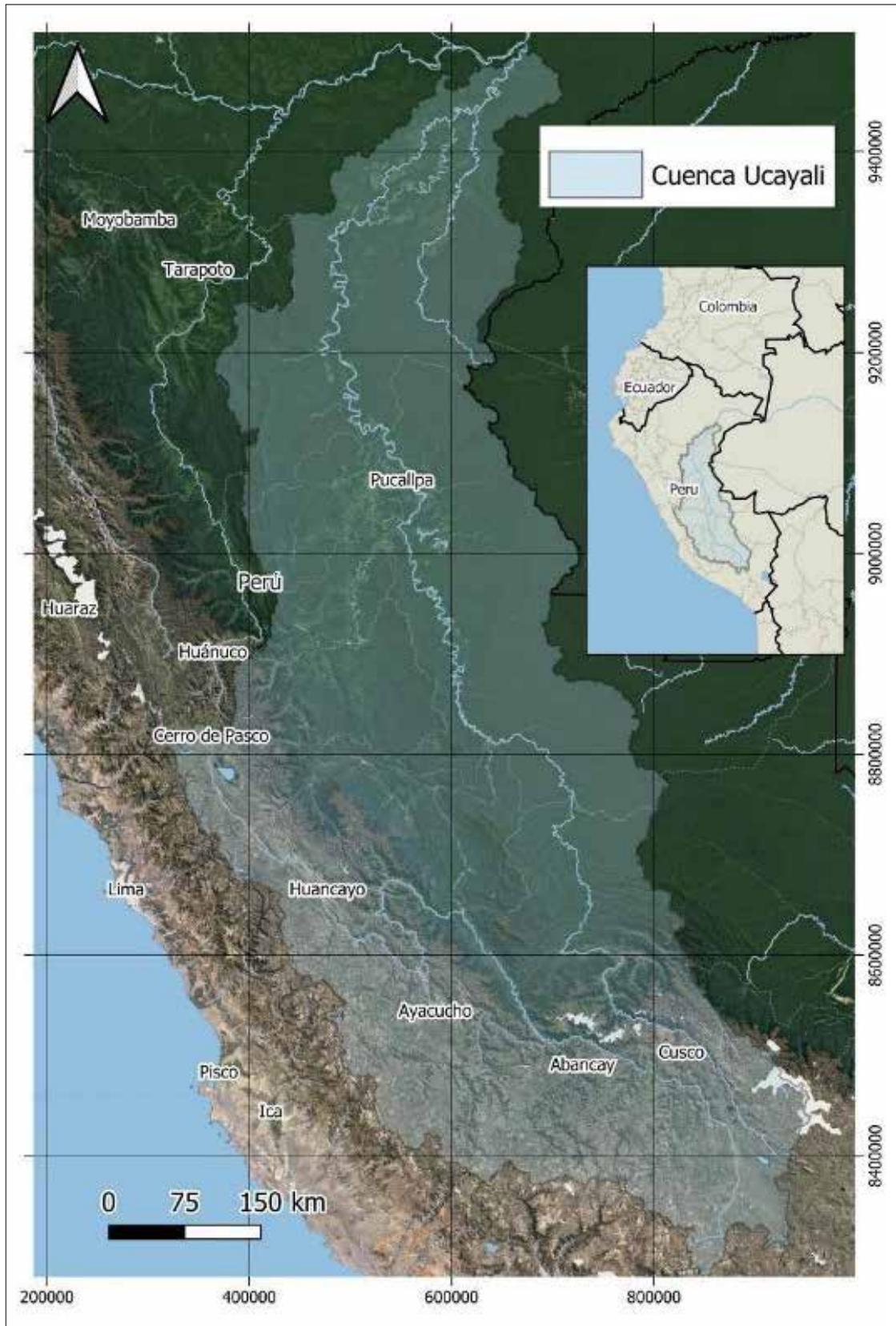


Figura 1.2: Cuenca Ucayali

1.3. Cuenca Napo

La cuenca Napo es transfronteriza entre Perú y Ecuador, y abarca 102,000 km² de extensión. El 60% de esta cuenta está en Ecuador, mientras que el otro 40 % se encuentra en Perú. Además, representa la mayor parte del área de drenaje del río Amazonas en Ecuador. El área de la cuenca del Napo que se encuentra en Perú está, en su totalidad, en el departamento de Loreto. En el área ecuatoriana, el Napo drena cuatro provincias, aunque más de la mitad se encuentra en la provincia de Napo.

Sus aguas recorren 1,130 km hasta su desembocadura en el gran río Amazonas, 463 km por territorio ecuatoriano y 667 km por territorio peruano. Su afluente principal es el río Curaray, que desemboca en el Napo cerca del centro poblado de Santa Clotilde, capital del distrito de Napo. El río Curaray marca la línea divisoria entre la cuenca alta, y las cuencas medias y bajo del Napo. En toda la cuenca habitan unos 33,000 pobladores distribuidos, en 200 comunidades.

La precipitación total anual en la cuenca del Napo está entre los 2,500 y 5,000 mm. Los valores más altos se dan en las laderas andinas. Las fluctuaciones anuales del nivel del río no se han medido, salvo en el bajo Napo, en Perú, que es de aproximadamente 8.5 m, similar a la del Amazonas, cerca de Iquitos. Las llanuras a lo largo del Napo se inundan anualmente entre diciembre y mayo de cada año (WCS, 2023).

Perú aún no ha establecido ningún área protegida en la cuenca del Napo. Ecuador, en cambio, tiene dos áreas de protección relativamente grandes: el Parque Nacional Yasuní y la Reserva de Producción Faunística Cuyabeno. En ambas existe acceso por carreteras que han sido construidas por empresas petroleras. El Parque Nacional Yasuní está justo al sur del Napo, cerca de la frontera con Perú, y abarca aproximadamente 6,500 km de bosque, en su mayoría de tierras altas. Dos grupos indígenas, los waorani y los quichua, habitan gran parte del parque. Los colonos se han trasladado recientemente al parque y han deforestado grandes extensiones de cultivos. La caza y la pesca también se han incrementado allí para abastecer el mercado local en Coca.

Aunque la cuenca del Napo ocupa solo una pequeña parte de la cuenca del Amazonas, los medios de comunicación y los grupos

ecologistas le han puesto mucha atención debido a las grandes reservas de petróleo que se han encontrado en el "oriente", que es como llaman los ecuatorianos a su región amazónica. Las carreteras construidas por la empresa petrolera Texaco-Gulf a fines de los 60 e inicios de los 70, abrieron el oriente tanto a la exploración petrolera como a la colonización agrícola. La principal de estas carreteras va de Quito a Lago Agrio, donde el oleoducto transecuatoriano se une al trasandino para enviar crudo a las refinerías costeras. Una carretera desde Ambato, al sur de Quito, entra en la cuenca del Napo. Las carreteras ecuatorianas en el oriente ahora cruzan la mayoría de las cabeceras del río Napo y se extienden mucho más allá de las estribaciones andinas

Según WCS (2023), desde la década de 1970, la red de carreteras en el oriente ha atraído a un gran número de colonos agrícolas de las tierras altas. Tal vez unos 100,000 habitantes provenientes de estas tierras están asentados hoy en día en el oriente. La mayoría de las áreas agropecuarias se restringen a las tierras altas, donde se cultiva plátano, yuca, café, cacao, maíz y hortalizas. La ganadería se está expandiendo rápidamente y grandes pastizales han invadido toda la cuenca del alto Napo. Los pastos de estas zonas, sin embargo, a diferencia de los de la mayor parte de la cuenca del Amazonas, no se secan, debido a las cantidades apreciables de precipitación que caen durante todo el año en la mayor parte del oriente. La región más ampliamente deforestada en el oriente se encuentra entre los ríos Aguarico y Napo.

La mayor preocupación ambiental en la cuenca del alto Napo se ha centrado en el oleoducto del oriente. Este corre en dirección sur, unos 250 km, desde el límite de la frontera Ecuador-Colombia hacia la zona sur de la cuenca del Napo. Las tuberías, ubicadas por encima del suelo, cruzan todos los ríos principales de la cuenca alta del Napo. Debido a la geología inestable de la cuenca alta y la extensa deforestación en algunas zonas, tanto la crecida de los ríos como los deslizamientos de tierra pueden causar rupturas en las tuberías. Además, Coca Codo Sinclair es la central hidroeléctrica más grande del Ecuador y la principal, al generar anualmente al menos una quinta parte de la energía eléctrica del país. En 2022, Coca Codo Sinclair generó 6,828.15 GWh, representando entre el 25% al 30% del total de energía producida en el país (WCS, 2023).

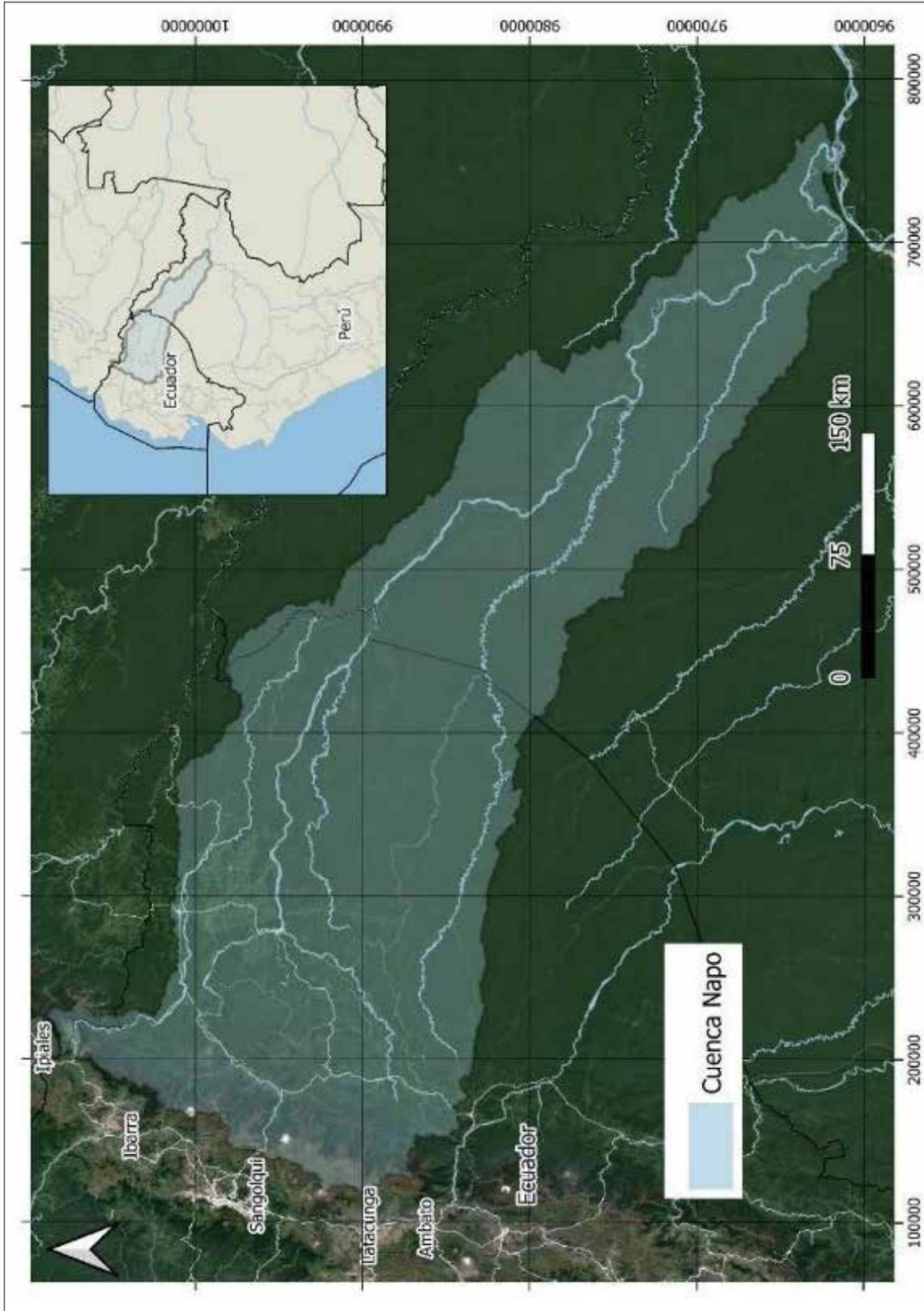


Figura 1.3: Cuenca Napo

2 Metodología para el análisis multicriterio

En la presente sección se describe detalladamente el método multicriterio empleado para la confección del portafolio de agua dulce en las cuencas Marañón, Ucayali y Napo. Se incorporan a esta sección, de manera conjunta, los pasos agregados de desarrollo propio para la consultoría que servirán para una mayor caracterización del ambiente.

2.1. Criterios de selección

Como se indicó anteriormente, uno de los primeros objetivos de un portafolio de agua dulce es la selección de un conjunto de áreas prioritarias para luego confeccionar las tareas de conservación/mitigación con base en un análisis minucioso de la condición ecológica y las amenazas antrópicas existentes. Es así como se desprenden objetivos secundarios: caracterización física del ambiente, análisis y actualización de las bases de datos de parámetros bióticos y abióticos, adecuación/adaptación del planteo metodológico (a la región en consideración) ya efectuado por otros autores y recopilación de amenazas y estresores antrópicos existentes.

Cabe resaltar que es necesario tener en cuenta criterios de selección exitosamente empleados por estudios previos en diversas cuencas del mundo (Groves, 2003; Higgins et al., 2003; Heiner et al., 2010; Khoury et al., 2010) y en la región de Sudamérica (Tellez et al., 2011, y Petry et al., 2018). Estos indicaron que, para la selección, se deben considerar los siguientes criterios:



Unidades analíticas: generar y caracterizar las unidades fluviales y cuencas para su clasificación.



Diversidad: clasificar los sistemas ecológicos con el fin de agrupar aquellos que contengan atributos similares.



Representatividad: alcanzar una adecuada representatividad de la biodiversidad presente en el ambiente, buscando su potencial ecológico y evolutivo en el tiempo.



Condición ecológica: con base en la disponibilidad de los datos recopilados en el ambiente estudiado, el criterio busca que las cuencas y ríos seleccionados contengan elementos de biodiversidad correlacionados con la buena integridad ecológica y baja influencia de impacto humano.



Conectividad: lograr que la selección de elementos fluviales cuente con conexión longitudinal y lateral de procesos ecológicos, tales como la migración de peces o el desplazamiento de sedimentos (y nutrientes).



Eficiencia: el portafolio final deberá contar con sitios que cumplan con los objetivos de biodiversidad del ambiente.

2.2. Marco espacial para el análisis

El concepto de clasificación de ecosistemas se basa en el enfoque jerárquico, el cual permite garantizar la representatividad de biodiversidad y continuidad de procesos a diferentes escalas (Higgins, 2005). Las cuencas son unidades jerárquicamente anidadas; así, grandes cuencas pueden ser subdivididas en cuencas menores (Thieme et al., 2007). Este planteamiento asegura una captura representativa de los procesos que influyen sobre la biodiversidad en múltiples escalas espaciales y temporales. Higgins (2005) establece cuatro escalas jerárquicas, que abarcan las unidades acuáticas zoogeográficas (UAZ), las unidades de drenaje ecológico (UDE), los sistemas ecológicos (SE) y los macrohábitats. Mientras los tres niveles más altos pueden ser delineados, el último requiere contar con un gran volumen de datos para su definición. Aun así, otros autores (Maxwell et al., 1995) indican que es posible incorporar otros niveles jerárquicos, entendiéndose que con estos cuatro niveles es posible caracterizar la escala de patrones ecológicos.

2.2.1. Sistema ecológico

Los sistemas ecológicos (SE) son redes de arroyos y lagos que representan una variedad de áreas con diversos patrones geomorfológicos unidos por procesos ambientales similares (por ejemplo, regímenes hidrológicos, de nutrientes y de temperatura; Groves et al. 2003). Para la determinación de estos suelen considerarse atributos como elevación, pendiente, clima, geología, entre otros.

Los patrones de las condiciones ambientales que determinan las características de los ecosistemas de agua dulce e influyen en los patrones bióticos se utilizan para clasificar los SE. Los sistemas ecológicos generalmente se clasifican utilizando datos SIG disponibles sobre hidrografía de arroyos y lagos, geografía superficial, elevación de la superficie terrestre y otros factores ecológicamente relevantes. Los tamaños de los sistemas ecológicos acuáticos suelen variar desde complejos de arroyos, lagos y humedales de cabecera de 100 km² hasta la

cuenca fluvial más grande de una ecorregión. Estas dimensiones pueden variar de acuerdo con la información con que se cuenta. A pesar de las diferencias regionales en la importancia de las variables abióticas específicas para las características del ecosistema y los patrones bióticos, en la mayoría de los lugares se puede derivar alguna combinación de estas variables a partir de los datos SIG existentes a una escala que sea relevante para la clasificación.

2.3. Integridad fluvial

Es relevante indicar que el sistema fluvial con la totalidad de elementos componentes (cauce, lagos, lagunas, pantanos, humedales, cochas, paleocauces, Figura 2.2) juega un rol esencial en un ecosistema. Es el encargado de distribuir el agua y sedimento (y por lo tanto nutriente) a todo el ecosistema; es decir, su presencia o ausencia afecta de manera directa los patrones de biodiversidad reinante y su potencial futuro. Se sabe que los sistemas fluviales son elementos cambiantes y esto se debe a su capacidad morfológica de adaptarse (cambiando su forma en planta y profundidad), generando nuevas trazas o canales. Estos cambios pueden deberse a diversos factores, entre los que se encuentran la disponibilidad de sedimentos, geología, topografía y, por supuesto, su hidrología. Frías et al. (2015), Mendoza et al., (2016), Domínguez et al. (2021), Rojas et al. (2023), Valverde et al. (2023) y Abad et al. (2022, 2023) indicaron que los sistemas amazónicos pueden cambiar (adaptarse) en tramos dependiendo principalmente de los cauces secundarios que le aportan o redistribuyen su carga de sedimento y agua.

Surge así que entender la dinámica de interacción de los sistemas fluviales es esencial para garantizar la disponibilidad de nutrientes y, por ende, de biodiversidad. Podríamos decir que existen entonces cuatro tipos de interacciones que desarrolla un sistema fluvial: longitudinal, lateral, vertical y temporal. Los dos primeros hacen referencia a la interacción y dinámica continua del cauce desde su nacimiento hasta la desembocadura, en donde atraviesa diferentes estados geomorfológicos, composición de suelo

y régimen hidrológico y, por ende, se efectúan diferentes patrones. La dimensión lateral hace referencia a la interacción lateral del sistema de cauce principal, cauces fluviales secundarios de menor jerarquía y zonas inundables (paleocauces, lagunas, cochas, humedales). Estos ambientes en muchas regiones son propicios para el desarrollo de algunas especies (Rojas et al., 2021). La dimensión vertical se refiere al intercambio del agua superficial y subterránea. Por último, la temporal se encuentra vinculada al régimen hidrológico/sedimentológico del sistema y es esencial para el desarrollo de hábitat y vida de diversas especies acuáticas de fauna y flora (Tellez et al., 2011).

La dinámica espaciotemporal de los sistemas ecológicos se encuentra correlacionada con los factores formadores que actúan de manera combinada en procesos geológicos, climáticos, fluviales y ecológicos, y que puede asumirse que inciden sobre 8 atributos (Tellez et al., 2011). Estos atributos (Figura 2.3) garantizan la integridad de los SE y contemplan los siguientes aspectos:

- el régimen hidrológico, que incluye el régimen superficial subterráneo;
- el régimen sedimentológico, este incluye los periodos de aporte de sedimento, particularmente la fracción fina (encargada de contribuir con nutrientes);
- la conectividad longitudinal o el gradiente de continuidad aguas arriba y aguas abajo y la continuidad lateral o la continuidad hidráulica entre cauces y planicie de inundación;
- las condiciones del hábitat físico, es decir la disposición geométrica del sistema ecológico;
- la composición y estructura biótica;
- las interacciones entre especies y elementos del ecosistema, intercambios de energía y relaciones funcionales entre especies;
- el régimen químico de agua (calidad), es decir, la salinidad, alcalinidad, dureza, temperatura, sales minerales, gases disueltos y turbiedad; y
- la morfometría, es decir, los cambios presentes y la dinámica morfológica del ambiente fluvial.

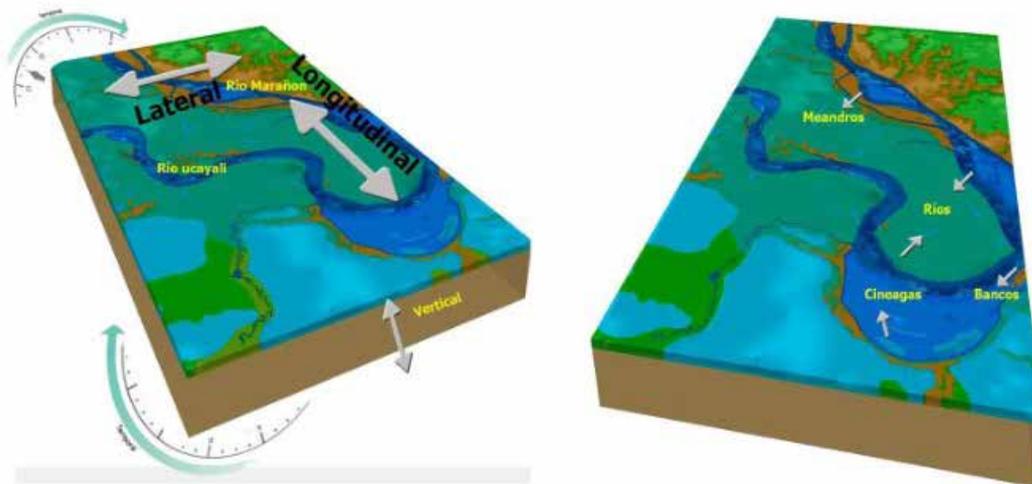


Figura 2.2: Dinámica espaciotemporal de los sistemas ecológicos.



Figura 2.3: Atributos ecosistémicos claves para la integridad ecológica en sistema ecológico de agua dulce

2.4. Procedimiento metodológico para la obtención de los sistemas ecológicos

Para la conformación del portafolio de agua dulce se presenta un esquema de trabajo secuencial en base a los objetivos inicialmente planteados. Dicho esquema se puede resumir en los siguientes 3 pasos:

Recopilación de información: El primer paso fundamental del portafolio es la recopilación de antecedentes de estudios y el tratamiento y adecuación de los parámetros bióticos y abióticos existentes en las cuencas Ucayali, Napo y Marañón. Toda la información fue secuenciada, organizada y filtrada de manera que permita caracterizar las cuencas. Inicialmente, se buscaron las bases de datos asociadas al componente biótico, el cual incluye anfibios, aves, mamíferos, peces y reptiles; junto a estos, las características físicas del medio, como topografía, cobertura vegetal, hidrografía; además de los factores antrópicos (represas, vías de comunicación, centros urbanos, entre otros). En este paso es esencial contar con información de calidad, de alta resolución espacial y proveniente de fuentes confiables.

Selección de sitios: mediante el análisis de herramientas de sistemas de información geográfica (SIG), se identificarán zonas prioritarias para la representación de objetivos en el ambiente de estudio. Esto se efectúa i) clasificando los ecosistemas basados en parámetros físicos; ii) desarrollo de índices ecológicos para cada cuenca, extraídos de la condición ecológica actual e impacto humano, y iii) selección de sitios prioritarios para la planificación de la conservación.

La Figura 2.4 presenta los pasos seguidos para la confección del portafolio. En cada una de estas etapas se consultaron expertos e instituciones del medio, con el fin de discutir, corregir y actualizar el conocimiento en el área, así como proponer mejoras adecuadas a los pasos procedimentales.



Figura 2.4: Flujo de trabajo para alcanzar el portafolio de agua dulce

2.4.1. Clasificación jerárquica y anidada

Para mapear las cuencas y subcuencas (clasificación jerárquica y anidada) se empleó la información disponible por gracias al proyecto [HydroSHEDS](#) desarrollada por el Fondo Mundial para la Naturaleza o WWF-US, según sus siglas en inglés (Lehner, Verdin and Jarvis, 2006), particularmente la desprendida del subproducto [HydroBASINS](#) representa una serie de capas de polígonos vectorizados que delinean las subcuencas (de cobertura global). El objetivo de este producto es brindar una cobertura global uniforme de subcuencas anidadas jerárquicamente y de tamaño constante a

diferentes escalas (de decenas a millones de kilómetros cuadrados), respaldada por un esquema de codificación Pfafstetter (Verdin y Verdin, 1999), que permite el análisis de la topología de la cuenca y conectividad aguas abajo. HydroBASINS se ha extraído de las capas centrales de HydroSHEDS, cuadrículadas con una resolución de 90 m. Las cuencas están delineadas en una jerarquía de 10 niveles, es decir con 10 umbrales de área de cuenca (Figura 2.5) que dividen la red hidrográfica en las confluencias principales.

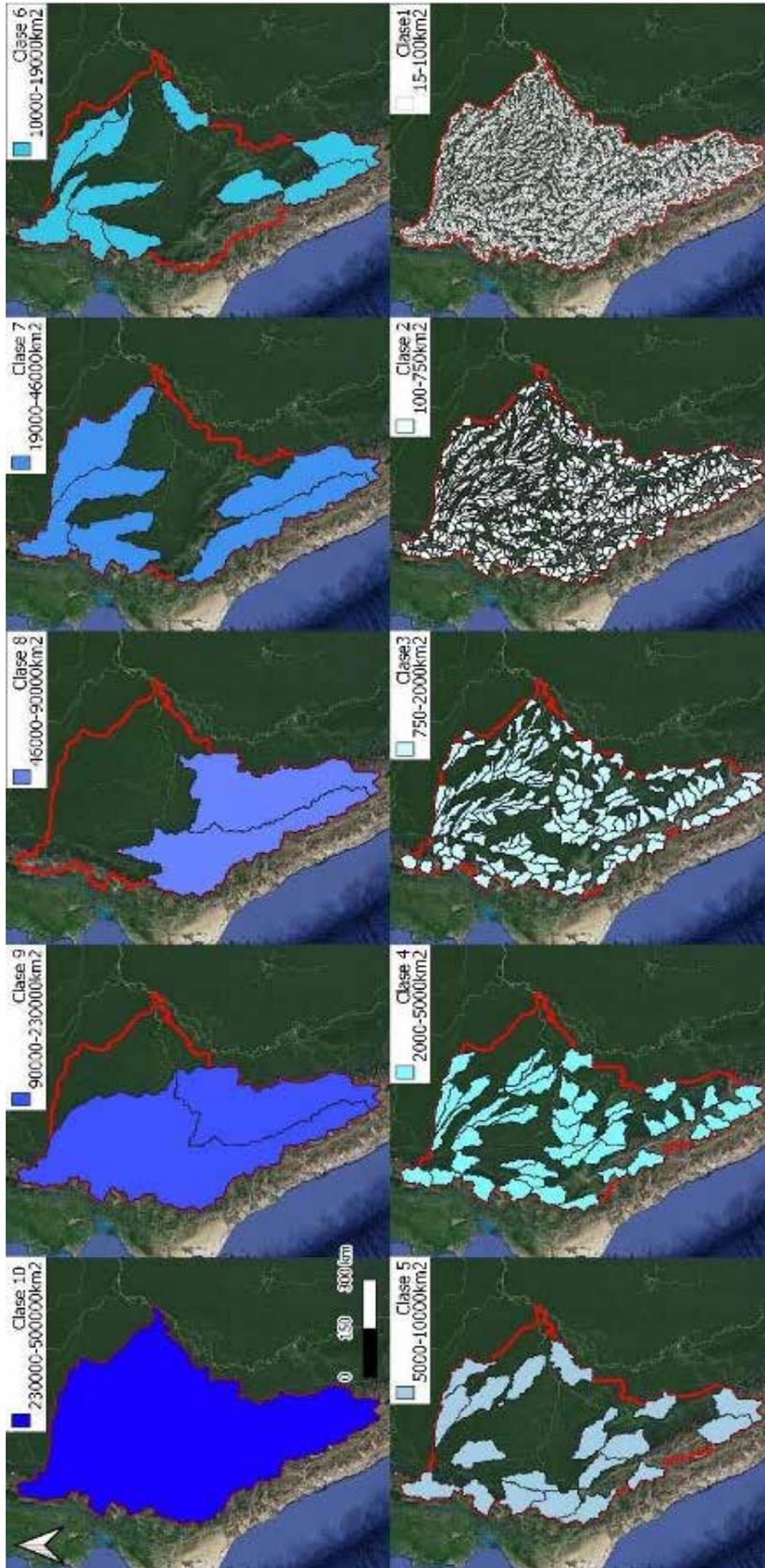


Figura 2.5: Niveles (clases) de cuencas y subcuencas presentes en la cuenca Marañón

2.4.2. Identificación de variables bióticas y abióticas presentes

Nótese que, en esta etapa, se efectúa una recopilación, adecuación y análisis de la información biótica y abiótica existente. La base de datos de las variables bióticas se elaboró con información extraída de Amazon Fish Project,

el *Atlas de humedales y pesquerías en Loreto*, Global Biodiversity Information Facility (GBIF), Amazonía Camtrap y referencias científicas. De estas bases de datos, se pudo capitalizar la mayor información de biodiversidad acuática en la Amazonía peruana. Los parámetros abióticos se muestran en la Tabla 2.1.

● Tabla 2.1 Parámetros abióticos evaluados para la caracterización y clasificación de los sistemas ecológicos

Parámetros	Unidades	Descripción	Fuente
Elevación	m	Modelo de elevación del terreno	ALOS PALSAR
Pendiente	°	Varía entre 0-90°	Subproducto de ALOS PALSAR
Agua nieve	mm	Presencia (o no) de nieve. Promedio año 2021	
Escorrentía	mm	Escorrentía derivada del modelo unidimensional de balance de suelo-agua. Promedio año 2021	
Temperatura mínima	°C	Temperatura mínima. Año 2021	
Temperatura máxima	°C	Temperatura máxima. Año 2021	
Evapotranspiración real	mm	Evapotranspiración actual empleando un modelo unidimensional de balance de suelo-agua. Promedio año 2021	https://www.climatologylab.org/terraclimate.html
Humedad de suelo	mm	Humedad del suelo. Promedio año 2021	
Índice Palmer		Índice de severidad de sequía Palmer. Promedio año 2021	
Índice ombrotérmico anual (Io1)		Es el cociente de la sumatoria de precipitación media mensual sobre la sumatoria de temperatura media mensual multiplicado por un factor de 10 (Rivas-Martínez, 2004)	
Unidades geológicas		Mapa de unidades geológicas de Sudamérica	Alcárcel-Gutiérrez, F., et al. (2023)

2.4.3. Primer taller con expertos e instituciones involucrados en el ambiente en análisis

Los días 23 y 24 de marzo del 2023 se llevó a cabo el primer taller¹ con expertos en el Hotel Sonesta de San Isidro, en Lima, Perú. El encuentro fue organizado por The Nature Conservancy-Perú y co-liderado por Red Yaku. De las exposiciones y discusiones generadas en el taller, se resalta lo siguiente:

- El levantamiento de datos debe ser de interés constante y se deben priorizar los indicadores biológicos. Cabe señalar que es necesario superar la barrera de que los peces no son considerados como fauna por las instituciones del Estado, lo cual es el principal obstáculo al momento de clasificarlos.
- Cabe precisar que muchos de los esfuerzos de conservación serán sostenibles en el tiempo en la medida en que sean solventados por el Estado como parte de la gestión pública.
- Se discutió la importancia de la temporalidad en la recolección de datos, tanto del ciclo de vida de las especies como del ciclo hidrológico (época de inundaciones). Asimismo, los expertos señalan la existencia de vacíos en la recolección de datos. Se menciona la necesidad de discutir la manera de completar los vacíos de datos existentes, ya que la falta de información representa un menor alcance de conservación.

1 <https://sites.google.com/redyaku.com/portafolioconservacionamazonia/primer-taller-marzo>

Adicionalmente, se elaboró un sitio web para el desarrollo del proyecto en el cual se compartieron los objetivos del proyecto, las ocurrencias de grupos de especies por cuenca, las actividades a desarrollarse con los grupos de trabajo, [las exposiciones de los expertos, reportes técnicos y mapas](#).

2.4.4. Delineación del área activa de inundación del río (ARA)

El área activa del río o área de inundación es una región donde se producen interacciones del cauce con la llanura. Es allí donde se transfiere agua, sedimento y material orgánico (Smith et al., 2008). El ARA es un marco que ofrece una visión espacialmente explícita y holística de los ríos, que incluye tanto los cauces como la planicie de inundación, donde se desarrollan los procesos físicos y ecológicos asociados con el sistema fluvial. Cabe destacar que el concepto de ARA se encuentra ligado a la representación de un evento de crecida para un periodo de recurrencia de 100 años (Petry, 2018); es decir, el cálculo de ARA nos simboliza el espejo que

se desarrollaría en la cuenca de estudio si se produce tal evento.

2.4.5. Clasificación de los sistemas ecológicos

El paso siguiente fue agrupar los sistemas ecológicos que presentan homogeneidad de parámetros abióticos. Para esto se emplearon los previamente presentados en la Sección 2.4.2 (Tabla 2.1). El procedimiento seguido fue el análisis de conglomerado (agrupamiento) estadístico, el objetivo fue obtener diferentes grupos de sistemas ecológicos caracterizados por contar con parámetros abióticos homogéneos. Este procedimiento fue contrastado con información de antecedentes y experiencia del grupo de trabajo, para garantizar la identificación adecuada de regiones con patrones similares. El análisis de agrupamiento se efectuó en el software JMP (JMP® 17, 2023), el cual permitió ejecutar un análisis estadístico de distancia euclidiana mediante el método Ward (Figura 2.6).

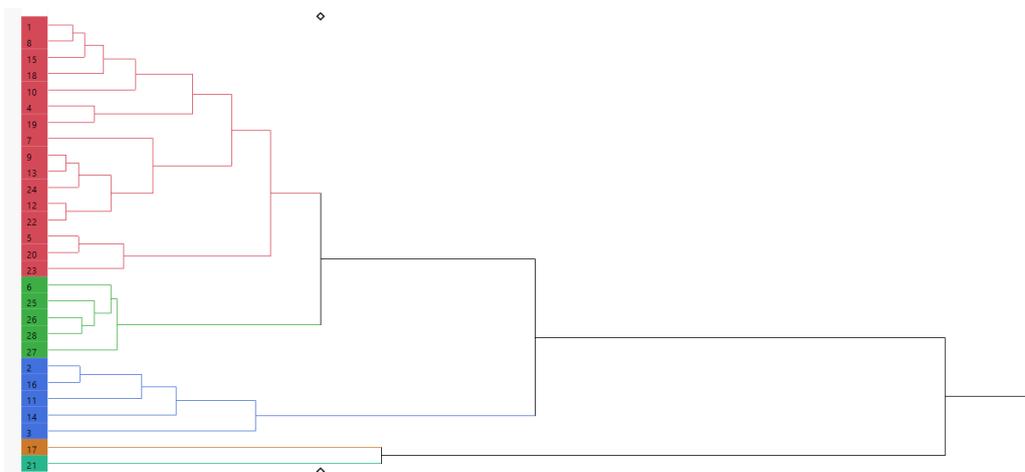


Figura 2.6: Dendrograma de clasificación con distancia euclidiana método Ward (JMP®)

Se evaluaron diferentes metodologías de agrupamiento y en base a las condiciones de las cuencas (dimensiones, número de cauces, entre otros) se optó por separar los SE en tributarios y cabeceras. Esta separación se llevó a cabo dado que las geometrías de los SE presentan características diferenciales (elongadas o circulares). Como elemento de corte, se seleccionaron como tributarios aquellos SE conformados por la clase 4 y superiores; es

decir, aquellas subcuencas con una dimensión mayor a 2000 km² (ver detalles en Sección 2.4.1). Entonces, se clasificaron por separado a los SE tributarios y cabecera, y finalmente se unificaron ambos resultados para contar con la clasificación de parámetros abióticos de todos los sistemas ecológicos por cuenca.

2.4.6. Análisis y evaluación de la condición ecológica y grado de amenaza de los sistemas ecológicos

La biodiversidad y su integridad ecosistémica dependen, entre otros factores, de la heterogeneidad espacial y temporal, por lo que los cambios en los patrones naturales presentes pueden alterar de manera reversible o irreversible un ambiente, afectando el desarrollo e incluso la extensión de las especies. Dado que las características bióticas y abióticas son específicas en cada ambiente, la propuesta de análisis de integridad ecológica se encuentra basada en experiencias previas (Tellez et al., 2011; Petry et al., 2018) y adaptada al ambiente en estudio, a fin de alcanzar un resultado representativo sobre este. Para el

establecimiento de estas condiciones, fue clave identificar las variables que definen la condición natural (ecológica) y las amenazas existentes. Se estableció así una serie de variables que actúan de manera directa sobre los atributos de integridad (ver Sección 2.3), las cuales son presentadas en la Tabla 2.2 y Tabla 2.3. Se incorporaron un gran número de condiciones, como morfodinámica reciente, transporte de sedimento suspendido, minería, deforestación, incendios/quemas, derrames de petróleo e hidrocarburos etc. Estas fueron generadas por el grupo de trabajo y serán detalladas en la siguiente sección. Cabe destacar que estas condiciones fueron propuestas y discutidas durante el primer taller con actores, y fueron incluidas finalmente aquellas de mayor impacto en el sistema en estudio.

● Tabla 2.2 Variables empleadas para el análisis de condición ecológica de los sistemas ecológicos

Variable empleada para la caracterización de condición ecológica para los sistemas ecológicos	Atributos de integridad directamente vinculados
Extensión de cobertura vegetal natural	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Régimen hidrológico ▪ Régimen sedimentológico ▪ Hábitat físico ▪ Conectividad
Extensión de área activa de inundación (ARA)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Régimen hidrológico ▪ Régimen sedimentológico ▪ Hábitat físico ▪ Conectividad ▪ Morfometría ▪ Oferta de energía/carbono
Extensión de área activa de inundación en cobertura vegetal natural	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Régimen hidrológico ▪ Régimen sedimentológico ▪ Hábitat físico ▪ Conectividad ▪ Morfometría ▪ Oferta de energía/carbono ▪ Calidad de agua
Morfodinámica reciente	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Régimen hidrológico ▪ Régimen sedimentológico ▪ Hábitat físico ▪ Conectividad ▪ Morfometría ▪ Oferta de energía/carbono ▪ Calidad de agua ▪ Composición biótica
Transporte de sedimento suspendido	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Régimen sedimentológico ▪ Hábitat físico ▪ Conectividad ▪ Morfometría ▪ Oferta de energía/carbono ▪ Calidad de agua

● Tabla 2.3 Variables empleadas para el análisis de grado de amenaza de los sistemas ecológicos

Variable empleada para evaluar el grado de amenazas de los sistemas ecológicos	Atributos de integridad directamente vinculados
Número de represas actuales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Régimen hidrológico ▪ Régimen sedimentológico ▪ Hábitat físico ▪ Conectividad ▪ Morfometría ▪ Calidad de agua ▪ Composición biótica
Densidad de vías	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Régimen hidrológico ▪ Régimen sedimentológico ▪ Hábitat físico ▪ Conectividad ▪ Morfometría ▪ Oferta de energía/carbono ▪ Composición biótica
Extensión área urbana	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Régimen hidrológico ▪ Régimen sedimentológico ▪ Morfometría ▪ Oferta de energía/carbono ▪ Calidad de agua
Población total	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Régimen hidrológico ▪ Hábitat físico ▪ Conectividad ▪ Morfometría ▪ Calidad de agua
Extensión de actividad agrícola	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Morfometría ▪ Oferta de Energía/carbono ▪ Calidad de agua ▪ Hábitat físico
Extensión de actividad minera formal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Régimen sedimentológico ▪ Morfometría ▪ Hábitat físico ▪ Oferta de energía/carbono ▪ Calidad de agua ▪ Composición biótica
Número de observaciones de minería informal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Régimen sedimentológico ▪ Morfometría ▪ Hábitat físico ▪ Oferta de energía/carbono ▪ Calidad de agua
Extensión de áreas deforestadas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Régimen sedimentológico ▪ Oferta de energía/carbono ▪ Calidad de agua ▪ Hábitat físico
Extensión y número de incendios/quemas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hábitat físico ▪ Oferta de energía/carbono ▪ Calidad de agua ▪ Composición biótica
Extensión de actividad hidrocarburífera	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Calidad de agua ▪ Composición biótica
Frecuencia de derrames de petróleo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Calidad de agua ▪ Composición biótica

Valoración de la condición ecológica

Para evaluar tanto la condición ecológica como el grado de amenaza, se identificaron cada una de las condiciones presentadas en la Tabla 2.2. Previamente, se cartografiaron (vectorizar o rasterizar) cada una de estas condiciones por cuencas en estudio. Esto permitió asignarle una puntuación a cada sistema ecológico. Los valores porcentuales se clasificaron en rangos y a cada rango se le asignó un puntaje numérico

y una descripción cualitativa, luego los puntajes de las capas (condiciones) se sumaron.

Este procedimiento se reiteró para cada sistema ecológico y se estableció un puntaje total de la condición ecológica. La Tabla 2.4 presenta la escala de valores definida para evaluar la condición natural. Cabe destacar que estos rangos de puntuación fueron extraídos de experiencias previas (Tellez et al., 2011) o adecuados de acuerdo a experiencias previas.

● Tabla 2.4 Rangos de puntaje y categorías utilizadas para establecer la condición ecológica

Condición	Excelente	Buena	Moderada	Baja	Muy baja	Fuente de información
Extensión de cobertura vegetal natural [%]	90-100	70-90	50-70	20-50	0-20	Cobertura Terrestre Global ESA
Puntaje	5	4	3	2	1	
Extensión de área activa de inundación del río (ARA) [%]	90-100	70-90	50-70	20-50	0-20	TNC, Smith (2008)
Puntaje	5	4	3	2	1	
Extensión de ARA sobre cobertura vegetal natural [%]	90-100	70-90	50-70	20-50	0-20	TNC, Smith (2008) y Cobertura Terrestre Global ESA
Puntaje	5	4	3	2	1	
Morfodinámica reciente	>15	7-15	3-7	1-3	0-1	Desarrollo propio, incorporado a la metodología
Puntaje	5	4	3	2	1	
Sedimento suspendido (fracción fina) [SSI]	>20	10-20	5-10	1-5	0-1	Desarrollo propio, incorporado a la metodología
Puntaje	5	4	3	2	1	
Puntaje total	25	20	15	10	5	

Para estimar la extensión de manera porcentual de las tres primeras condiciones ecológicas (Tabla 2.4) por cada sistema ecológico, se calculó el área de la condición (representada por número de píxel y extensión de cada píxel) y se estimó el área de cada sistema ecológico. El cociente entre estas áreas se considera la extensión porcentual (Figura 2.7).

Sobre la estimación de la morfodinámica reciente

En esta subsección es importante destacar que la información desarrollada se generó de forma específica para esta consultoría. A fin de efectuar la estimación de la morfodinámica reciente, se recopiló y analizó un gran volumen de imágenes satelitales de alta resolución espacial. Para ello se escogió como fuente prioritaria la misión satelital [Landsat](#) que garantiza una gran cobertura de registro, espacial, con una resolución de 30m/píxel e información de al menos 50 años; y buena temporalidad de captura de datos (revisita cada 15 días), lo que genera una buena continuidad de datos desde 1986 hasta la actualidad. Después de descargada la información satelital, se organizó de manera secuencial.

Una vez digitalizados los cauces año a año mediante la entidad "polígonos", se estimó la zona de erosión (zona nueva que presenta cauce) y deposición (zona donde no hay cauce) entre los periodos de estudio.

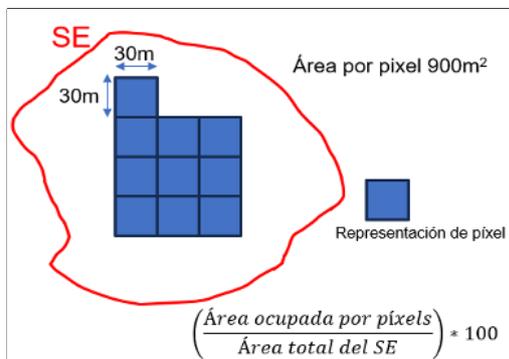


Figura 2.7: Esquema conceptual del cálculo de área ocupada y expresión matemática para cada sistema ecológico

Sobre la estimación cualitativa del transporte de sedimento (fracción fina)

De la misma manera que con la condición de morfodinámica reciente, la información sobre el transporte de sedimento suspendido fue de desarrollo propio y se incorporó a la metodología en el presente producto. Los pasos seguidos para la determinación cualitativa del transporte de sedimento en suspensión (fracción fina) culminaron con el análisis de información satelital, el cual permite determinar los patrones de movilidad de sedimento (entender las líneas preferenciales) y cargas que se desplazan a escala de cuenca. Para ello se optó por la información provista por la [misión Sentinel 2](#).

Para el manejo de este volumen de datos, se empleó la herramienta Google [Earth Engine](#). Se seleccionaron así una combinación de bandas B4-B8-B2 (Santos et al., 2020) provistas por la misión Sentinel 2, a las que les aplicaron coeficientes para resaltar la presencia o ausencia de sedimento en suspensión. Nótese que dicha combinación de bandas permitió mantener la máxima resolución de Sentinel 2 (10 m).

Luego de construir dicha imagen, se efectuó una clasificación, supervisada a través del algoritmo *smilecart* (Breiman, 1984), provista por el entorno GEE. Para ello, se definieron con la herramienta 'Point' cinco clases de elementos que presentaban baja, media y alta presencia de sedimento en suspensión, vegetación y otros (nubes, ciudades, bancos expuestos, nieve y roca). Finalmente, se obtuvo una imagen ráster, compuesta de cinco clases, entre las cuales se descartaron las dos últimas. A las tres primeras clases se le asignó una puntuación del 1 al 3 respectivamente. Esto nos permitirá efectuar la cuantificación de la condición posteriormente. La Figura 2.8 presenta el esquema del procedimiento realizado.

Una vez obtenido el ráster de clasificación de cada cuenca, para la estimación cuantitativa se evaluó el volumen y extensión cubierta de los sedimentos en cada sistema ecológico. Para ello se sumaron los índices de sedimento; es decir, se sumó la valoración del píxel anteriormente indicado y se comparó con una condición (de igual extensión) de máxima. Esta consideración supone que el área cubierta es la misma que la registrada, aunque con la máxima disposición de sedimento.

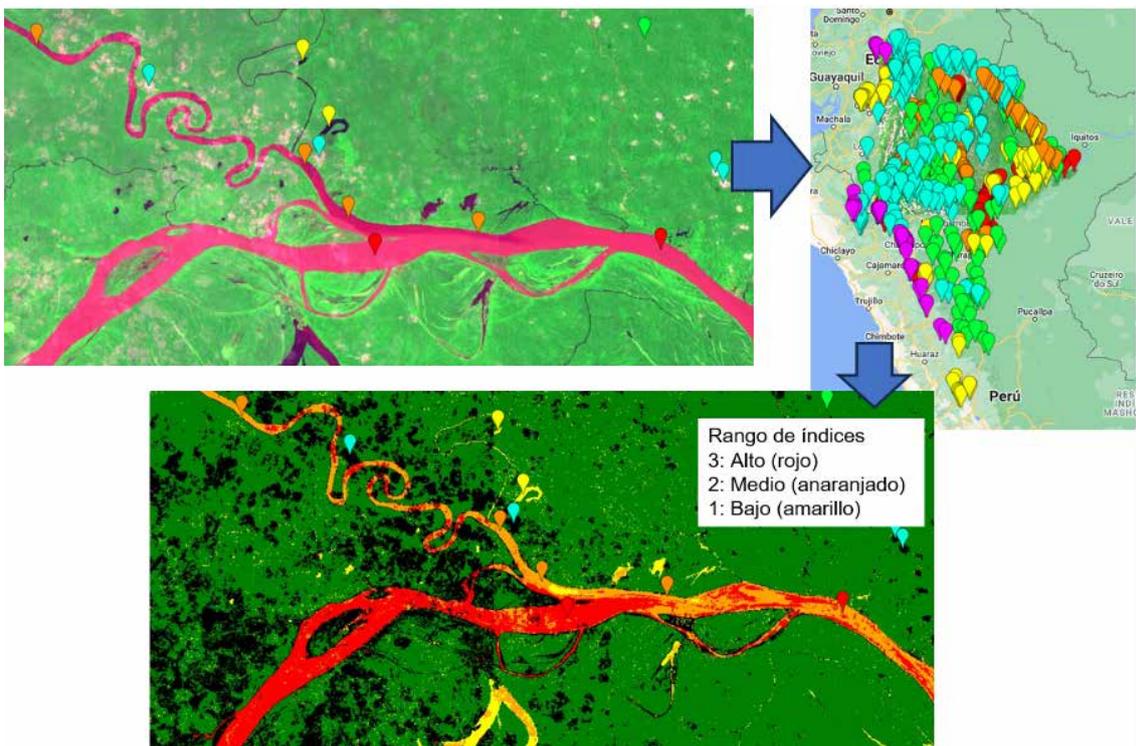


Figura 2.8: Esquema procedimental para la estimación cualitativa de transporte de sedimento suspendido y vegetación

Estimación del grado de amenazas existentes

A continuación, la Tabla 2.5 presenta las consideraciones tomadas en cuenta para establecer el grado de amenazas presentes en las cuencas de estudio. La tabla muestra cada una de las condiciones referidas al grado de amenaza, su

rango de puntuación y las fuentes de información que se emplearon para la confección. Nótese que en este caso se presenta condición por condición y un esquema conceptual de cuantificación de cada una de ellas. Asimismo, el esquema de puntuación es similar al empleado para determinar la condición ecológica.



● Tabla 2.5. Rangos de puntaje y categorías utilizadas para establecer el grado de amenazas

Condición	Extremadamente alto	Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Principales fuentes de información
Represas actuales núm.	>1	1				Zhang A. y Gu V. (2023) . Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico Perú (INGEMMET)
Puntaje	5	4				
Densidad de vías [km/km ²]	>7.5	5-7.5	2.5-5	1-2.5	0-1	Open Street Map (2023) Ministerio de Transporte y Comunicaciones - Perú (2018), Sistemas de Información Geográfica para Aplicaciones Agropecuarias en el Ordenamiento de Territorio y Manejo Integral de Cuencas - Ecuador, Geoportal IGM - Ecuador
Puntaje	5	4	3	2	1	
Área urbana [%]	>20	10.1-20	5.1-10	1.1-5	0-1	ESA World Cover 10m.
Puntaje	5	4	3	2	1	
Población total	>5000	2000-5000	500-2000	100-500	0-100	SEDAC (NASA) (2020)
Puntaje	5	4	3	2	1	
Agricultura	90-100	70-90	50-70	10-50	0-10	SEDAC (NASA) (2000)
Puntaje	5	4	3	2	1	
Minería formal [%]	90-100	70-90	50-70	10-50	0-10	Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada (2022)
Puntaje	5	4	3	2	1	
Minería informal [núm. observaciones]	>3	n = 3	n=2	n=1		Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada (2022)
Puntaje	5	4	3	2		
Deforestación [%]	90-100	70-90	50-70	10-50	0-10	Global Forest Change 2000-2020. University of Maryland
Puntaje	5	4	3	2	1	
Incendios/quemas [%]	>5	1-5	0.5-1	0.1-0.5	0-0.1	Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada (2020)
Puntaje	5	4	3	2	1	
Hidrocarburos [%]	90-100	70-90	50-70	10-50	0-10	Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada (2022)
Puntaje	5	4	3	2	1	
Derrames [núm. observaciones]	>3	3	2	1		InfraAmazonia Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada (2022)
Puntaje	5	4	3	2		
Puntaje total	55	44	30	20	9	

2.4.7. Generación del portafolio de conservación

A continuación, se establecerán algunos criterios para la selección de sistemas ecológicos que se llevó a cabo. Cabe destacar que se ejecutó en cuatro etapas: (1) selección según la condición del SE, (2) análisis por conectividad, (3) correlato con la información de biodiversidad existente, y (4) evaluación de las áreas protegidas y tierras indígenas.

Criterios de selección

Para llevar a cabo la selección de los sistemas ecológicos, se buscó seleccionar aquellos que cuenten con la mejor condición ecológica y el menor impacto antrópico. De acuerdo con esta premisa, se organizó la información de puntaje para cada sistema ecológico y se siguieron los siguientes criterios:

- Se seleccionaron aquellos sistemas que tenían ocurrencia única.
- Entre aquellos sistemas cabecera que presentaban hasta tres ocurrencias, fueron seleccionados los que tenían mejor condición por clase de SE.
- Entre aquellos sistemas cabecera con ocurrencia mayor a tres se seleccionó el 30% de los de mejor condición por clase de SE.

Para los tributarios, se seleccionó el 80% de los SE por clase.

Evaluación y corrección por continuidad hidrográfica

Esta consideración permitió la corrección de la selección por la condición a fin de darle continuidad al ecosistema de la región. Para ello se evaluaron los sistemas ecológicos aislados por otros con condiciones similares que ofrecían buena conectividad longitudinal y transversal. En el caso de la existencia de sistemas únicos, aunque estuvieran aislados y no cumplieran con el criterio de continuidad, se mantuvieron dentro de la selección al ser irremplazables.

Revisión de la información secundaria sobre biodiversidad acuática

Una vez que se realizó la selección y corrección por continuidad, se evaluó la representatividad de la biodiversidad. Para ello se correlacionó la información de biodiversidad con la selección, a fin de superponer los mapas de distribución espacial de especies. Esto permitió refinar aún más la selección previa, dándole continuidad biológica a los sistemas a conservar. Para más información, revisar los productos 2 y 3 de la presente consultoría.

Evaluación de áreas naturales protegidas y tierras indígenas

Una vez seleccionados los ecosistemas de mayor viabilidad e integridad se contrastó dicha información con los sistemas ya conservados, como son las áreas naturales protegidas y tierras indígenas. Esta etapa fue de particular interés para la formulación de planes integrales, dado que ya existen regiones con planes de conservación/mitigación que serán ponderadas con las que se formulan como nuevas en el presente informe. Esto permite asegurar la continuidad de las ya existentes y la adaptabilidad de las nuevas propuestas.

2.4.8. Segundo y tercer taller con expertos e instituciones involucradas en las cuencas de análisis

El día 11 de julio del 2023 se llevó a cabo el segundo taller² con expertos en el Hotel Crowne de Miraflores, Lima-Perú. En síntesis, se planeó efectuar un segundo taller para la presentación/discusión preliminar del portafolio para contar con la opinión y recomendaciones de los expertos en las cuencas en estudio. El encuentro fue organizado por The Nature Conservancy-Perú y coliderado por Red Yaku.

Durante este segundo encuentro con expertos, Red Yaku realizó la "Presentación del *blueprint* preliminar de las Cuencas Napo, Marañón y Ucayali". Se expuso el *blueprint* preliminar con la información recopilada y analizada. Se comentó la evolución de la metodología dada la

² <https://sites.google.com/edyaku.com/portafolioconservacionamazonia/segundo-taller-julio>



información de base. Además, se compartió el trabajo realizado en Felt con todos los asistentes del taller, para que pudieran analizar, evaluar y realizar sugerencias con respecto a la data recopilada y analizada hasta ese momento. Cabe señalar que los participantes del taller tuvieron un lapso de dos semanas para que comenten y agreguen sus observaciones en los mapas del Felt. A continuación, se presenta una síntesis de lo trabajado en estas mesas temáticas.

- Es importante realizar estudios complementarios que ofrezcan escenarios futuros, considerando modelamientos con, por ejemplo, variables climáticas. Ello con el objetivo de crear productos que generen impacto hacia los tomadores de decisiones.
- El borrador del *blueprint* actual debe incluir condiciones a futuro, porque es muy útil contar con la información de propuesta de proyecto, cambio climático, calidad de agua para evitar posibles impactos negativos en las cuencas a priorizar. Es necesario mostrar resultados en varios escenarios, se pueden usar datos de los cambios que se sabe que ocurrirán, como la construcción de hidroeléctricas, represas e hidrovías.
- Las amenazas más críticas que podrían afectar los planes de conservación son las siguientes: deforestación, la cual es causada por diferentes tipos de variables (expansión demográfica, actividades agropecuarias, apertura de vías, actividades ilícitas, etc.); contaminación por actividades asociadas a extracción y prospección de hidrocarburos;

construcción de represas, especialmente en las partes altas de las cuencas; cambio climático, y minería (Marañón y Nanay).

2.4.9. Tercer taller con expertos e instituciones involucradas en las cuencas de análisis

Con la idea de visibilizar el portafolio con tomadores de decisiones, se desarrolló un tercer taller³ en la ciudad de Iquitos, donde se pudo observar que era necesario priorizar la conservación de la cuenca del río Nanay debido al avance de la minería superficial. El día 13 de julio de 2023 se llevó a cabo el tercer taller con expertos y representantes de instituciones públicas y privadas en el Hotel Victoria Regia en Iquitos, Perú. El encuentro fue organizado por The Nature Conservancy-Perú y junto con Red Yaku.

Cabe resaltar el comentario del director de Senamhi en Loreto, el ingeniero Marco Paredes: “Este portafolio es un instrumento que permitirá fortalecer la gobernanza ambiental, fomentar la participación de las comunidades locales y autoridades en la toma de decisiones y promover prácticas sostenibles de uso de los recursos hídricos”.

3 <https://sites.google.com/redyaku.com/portafolioconservacionamazonia/tercer-taller-iquitos>

3 Resultados

A continuación, se presentan los resultados de la formulación del portafolio de agua dulce, los cuales se organizaron de manera secuencial. Más información procesada y los archivos geoespaciales se encuentran disponibles en los diferentes anexos de la publicación. Para fines de este estudio, se va a mostrar como resultado solo la cuenca del Marañón.

3.1. Clasificación espacial jerárquica y anidada

A continuación se presentan los diferentes niveles jerárquicos y anidados abordados sobre la cuenca del río Marañón (Figura 3.1), los cuales fueron respaldados por la información de HydroBASIN. Se estimó un total de 6424 SE en Marañón, 1686 SE en Napo y 6043 SE en Ucayali.



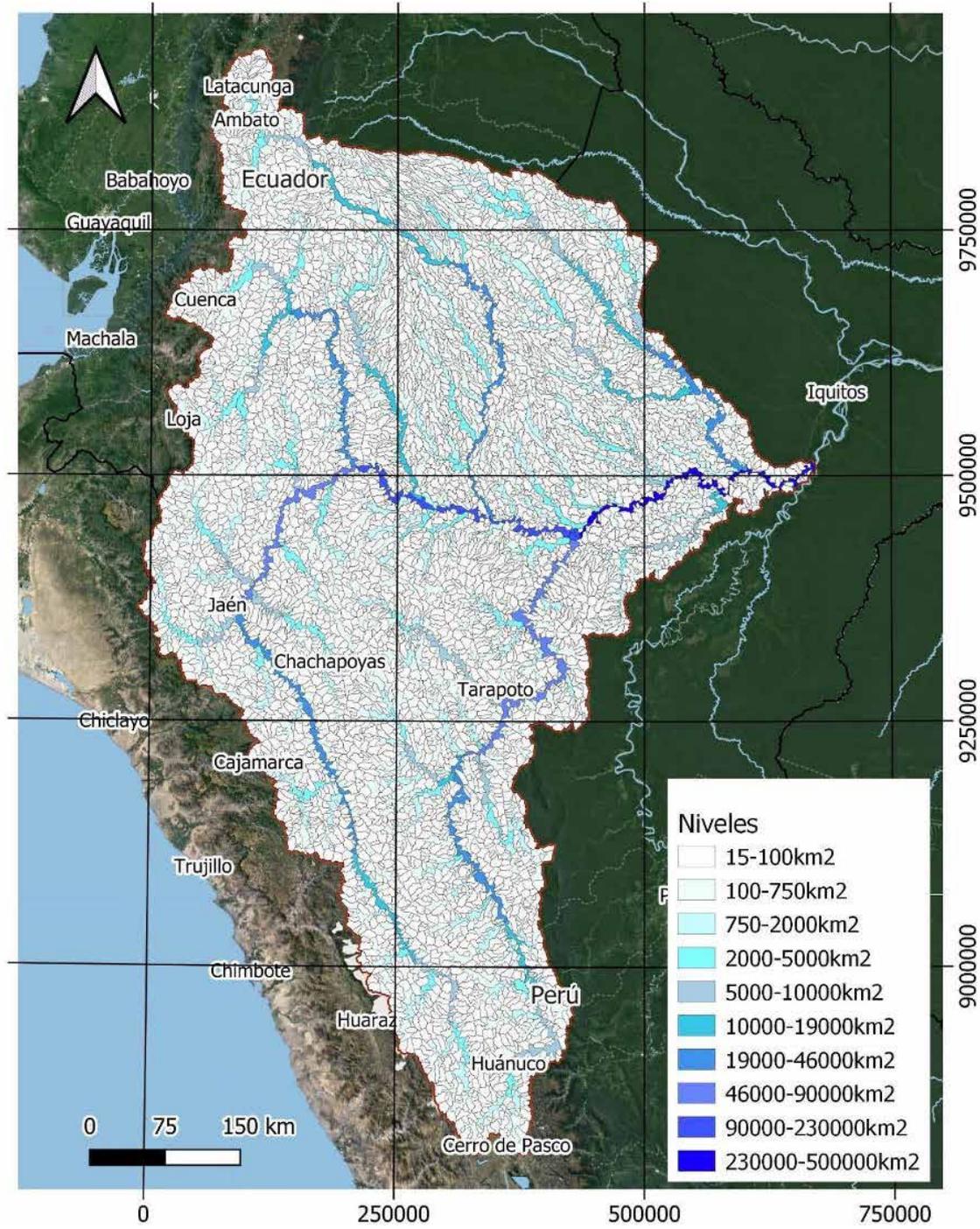


Figura 3.1: Representación unificada de la clasificación jerárquica y anidada de la cuenca Marañón

3.2. Clasificación de sistemas ecológicos por parámetros abióticos

A continuación, se presentan los mapas resultantes del análisis estadístico de agrupamiento por cuenca de estudio (Figura 3.2). En el Anexo B se presentan las figuras resultantes (diagramas de clasificación, dendrogramas, diagramas de distancia y constelación) de la clasificación de manera separada para tributarios y cabeceras. En la Tabla 3.1 se presentan las clases identificadas junto a sus ocurrencias para la cuenca Marañón.

● Tabla 3.1 Clases (en negrita) y ocurrencias separadas en SE tributarios (verde) y cabeceras (rojo) en la cuenca Marañón

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
6	19	3	13	5	4	3	12	7	9	3	178	126	71	169
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
78	87	113	101	89	92	55	145	94	33	147	75	1	45	78
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
7	1	1	1	52	84	453	458	304	405	266	403	231	71	122
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57			
85	232	241	112	62	82	58	119	76	132	129	80			



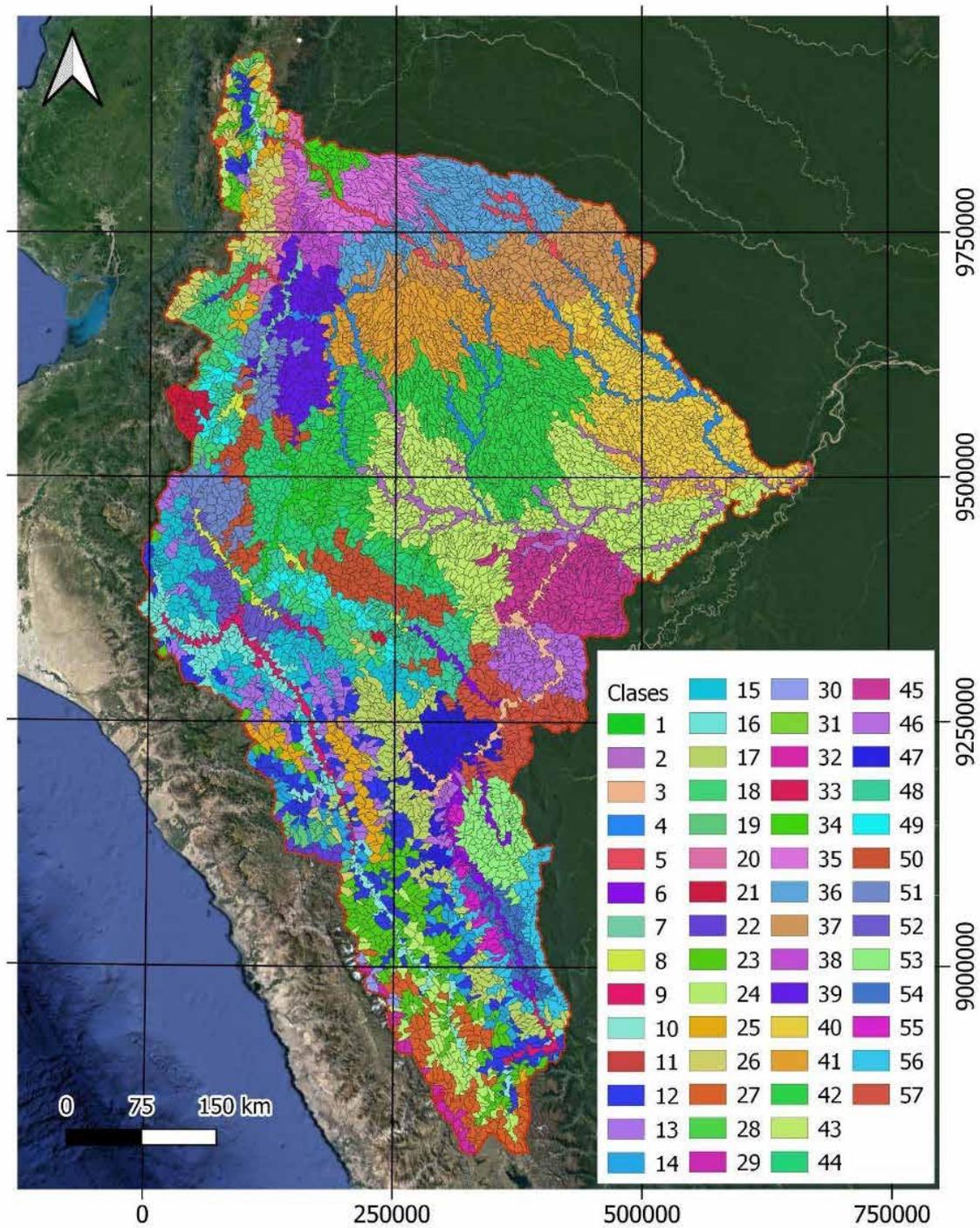


Figura 3.2: Clasificación de parámetros abióticos de todos los SE en la cuenca Marañón

3.3. Área de inundación del cauce (ARA)

A continuación se presentan los mapas de área de inundación de los cauces para cada una de las cuencas evaluadas.

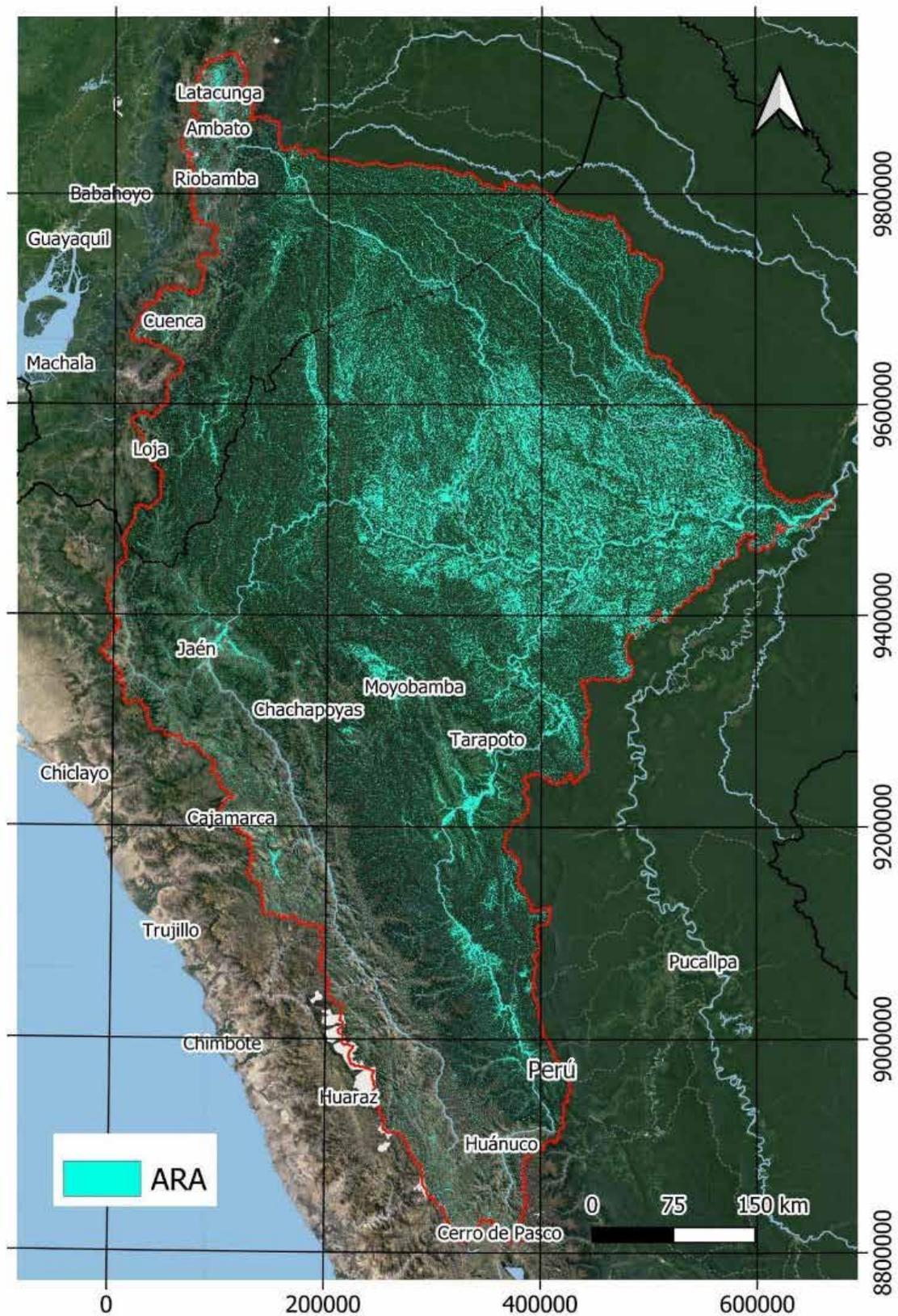


Figura 3.3: Área de inundación del cauce en la cuenca Marañón

3.4. Valoración de la condición ecológica y el grado de amenaza de los sistemas seleccionados

En la siguiente subsección se presentan los mapas resultantes de la valoración de cada una de las condiciones (Tabla 2.3 y Tabla 2.4) en las cuencas.

3.4.1. Valoración de condición ecológica

A continuación, se presentan los mapas resultantes de la valoración ecológica.

Extensión de cobertura vegetal natural

Mapas referidos a la extensión de cobertura vegetal natural por la cuenca Marañón (Figura 3.4).

Porcentaje de cobertura de ARA

Se presentan los mapas de extensión cubierta por el ARA para cada una de las cuencas de estudio (Figura 3.5).

Porcentaje de cobertura vegetal natural sobre ARA

A continuación se presentan los mapas resultantes de extensión de ARA sobre cobertura vegetal natural para cada cuenca (Figura 3.6).

Actividad morfodinámica reciente

En esta sección se presentan los mapas resultantes referidos a la condición morfodinámica reciente para las cuencas de interés (Figura 3.7).

Transporte de sedimento suspendido

En esta sección se presentan los mapas resultantes de la condición de transporte de sedimento suspendido para cada cuenca (Figura 3.8).

3.4.2. Valoración del grado de amenazas antrópicas

A continuación, se presentan los mapas resultantes.

Número de represas

En esta sección se presentan los mapas resultantes de la condición de amenazas de represas actuales (en explotación) para las cuencas analizadas (Figura 3.9).

Densidad de vías

En esta sección se presentan los mapas resultantes de la condición densidad de vías en cada cuenca (Figura 3.10).

Área urbana

En esta sección se presentan los mapas resultantes de la extensión de área urbana para cada cuenca (Figura 3.11).

Población total

En esta sección se presentan los mapas resultantes de la condición de población total de cada cuenca (Figura 3.12).

Agricultura

En esta sección se presentan los mapas resultantes de la condición de actividad de agricultura (Figura 3.13).

Minería formal

En esta sección se presentan los mapas resultantes de la condición de minería formal por cuenca de análisis (Figura 3.14).

Minería informal

En esta sección se presentan los mapas resultantes de la condición de minería informal de las cuencas analizadas (Figura 3.15).

Deforestación

En esta sección se presentan los mapas resultantes de la condición de deforestación de las cuencas de análisis (Figura 3.16).

Incendios/quemas

En esta sección se presentan los mapas resultantes de la cuantificación de incendios y quemas en las cuencas de estudio (Figura 3.17).

Hidrocarburos

En esta sección se presentan los mapas resultantes de la extensión cubierta por los lotes de hidrocarburos en las cuencas evaluadas (Figura 3.18).

Derrames de petróleo

En esta sección se presentan los mapas resultantes de la condición de derrames de petróleo (Figura 3.19).

3.4.3. Áreas naturales protegidas y tierras indígenas

la siguiente figura presenta la información referida a áreas naturales protegidas y tierras indígenas en la cuenca Marañón (Figura 3.20). Las fuentes de información incluyen la Red

Amazónica de [Información Socioambiental Georreferenciada](#) (2022), y el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado ([Sernanp](#)).

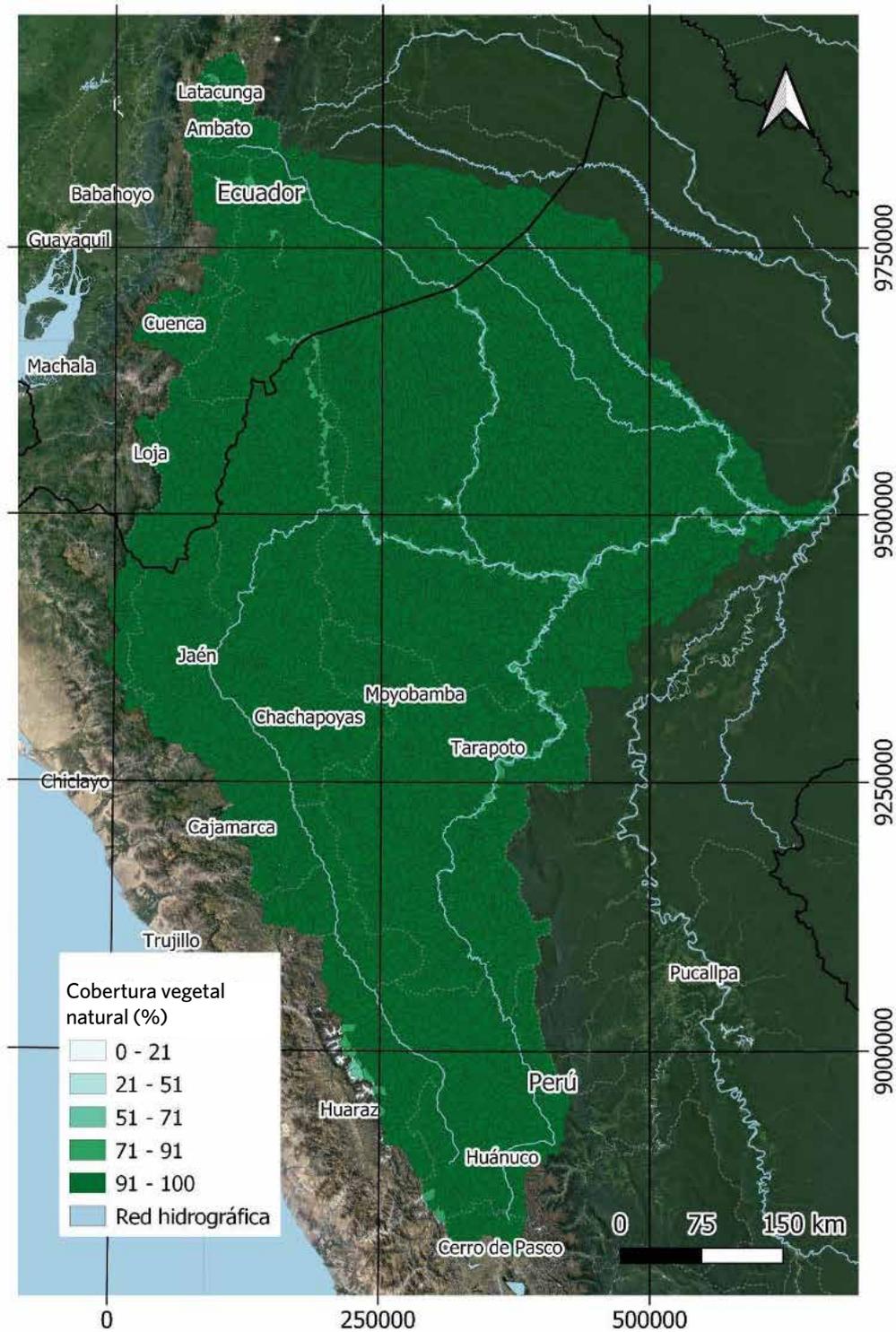


Figura 3.4: Extensión de cobertura vegetal natural en la cuenca Marañón

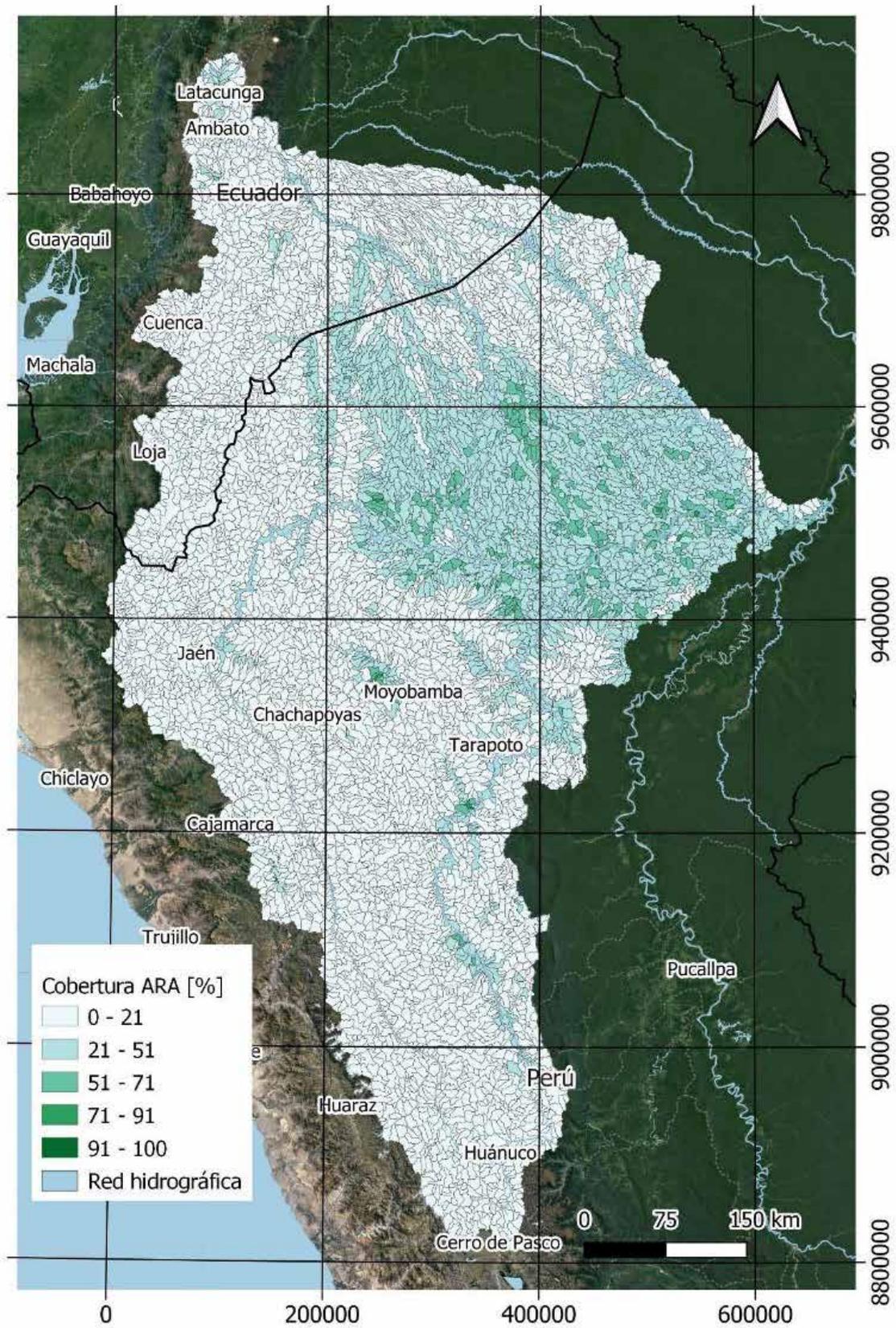


Figura 3.5: Extensión de ARA en la cuenca Marañón

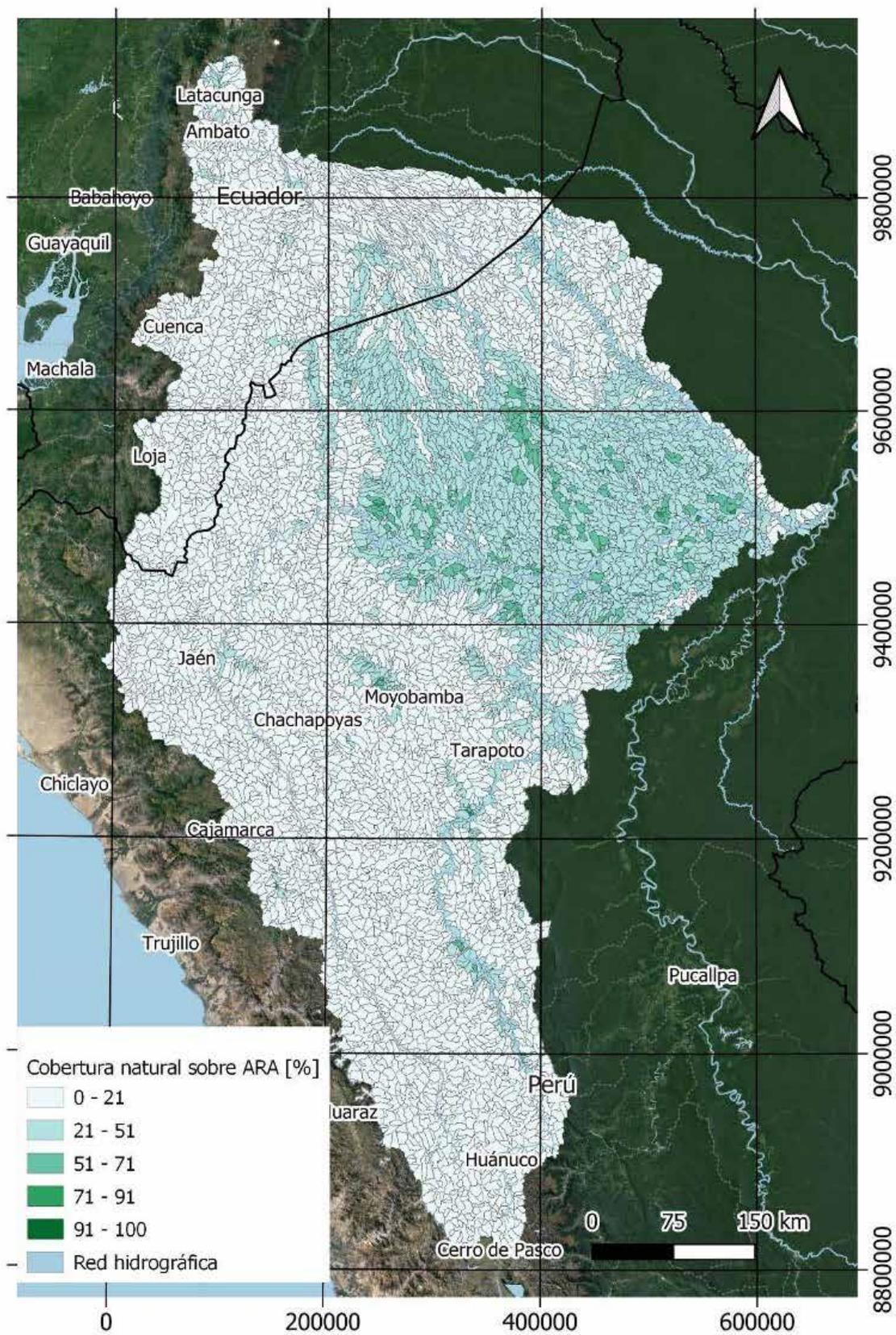


Figura 3.6: Extensión de ARA sobre cobertura vegetal natural en la cuenca Marañón

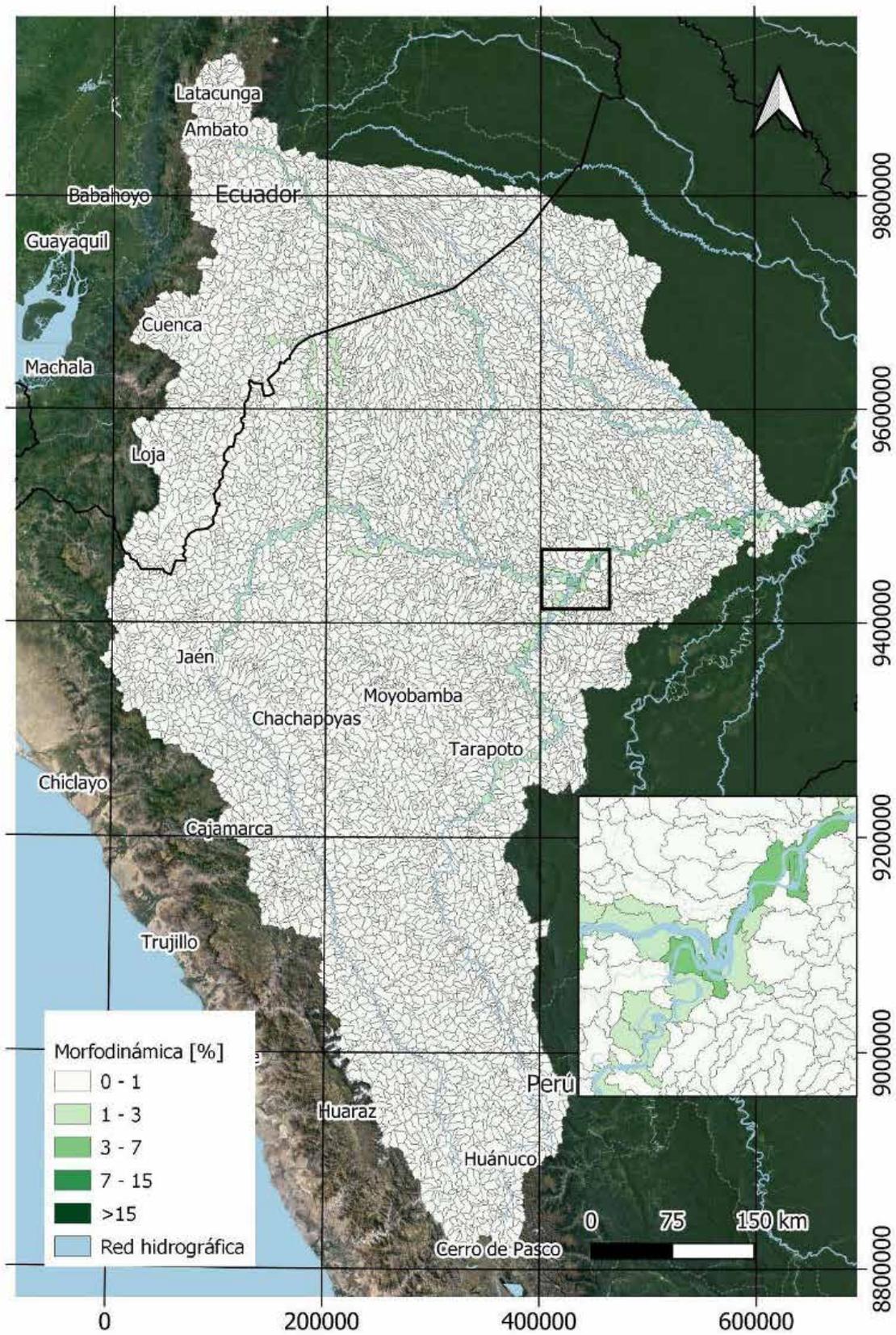


Figura 3.7: Actividad de morfodinámica reciente en la cuenca Marañón

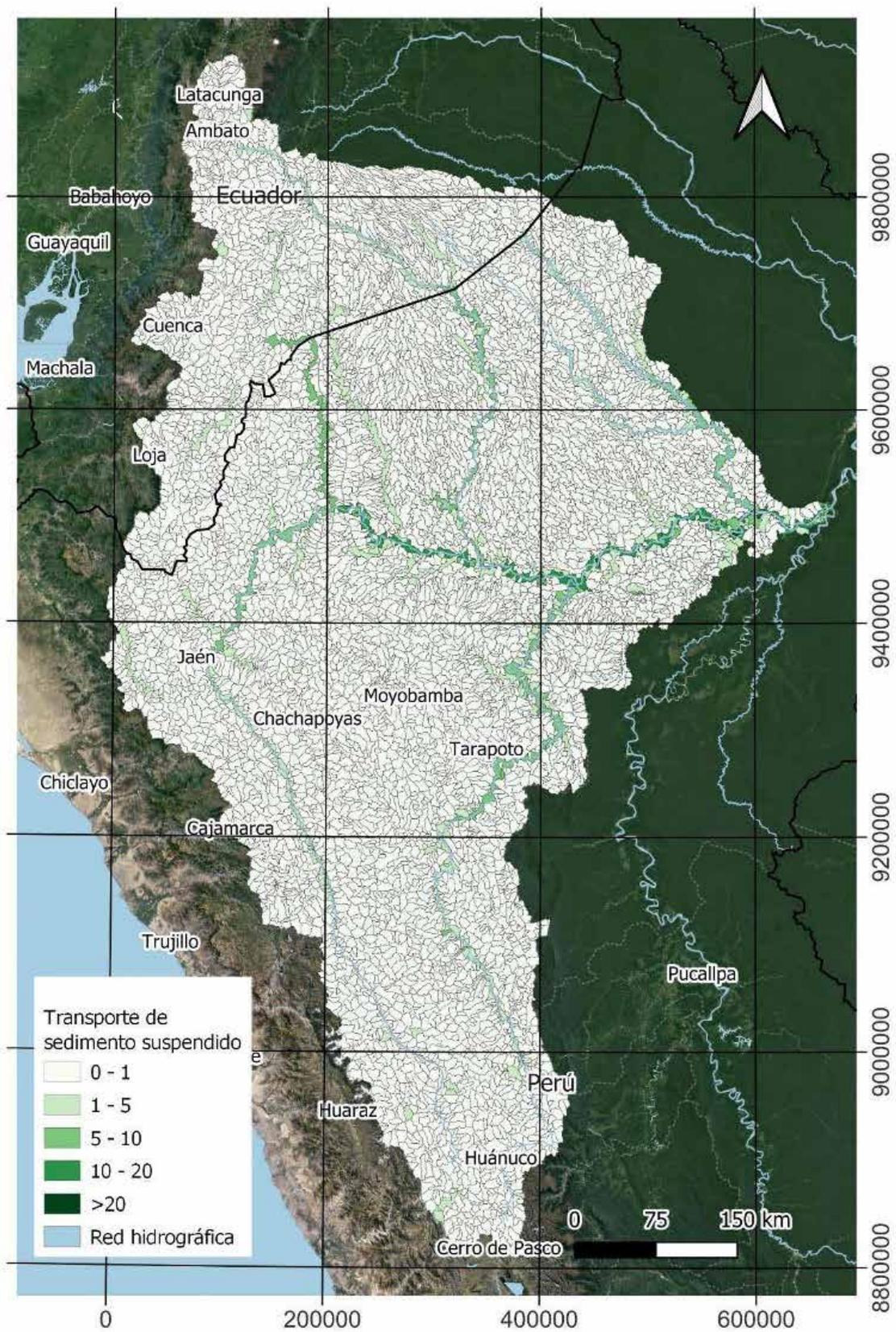


Figura 3.8: Transporte de sedimento suspendido en la cuenca Marañón

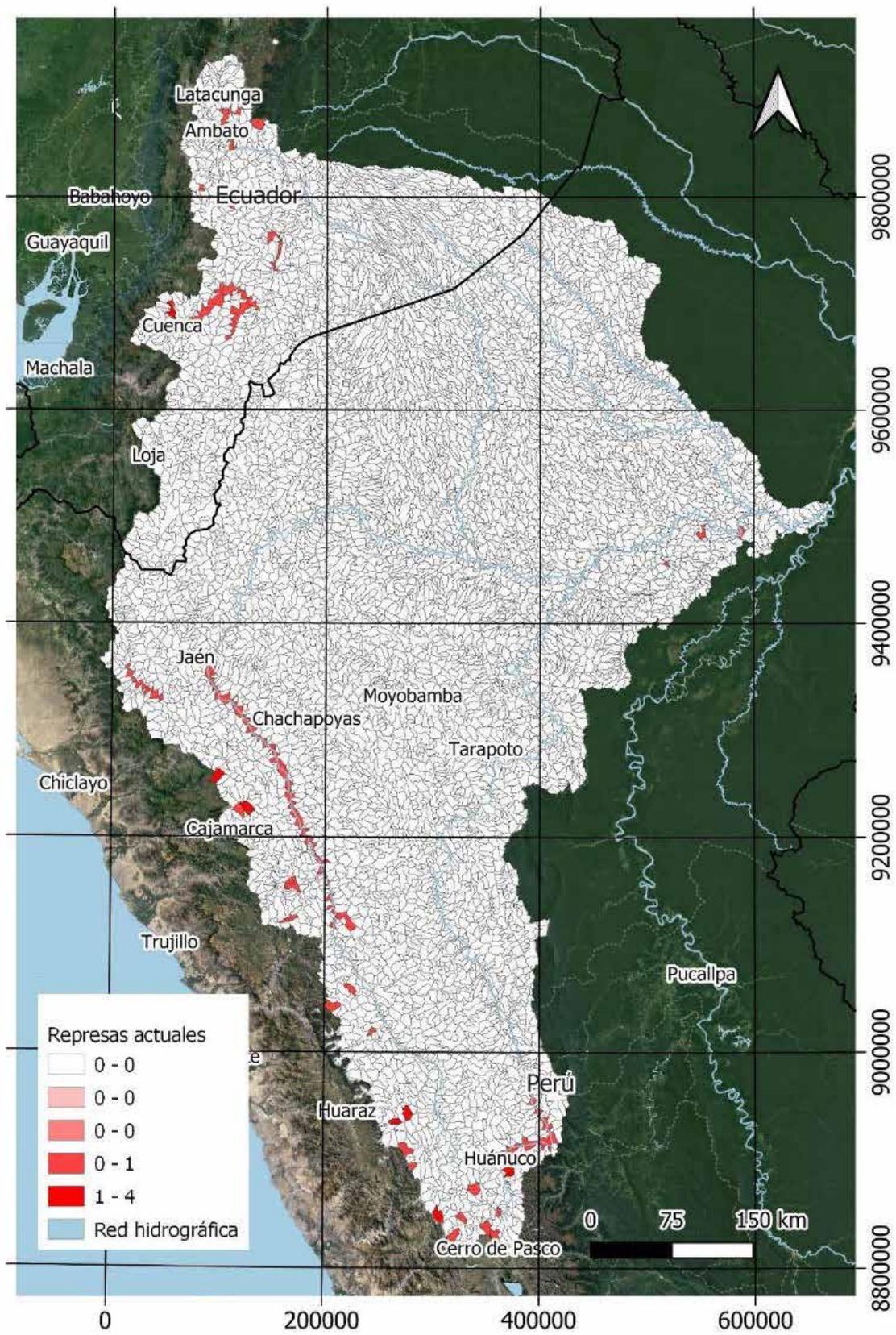


Figura 3.9: Número de represas actuales en la cuenca Marañón

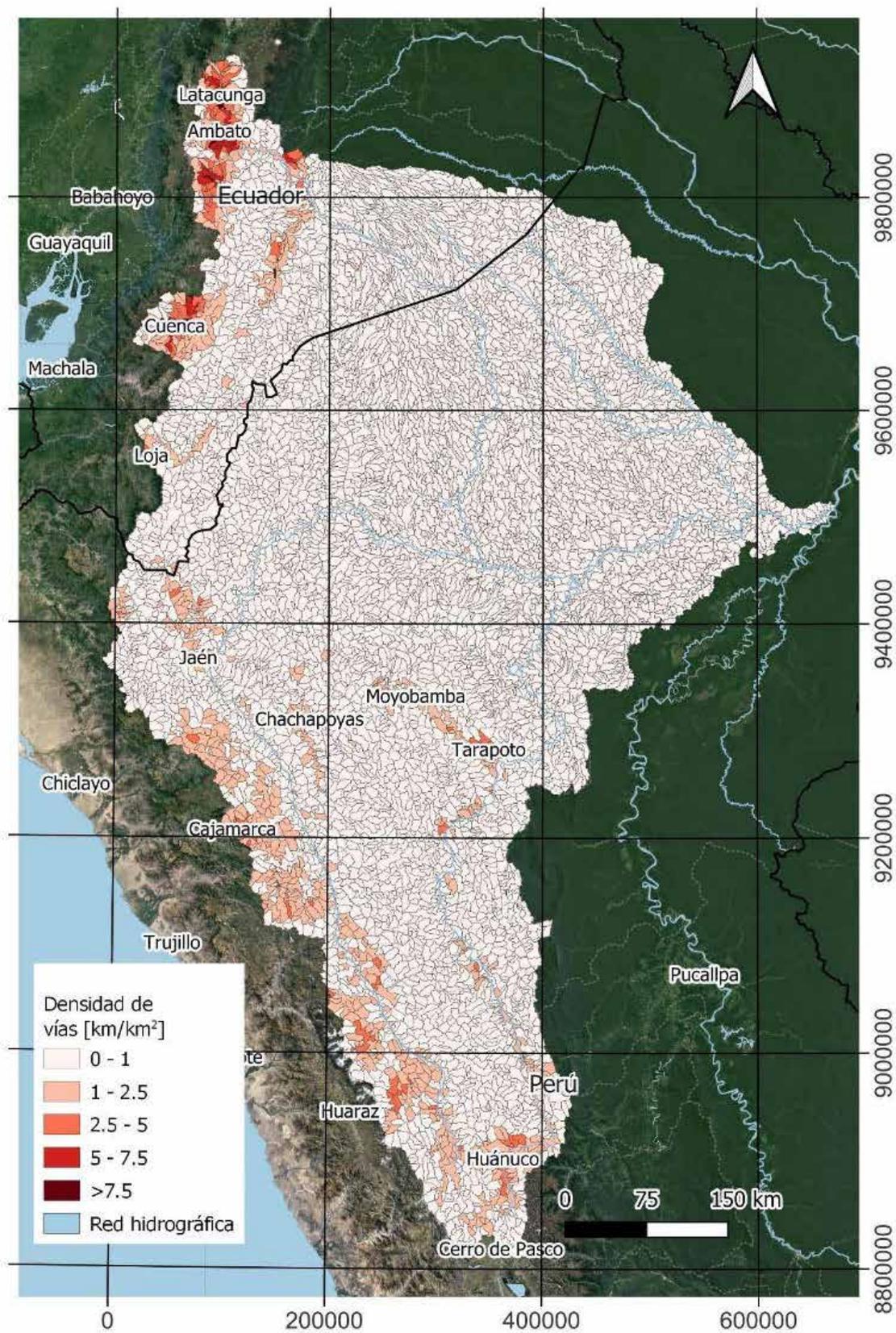


Figura 3.10: Densidad de vías en la cuenca Marañón

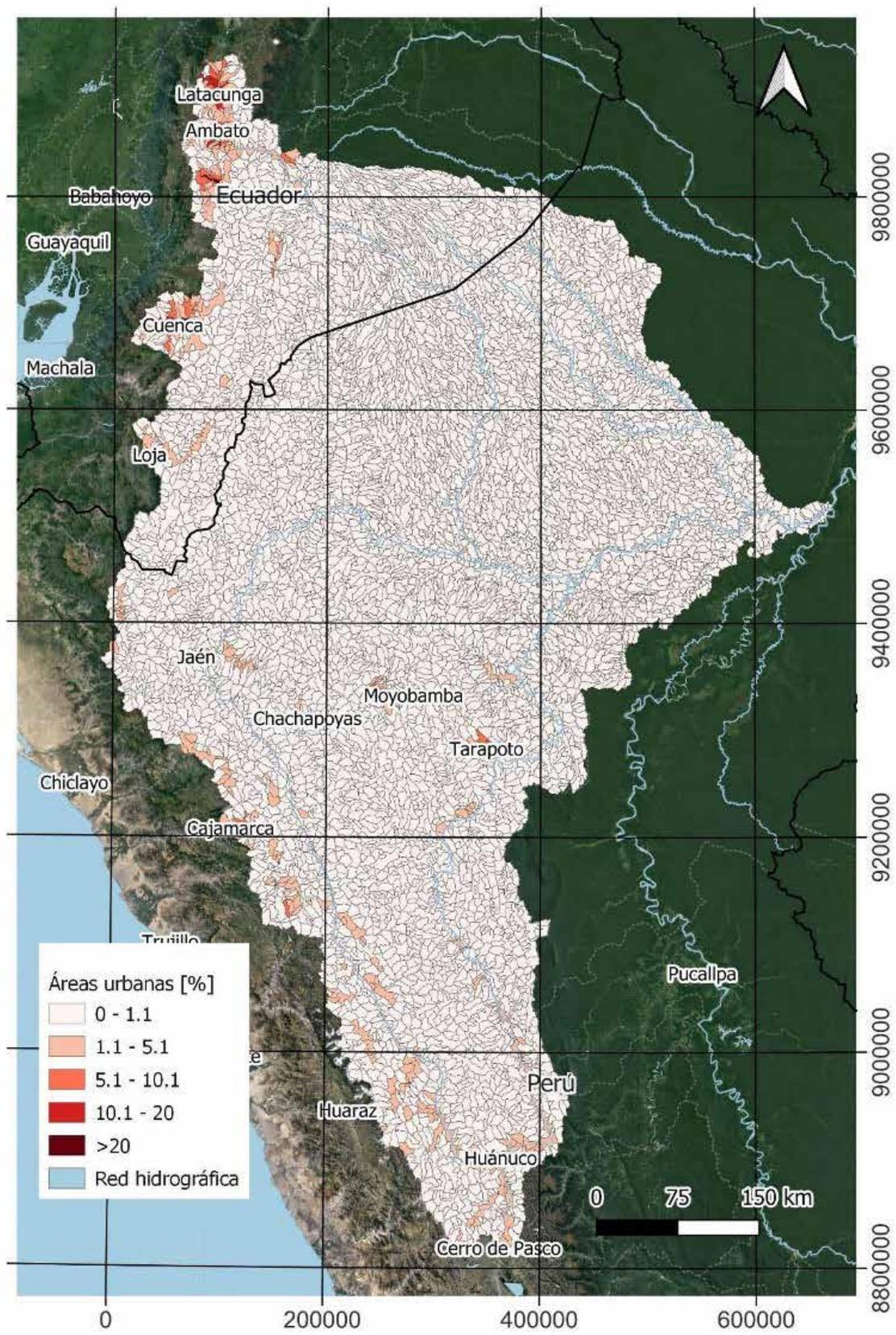


Figura 3.11: Áreas urbanas en la cuenca Marañón

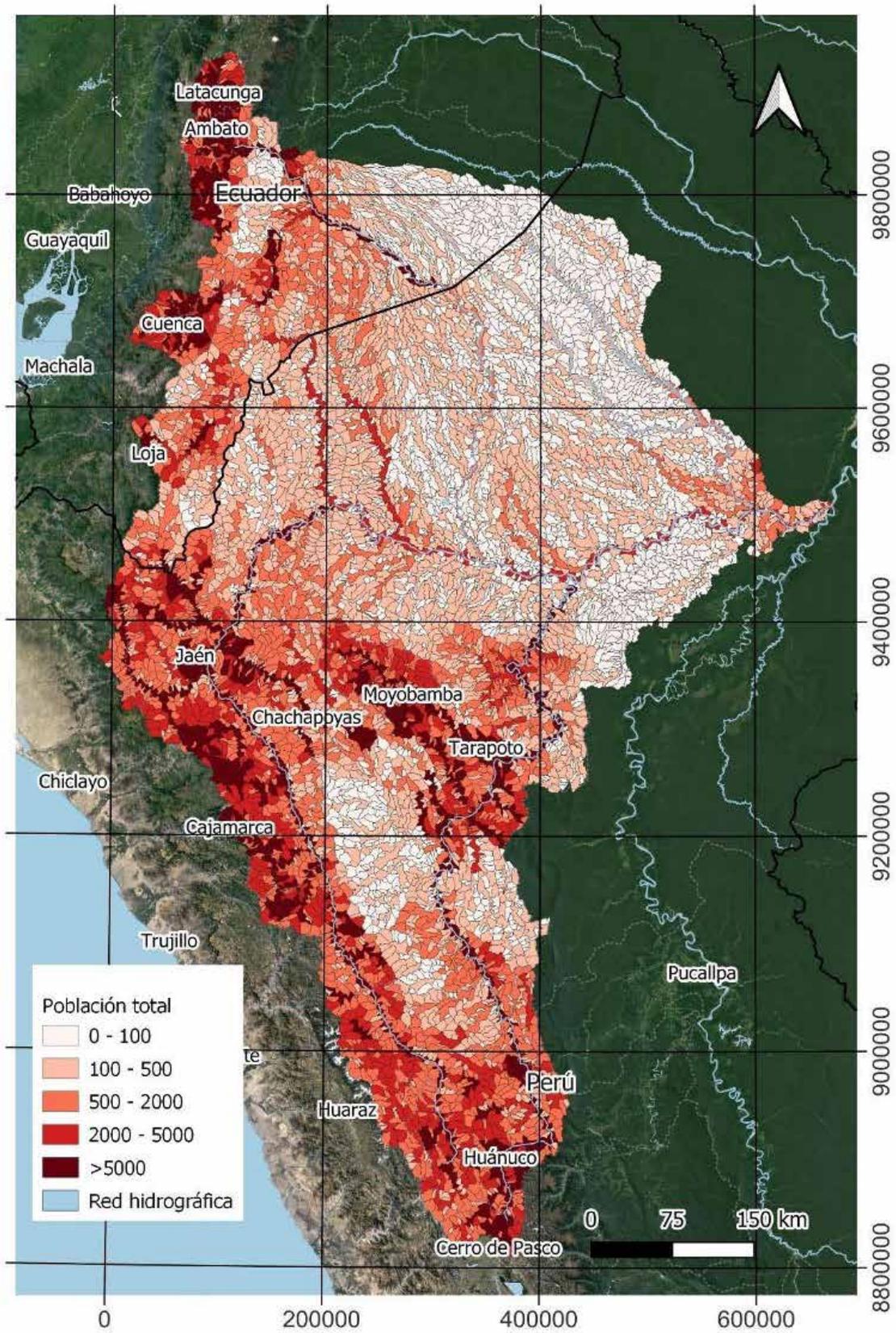


Figura 3.12: Población total en la cuenca Marañón

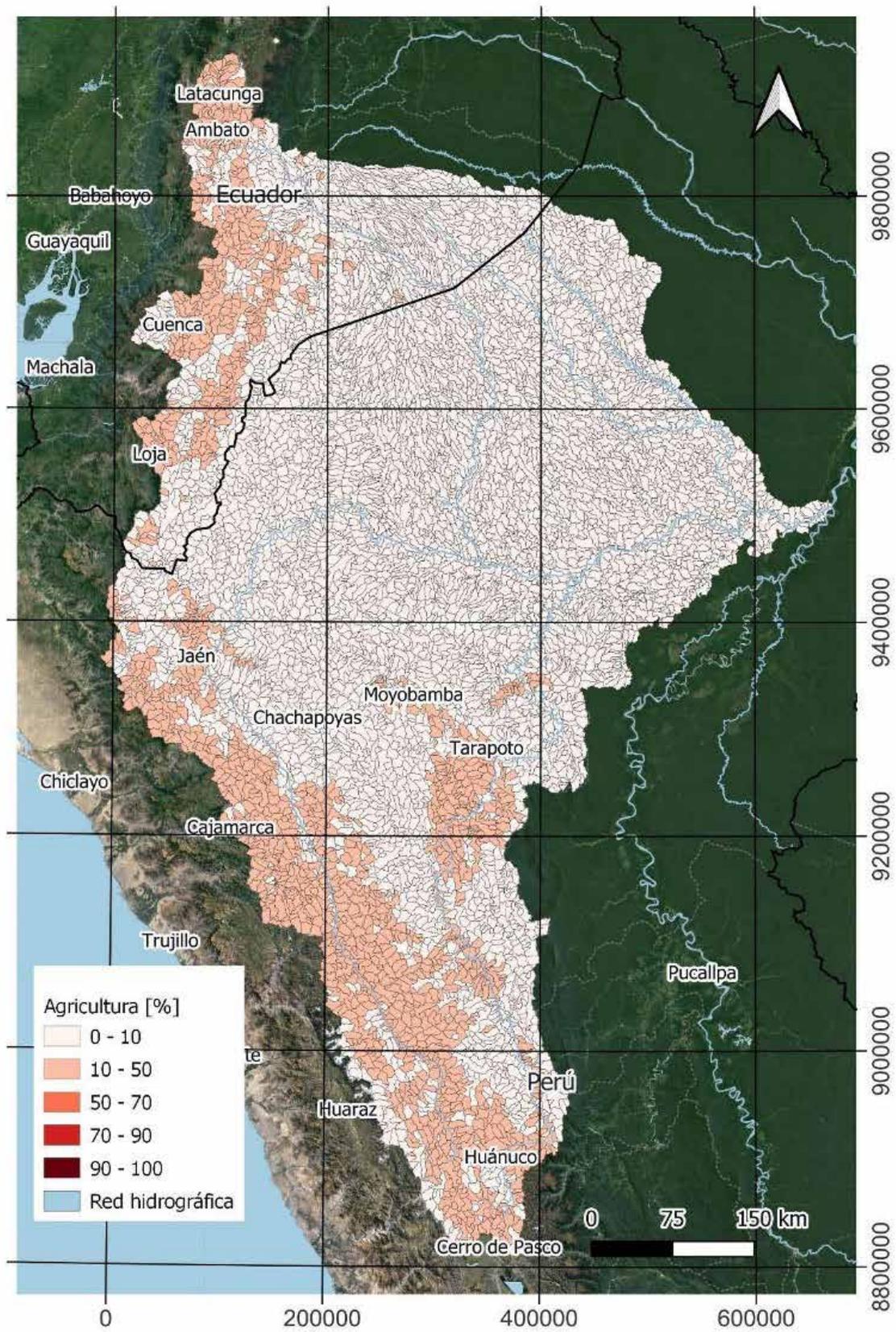


Figura 3.13: Agricultura en la cuenca Marañón

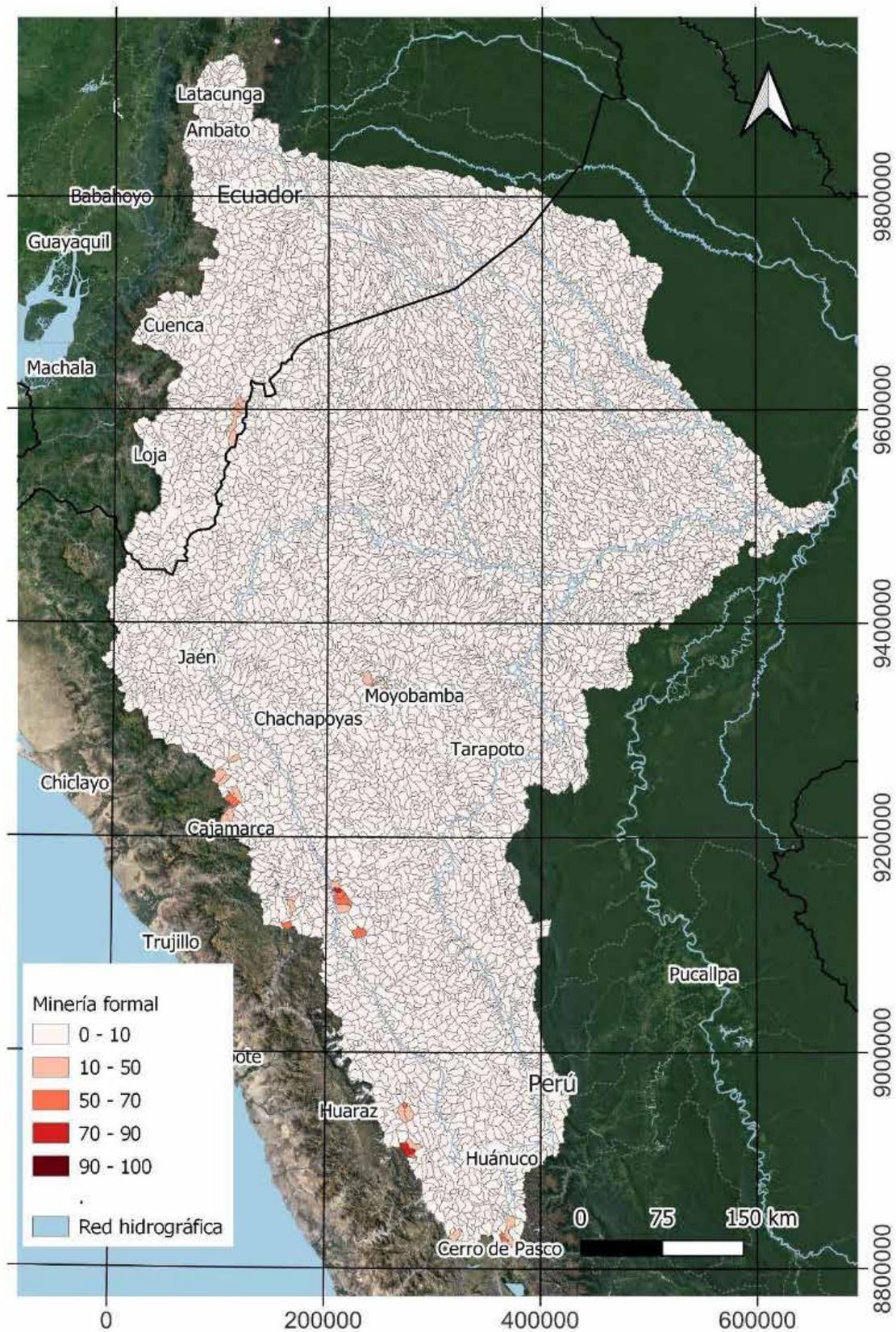


Figura 3.14: Minería formal en la cuenca Marañón

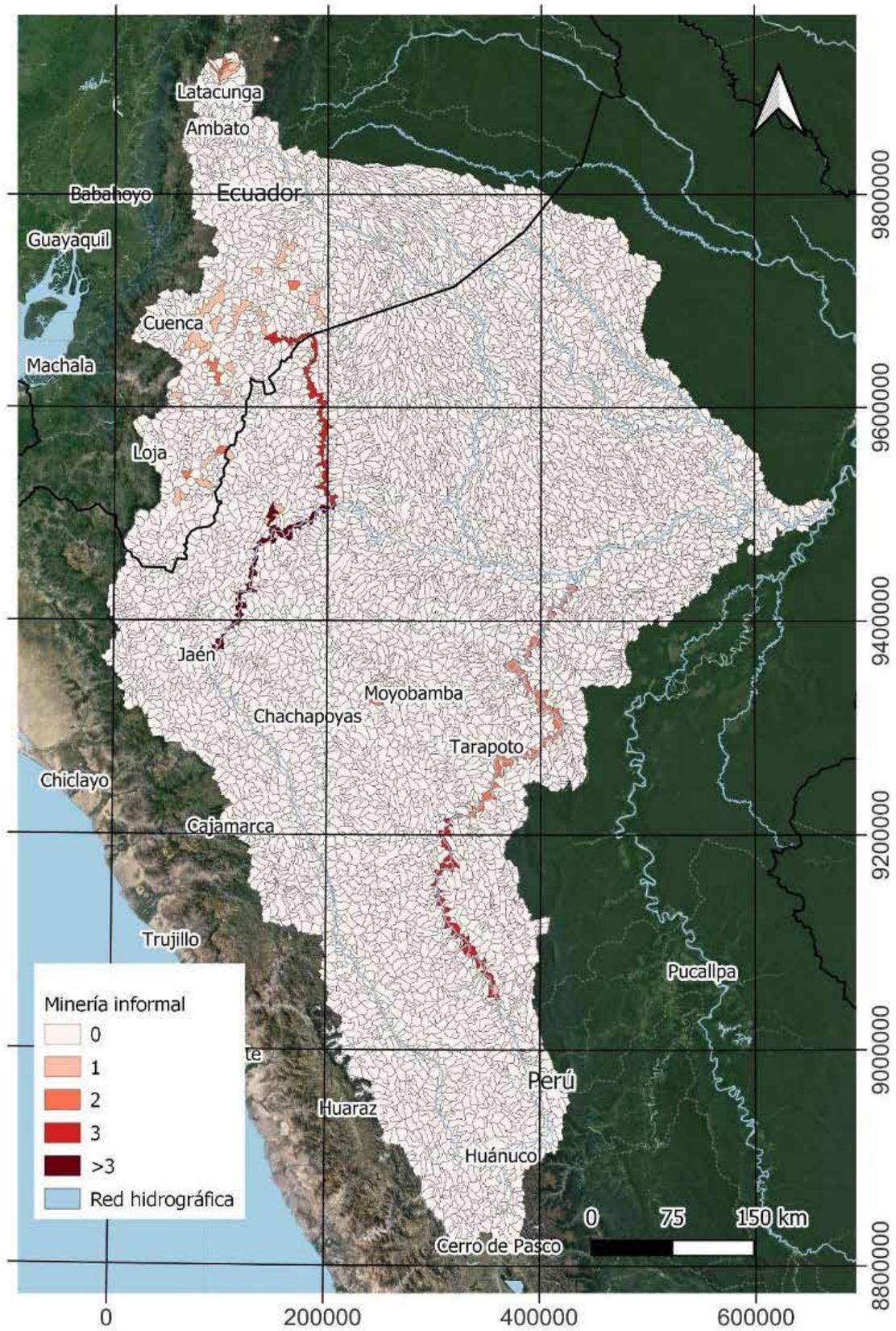


Figura 3.15: Minería informal en la cuenca Marañón

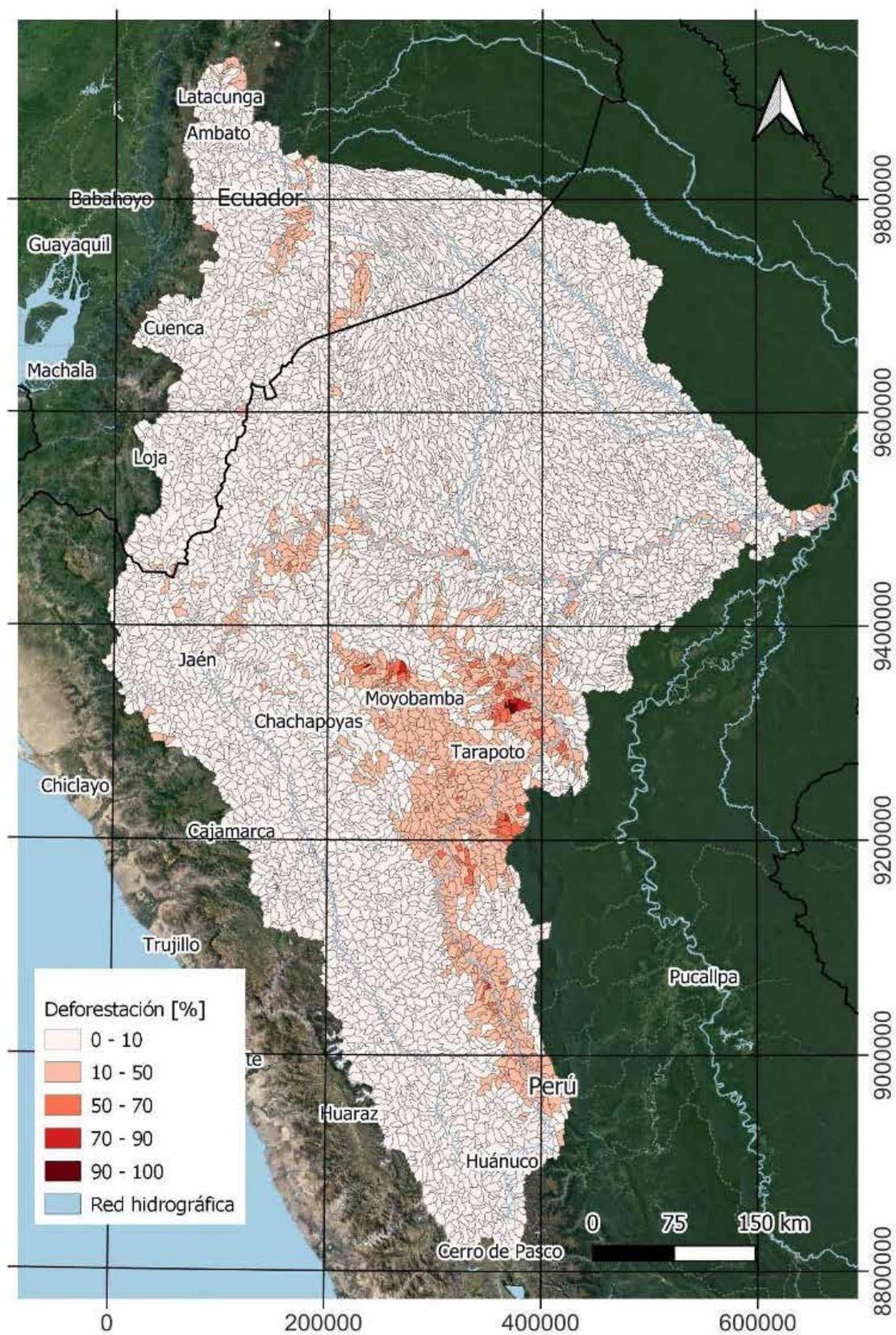


Figura 3.16: Extensión de deforestación en la cuenca Maraón

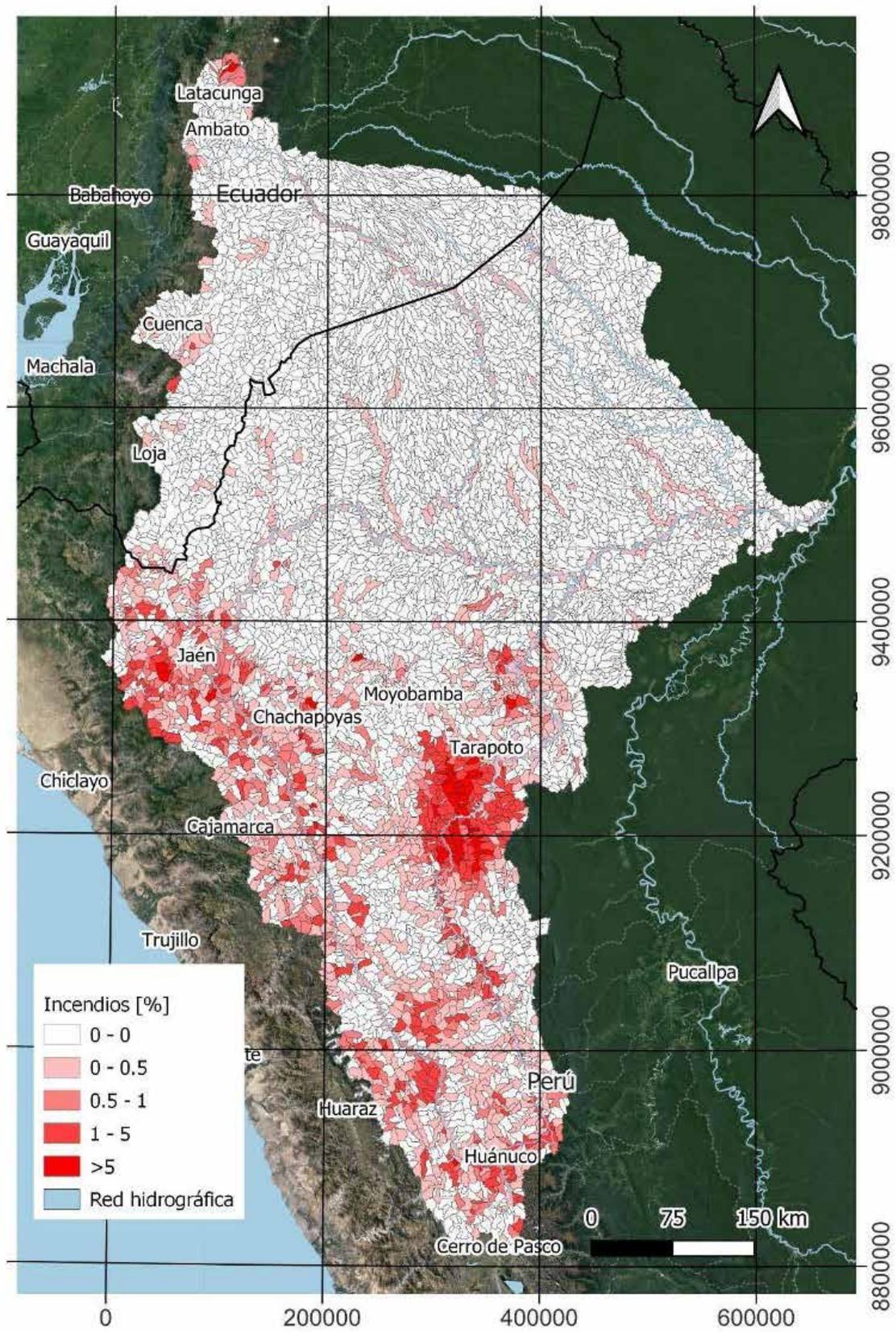


Figura 3.17: Incendios/quemas en la cuenca Marañón

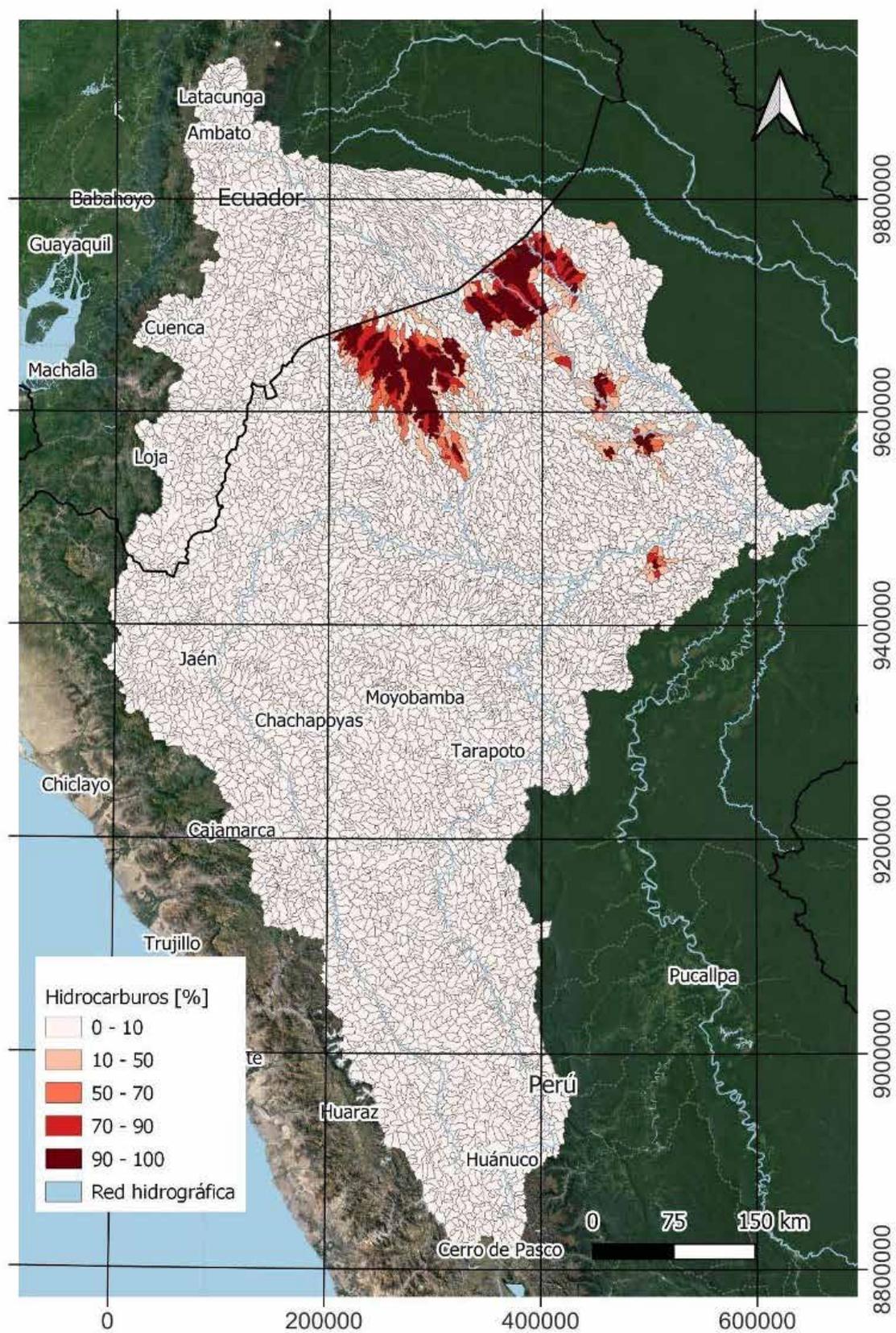


Figura 3.18: Extensión de hidrocarburos actuales en la cuenca Marañón

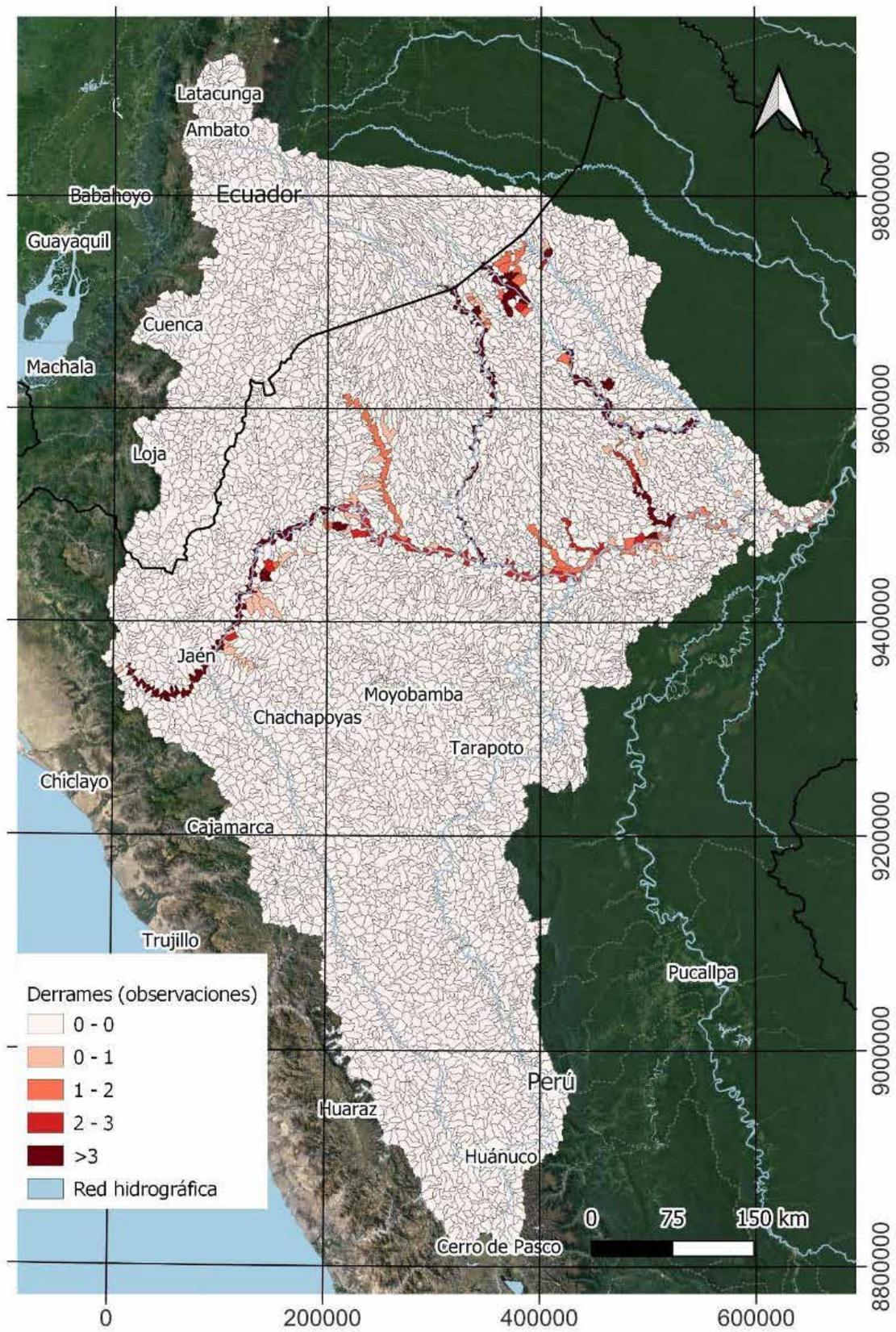


Figura 3.19: Derrames de petróleo en la cuenca Marañón

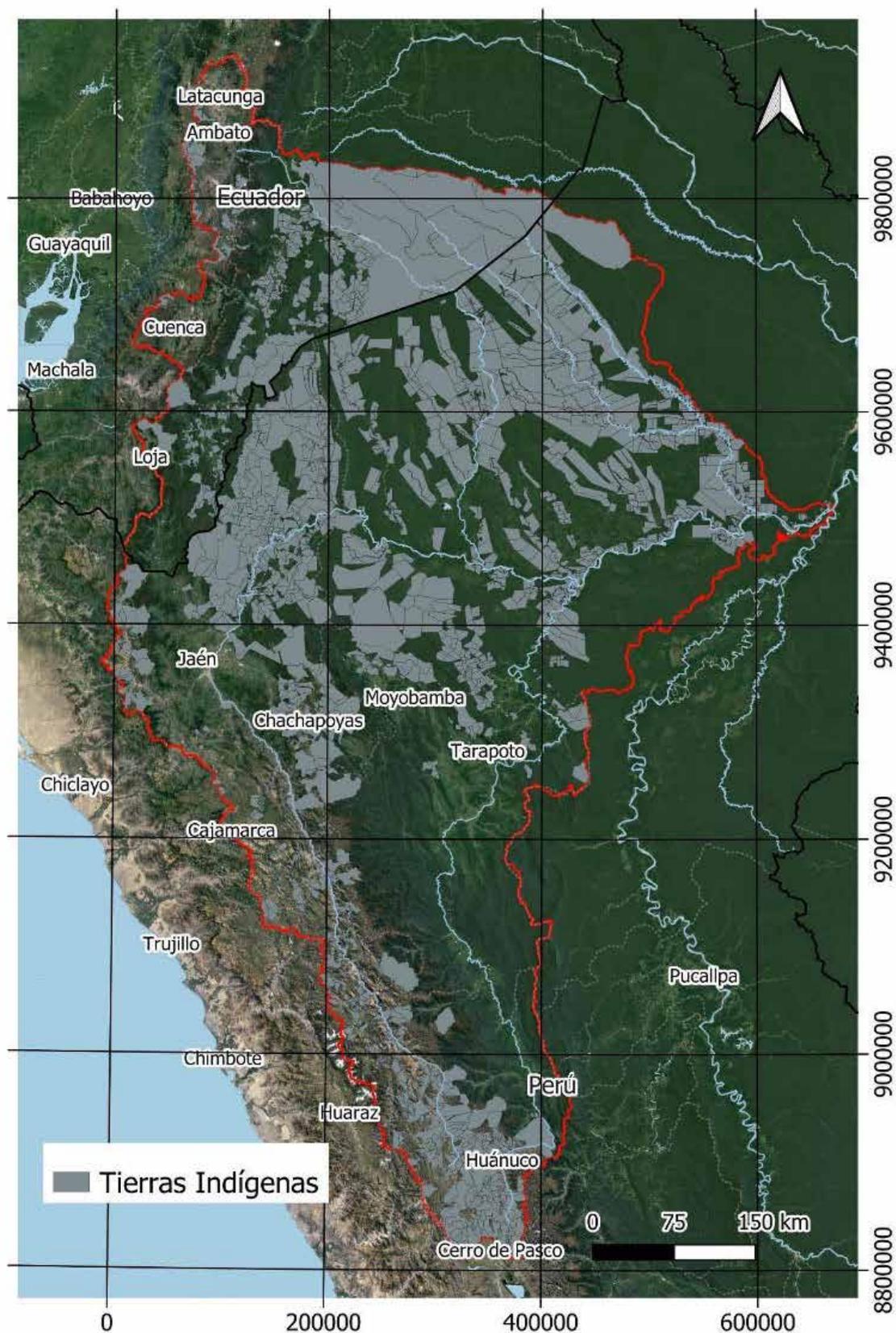


Figura 3.20: Tierras indígenas en la cuenca Marañón

4 Selección del portafolio de sistemas ecológicos de agua dulce

4.1. Ajuste por biodiversidad acuática

Una vez seleccionados los sistemas ecológicos basados en la continuidad y conectividad hidrogeomorfológica, se procedió a analizar su relevancia frente a la ocurrencia de diferentes grupos taxonómicos de biodiversidad acuática clasificados como amenazados según la International Union for Conservation of Nature (IUCN). Se dio prioridad a las zonas que contienen especies categorizadas como 'vulnerable', 'en peligro' y 'en peligro crítico' (Figuras 4.1 al 4.5). Los mapas de selección final de los SE con base en la continuidad fueron ajustados manualmente para mantener continuidad en el sistema y contener la mayor cantidad posible de especies amenazadas.



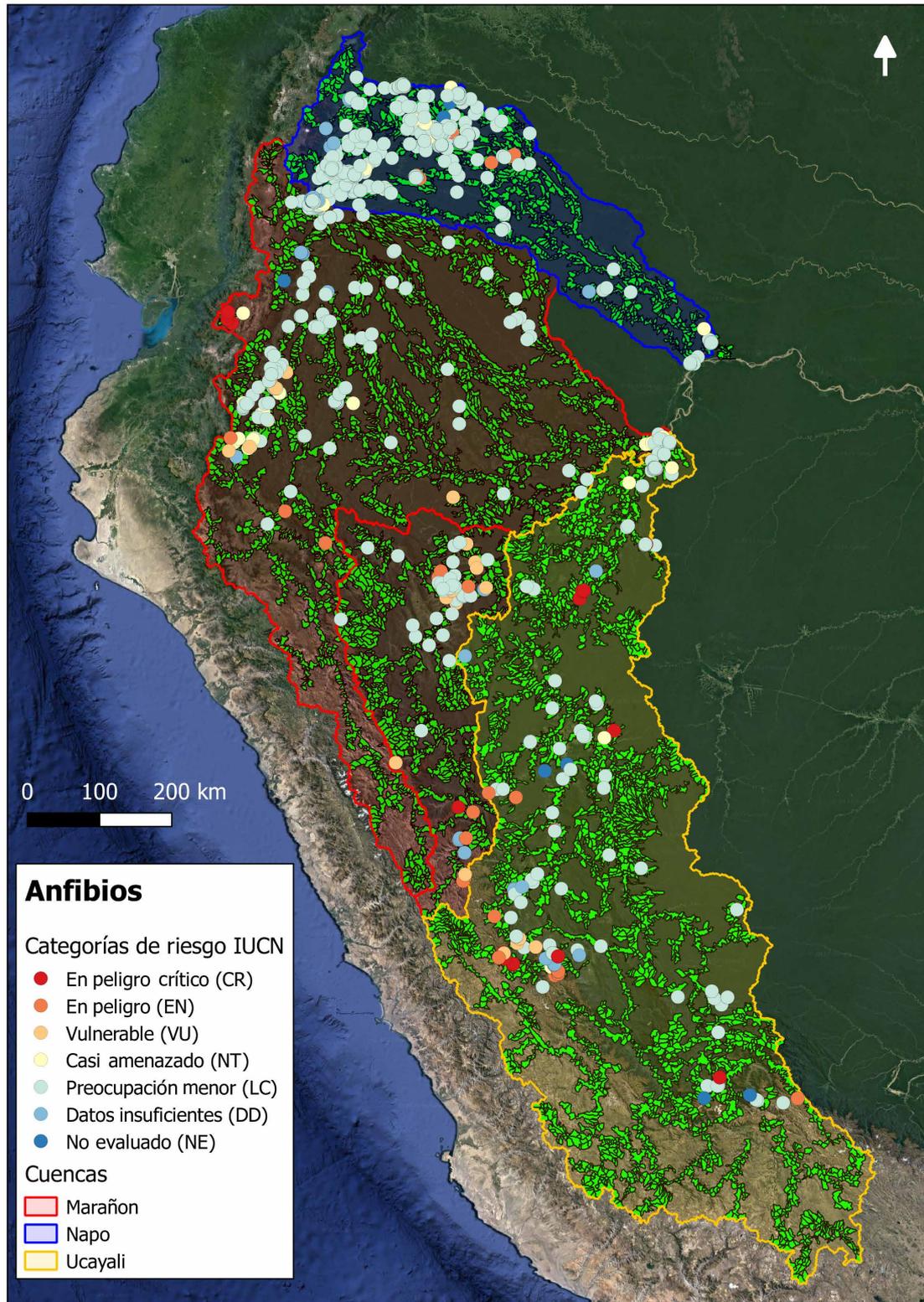


Figura 4.1: Mapa de ocurrencia de especies de anfibios que coinciden con el SE seleccionado

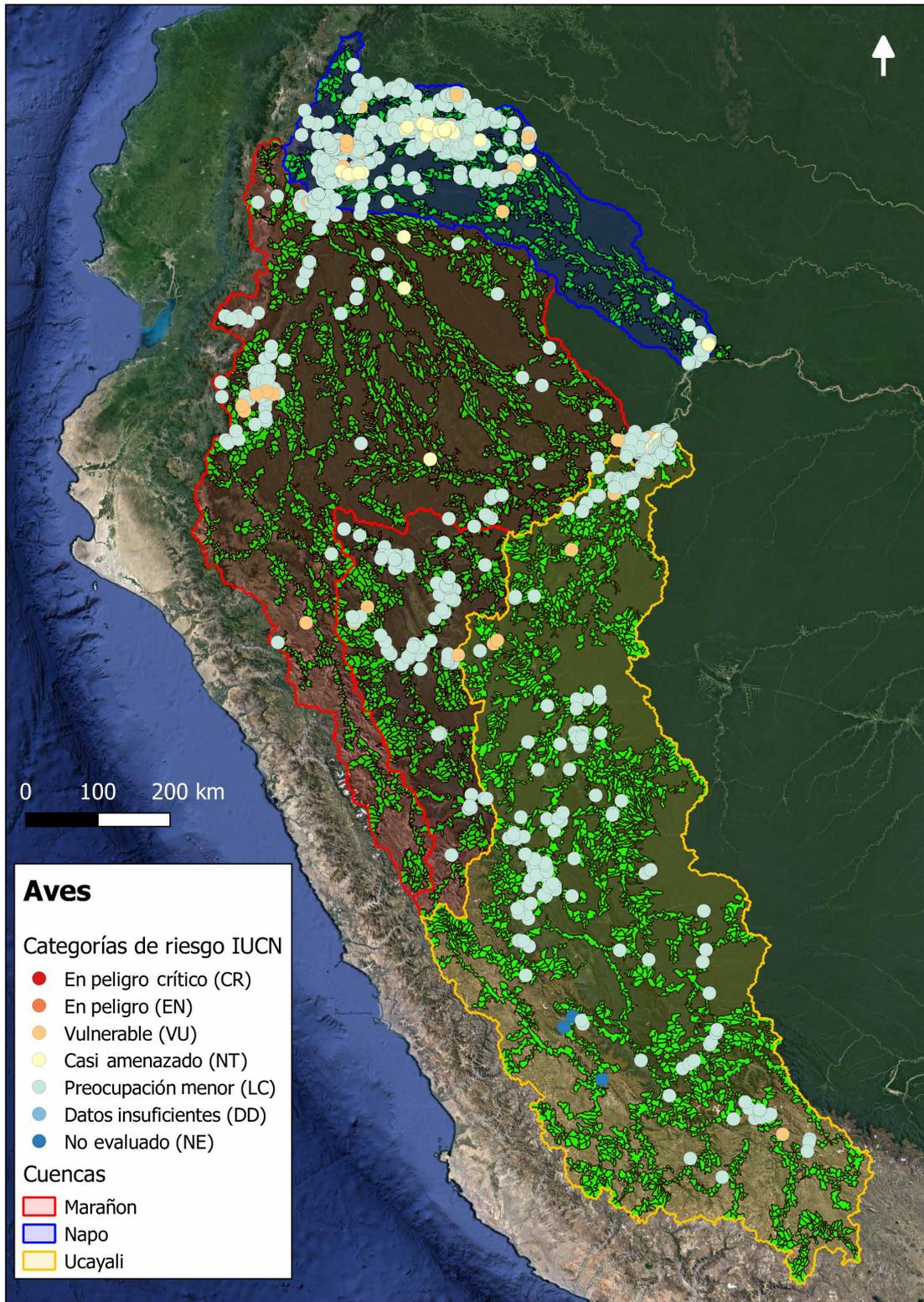


Figura 4.2: Mapa de ocurrencia de especies de aves que coinciden con el SE seleccionado

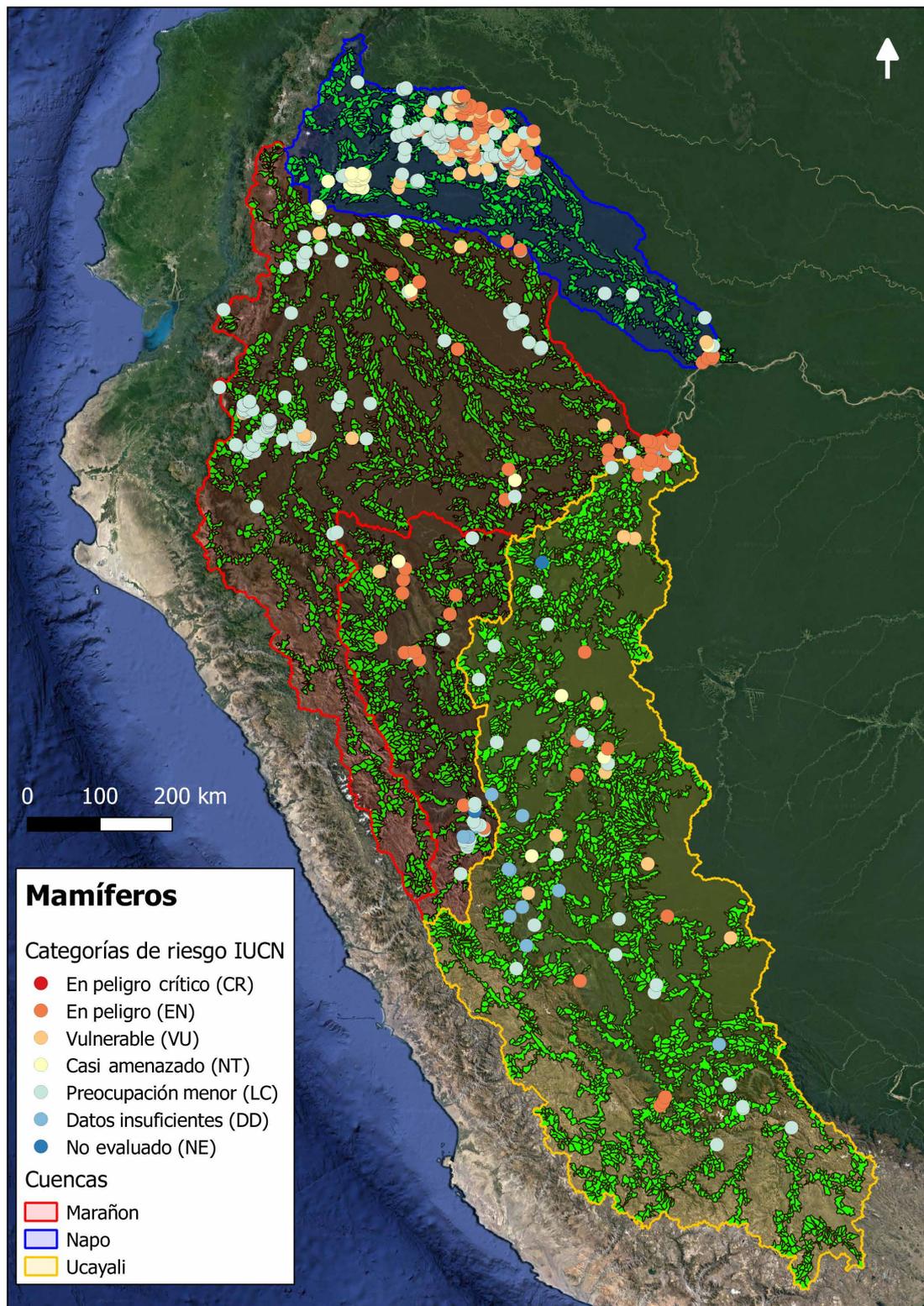


Figura 4.3: Mapa de ocurrencia de especies de mamíferos que coinciden con el SE seleccionado

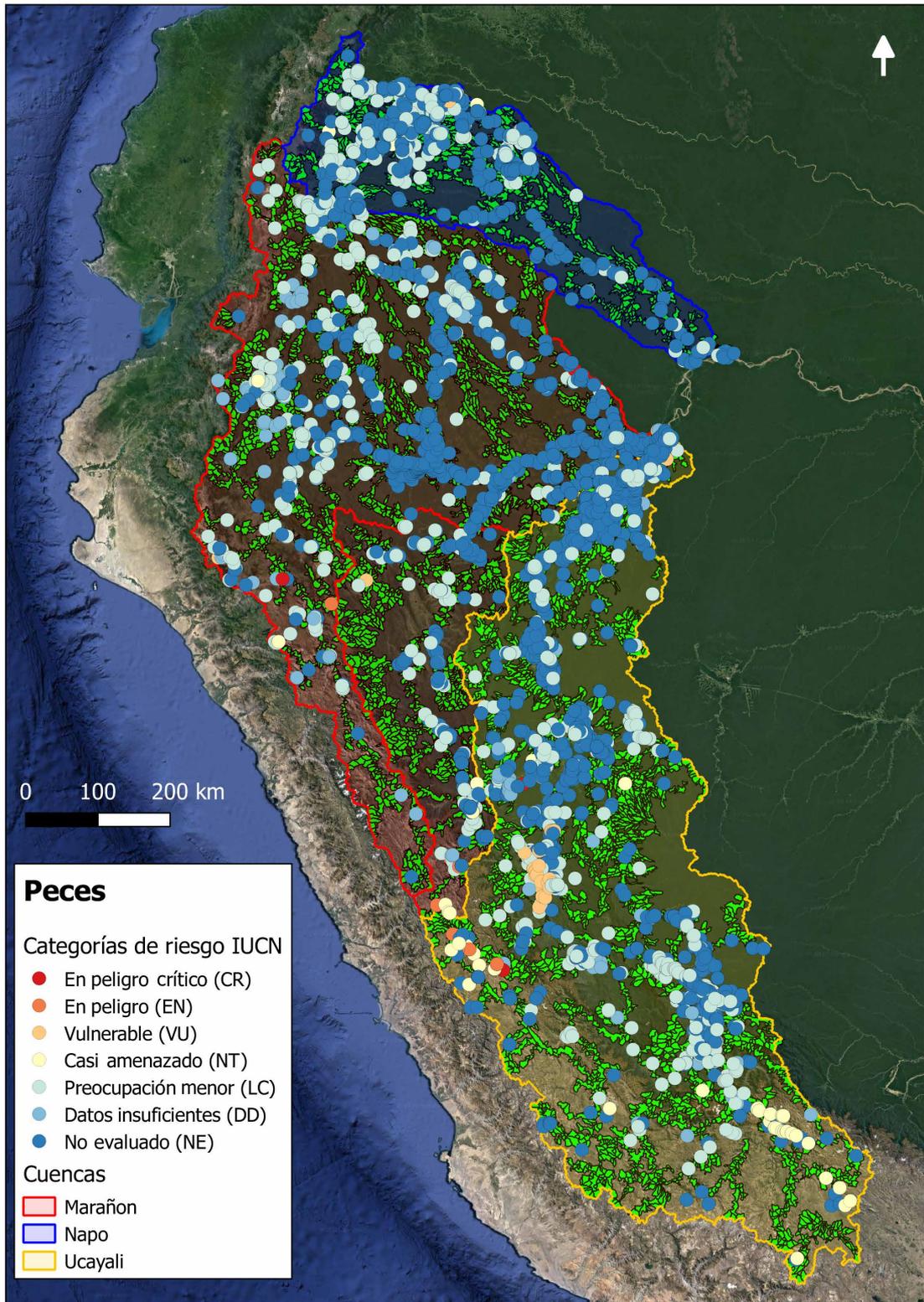


Figura 4.4: Mapa de ocurrencia de especies de peces que coinciden con el SE seleccionado

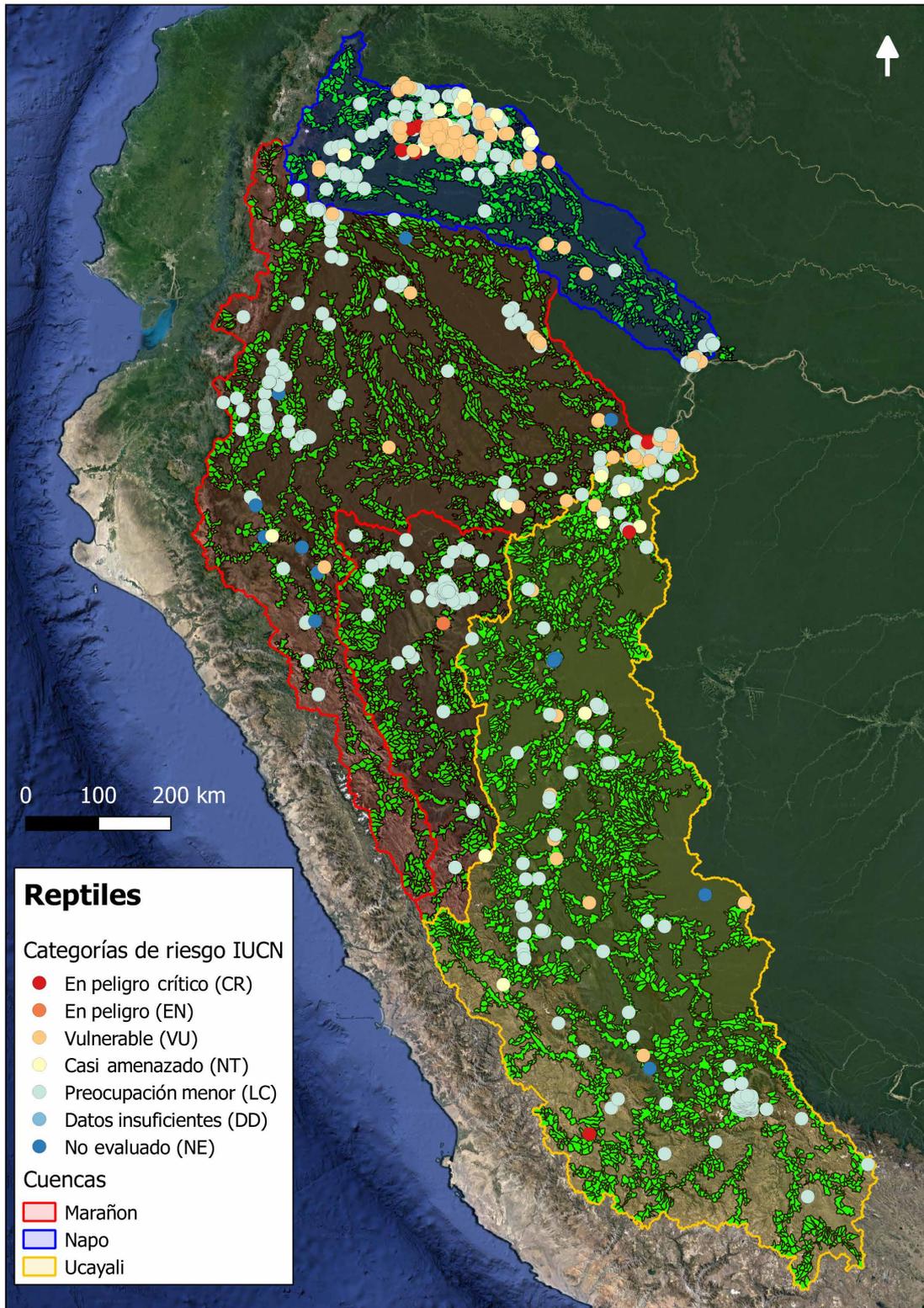


Figura 4.5: Mapa de ocurrencia de especies de reptiles que coinciden con el SE seleccionado

4.2. Valoración de los sistemas ecológicos para medir el grado de prioridad

La evaluación de la condición ecológica actual y el grado de presión o amenaza antrópica se realizó para el total de sistemas ecológicos y unidades de drenaje presentes en las cuencas de estudio (ver Sección 3.4).

Para construir los mapas de impacto antrópico, se efectuó la cuantificación de los diferentes estresores aquí analizados (capas referidas en

la Tabla 2.5). Por cada sistema ecológico, se estimó la sumatoria de los puntajes resultantes de cada condición antrópica. Como resultados, se obtuvieron valores de impacto antrópico total que toman en cuenta todas las condiciones por sistema ecológico. Posteriormente, se agruparon los sistemas ecológicos por rangos de puntuación en bajo (0-20), medio (>20-30) y alto (>31) impacto. En las Figuras 4.6 a 4.8 se presentan los mapas de calor por grado de impacto de origen antropogénico en cada una de las cuencas.



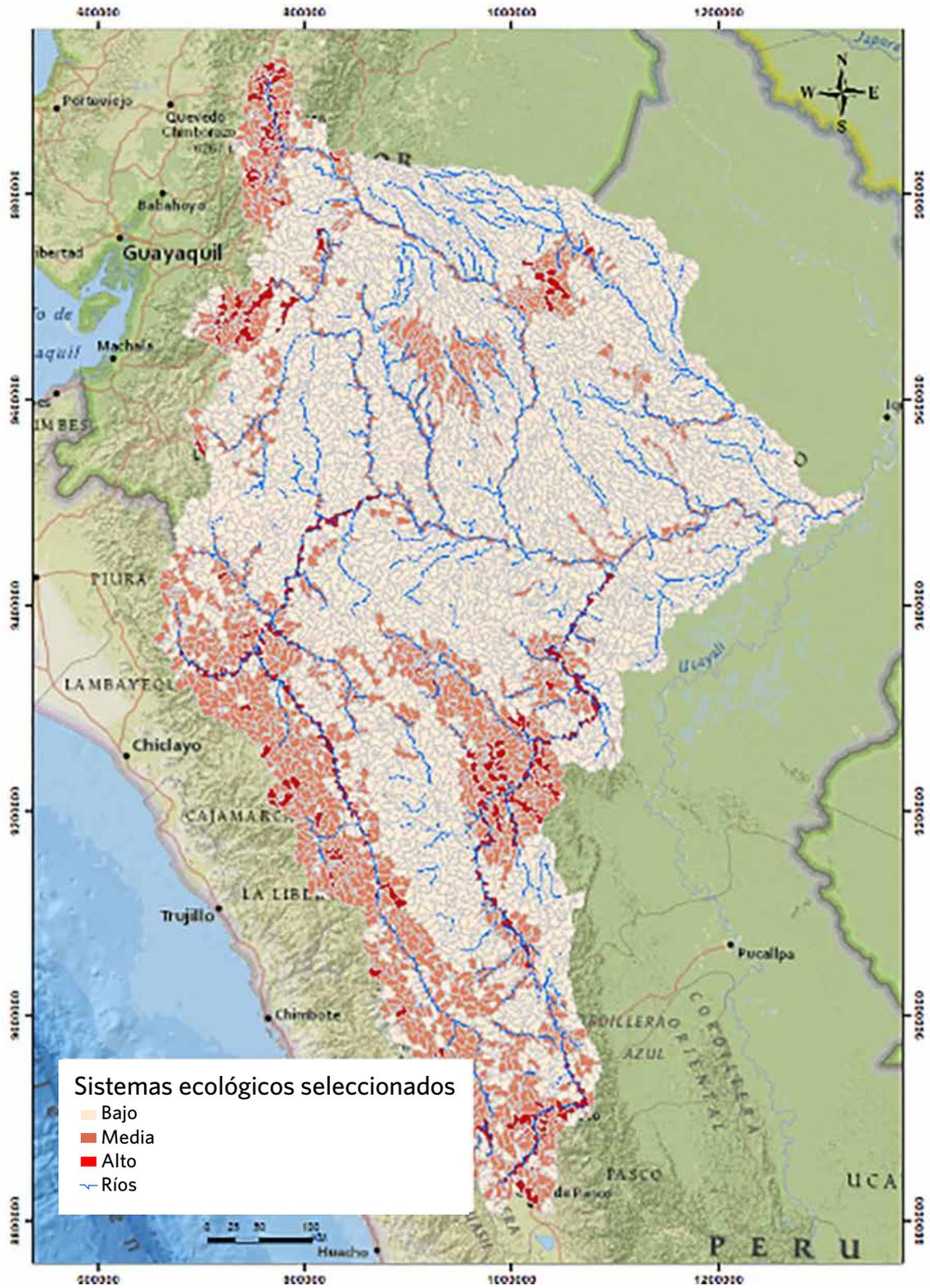


Figura 4.6: Mapa de calor de los niveles de amenazas antrópicas en la cuenca Marañón. Los niveles están clasificados de acuerdo con el grado de amenaza: alto (>31), medio (>20 a 30) y bajo (15 a 20).

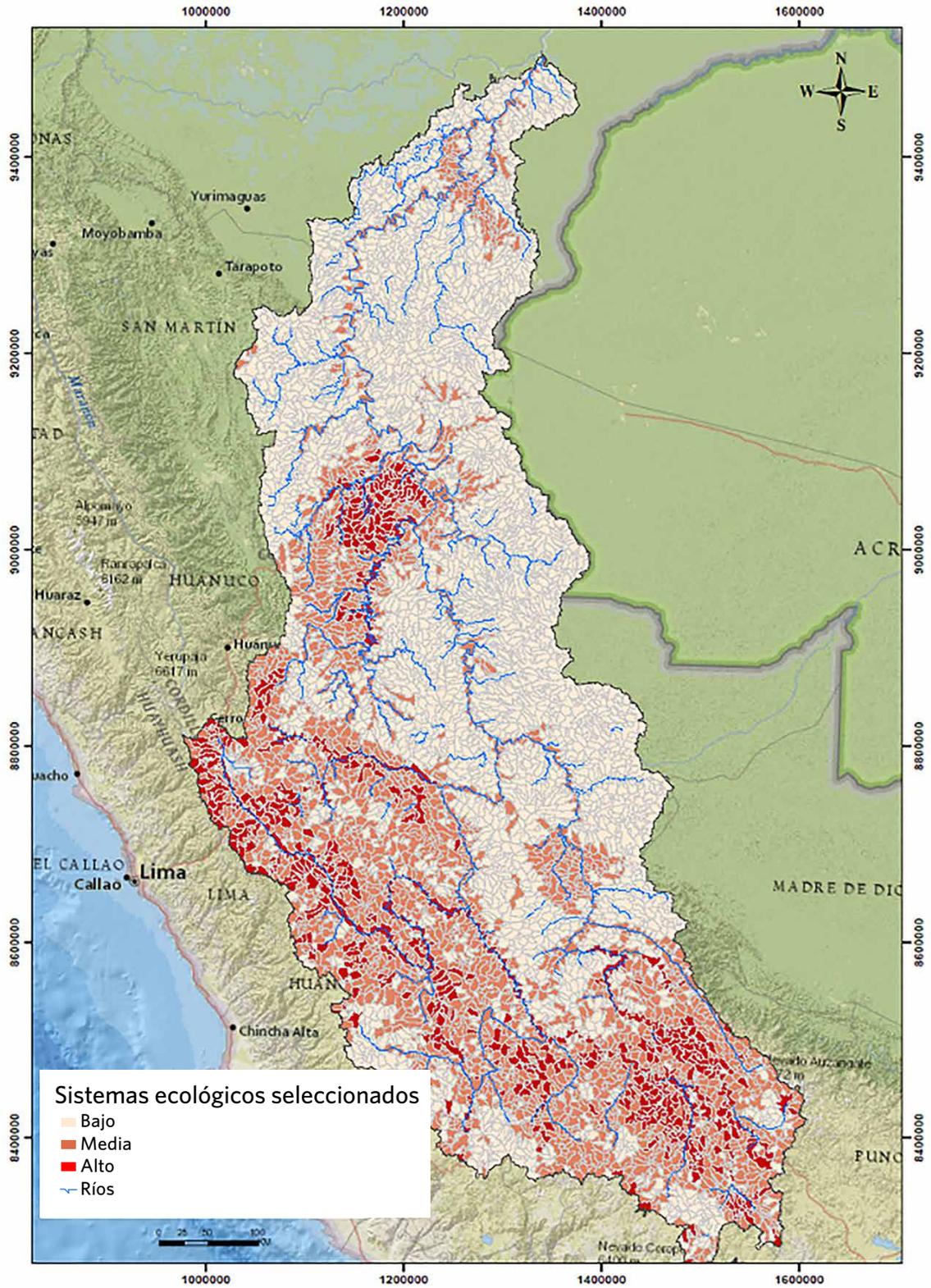


Figura 4.7: Mapa de calor de los niveles de amenazas antrópicas en la cuenca Ucayali. Los niveles están clasificados de acuerdo con el grado de amenaza: alto (>31), medio (>20 a 30) y bajo (15 a 20).

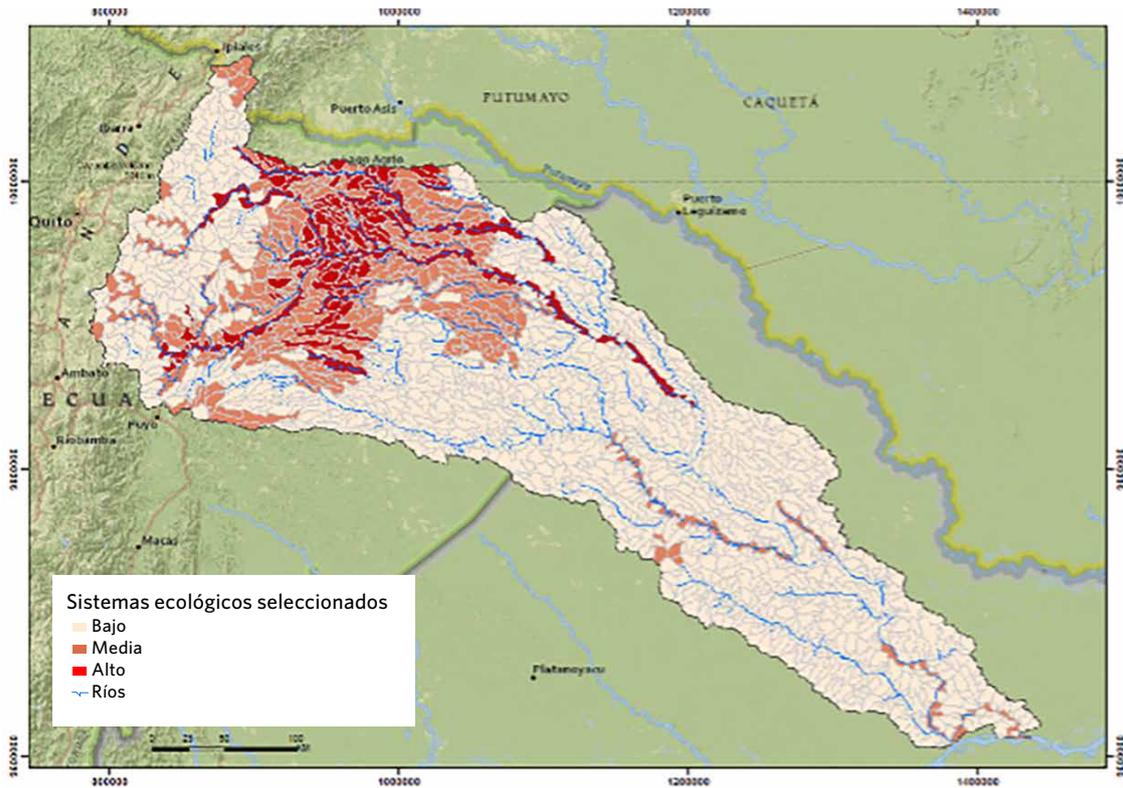


Figura 4.8: Mapa de calor de los niveles de amenazas antrópicas en la cuenca Napo. Los niveles están clasificados de acuerdo con el grado de amenaza: alto (>31), medio (>20 a 30) y bajo (15 a 20).

4.3. Selección final del portafolio

Este estudio identificó 2112 sitios subprioritarios o sistemas ecológicos subprioritarios en la cuenca Marañón, que abarcan un área total de 137,787 km² (38% del área total de la cuenca); 581 sistemas ecológicos en la cuenca Napo (44% del área total de la cuenca), y 2020 sistemas ecológicos en la cuenca Ucayali (40% del área total de la cuenca). Con la aplicación del índice de importancia anteriormente descrito, estos sitios se clasificaron de acuerdo con los rangos establecidos previamente.

En la Tabla 4.1 se presentan los sitios prioritarios a corto, mediano y largo plazo, respectivamente, con su área total, el área del sistema ecológico correspondiente y el área total que cubre por cada ecosistema o área de interés: humedales, áreas naturales protegidas (ANP) y tierras indígenas.

● Tabla 4.1 Resumen de la selección final de los sistemas ecológicos

Cuenca Marañón	Corto plazo	Mediano plazo	Largo plazo	Total
Ríos (km)	2,227	5,419	8,133	15,780
Ríos y ANP (km)	62	208	1,643	1,913
Ríos y tierras indígenas (km)	545	2,095	4,606	7,246
Sistema ecológico seleccionado (km²)	9,700	30,991	97,096	137,787
Número de sitios	11	33	2,068	2,112
Humedales (km ²)	506	3,877	26,365	30,748
Tierras indígenas (km ²)	1,998	11,642	43,935	57,575
ANP (km ²)	539	6,301	43,971	50,811
ANP y humedales (km ²)	42	195	4,077	4,314
ANP y tierras indígenas (km ²)	173	7,799	38,754	46,726
CUENCA NAPO	Corto plazo	Mediano plazo	Largo plazo	Total
Ríos (km)	1,525	1,621	3,237	6,383
Ríos y ANP (km)	335	727	1,039	2,101
Ríos y tierras indígenas (km)	636	779	1,894	3,308
Sistema Ecológico Seleccionado (km²)	8,006	9,642	27,556	45,203
Número de sitios	36	16	529	581
Humedales (km ²)	2,661	4,408	16,456	23,525
Tierras indígenas (km ²)	3,215	4,159	16,641	24,015
ANP (km ²)	1,242	4,152	10,589	15,983
ANP y humedales (km ²)	30	1,080	2,186	3,296
ANP y tierras indígenas (km ²)	1,274	2,253	6,544	10,071
Cuenca Ucayali	Corto plazo	Mediano plazo	Largo plazo	Total
Ríos (km)	1,874	7,416	5,459	14,749
Ríos y ANP (km)	0	360	1,287	1,647
Ríos y tierras indígenas (km)	719	3,075	1,998	5,792
Sistema ecológico seleccionado (km²)	13,025	48,470	79,920	141,414
Número de sitios	40	88	1,892	2,020
Humedales (km ²)	1,140	9,632	41,537	52,309
Tierras indígenas (km ²)	4,332	15,323	25,924	45,580
ANP (km ²)	184	8,358	46,100	54,641
ANP y humedales (km ²)	2	1,667	4,486	6,155
ANP y tierras indígenas (km ²)	142	1,613	5,453	7,208

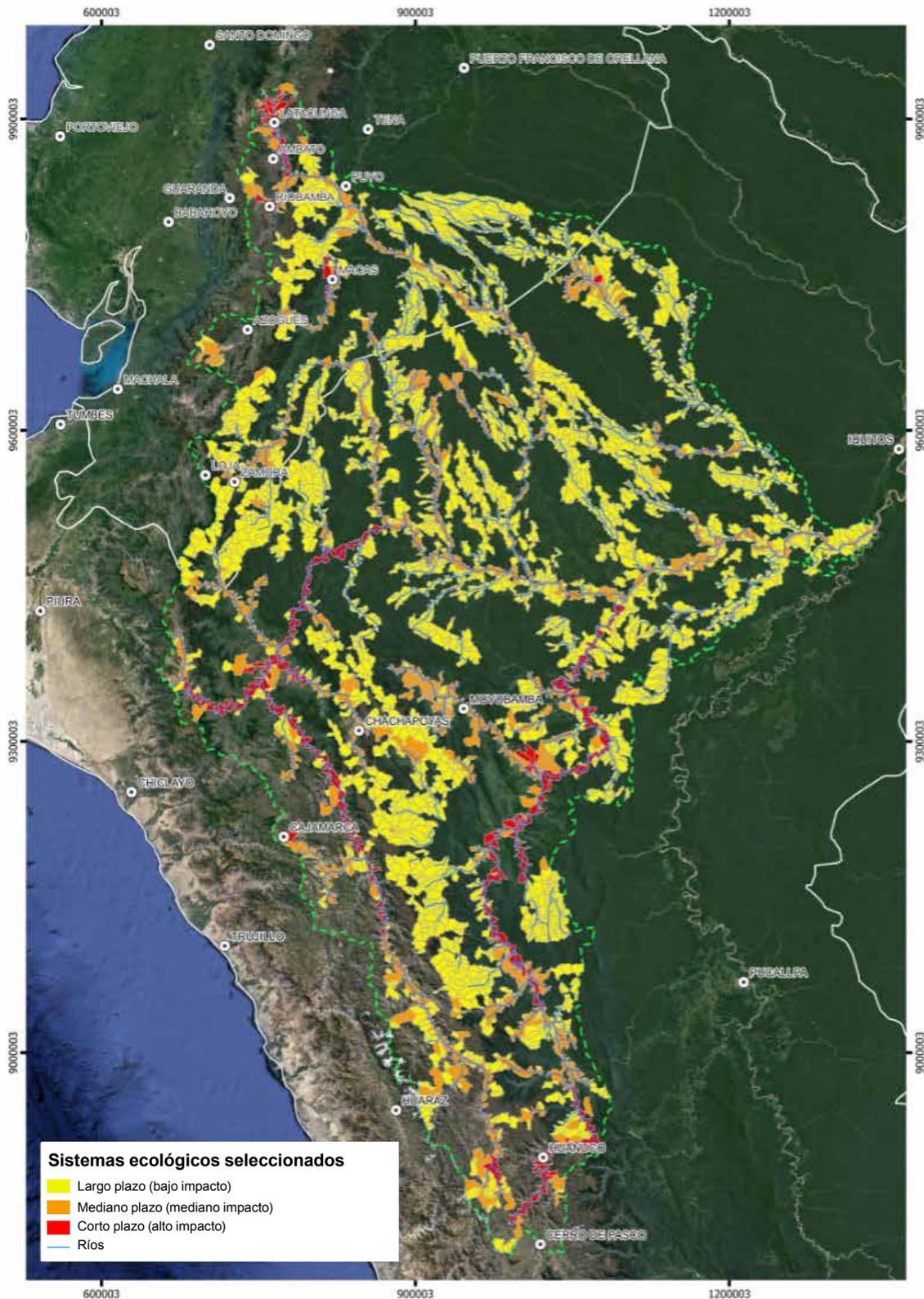


Figura 4.9: Selección final de los sistemas ecológicos en la cuenca Marañón. Los niveles de prioridad están clasificados de acuerdo con el grado de amenaza: corto plazo (>31), mediano plazo (>20 a 30) y largo plazo (15 a 20).

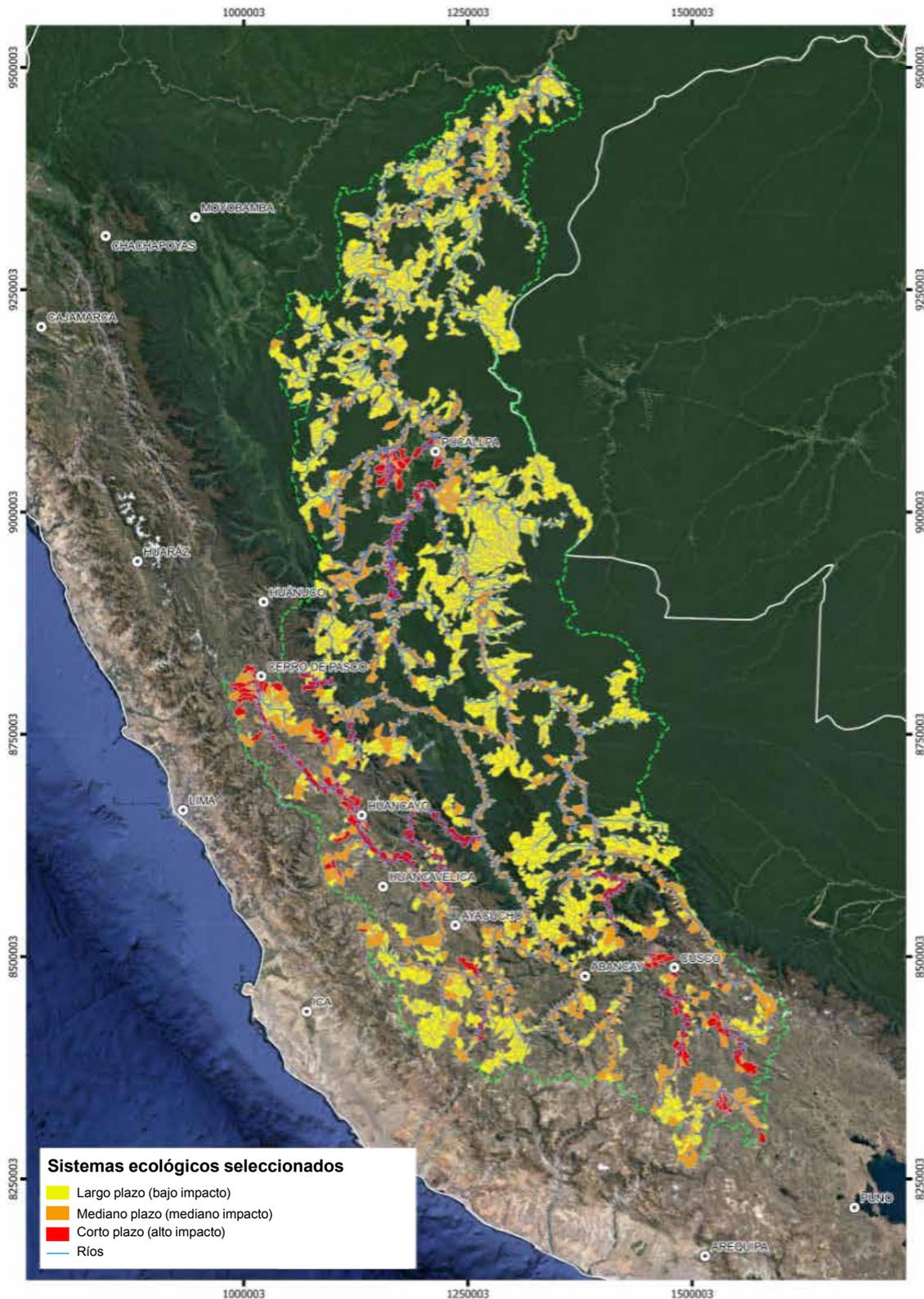


Figura 4.10: Selección final de los sistemas ecológicos en la cuenca Ucayali. Los niveles de prioridad están clasificados de acuerdo con el grado de amenaza: corto plazo (>31), mediano plazo (>20 a 30) y largo plazo (15 a 20).

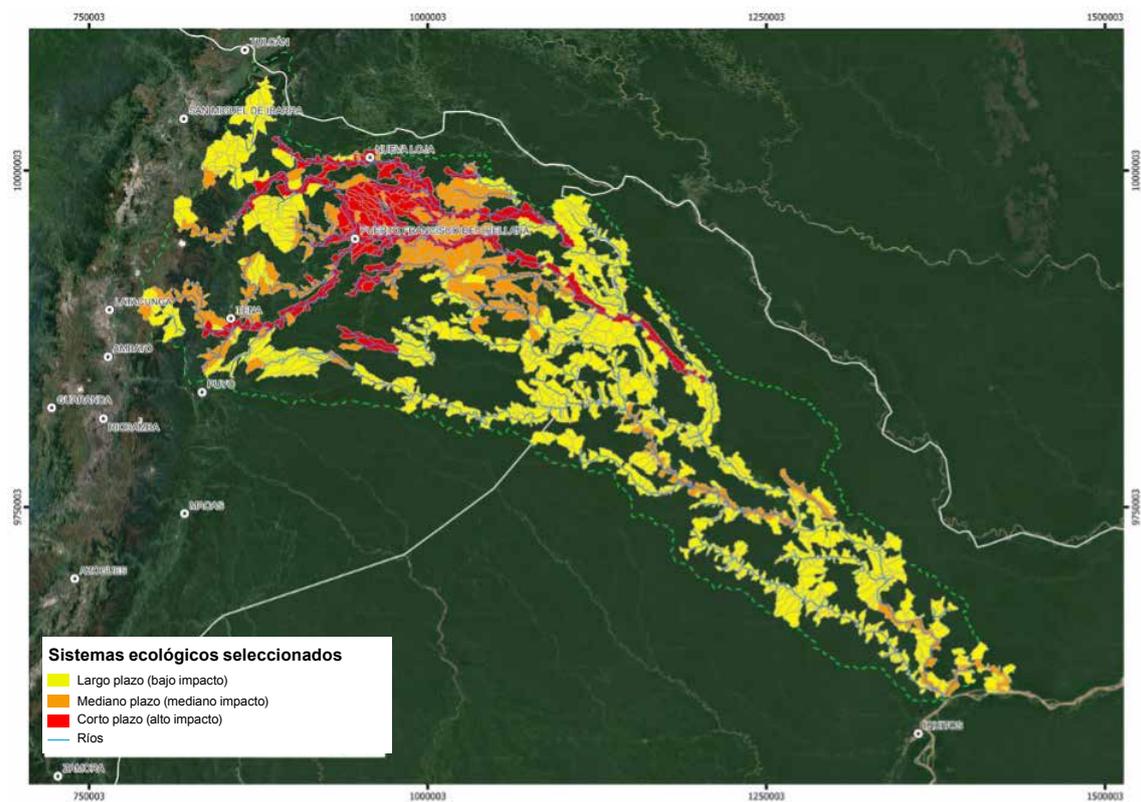


Figura 4.11: Selección final de los sistemas ecológicos en la cuenca Napo. Los niveles de prioridad están clasificados de acuerdo con el grado de amenaza: corto plazo (>31), mediano plazo (>20 a 30) y largo plazo (15 a 20).

Conclusiones y recomendaciones

En esta sección, se presentan las conclusiones y recomendaciones del estudio agrupados por líneas de trabajo:

Institucionalidad

- Las cuencas de estudio contemplan uno o más países, lo que representa una oportunidad de articular la información a nivel internacional, tanto con instituciones de otros países directamente involucrados con el sector como con otras entidades u organismos internacionales que posean información y experiencias prácticas que puedan contribuir a las acciones desarrolladas en la región.
- Se requiere identificar las instituciones o entidades que participan activamente en la conservación de la biodiversidad de las cuencas de estudio, a fin de plantear una estrategia de apoyo continuo para el monitoreo, la recopilación y la disponibilidad de datos de calidad, así como su análisis y evaluación.

Oportunidades de conservación y manejo de ecosistemas

- El objetivo principal de aplicar la metodología *blueprint* es mantener la conectividad de los ríos y cuerpos de agua. Los SE seleccionados fueron ajustados para lograr este objetivo, considerando potenciales rutas migratorias para especies de peces y hábitats para especies semiacuáticas.
- Se observa que los sistemas ecológicos seleccionados contienen más de un 30% de tierras indígenas en cada una de las cuencas, por lo que se deberán priorizar planes de acción que involucren la protección y trabajo conjunto con las comunidades.
- Entre un 22%, 37% y 52% son zonas de humedales en las cuencas Marañón, Ucayali y Napo respectivamente. Dentro de estas zonas, alrededor de un 3%, 8% y 4% coinciden con ANP en cada una de las cuencas. Por tanto, se deberá considerar la cercanía de los SE a estos ecosistemas para asegurar la interconectividad entre sistemas, especialmente con aquellos humedales que dependen de flujos adyacentes para su funcionamiento (Castello et al., 2013), tales como Pacaya-Samiria y el abanico del Pastaza.
- En los mapas de calor, se observan altos niveles de presiones antropogénicas en las partes altas de las cuencas de estudio, por lo que es necesario profundizar en el grado de impacto directo e indirecto en la parte baja y a lo largo de los SE seleccionados.

Oportunidades de investigación y generación de conocimiento

- A la fecha, no se cuenta con una base de datos ambientales a nivel nacional, sino solamente con fuentes externas que recopilan información de diferentes proyectos de conservación a lo largo del tiempo.
- Se requiere llenar los vacíos de información sobre el estado de conservación de muchas de las especies que aún no han sido estudiadas o de las cuales no se cuenta con información suficiente. Por ejemplo, no se posee información completa sobre las rutas migratorias de peces a nivel nacional.
- Adicionalmente a los planes de manejo de áreas naturales protegidas, se requiere estandarizar los protocolos de monitoreo de parámetros bióticos y abióticos.

Referencias

- Abad, J. D., Mendoza, A., Arceo, K., Torres, Z., Valverde, H., Medina, G., Frias, C., & Berezowsky, M. (2022). Planform dynamics and cut-off processes in the lower Ucayali River, Peruvian Amazon. *Water*, 14(3059).
- Abad, J. D., Motta, D., Guerrero, L., Paredes, M., Kuroiwa, J. M., & Garcia, M. H. (2023). Hydrogeomorphology of asymmetric meandering channels: experiments and field evidence. *Water Resources Research*, 59(7), e2022WR033904. <https://doi.org/10.1029/2022WR033904>
- Abell, R., Michele L. Thieme, Carmen Revenga, Mark Bryer, Maurice Kottelat, Nina Bogutskaya, Brian Coad, Nick Mandrak, Salvador Contreras Balderas, William Bussing, Melanie L. J. Stiassny, Paul Skelton, Gerald R. Allen, Peter Unmack, Alexander Naseka, Rebecca Ng, Nikolai Sindorf, JAMES ROBERTSON, Eric Armijo, Jonathan V. Higgins, Thomas J. Heibel, Eric Wikramanayake, David Olson, Hugo L. López, Roberto E. Reis, John G. Lundberg, Mark H. Sabaj Pérez, Paulo Petry Freshwater Ecoregions of the World: A New Map of Biogeographic Units for Freshwater Biodiversity Conservation, (2008) *BioScience*, 58(5), 403-414.
- Antunes, A. C., Montanarin, A., Gräbin, D. M., dos Santos Monteiro, E. C., de Pinho, F. F., Alvarenga, G. C., & Fernandes, T. N. (2022). AMAZONIA CAMTRAP: A data set of mammal, bird, and reptile species recorded with camera traps in the Amazon Forest. *Ecology*, 103(9), 1-9. <https://doi.org/10.1002/ecy.3738>
- Anderson, E.P., C. N. Jenkins, S. Heilpern, J. A. Maldonado-Ocampo, F. M. Carvajal-Vallejos, A. C. Encalada, J. F. Rivadeneira, M. Hidalgo, C. M. Cañas, H. Ortega, N. Salcedo, M. Maldonado, P. A. Tedesco, (2018). Fragmentation of Andes-to-Amazon connectivity by hydropower dams. *Science Advances*, 4(1), 1-7.
- Castello, L., McGrath, D. G., Hess, L. L., Coe, M. T., Lefebvre, P. A., Petry, P., & Arantes, C. C. (2013). The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. *Conservation letters*, 6(4), 217-229.
- Dominguez Ruben, L., Naito, K., Gutierrez, R. R., Szupiany, R., Abad, J. D. (2021). Meander Statistics Toolbox (MStAT): a toolbox for geometry characterization of bends in large meandering channels. *SoftwareX*, 14, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2021.100674>.
- ESRI, 2006. Arcgis (V. 9.2). Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands, CA.
- FitzHugh, T. W. (2005). GIS Tools for Freshwater Biodiversity Conservation Planning (Technical Note). *Transaction in GIS*, 9 (2), 247-263.
- Federal Interagency Stream Restoration Working Group (1998). *Stream Corridor Restoration: Principals, Processes, and Practices*.
- Flecker AS, Shi Q, Almeida RM, Angarita H, Gomes-Selman JM, García-Villacorta R, Sethi SA, Thomas SA, Poff NL, Forsberg BR, Heilpern SA, Hamilton SK, Abad JD, Anderson EP, Barros N, Bernal IC, Bernstein R, Cañas CM, Dangles O, Encalada AC, Fleischmann AS, Goulding M, Higgins J, Jézéquel C, Larson EI, McIntyre PB, Melack JM, Montoya M, Oberdorff T, Paiva R, Perez G, Rappazzo BH, Steinschneider S, Torres S, Varese M, Walter MT, Wu X, Xue Y, Zapata-Ríos XE, Gomes CP. Reducing adverse impacts of Amazon hydropower expansion. *Science*, 375(6582), 1-8. <https://doi.org/10.1126/science.abj4017>
- Frias, C. E., Abad, J. D., Mendoza, A., Paredes, J., Ortals, C., & Montoro, H. (2015). Planform evolution of two anabranching structures in the upper Peruvian amazon river. *Water Resources Research*, 51 (4), 2742-2759.
- García, F. (29 de enero de 2021). El futuro incierto de la hidrovia amazónica peruana. Mongabay. <https://es.mongabay.com/2021/01/hidrovia-amazonia-peru-consulta-previa-pueblos-indigenas/>
- Guerrero, L., Abad, J., Ortals, C., Naito, K., Valverde, H., Estrada, Y., Chicchon, H., Flores, G., and Canas, C. (2023). The birthplace of the amazon river, a confluence of anabranching and meandering rivers.
- Heiner, M., Higgins, J., Li X. & Baker B. (2010). Identifying freshwater conservation priorities in the Upper Yangtze River Basin. *Freshwater Biology* 56 (1), 89-105. doi:10.1111/j.1365-2427.2010.02466.x

- Higgins, J. V. (2003). Maintaining the Ebbs & Flows of the Landscape – Conservation Planning for Freshwater Ecosystems. En: Groves, C. R. y colab. 2003. *Drafting a Conservation Blueprint: a Practitioner's Guide to Regional Planning for Biodiversity*. Island Press.
- Higgins, J.V., Bryer, T.M., Khoury, I.M. & Fitzhugh W. T. A. (2005). Freshwater Classification Approach for Biodiversity Conservation Planning. *Conservation Biology*, 19(2), 432–445.
- JMP®, Version 17. SAS Institute Inc., Cary, NC, 1989–2023.
- Khoury, M., J. Higgins, & R. Weitzell. (2010). A Freshwater Conservation Assessment of the Upper Mississippi River Basin Using a Coarse- and Fine-Filter Approach. *Freshwater Biology*. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2010.02468.x.
- Latrubesse, E., Arima, E., Dunne, T. et al. (2017). Damming the rivers of the Amazon basin. *Nature*, 546, 363–369. <https://doi.org/10.1038/nature22333>
- Lehner, B. & Grill G. (2013): Global river hydrography and network routing: baseline data and new approaches to study the world's large river systems. *Hydrological Processes*, 27(15), 2171–2186. www.hydrosheds.org
- Lehner, B., Verdin, K. and Jarvis, A. (2008). New global hydrography derived from spaceborne elevation data. *Eos, Transactions*, 89(10), 93–94.
- Li, Z., Mendoza, A., Abad, J. D., T.A. Endreny, B.Han, Carrisoza, E., & Dominguez, R. (2023). Hydrogeomorphology of asymmetric meandering channels: experiments and field evidence. Under review in *Frontiers in Earth Science*.
- Linke, S., Lehner, B., Ouellet Dallaire, C., Ariwi, J., Grill, G., Anand, M., Beames, P., Burchard-Levine, V., Maxwell, S., Moidu, H. & Tan, F., (2019). Global hydro-environmental sub-basin and river reach characteristics at high spatial resolution. *Scientific data*, 6(1), 283. www.hydrosheds.org/hydroatlas
- Marin-Díaz, J., Flores, G., & Abad, J. D. (2020). Similarities and differences between meandering and anabranching rivers. [conferencia]. AGU Fall Meeting. San Francisco, Estados Unidos. San Francisco, United States.
- May, C. L. and R. E. Gresswell, (2003). Large Wood Recruitment and Redistribution in Headwater Streams in the Southern Oregon Coast Range, USA. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere* 33(8), 1352-1362.
- Mendoza, A., J.D. Abad, C.E. Frias, O. Collin, J. Paredes, H. Montoro, J. Vizcarra, C. Simon, and G. Soto-Cortes (2016). Planform dynamics of the iquitos anabranching structure in the peruvian upper amazon river. *Earth Surface Processes and Landforms*, 41(7), 961–970.
- Ministerio del Ambiente (MINAM) (2022). *Plan de acción nacional sobre las especies exóticas invasoras en el Perú 2022-2026*. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/per211232annx1.pdf>
- Myers, W. L., M. McKenney-Easterling, K., Hychka, B., et al. (2006). Contextual clustering for configuring collaborative conservation of watersheds in the Mid-Atlantic Highlands. *Environmental and Ecological Statistics*, 13(4), 391–407.
- Rojas T. V., Abad JD, Roque WR, Latrubesse EM & Shan J (2023). Free and underfit-scavenger river dynamics dominate the large Amazonian Pacaya-Samiria wetland structure. *Frontiers of Environmental Science*, 1-16. doi: 10.3389/fenvs.2023.1082619.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi) (2017). Análisis de la variabilidad de la sección hidráulica fluvial en los puntos de control hidrométrico de ríos amazónicos caso: cuenca Marañón. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-47.pdf>
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) (2021). *Planes nacionales de conservación para especies amenazadas*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2057528/Planes%20de%20Conservaci%C3%B3n%20para%20Especies%20Amenazadas.pdf>.
- Sierra, Y. (2019). Jorge Abad: Me preocupa que la hidrovía amazónica se haga mal . Mongabay. <https://es.mongabay.com/2019/05/peru-hidrovía-amazonica-jorge-abad/>
- Sowa, S. P., Annis G., Morey M. E. et al. (2007). A Gap Analysis and Comprehensive Conservation Strategy For Riverine Ecosystems Of Missouri. *Ecological Monographs*, 77(3), 301-334.

- Smith, M. P., Schiff, R., Olivero, A. & MacBroom J. (2008). *The Active River Área: A Conservation Framework for Protecting Rivers and Streams*. The Nature Conservancy.
- Strager, J. M., Yuill, C. B., & Wood, P. B. (2000). Landscape-Based Riparian Habitat Modeling for Amphibians and Reptiles Using Arc/Info Grid and Arcview. [conferencia]. ESRI User Conference, San Diego, California, Estados Unidos. <http://gis.esri.com/library/userconf/proc00/professional/papers/PAP575/p575>
- Thieme, M., Lehner, B., Abell, R. et al. (2007). Freshwater conservation planning in data - poor áreas: An example from a remote Amazonian basin (Madre de Dios River, Peru and Bolivia). *Biological Conservation*, 135(4), 484-501.
- Tellez, P., P. Petry, T. Walshurger, J. Higgins, and C. Apse. (2012). *Portafolio de conservacion de agua dulce para la cuenca del río Magdalena - Cauca*. The Nature Conservancy and Cormagdalena.
- Pekel, J.F., Cottam, A., Gorelick, N. & Belward, A.S. (2016) High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540, 418-422. <https://doi.org/10.1038/nature20584>
- Petry, P., J. Higgins, A. Carneiro, S. Rodrigues, D. Harrison, P. Bara, R. Vale, and E. Garcia (2018). *A Conservation Assessment of the Rio Tapajós, Brazil*. The Nature Conservancy.
- Valverde, H., Abad, J. D., Guerrero, L., Estrada, Y. & Frias, C. (2023). Hydrogeomorphic characterization of the Huallaga River for the Peruvian Amazon Waterway. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean EngineeringArchive*, 150(2).
- Webb, A. A. and W. D. Erskine, 2003. Distribution, Recruitment, and Geomorphic Significance of Large Woody Debris in an Alluvial Forest Stream: Tonghi Creek, Southeastern Australia. *Geomorphology* 51 (1-3), 109-126.
- Webb, A. & Erskine, W. (2003). *Aguas amazónicas. El mayor sistema de agua dulce del mundo*. <https://aguasamazonicas.org/>

Anexos

Carpeta general:

<https://drive.google.com/drive/folders/1s3eJvwchg12qBuj5YQNA0z71XvdnizFJ?usp=sharing>

Anexo A:

<https://drive.google.com/file/d/1oWoYemBf-SA96ilZjYvvuyKCAJaw3YPe/view?usp=sharing>

Anexo B:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1gOrWEJPuAd3PlcWIhzVMD22PDMbFBCpf/edit?usp=sharing&oid=108507001529267683024&rtpof=true&sd=true>

Anexo C:

<https://drive.google.com/drive/folders/1ILO1lrDR6y40Ejokzr1bS8dhTwj5EpdK?usp=sharing>

Anexo D:

<https://drive.google.com/drive/folders/1B9f8nEplstDDAzOvlvCPXKg61jJbmmmU?usp=sharing>



