

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE POSTGRADOS**

PROYECTO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

“MAGÍSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL”

TEMA:

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA DEFORESTACIÓN
EN RESPUESTA A LA IMPLEMENTACIÓN
DEL EMBALSE DAULE-PERIPA, ECUADOR.**

AUTOR:

JOAQUIN VICTORIANO ZAMORA VILLON

Guayaquil - Ecuador

2023

RESUMEN

Las hidroeléctricas contribuyen a la producción de energía limpia que ayuda a solventar la creciente demanda energética mundial y contribuye al desarrollo económico y sostenible de cada nación. Los principales problemas con este tipo de proyectos se basan en que se generan cambios e impactos en la dinámica de los ecosistemas naturales que rodean estas infraestructuras. Entre 1980-1990, en Ecuador se construyó la Presa Hidroeléctrica Daule-Peripa que, ha ocasionado impactos y alteraciones en la cobertura de la tierra. El objetivo de este trabajo es evaluar cambios espaciotemporales de la cobertura de la tierra para el análisis de los impactos asociados a la deforestación producto de la implementación del lago artificial mediante el empleo de machine learning para los años 1986, 1998 y 2019. El proceso metodológico se basó en: (i) recopilación, análisis y selección de datos de sensores remotos (ii) clasificación y validación en Google Earth Engine, y postclasificación en ArcGIS Pro, (iii) evaluación de la fragmentación en FRAGSTATS, y (iv) recomendaciones en el marco del ordenamiento territorial. Los análisis de deforestación indican que en 1986 predominaban bosques nativos y para el 2019 la cobertura forestal disminuyó en un 22.66% aproximadamente, evidenciándose una elevada tasa de deforestación. Los análisis de métricas de fragmentación muestran que a través de los años se ha desarrollado un proceso de fragmentación fuerte que a su vez ha disminuido la conectividad de los hábitats. Las recomendaciones proporcionadas se elaboraron para alcanzar objetivos económicos, sociales, ambientales, urbanísticos y de sostenibilidad que permitan ejecutar acciones integrales para gestionar adecuadamente los bosques. Se determinó que la fragmentación forestal se ha dado por construcción de vías, implementación de áreas agrícolas y expansión urbana. Esta fragmentación aumentó en el período 1998 – 2019 a causa de implementar actividades antrópicas en el área. Por lo que el escenario del 2019 contiene la mayor cantidad de parches, el mayor grado de fragmentación del hábitat y la más baja conectividad.

Palabras claves: presa hidroeléctrica; embalse; machine learning; sensores remotos; cobertura terrestre; ordenamiento territorial; ecosistemas.

ABSTRACT

Hydroelectric plants contribute to the production of clean energy that helps meet the growing global energy demand and contributes to each nation's economic and sustainable development. The main problems with this type of project are because changes and impacts are generated in the dynamics of the natural ecosystems that surround these infrastructures. Between 1980-1990, the Daule-Peripa Hydroelectric Dam was built in Ecuador, which has caused impacts and alterations in the land cover. The objective of this work is to evaluate spatiotemporal changes in land cover for the analysis of the impacts associated with deforestation as consequence of implementing the artificial lake through machine learning. The methodological process was based on: (i) collection, analysis, and selection of remote sensing data, (ii) classification and validation in Google Earth Engine and post-classification in ArcGIS Pro, (iii) evaluation of fragmentation in FRAGSTATS, and (iv) recommendations within the framework of land use planning. Deforestation analyzes indicate that in 1986 native forests predominated and by 2019 forest cover decreased by approximately 22.66%, evidencing a high rate of deforestation. Analyzes of fragmentation metrics indicate that a robust fragmentation process has developed over the years, which in turn has decreased habitat connectivity. The recommendations provided were prepared to achieve economic, social, environmental, urban planning and sustainability objectives that allow the execution of comprehensive actions to adequately manage forests. It was determined that forest fragmentation has occurred due to the construction of roads, the implementation of agricultural areas and urban expansion. This fragmentation increased in the period 1998 - 2019 due to implementing anthropic activities in the area. Therefore, the 2019 scenario contains the biggest patches, the highest degree of habitat fragmentation, and the lowest connectivity.

Keywords: hydroelectric dam; reservoir; machine learning; remote sensing; land cover; land use planning; ecosystems.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi padre Ernesto Zamora y madre Juanita Villón, quienes me han apoyado en esta parte de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer en primer lugar a mis tutores Dr. Andrés Velastegui por apoyarme y resolver mis dudas durante el proceso de esta investigación. Además, un agradecimiento especial a la Dr. Renata Pacheco, Dr. Gricelda Herrera, y M.Sc. Paulo Escandón que formaron parte de este equipo de investigación que me supo colaborar, ayudar y guiar de manera adecuada. Y por supuesto, gracias a todos mis profesores por brindarme todos los conocimientos que he adquirido durante mi formación como magíster en gestión ambiental.

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Titulación me corresponde exclusivamente y ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. El patrimonio intelectual del mismo corresponde exclusivamente a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Joaquin Victoriano Zamora Villon

C.I. 0927234021

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Francesca Elizabeth Escala Benites M.Sc.

PRESIDENTE

Andrés Danilo Velastegui Montoya Ph.D.

TUTOR

Jenny Maria Venegas Gallo M.Sc.

DOCENTE EVALUADOR

ABREVIATURAS O SIGLAS

IEA: International Energy Agency

IRENA: International Renewable Energy Agency

IHA: International Hydropower Association

CAIC: Comisión para la Auditoría Integral del Crédito Público

CISPDR: Changjiang Institute of Survey Planning Design and Research

MAGAP: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca

GAD: Gobierno Autónomo Descentralizado

CELEC: Corporación Eléctrica del Ecuador

L5: Landsat 5

S2: Sentinel 2

NASA: National Aeronautics and Space Administration

USGS: United States Geological Survey

LOOTUGS: Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo

SENPLADES: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo

CLIRSEN: Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos

SIGAGRO: Sistema de Información Geográfica y del Agro

IGM: Instituto Geográfico Militar

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| 1. Introducción..... | 1 |
| 1.1. Antecedentes..... | 1 |
| 1.2. Descripción del problema..... | 3 |
| 1.3. Objetivos..... | 5 |
| 1.3.1. Objetivo General..... | 5 |
| 1.3.2. Objetivos Específicos..... | 5 |
| 1.4. Hipótesis..... | 5 |
| 1.5. Alcance..... | 5 |
| 2. Marco Teórico..... | 7 |
| 2.1. Energías Renovables, Energía Eléctrica y Proyectos Hidroeléctricos..... | 7 |
| 2.2. Impactos asociados a la implementación de proyectos hidroeléctricos..... | 8 |
| 2.2.1. Casos de estudio de impactos socio ambientales de hidroeléctricas..... | 8 |
| 2.3. Contexto de Proyectos Hidroeléctricos en Ecuador..... | 8 |
| 2.3.1. Represa Hidroeléctrica Daule-Peripa..... | 9 |
| 2.3.1.1. Características del embalse..... | 9 |
| 2.3.1.2. Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind..... | 10 |
| 2.3.2. Impactos generados por la Represa Hidroeléctrica Daule-Peripa..... | 10 |
| 2.4. Deforestación Producida por Proyectos Hidroeléctricos..... | 11 |
| 2.5. Objetivos del Estudio..... | 12 |
| 2.6. Cobertura Forestal..... | 12 |
| 2.7. Deforestación..... | 13 |
| 2.8. Fragmentación del Paisaje..... | 13 |
| 2.9. Conectividad del Paisaje..... | 14 |
| 2.10. Parche..... | 16 |
| 2.11. Métrica de Paisaje..... | 16 |
| 3. Metodología..... | 17 |

| | |
|---|----|
| 3.1. Área de Estudio..... | 18 |
| 3.2. Adquisición de Datos de Sensores Remotos..... | 19 |
| 3.3. Clasificación y Validación..... | 20 |
| 3.4. Reclasificación y Agrupamiento de Clases | 21 |
| 3.5. Análisis de los Cambios de la Cobertura Forestal | 21 |
| 3.6. Análisis de la Deforestación | 22 |
| 3.7. Métricas de Estructuras de Paisaje..... | 22 |
| 3.7.1. Métricas de Fragmentación del Paisaje | 23 |
| 3.8. Recomendaciones de Ordenamiento Territorial | 23 |
| 4. Resultados..... | 25 |
| 4.1. Adquisición de Imágenes Satelitales Compuestas..... | 25 |
| 4.1.1. 1986 | 25 |
| 4.1.2. 1998 | 26 |
| 4.1.3. 2019 | 27 |
| 4.2. Clasificación Supervisada con Filtro Espacial en GEE..... | 27 |
| 4.2.1. 1986 | 28 |
| 4.2.2. 1998 | 29 |
| 4.2.3. 2019 | 30 |
| 4.3. Reclasificación y Reagrupamiento de Clases con Generalización de Salida Clasificada en ArcGIS Pro..... | 31 |
| 4.3.1. 1986 | 31 |
| 4.3.2. 1998 | 32 |
| 4.3.3. 2019 | 33 |
| 4.4. Post-Reclasificación..... | 34 |
| 4.5. Mapas Temáticos de Cobertura de la Tierra | 35 |
| 4.6. Análisis de Cobertura Forestal Mediante un Análisis Multitemporal | 37 |
| 4.7. Análisis de la Deforestación en el Área de Estudio..... | 39 |

| | |
|---|----|
| 4.8. Cálculos de Métricas de Estructura de Paisaje | 39 |
| 4.8.1. Cálculo de Métricas de Fragmentación del Paisaje | 39 |
| 4.8.1.1. SHAPE_MN | 39 |
| 4.8.1.2. NP | 40 |
| 4.8.1.3. PD | 40 |
| 4.8.1.4. LPI | 41 |
| 4.8.1.5. TE..... | 42 |
| 4.8.1.6. ED..... | 42 |
| 4.8.1.7. AI | 43 |
| 4.9. Recomendaciones de Ordenamiento Territorial | 44 |
| 5. Conclusiones y Recomendaciones..... | 46 |
| 6. Bibliografía..... | 49 |

LISTADO DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Fig. 1.1. Cuenca Río Guayas y sus divisiones hidrográficas | 1 |
| Fig. 1.2. Presa Daule-Peripa. | 2 |
| Fig. 2.1. Proceso continuo de fragmentación del hábitat..... | 14 |
| Fig. 2.2. Conectividad entre dos áreas de un paisaje mediante permeabilidad..... | 15 |
| Fig. 3.1. Esquema del proceso metodológico | 17 |
| Fig. 3.2. Área de estudio | 19 |
| Fig. 4.1. Imagen compuesta para el período 1986 (L5)..... | 25 |
| Fig. 4.2. Imagen compuesta para el período 1998 (L5)..... | 26 |
| Fig. 4.3. Imagen compuesta para el período 2019 (S2) | 27 |
| Fig. 4.4. Clasificación Supervisada para el periodo 1986 | 28 |
| Fig. 4.5. Clasificación Supervisada para el periodo 1998 | 29 |
| Fig. 4.6. Clasificación Supervisada para el periodo 2019 | 30 |
| Fig. 4.7. Reclasificación supervisada de clases para 1986 | 31 |
| Fig. 4.8. Reclasificación supervisada de clases para 1998 | 32 |
| Fig. 4.9. Reclasificación supervisada de clases para 2019 | 33 |
| Fig. 4.10. Mapas de post reclasificación para 1986 y 1998..... | 34 |
| Fig. 4.11 Mapas temáticos de cobertura terrestre 1986 al 2019 | 35 |
| Fig. 4.12. Cálculo de Métrica SHAPE_MN para 1986, 1998 y 2019 | 40 |
| Fig. 4.13. Cálculo de Métrica NP para 1986, 1998 y 2019 | 40 |
| Fig. 4.14. Cálculo de Métrica PD para 1986, 1998 y 2019 | 41 |
| Fig. 4.15. Cálculo de Métrica LPI para 1986, 1998 y 2019..... | 41 |
| Fig. 4.16. Cálculo de Métrica TE para 1986, 1998 y 2019..... | 42 |
| Fig. 4.17. Cálculo de Métrica ED para 1986, 1998 y 2019 | 42 |
| Fig. 4.18. Cálculo de Métrica AI para 1986, 1998 y 2019 | 43 |

LISTADO DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1.1. Matriz de potenciales impactos socioambientales de proyectos relacionados a la implementación de represas y embalses | 4 |
| Tabla 3.1. Imágenes compuestas de los satélites Landsat 5 y Sentinel 2 usadas para los análisis de los años 1986, 1998 y 2019..... | 20 |
| Tabla 3.2. Métricas utilizadas en el análisis de fragmentación | 23 |
| Tabla 4.1. Superficie total y porcentaje ocupado por cada cobertura y uso de suelo (clase) en el área de estudio, entre 1986 – 2019..... | 37 |
| Tabla 4.2. Deforestación y tasa anuales de deforestación en el área de estudio (buffer) de la represa hidroeléctrica Daule-Peripa entre 1986 y 2019 | 39 |

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La cuenca del río Guayas (Fig. 1) comprende el área de captación del sistema fluvial que conforman los ríos Daule, Vinces y Babahoyo. Cada uno con sus respectivos afluentes que confluyen en el norte de Guayaquil. Las precipitaciones anuales varían notoriamente siendo altas en la provincia de Santo Domingo y disminuyen a medida que se acercan al extremo occidental de la provincia de Santa Elena. Dichas precipitaciones son abundantes en los primeros cuatro meses del año durante el invierno ecuatorial y los ocho meses restantes se dan en baja proporción. Estos desequilibrios provocaban desbordes de ríos en el corto invierno de cuatro meses y en el resto de los meses de verano estos mismos ríos tenían bajos caudales (CELEC E.P., 2013).

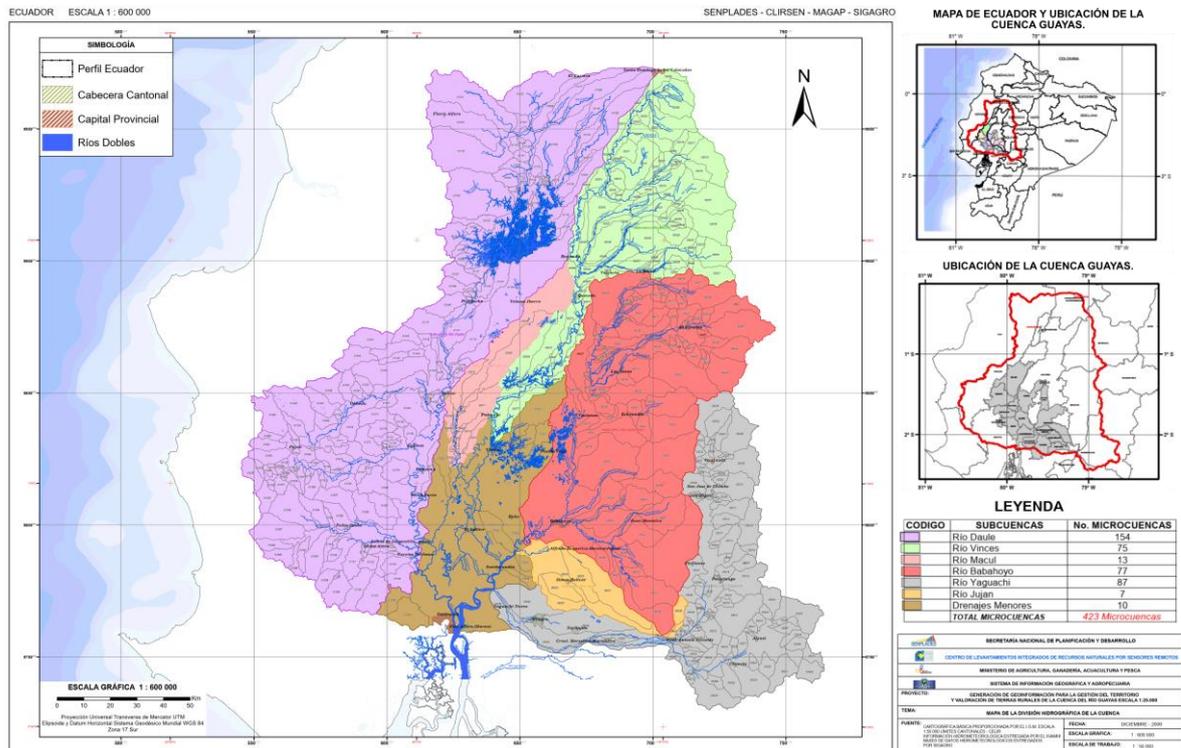


Fig. 1. Cuenca Río Guayas y sus divisiones hidrográficas. Modificado de SENPLADES, CLIRSEN, MAGAP, SIGAGRO, IGM (2009).

Debido a esta constante y cíclica situación en el país, se generó la necesidad de planificar obras hidráulicas para lograr un equilibrio entre las zonas con alto potencial y producción de agua con aquellas zonas con déficit o escasez de agua. Para lograr el objetivo, se

gestionaría la regulación del agua, almacenando los excedentes del invierno para poder entregarlos en el verano. Así se implementó un Plan Hidráulico, que por medio de obras hidráulicas se aprovecharían las condiciones de recursos de agua, suelo y clima para garantizar la disponibilidad de agua en toda la región (CELEC E.P., 2013).

En 1965 se creó la Comisión de Estudios para el Desarrollo de la cuenca del río Guayas (CEDEGE) para desarrollar estudios e implementar proyectos que contribuyan al desarrollo económico y social de la cuenca del Guayas, al ser una reserva estratégica para Ecuador (Oñate, 2016). La CEDEGE se enfocó en la optimización del uso del agua con fines agrícolas, prevenir desbordamientos, y garantizar el suministro hídrico a Guayaquil y otras regiones de la costa con escasez de agua potable y donde las condiciones topográficas limitaban la actividad agrícola (Gerebizza, 2009).

En 1968, Ecuador no tenía los recursos para financiar la implementación de las obras previstas por el estudio, menos aún para hacer realidad la represa Daule-Peripa (Fig. 2). En 1982, el Banco Interamericano de Desarrollo facilita al país un financiamiento de 189,9 millones de dólares lo que permite iniciar la construcción de la represa (Gerebizza, 2009).



Fig. 2. Presa Daule-Peripa.

Finalmente, la construcción inició en 1982 y finalizó en 1987. En febrero de 1988 se inauguró la presa Daule-Peripa, lo que permitió regular y controlar el comportamiento del agua, y facilitó el manejo del enorme caudal que constantemente atraviesa los cuerpos hídricos de la cuenca del Guayas (Vinueza et al., 2003).

1.2 Descripción del problema

En Ecuador, se han desarrollado diversos tipos de proyectos a pequeña y gran escala en las últimas décadas. La mayoría de ellos se dan en base a la necesidad de generar inversiones que ayuden a desarrollar los sectores estratégicos que el país requiere para desarrollar su economía local.

Esta represa es una infraestructura primordial dentro del denominado Proyecto Multipropósito “Jaime Roldós Aguilera”. Facilita la correcta distribución del agua y posibilita administrar el gigantesco caudal que recurrentemente se translada entre los cuerpos hídricos de la cuenca del Guayas. Se localiza al final de los cuerpos hídricos denominados Ríos Daule y Peripa, en el extremo norte de la enorme ciudad de Guayaquil (CELEC E.P., 2013).

La implementación de este tipo de proyectos hidroeléctricos interfiere directa e indirectamente con la dinámica de los ecosistemas naturales y pueden causar una pérdida notable de árboles (Chen et al., 2015). En efecto, al tratarse de la ejecución de actividades antropogénicas que modifican el uso del suelo, se las considera como impulsores de disturbios que fomentan principalmente los cambios progresivos en las coberturas vegetales (Nájera et al., 2021) y forestales (Lambin, 1997; Fuller et al., 1998; Uriarte et al., 2009; Oljirra, 2019; Chala et al., 2019; Velastegui et al., 2020) que existieron previo a la construcción de la obra.

Algunos impactos socio ambientales (Tabla 1) que se adjudican a la operación de hidroeléctricas desde que se construyen son el desplazamiento demográfico forzado (Hidalgo et al., 2018), modificaciones a la geometría hidráulica del río (Oviedo, 2018), modificaciones al balance de CO₂ (Paucar et al., 2018), pérdida de ecosistemas y suelo

(Morales et al., 2015), especies vegetales y animales (Chala et al., 2019; Nájera et al., 2021), y recursos madereros (Oljirra, 2019).

Tabla 1. Matriz de potenciales impactos socioambientales de proyectos relacionados a la implementación de represas y embalses (Stehr, 2020).

| Etapa | Potencial impacto socio ambiental |
|---|---|
| Planificación | Incremento de las migraciones de poblaciones humanas |
| | Posible deterioro de las relaciones con la población en general |
| | Conflicto por uso de suelo |
| | Posibles conflictos de uso por el recurso hídrico |
| | Conflicto por invasión de áreas naturales protegidas y/o culturales |
| | Falsas expectativas de generación de empleo en la población local |
| Construcción | Incremento de la contaminación atmosférica |
| | Alteración de la conectividad de la zona |
| | Posibles desavenencias con la población local |
| | Posible incremento del comercio local |
| | Riesgo de perjuicio a la integridad física |
| | Afectación del uso del suelo e incomodidad en las comunidades |
| | Alteración de la salud por posible aparición de vectores infecciosos |
| | Incremento de niveles sonoros |
| Operación | Alteración de costumbres y cultura de las comunidades |
| | Mejora de la calidad de vida por la generación de energía eléctrica |
| | Incremento de las posibilidades de acceso e integración |
| | Incremento leve de población flotante |
| | Alteración de costumbres y cultura de las comunidades |
| | Cambio en la forma de comunicación tradicional valorada por la comunidad. |
| | Cambio en la estructura de propiedad/tenencia de la tierra. |
| | Incremento de riesgo para los asentamientos aguas abajo |
| | Cambio en el uso tradicional de la tierra |
| | Cambio de estilos/ formas de hacer las cosas |
| | Cambio en el apego/pertenencia/al territorio |
| | Conflictos por el uso del agua |
| Detrimiento del bienestar/calidad de vida | |
| Cambio en el acceso al medio ambiente natural | |

En simples términos, las consecuencias de la construcción de estos proyectos hidroeléctricos conducen a la pérdida de la agricultura, la silvicultura, y la vegetación (Chala et al., 2019). Es por estas razones que los bosques son los ecosistemas más afectados debido a su valor intrínseco ya que contienen más del 60% de la biodiversidad mundial y a sus múltiples valores socioeconómicos (Oljirra, 2019). Por este motivo, es importante registrar la magnitud del área forestal afectada y degradada debido a la implementación de la obra.

Así, el presente problema planteado nos conlleva a resolver las siguientes preguntas en esta investigación: ¿Qué alteraciones en el uso del suelo y cobertura de la tierra ha causado la presa Daule-Peripa en sus alrededores?, ¿Cuán significativo es el grado de afectación provocado a la cobertura forestal nativa del área?, ¿Ha motivado la disponibilidad del

recurso agua el desplazamiento de bosques secos tropicales en el área para la incursión de actividades agrícolas?

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo General:

Evaluar cambios de los patrones espaciotemporales en la cobertura de la tierra para el análisis de los impactos asociados a la deforestación producto de la implementación del lago artificial mediante el empleo de machine learning para los años 1986, 1998 y 2019.

1.3.2. Objetivos Específicos:

- Clasificar las imágenes satelitales obtenidas mediante el mapeo del uso del suelo y cobertura de la tierra en cada uno de los años seleccionados de los que se tenga disponibilidad de datos.
- Determinar las métricas de paisaje para cuantificar la reducción de bosque primario como mecanismo de pérdida de servicios ecosistémicos en la región.
- Desarrollar propuestas para gestionar adecuadamente el ordenamiento territorial basándose en leyes y normas locales.

1.4 Hipótesis

La plataforma Google Earth Engine y los Sistemas de Información Geográfica permiten mapear, identificar y evaluar los patrones espacio temporales asociados a la pérdida y degradación de la cobertura forestal generada en las inmediaciones de la presa Daule-Peripa.

1.5 Alcance

La presa Daule-Peripa se localiza en el punto final de los afluentes Daule y Peripa cuyo embalse que tiene el mismo nombre tiene una superficie de 27000 ha (270 Km²). El análisis de los cambios de cobertura terrestre generada en las inmediaciones de la presa Daule Peripa se llevará a cabo dentro de un área de estudio comprendida en un buffer de 10 km de los alrededores del lago.

El alcance del presente estudio contempla la exploración de los patrones espaciotemporales que permitirán analizar y evaluar las alteraciones producidas a la cobertura forestal en los alrededores del embalse Daule-Peripa para los siguientes tres escenarios:

- (i) 1986, que es previo a la inauguración e inicio de funcionamiento de la presa Daule Peripa,
- (ii) 1998, que es previo a la inauguración de la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado De Wind (CHMLW), y
- (iii) 2019, como escenario actual.

Como parte de este estudio se pretende desarrollar escenarios y recomendaciones de ordenamiento territorial para las inmediaciones de la presa Daule-Peripa mediante el empleo de sensores remotos y la combinación de la plataforma Google Earth Engine, y los softwares ArcGIS Pro y FRAGSTATS.

CAPÍTULO 2

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Energías Renovables, Energía Eléctrica y Proyectos Hidroeléctricos

La actual creciente demanda energética en el mundo requiere de una adecuado accionar por parte de los gobiernos debido a que las sociedades más desarrolladas tienden a generar un mayor consumo diario de energía (Robles et al., 2018). La energía eléctrica es producida principalmente en un 80% por fuentes de combustibles fósiles y en un 20% por fuentes renovables (BID, 2015). Por ende, las energías renovables han incrementado su importancia global, debido a sus importantes aplicaciones en sectores estratégicos en las sociedades como la agricultura (Arrocha et al., 2020), la educación (Ballesteros & Gallego, 2019), la salud (Martinez et al., 2019), la economía, energía y ambiente (López et al., 2019).

Las energías renovables han tenido un importante apoyo que se ha visibilizado en una constante expansión planificada de represas hidroeléctricas a nivel mundial que ayudarán a solventar la creciente demanda energética requerida por el aumento de la población y contribuyen a un desarrollo económico a largo plazo en cada país (Ribeiro, 1987). Se espera lograr la producción de energía requerida para satisfacer la creciente demanda energética mundial y lograr un desarrollo económico favorable (Tundisi et al., 2014; Chen et al., 2015).

La mayoría de los proyectos hidroeléctricos requieren la creación de embalses y represas para lograr una continuidad en el flujo de agua y no generar fluctuaciones que ocasionen daños a los equipos operativos (Córdova, 2016). Con esto se logra un óptimo aprovechamiento de los afluentes de los ríos y se obtiene una buena eficiencia de velocidades de las corrientes de agua (Moreno, 2022).

Las hidroeléctricas producen energía eléctrica gracias a la energía potencial que deriva de la masa de agua en consecuencia de su elevación y de su energía cinética contenida en la corriente (Ortiz & Crespo, 2017). Las centrales con embalse son las más comunes cuyo

diseño se basa en una presa para el almacenamiento de agua de río en depósitos, luego el agua es liberada para que fluya a través de las turbinas (Govorushko & Rupert, 2014).

2.2 Impactos asociados a la implementación de proyectos hidroeléctricos

Aunque la energía hidroeléctrica es clave para las actividades del día a día, el principal obstáculo para la expansión de las grandes centrales hidroeléctricas radica en la enorme deforestación que se produce, la destrucción de ecosistemas críticos, la migración de grandes poblaciones río abajo, inundaciones repentinas y deslizamientos de tierra (Chala et al., 2019). Por lo tanto, muchos de estos proyectos energéticos suelen tener una notable oposición social por parte de las poblaciones aledañas a la zona de construcción principalmente por los impactos en la disponibilidad de agua, daños en los ecosistemas, medio ambiente y el perjuicio a los pobladores (Robles & Rodríguez, 2018; Chala et al., 2019).

2.2.1 Casos de estudio de impactos socio ambientales de hidroeléctricas

En general, las hidroeléctricas ocasionan fragmentaciones a la cobertura forestal. Por ejemplo, varios estudios para la represa hidroeléctrica de Tucuruí en Brasil indica que esta ha provocado pérdida de árboles y deforestación alrededor del lago reservorio (Fearnside, 2002; Manyari & de Carvalho, 2007; Velastegui et al., 2020). Otra investigación analizó a cuatro proyectos hidroeléctricos en Laos, para examinar los impactos sociales provocados por la construcción de sus embalses. El estudio concluyó que estas infraestructuras inundaron extensas áreas de suelos y bosques además de que se identificaron pérdidas de áreas agrícolas (Sivongxay et al., 2017). Otro estudio analizó que la implementación de la presa hidroeléctrica Foz Tua en Portugal provocó pérdidas de suelos generando un fuerte impacto a la flora de los bosques que lo rodeaban (Botelho et al., 2017).

2.3 Contexto de Proyectos Hidroeléctricos en Ecuador

Desde 1960, en Ecuador se han ejecutado programas nacionales para desarrollar infraestructura megahidráulica mediante represas multipropósito con el fin de abastecer de agua y electricidad a grandes y pequeñas ciudades, además de controlar inundaciones e

incluir nuevas áreas de riego (Hidalgo et al., 2018). Es así como, desde 1990 al 2018 Ecuador progresivamente ha perdido cerca del 12% de su cobertura forestal natural debido a cambios en el uso del suelo para proyectos de agricultura, de construcción de obras y de infraestructura ingenieril en general (Sánchez & Reyes, 2015; Curatola et al., 2015).

2.3.1 Represa Hidroeléctrica Daule-Peripa

Se puede entender a la represa Daule Peripa como el núcleo central de la que motivó la construcción de las demás secciones del proyecto global. De hecho, esta fue la obra infraestructural más importante, ambiciosa e importante para el país en la década de los 80' (Gerebizza, 2009). Su capacidad de almacenamiento es 60 veces superior al embalse de Poza Honda (CISPDR, 2016).

A continuación, se presenta la línea de tiempo cronológica relacionada a la implementación de la obra:

1976 – 1980: Se realizan estudios de factibilidad técnica.

1982: Inicio de la fase de edificación de la PDP.

1984: Inicio de obras del embalse de aguas.

1987: Finalización de la edificación de la PDP incluido embalse.

1988: Inauguración e inicio de funcionamiento de maquinarias y reservorio.

1999: Inauguración de la CHMLW.

2.3.1.1 Características del embalse

El embalse Daule Peripa ocupa un área inundada de 34,000 ha de terreno. Esta superficie hacen parte de cuatro provincias de Ecuador: Santo Domingo, Los Ríos, Guayas y Manabí. Tiene un volumen disponible para reservar 6,000 hm³ de agua como capacidad máxima. Esta obra requiere de 3,800 hm³ de líquido producción eléctrica (CISPDR, 2016).

Acorde al informe institucional de CELEC E.P. (2013), la presa Daule-Peripa tiene los siguientes propósitos múltiples:

- Controlar los posibles desbordes en las áreas bajas del río Daule.

- Almacenar agua para riego de 50.000 ha de tierra de las poblaciones de Petrillo y Colimes en el valle bajo del Río Daule.
- Trasvase del recurso hídrico desde el río Daule a la actual provincia de Santa Elena para soporte agrícola de 42,000 ha.
- Abastecer a plantas potabilizadoras de agua en Guayaquil, Daule, Santa Lucía, Balzar y Pichincha.
- Mantener el caudal adecuado para controlar salinidad de los ríos Guayas y Daule.
- Proveer de agua a los embalses de Pozo Honda y La Esperanza en Manabí.
- Generar energía hidroeléctrica con la CHMLW con capacidad de 213 megavatios.

2.3.1.2 Central Hidroeléctrica MLW

La CHMLW (ex Daule-Peripa) está ubicada al pie de la presa Daule-Peripa, junto a los estanques dispensadores de descarga de los túneles. La capacidad instalada de la Central es de 213 MW.

2.3.2 Impactos generados por la Represa Hidroeléctrica Daule-Peripa

Las obras estructurales como las represas hidroeléctricas generan deforestación de la cobertura forestal nativa de bosques primarios (Oñate, 2016). El diseño, construcción e implementación del esquema de Daule-Peripa (presa, diques, esquemas de irrigación, infraestructuras de transferencia de agua) tomó casi 20 años y tuvo un costo total de \$1.5 billones (CAIC, 2008).

La RDP ha generado impactos socio ambientales considerables a lo largo de su territorio. El territorio que actualmente está inundado por el por secciones de infraestructura es considerado una de las áreas más fértiles del Ecuador. Previamente era aprovechado para producción local (Gerebizza, 2009). Este proyecto modificó el territorio y al mismo tiempo la vida de las personas que vivían en los recintos que fueron inundados (Oñate, 2016). Por ejemplo, rellenar el reservorio tomó 3 años y se expropiaron terrenos, se aislaron familias y sitios (Corral, 2006; CAIC, 2008; Donoso, 2009; Hidalgo et al., 2018).

Según la Comisión para la Auditoría Integral del Crédito Público (CAIC) del 2008, la implementación de este proyecto ha generado afectaciones como el desplazamiento forzado de más de 15.000 campesinos agricultores, aislamiento involuntario de casi 100.000 personas, inundación de 27.000 hectáreas de bosques protectores y fincas, privación de acceso al agua para consumo humano, privación de acceso a riego, deforestación y erosión de 85% de la más rica cuenca aportante del occidente ecuatoriano. Todo esto en sus 30 años de existencia, paradójicamente considerada de “desarrollo” (Pérez, 2015).

Hidalgo et al., (2018) concluyó que el proyecto hidroeléctrico Daule-Peripa ha alterado las relaciones territoriales hidrosociales provocando una distribución desigual de impactos socioambientales entre los pobladores que viven en los alrededores de la obra, lo que beneficia a pocos y perjudica a la mayoría. En el trabajo de Paucar et al., (2018), se determinó que la presa Daule-Peripa emite valores altos de CH₄ con 7,818.3 tCH₄/año equivalente a 164,184.3 tCO₂ que se atribuyen principalmente a que la presa Daule-Peripa está ubicada en una zona húmeda tropical donde la temperatura juega un rol importante en el proceso de eutroficación de la materia orgánica entrante.

Sin embargo, no se han desarrollado estudios de impacto ambiental enfocados a analizar y registrar el grado de afectación y degradación de la cobertura forestal que rodea al lago reservorio artificial en los diferentes centrales hidroeléctricas en Ecuador.

2.4 Deforestación Producida por Proyectos Hidroeléctricos

La deforestación es un proceso provocado por la acción humana en la que se destruye la superficie forestal, sobre todo por la tala o quemas realizadas por las industrias madereras, así como parte de la obtención del suelo para agricultura y ganadería. Es también, uno de los mayores problemas ambientales que actualmente enfrenta el mundo, cuyos efectos están principalmente relacionados con el cambio climático. Según la evaluación de los recursos forestales mundiales, a nivel mundial se deforesta 5'211.000 ha/año y la mitad se deforesta en América del Sur (National Geographic, 2021).

Uno de los sucesos que fomenta la deforestación en áreas con cobertura forestal natural es la implementación de obras estructurales de ingeniería a pequeña y gran escala. Para el presente estudio, se analizarán las alteraciones producidas por la construcción de una presa con su respectivo embalse y su central hidroeléctrica. Estas infraestructuras generalmente son llevadas a cabo mediante fases de construcción previamente planificadas que, a medida que avanzan se extiende también el área afectada de bosques primarios que existen en sus alrededores. En las etapas operativas de estos proyectos también continúan generándose alteraciones a medida que las fases operativas se mantienen.

La deforestación tiene muchos efectos negativos para el ambiente. El impacto más dramático es la pérdida de hábitat de millones de especies. 70% de los animales y plantas habitan los bosques de la Tierra y muchos no pueden sobrevivir a la deforestación que destruye su medio. La deforestación es también un factor coadyuvante del cambio climático (National Geographic, 2021).

2.5 Objetivos del Estudio

Para este caso específico, debido a que la presa Daule Peripa tiene más de 30 años de operación, es un buen precedente para evaluar los impactos a largo plazo ocasionados en cuanto a la pérdida y degradación de los bosques tropicales en las áreas que rodean la obra. Se evaluará el grado de deforestación en las inmediaciones de la presa Daule-Peripa. El presente proyecto de investigación brindará un buen aporte a esta área de interés ambiental para comprender y registrar dichos cambios a través de los años.

Actualmente, los estudios donde se desarrollan análisis multitemporales para comprender las variaciones de deforestación se encuentran en un estado maduro, lo cual, facilita las posibilidades de manipular y trabajar adecuadamente con las técnicas empleadas para procesar los datos en este tipo de análisis. Este tipo de investigaciones sugiere seguir profundizando y mejorando las técnicas empleadas en estos temas que involucran el uso de software que procesan datos para análisis de impacto ambiental.

2.6. Cobertura Forestal

A través de los años, el uso del suelo siempre ha estado condicionado por la satisfacción de las necesidades humanas, condiciones ambientales y procesos naturales que se desarrollan (Parveen et al., 2018). Estas situaciones provocan cambios en la cobertura de la tierra a nivel global (Quichimbo et al., 2012), que a largo plazo deterioran la biodiversidad, afectan a los sistemas ecológicos y dificulta la implementación de políticas territoriales adecuadas (Pinos, 2017).

En Ecuador los cambios en el uso de suelo y cobertura de la tierra se producen principalmente con la transformación de la cobertura forestal a áreas de cultivos y pastos (Sierra, 2013b), donde se evidencia la vulnerabilidad de los bosques.

2.7. Deforestación

La deforestación implica una transformación del área forestal nativa a cualesquiera otros usos que se le pueda dar a la tierra (FAO, 2014). Los cambios de uso del suelo provocan pérdida de bosques y selvas debido a la remoción del suelo para implementar actividades antropogénicas (Sahagún & Reyes, 2018).

Globalmente, las regiones con clima tropical -donde predominan bosques nativos- han sufrido la mayor pérdida de superficie forestal a través de los años (FAO, 2016; Watson et al., 2019). La deforestación en Ecuador se concentra principalmente en la adecuación de suelos para producción agrícola (Sierra, 2013a).

2.8. Fragmentación del Paisaje

La fragmentación es una alteración a la conectividad del paisaje (Lorenz et al., 2017) que conlleva la pérdida de ecosistemas producidos principalmente por las actividades humanas (antrópicas) (Martínez, 2022).

La fragmentación de un hábitat (Fig. 3) puede ser analizada comprendiendo la relación espacial producida entre parches mediante la valoración de los cambios que se producen en la estructura espacial de un paisaje (Turnes et al., 2001; Altamirano et al., 2007).

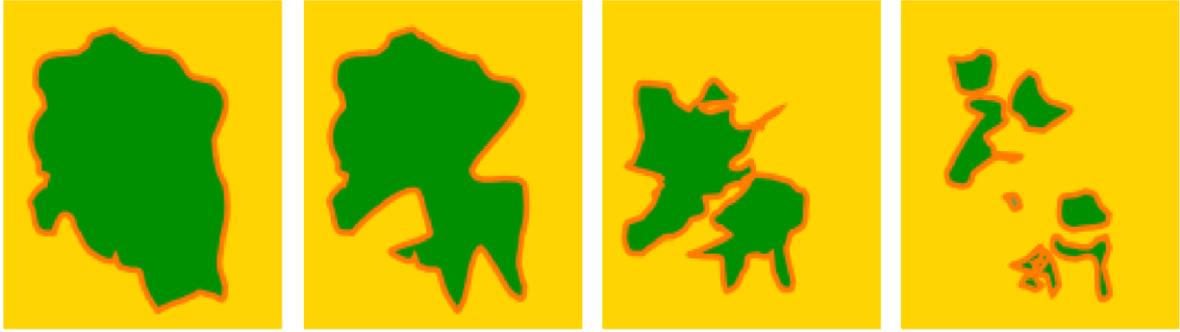


Fig. 3. Proceso continuo de fragmentación del hábitat donde un área territorial se divide en áreas más pequeñas. Fuente: Gurrutxaga (2004).

La fragmentación de bosques deteriora la biodiversidad, disminuye la calidad y tamaño de los hábitats boscosos, produce pérdida de conectividad e incrementa la cantidad de parches y bordes (Otavo & Echeverría, 2017).

La cuantificación de estos cálculos se desarrolla a través de métricas espaciales o indicadores de paisaje, los cuales, ayudan a comprender sucesos de deforestación y fragmentación (Lausch & Hertzog, 2002; Fitzsimmons, 2003; Li et al., 2004; Altamirano et al., 2007).

2.9. Conectividad del Paisaje

Comprender la conectividad del paisaje es fundamental para conservar ecosistemas. Sin embargo, el cálculo de esta tiene mucha más relevancia cuando se estudian paisajes fragmentados debido a que permite determinar la condición en la que se encuentran los hábitats (Taylor et al., 1993; Tischendorf & Fahrig 2000; Belisle 2005; Quesada et al., 2009; Leija & Mendoza, 2021).

La conectividad depende de la estructura espacial del paisaje y de la permeabilidad de los distintos componentes que lo forman. La conectividad entre dos áreas núcleo (Fig. 4) depende de tres propiedades del paisaje: (i) permeabilidad del mosaico, (ii) presencia de corredores ecológicos y (iii) presencia de puntos de paso (estriberones) (Bennet, 1998).

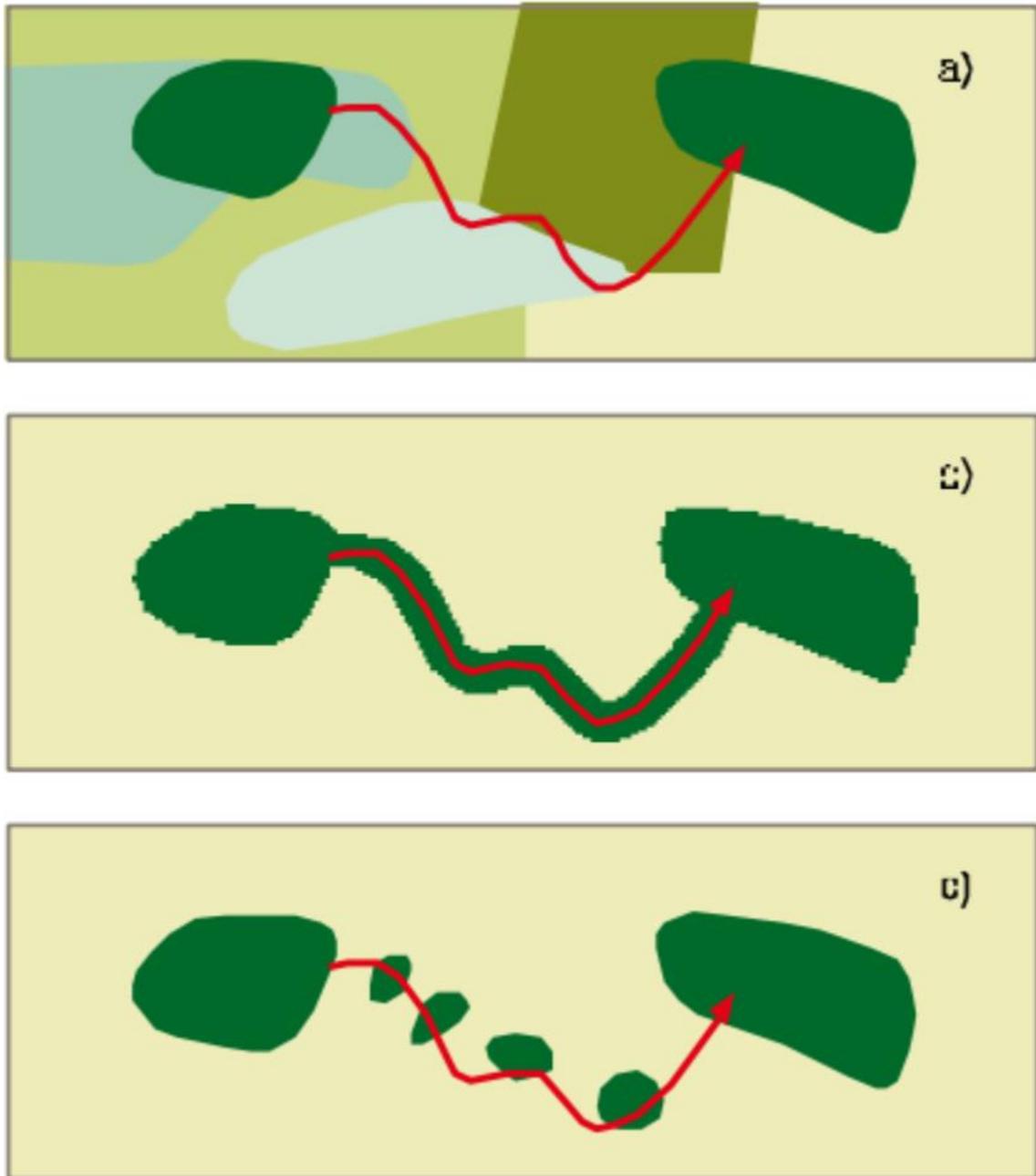


Fig. 4. Conectividad entre dos áreas de un paisaje mediante permeabilidad: (a) conservando todo el mosaico entre dos áreas, o (b, c) manteniendo ciertos elementos del paisaje que permiten la dispersión de ciertas especies. Estos elementos dispersivos pueden ser continuos (b) o discontinuos (c). Fuente: Bennet (1998).

La conectividad a más de conservar la belleza natural de un hábitat ayuda a sostener el equilibrio de procesos naturales a nivel biológico (Martínez, 2022). En un escenario donde la conectividad no se desarrolle, los ecosistemas no podrían funcionar correctamente, lo que produce un efecto en cadena. Es decir, estos ecosistemas desaparecerían y consigo también la biodiversidad. Por ende, es fundamental reducir la fragmentación (Hilty et al., 2021).

2.10. Parche

Los parches representan núcleos boscosos y a su vez son hábitats que albergan la biodiversidad (Velásquez, 2017), y son un componente fundamental para el paisaje (MacGarigal & Marks, 1995; Correa et al., 2012).

Es fundamental conocer la conectividad de los parches que componen un hábitat, puesto que nos brindan información relevante que puede aprovecharse para planificar y proponer estrategias que contribuyan a mejorar la preservación de recursos naturales (Vega et al., 2018).

2.11. Métrica de Paisaje

Las métricas de paisaje son indicadores cuantitativos que brindan información sobre la forma y la distribución espacial de los paisajes. Por ende, un análisis métrico del paisaje se lo considera crucial para explorar los patrones de un paisaje y con ello poder evaluar la heterogeneidad del espacio (Martínez, 2022).

Dependiendo del contexto y objeto de la investigación, se debe analizar y decidir cómo y cuales métricas son las que se van a aplicar (Yuab et al., 2019).

CAPÍTULO 3

3 METODOLOGÍA

En esta investigación se desarrollaron escenarios y recomendaciones de ordenamiento territorial para las inmediaciones de la presa hidroeléctrica Daule-Peripa mediante el empleo de sensores remotos y la combinación de la plataforma Google Earth Engine, y los softwares ArcGIS Pro y FRAGSTATS.

El proceso metodológico (Fig. 5) se compone de cuatro fases principales: (i) adquisición de datos de sensores remotos (ii) clasificación y validación en Google Earth Engine, y reclasificación en ArcGIS Pro, (iii) análisis de fragmentación en FRAGSTATS y (iv) recomendaciones de ordenamiento territorial.

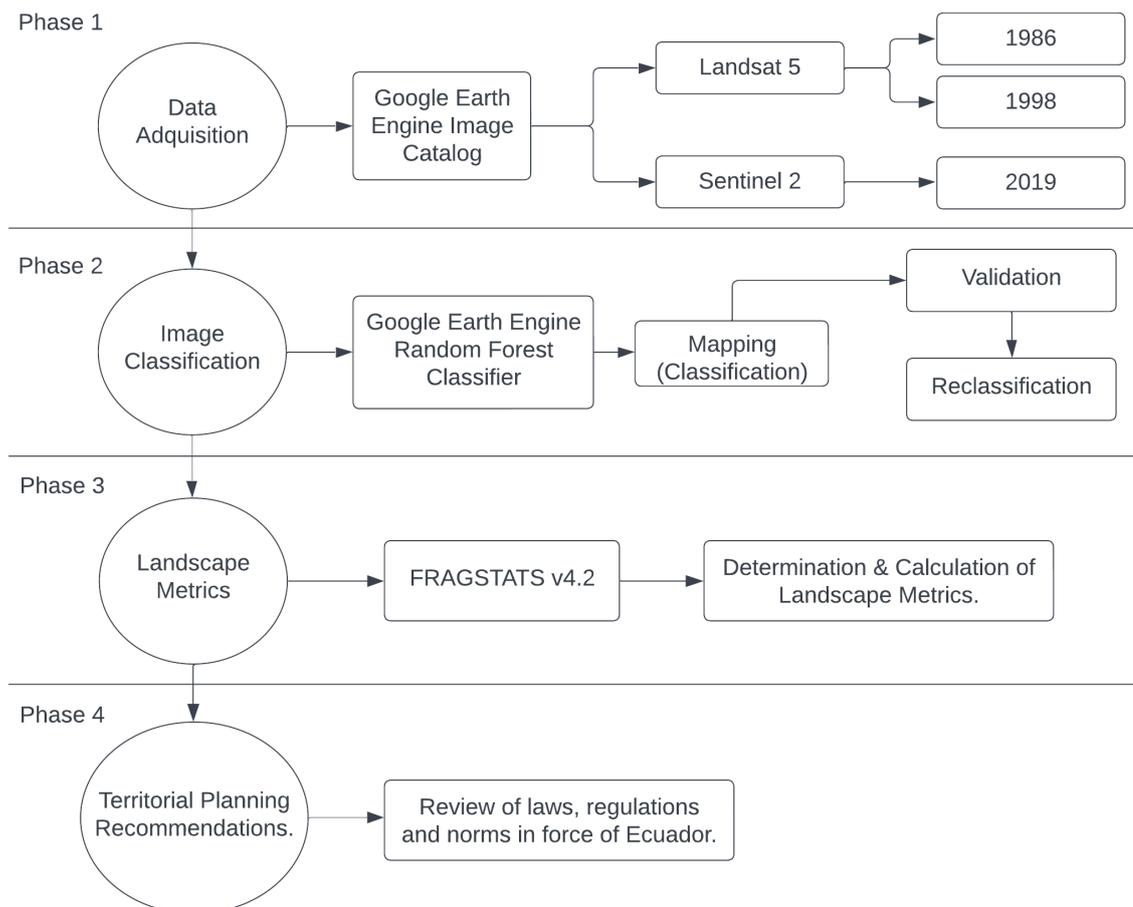


Fig. 5. Esquema del proceso metodológico utilizado.

Inicialmente en la plataforma Google Earth Engine se realizó un preprocesamiento y clasificación inicial de las imágenes satelitales mediante scripts para generar mosaicos (composición) de imágenes libres de nubes en los años de interés para luego hacer un

mapeo (clasificación) inicial de esas imágenes en base al uso de suelo y cobertura de la tierra. Posteriormente esas imágenes serán descargadas. En el software ArcGIS Pro, donde se mejorará la antedicha clasificación inicial y se desarrollará una segunda reclasificación de las especificaciones, se reagruparán las clases en caso de ser necesario y se ejecutará un procesamiento previo de los datos obtenidos para que cuenten con la configuración requerida por el software FRAGSTATS. Finalmente, en el software FRAGSTATS se harán los cálculos de áreas de estudio y se generarán las métricas de paisaje para desarrollar los respectivos análisis espaciotemporales y así, comprender el grado de los cambios espaciotemporales en la cobertura de la tierra generada en las inmediaciones de la presa Daule-Peripa.

3.1. Área de Estudio

En Ecuador, desde 1982 a 1987 se construyó la represa hidroeléctrica Daule-Peripa y fue inaugurada en 1988. Posteriormente, se construyó la CHMLW que entró en funcionamiento en 1999. La represa se localiza en el extremo norte de la ciudad de Guayaquil (Fig. 6) (CELEC E.P., 2013). Cuenta con un embalse con una capacidad de 6000,000,000 m³ en un área inundada de 30,000 ha que hacen parte de la superficie territorial de cuatro provincias: Guayas, Santo Domingo, Manabí y Los Ríos (CISPDR, 2016).

En la zona de estudio existen montañas, cerros y colinas de altura baja y media, intermitentes que forman tabladas con abundantes bosques tropicales, húmedos y secos (MAGAP, 2011). La temporada lluviosa es de enero - mayo y la temporada seca es de junio - diciembre, registrándose una temperatura promedio de 24 °C (Tapia, 2012). El promedio anual de precipitaciones es de 1300 mm a 2400 mm lo que la convierte en una zona subhúmeda (GAD El Empalme, 2015).

Este proyecto multipropósito contribuye al abastecimiento del recurso agua para Guayaquil y de varias poblaciones de las provincias de Santa Elena y Manabí. En su mayoría, se destina agua para actividades de riego a ~42,000 ha en los áridos suelos de Santa Elena y a ~50,000 ha que bordean el río Daule para la producción agrícola de arroz y otros cultivos, además de controlar inundaciones y de generación hidroeléctrica (Oñate, 2016). El suelo se

usa para cultivos de ciclo corto y cultivos permanentes orientados al mercado agroindustrial.

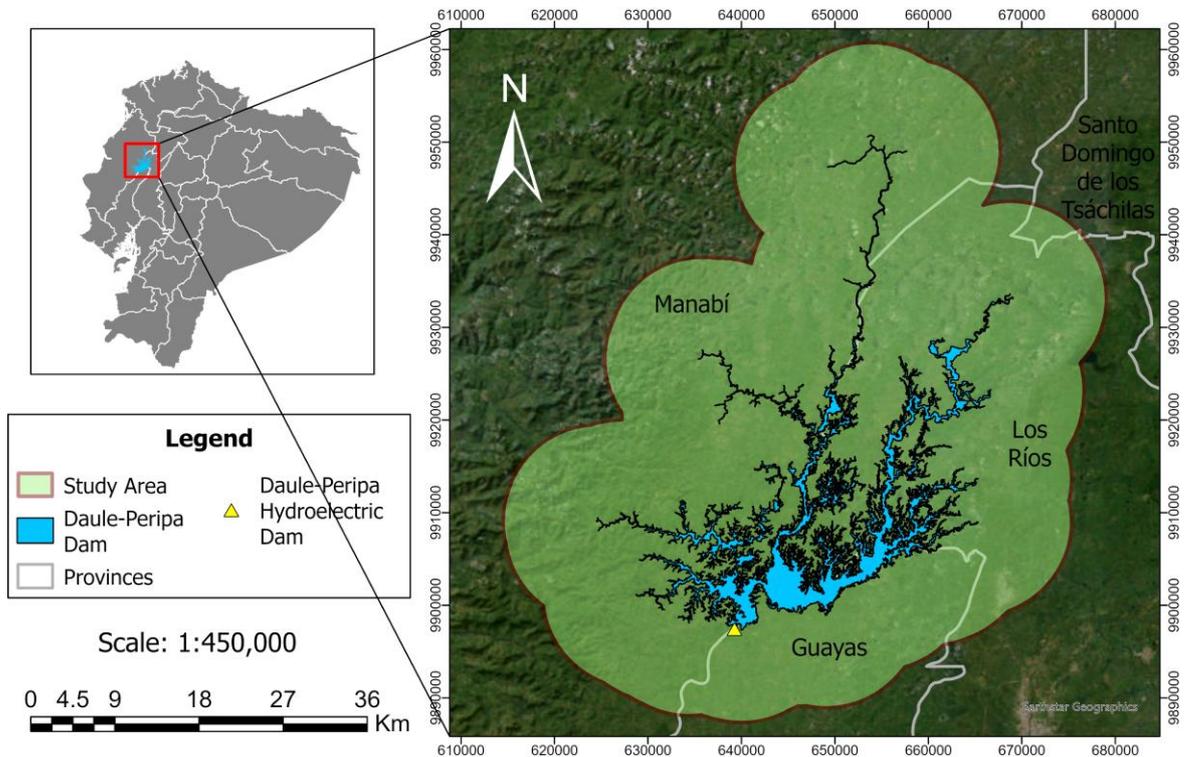


Fig. 6. Área de estudio en un buffer de 10 km para analizar los alrededores del lago artificial de la represa hidroeléctrica Daule-Peripa. Los datos para la elaboración del área superficial del embalse fueron adquiridos y basados del informe institucional de CELEC E.P. (2012).

El área de interés está enmarcada en un buffer de 10 km alrededor del embalse con la finalidad de identificar los efectos y cambios en la cobertura de la tierra alrededor del lago por la disponibilidad del agua.

3.2. Adquisición de Datos de Sensores Remotos

Las imágenes seleccionadas pertenecen al catálogo de imágenes satelitales en Google Earth Engine, las cuales, corresponden a los satélites Landsat 5 (L5) y Sentinel 2 (S2) con sus programas ‘NASA/USGS’ y ‘Copernicus’, respectivamente. Se seleccionaron tres periodos temporales en función de la disponibilidad de datos en el catálogo propio de Google Earth Engine y en función de imágenes que estén libres de nubes. También se tomó en consideración las fases importantes de la obra previo y posterior a su inauguración. Se desarrolló un algoritmo para procesar la composición de imágenes satelitales con la función de enmascaramiento de nubes donde se aplicó la mediana, se utilizó las bandas RGB y se configuraron parámetros de porcentaje libre de nubes menor al 20%. Los tres

períodos seleccionados (Tabla 2) son: (i) 1986 donde se procesaron 19 imágenes de Landsat 5, (ii) 1998 donde se procesó 1 imagen de Landsat 5, y (iii) 2019 donde se procesaron 6 imágenes de Sentinel 2.

Tabla 2. Imágenes compuestas de los satélites Landsat 5 y Sentinel 2 usadas para los análisis de los años 1986, 1998 y 2019.

| Año | Periodo/Fecha | Satélite | Sensor | Path/Row | Spatial Resolution |
|-------------|----------------------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------------------|
| 1986 | 1986/03/14 - 1987/03/28 | Landsat 5 | TM | 139/44 | 30 x 30 |
| 1998 | 1998/09/07 | Landsat 5 | TM | 139/44 | 30 x 30 |
| 2019 | 2019/08/14 - 2019/09/14 | Sentinel 2 | MSI | N/A | 10 x 10 |

Para el satélite Landsat, sus imágenes cuentan con una configuración de corrección precisada de terreno nivel-1, corrección atmosférica, orto rectificación con proyección UTM, dato esferoidal WGS1984, y una precisión mayor a 0.8 píxeles (Gutman et al., 2013). Las imágenes del satélite Sentinel-2 cuentan con una configuración de instrumentos multiespectrales con 13 bandas del tipo visibles e infrarrojas de ondas cortas y proporcionan tres resoluciones espaciales de 10 m, 20 m y 60 m (Martimor et al., 2007; Drusch et al., 2012; SUHET, 2015, Segarra et al. 2020; Zhang et al., 2021).

3.3. Clasificación y Validación

En la plataforma Google Earth Engine, para cada año se realizó un algoritmo basado en una clasificación supervisada (Du et al., 2012; Li et al., 2014; Jog & Dixit, 2016) con el fin de obtener un mapa clasificado de la cobertura terrestre del área de estudio. Para el desarrollo de cada algoritmo, primero se delimitó un área de interés a partir de coordenadas. En cada año, se cargó una colección de imágenes satelitales para filtrarla y obtener una sola imagen compuesta que contó con la función de enmascaramiento de nubes. Se analizó en detalle a todas las imágenes satelitales obtenidas en cada año. Esto permitió identificar y configurar ocho clases: bosque, área inundada, vegetación acuática, urbano, áreas antropizadas, suelo expuesto, nubes y sombras.

En el algoritmo se utilizó un modelo clasificador a partir de la función Random Forest (Kulkarni, 2016; Mu et al., 2020) para obtener el muestreo de cada imagen compuesta. En cada clase se configuró manualmente un conjunto de puntos o píxeles que posteriormente

el algoritmo clasificador lo utilizó como datos de entrenamiento. Finalmente, el algoritmo generó la clasificación de los píxeles en cada imagen compuesta y se proyecta el mapeo del uso del suelo y cobertura de la tierra en el área de estudio. Se utilizó una matriz de confusión (Congalton, 1991; García et al., 2018; Abbas & Jaber, 2020) para evaluar la clasificación obtenida.

3.4. Reclasificación y Agrupamiento de Clases

Este procedimiento se lo desarrolló en el software ArcGIS Pro v3.0 con el fin de obtener una reagrupación de clases de la cobertura de tierra obtenidas previamente en Google Earth Engine. Para aquello se exportó la clasificación obtenida en Google Earth Engine en formato ráster. Posteriormente ese ráster fue importado al software ArcGIS Pro, y se le aplicó un proceso de generalización de salida clasificada que ayuda a mejorar visiblemente la clasificación obtenida en Google Earth Engine. Luego se reagruparon las clases de bosque, suelos expuestos, áreas antropizadas y vegetación acuática utilizando la herramienta de Análisis Espacial 'Reclassify'. Esta reasignación de clases se la aplicaba solo a las que requerían correcciones. Luego al ráster obtenido se le aplicaron configuraciones que son requeridas por el software FRAGSTATS.

3.5. Análisis de los Cambios de la Cobertura Forestal

Para realizar el respectivo análisis de los cambios que ha sufrido la cobertura de la tierra (clases) dentro del área de estudio (buffer) de este trabajo, se toman en consideración lo siguiente:

- Para calcular el área de cada clase, se lo realiza propiamente en el software ArcGIS mediante un cálculo de geometría dentro de la tabla de atributos de las capas correspondientes para cada año.
- Se suman las áreas de las clases 'bosque', 'nubes' y 'sombra' y se las unifica como el área total de cobertura forestal, debido a que los píxeles de las clases de nubes y sombras hacen parte del suelo natural, y simplemente esas áreas de píxeles se las considera que pertenecen propiamente al suelo para desarrollar correctamente el cálculo del área.

- Para el cálculo del porcentaje simplemente se aplica la formula estandarizada al aplicar una regla de tres simple.

3.6. Análisis de la Deforestación

Para analizar la deforestación, se realizó el cálculo de:

(i) la métrica de deforestación total anual del periodo estudiado (1986 – 2019), con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{A_1 - A_2}{t_2 - t_1}$$

Donde R es la deforestación total anual, A₂ y A₁ son las áreas de bosque en la fecha final (t₂) e inicial (t₁), respectivamente (Puyravaud, 2003). Y

(ii) la tasa anual de deforestación del periodo estudiado (1986 – 2019), con la siguiente fórmula:

$$q = \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^{1/(t_2-t_1)} - 1$$

Donde q es la tasa de cambio anual, A₂ y A₁ son las áreas de bosque en la fecha final (t₂) e inicial (t₁), respectivamente. (Puyravaud, 2003). El valor que se obtiene de q se debe multiplicar por 100 para obtener la tasa correcta.

Para desarrollar las operaciones, los valores de las áreas de bosque A₂ y A₁ representan la suma de las áreas de las clases bosque, nubes y sombras.

3.7. Métricas de Estructuras de Paisajes

Se realizó un análisis de fragmentación del paisaje utilizando métricas espaciales del paisaje (Gustafson 1998), las cuales, ayudan a cuantificar la composición y configuración de los paisajes estudiados (Turner 2001; O’Neill et al., 1999). Estas métricas de paisaje son útiles para comprender los patrones espaciotemporales de cambio de paisaje.

Para computar las métricas seleccionadas se utilizó el software FRAGSTATS v4.2 (McGarigal et al, 2012). Este software permite cuantificar patrones espaciales (Sánchez et al., 2021) y generar métricas de paisaje (Rijal, 2019).

3.7.1. Métricas de Fragmentación del Paisaje

Se seleccionaron métricas que nos brinden suficiente información para comprender cuan fragmentado puede estar un bosque dentro de un paisaje. Para este caso en particular, se analizaron los alrededores de la PDP donde se seleccionaron las siguientes métricas:

Tabla 3. Métricas utilizadas en el análisis de fragmentación. Fuente: (McGarigal & Marks, 2015)

| Métrica | Símbolo | Descripción | Unidad |
|-----------------------------|----------------|--|---------------|
| Índice de Forma | SHAPE_MN | Mide la complejidad de la forma de los parches, en rangos de 1 a > 1 . | Hectáreas |
| Número de Parches | NP | Cuantifica el número de parches en el paisaje estudiado. | Adimensional |
| Densidad de Parches | PD | Mide el número de parches presentes en un área por unidad. | Número # |
| Índice de parche más grande | LPI | Mide el porcentaje de área de cada categoría ocupada por la mancha más grande sobre el total del paisaje | % |
| Longitud de bordes | TE | Mide el perímetro de las teselas de cada categoría. | metros |
| Densidad de Bordes | ED | Se acerca al cúmulo o fragmentación del paisaje sobre un área. | Número |
| Índice de agregación | AI | Número de adyacencia de cada categoría dividido entre el máximo número de adyacencia posibles | Número # |

Se escogieron estas métricas porque nos brindan información sobre las principales características de los procesos de fragmentación y de los procesos de cambios en la cobertura forestal (McGarigal & Marks, 1995; McGarigal et al., 2002). Estos indicadores (métricas) de fragmentación simbolizan el cambio anual en la longitud de borde entre áreas intervenidas y vegetación remanente en un período de referencia (Larrea et al., 2015; Martínez, 2022). Estos análisis permitieron estimar la pérdida de servicios ecosistémicos en el área de estudio.

3.8. Recomendaciones de Ordenamiento Territorial

Para desarrollar esta sección, se analizaron los resultados de las secciones previas para comprender los cambios que se han generado en el uso de suelo tomando como referencia las pérdidas que cobertura forestal (vegetal) durante el periodo 1986 - 2019.

Luego se revisaron leyes y normas vigentes dentro del territorio ecuatoriano, las cuales, permitieron elaborar propuestas para mejorar el ordenamiento territorial con el fin de conservar los usos tradicionales del suelo y de mantener una conectividad física y funcional en un entorno antropizado (Sánchez et al., 2021).

Algunos de los cuerpos legales que se revisaron, fueron los siguientes:

- Constitución de la República del Ecuador
- Código Orgánico del Ambiente
- Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre
- Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo
- Reglamento Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo

Principalmente, se analizó el planteamiento del contenido de las secciones que corresponden a la gestión de territorio, suelos, bosques, ecosistemas, entre otras. Se identificaron ciertas falencias, vacíos o debilidades en la aplicación de cada uno de estos cuerpos legales con el objetivo de plantear posibles soluciones a estos inconvenientes a manera de recomendaciones para su posterior consideración y aplicación en el territorio ecuatoriano.

Finalmente, se elaboraron propuestas y recomendaciones para mejorar la gestión e implementación de medidas adecuadas en el territorio que se estudió en el presente trabajo. Estas recomendaciones se basaron en los objetivos marcados por las estrategias de conservación y mejora del paisaje para alcanzar una sostenibilidad futura.

CAPÍTULO 4

4 RESULTADOS

4.1. Adquisición de Imágenes Satelitales Compuestas

Una vez que se elaboraron los algoritmos con las configuraciones previamente indicadas, las imágenes compuestas que se obtuvieron para los años 1986, 1998 y 2019 fueron las siguientes:

4.1.1. 1986

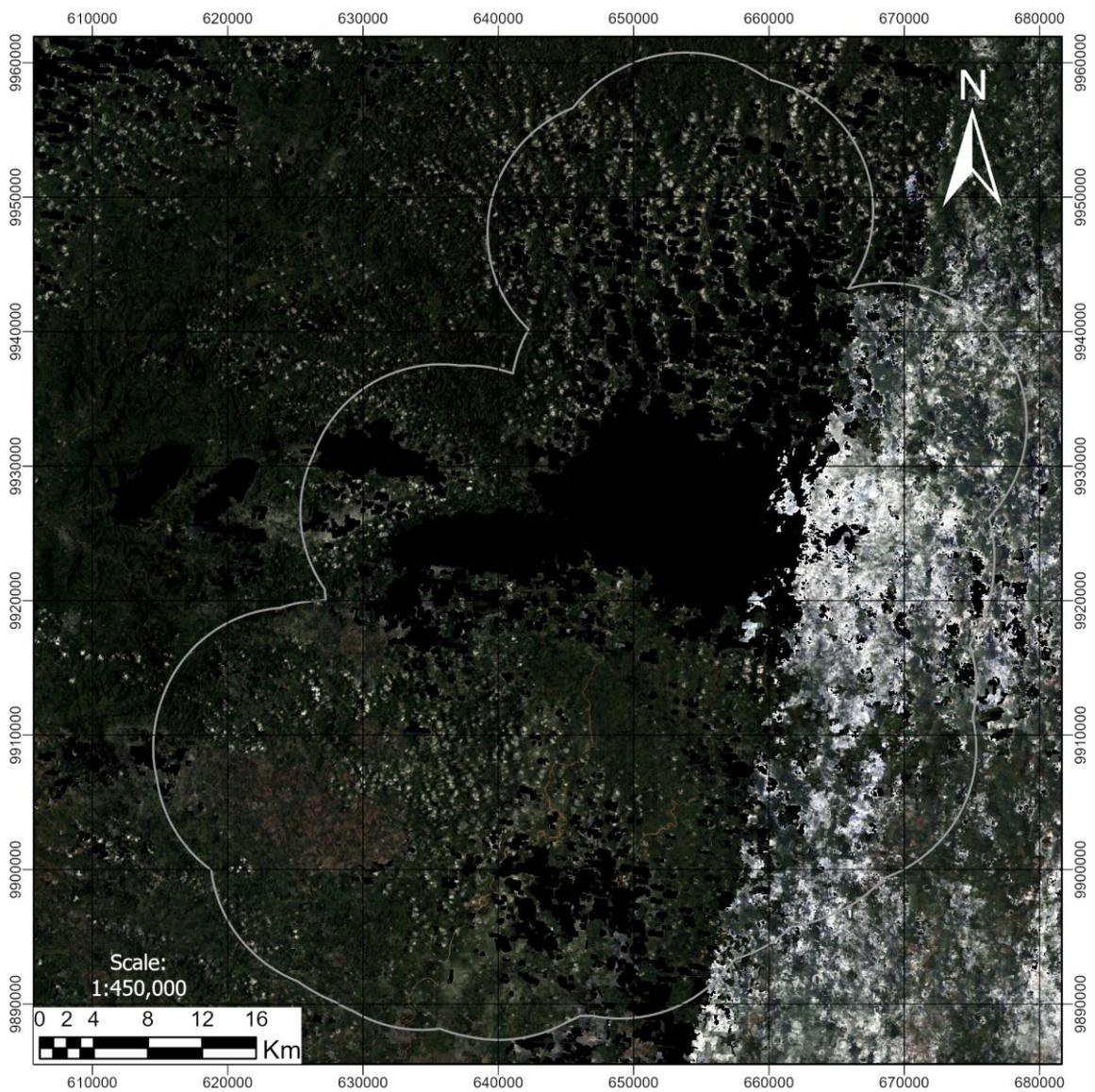


Fig. 7. Imagen compuesta para el período 1986-1987 proporcionada por el satélite Landsat 5. Área de estudio incluida con los límites del buffer de 10 km de los alrededores del lago.

Esta imagen compuesta de 1986-1987 contiene un área sin datos (color negro por default) bastante extensa, así como también una gran área cubierta por nubes. Esta situación dificulta un poco los análisis, pero no es impedimento para desarrollar los análisis en las distintas fases de análisis

4.1.2. 1998

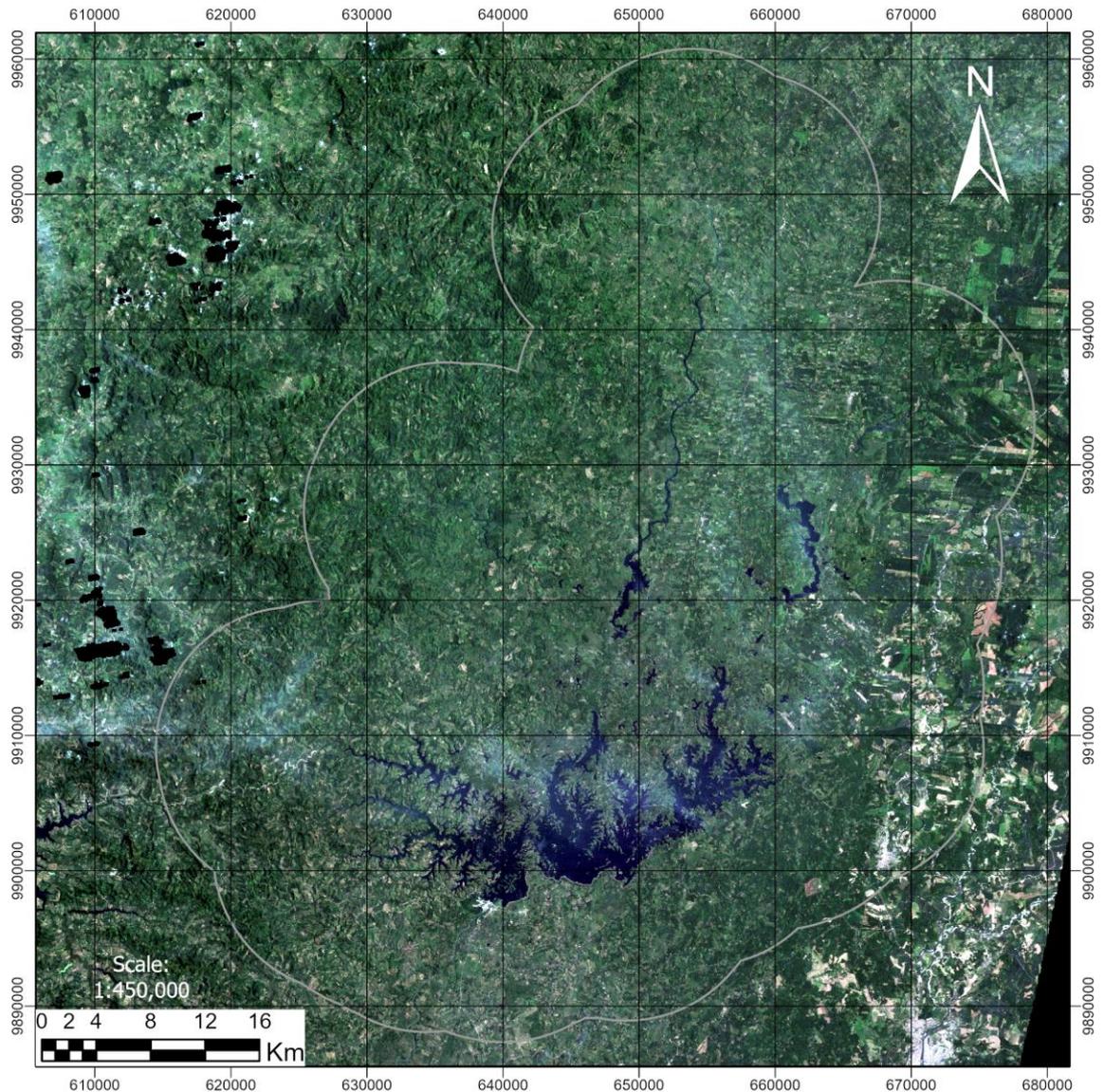


Fig. 8. Imagen compuesta para el período 1998 proporcionada por el satélite Landsat 5. Área de estudio incluida con los límites del buffer de 10 km de los alrededores del lago.

Esta imagen compuesta de 1998 muestra un área de interés con poca nubosidad y pocas zonas sin datos (color negro). En general, se aprecia bastante detalle para desarrollar los análisis respectivos.

4.1.3. 2019

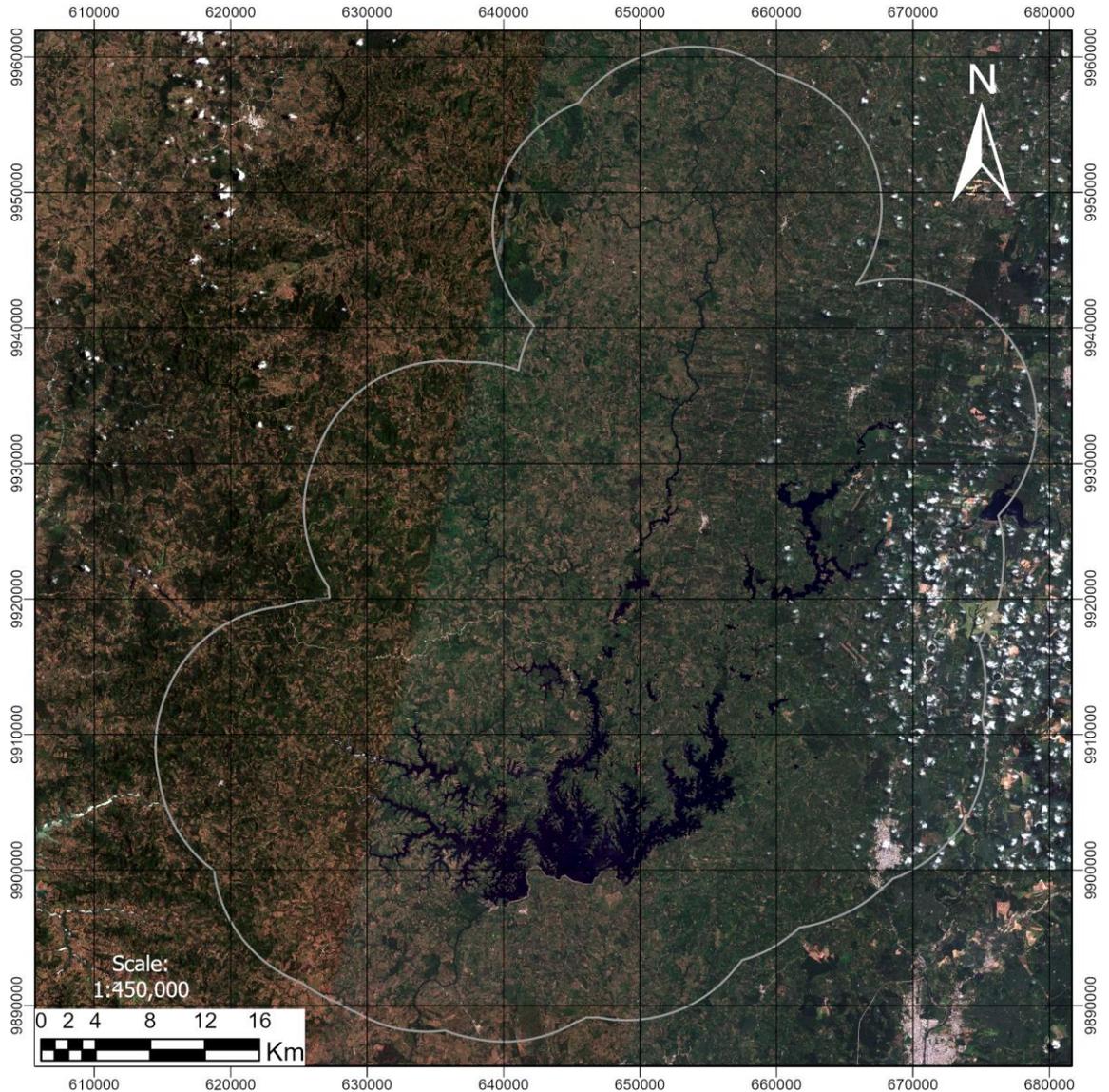


Fig. 9. Imagen compuesta para el período 2019 proporcionada por el satélite Sentinel 2. Área de estudio incluida con los límites del buffer de 10 km de los alrededores del lago.

Esta imagen compuesta del 2019 muestra un área de interés óptima para desarrollar los análisis respectivos. Existen ciertas áreas con nubes en el Este de la imagen que no representan ningún inconveniente puesto que se puede diferenciar las diferentes clases en esas zonas. Se aprecia también una línea divisora vertical inclinada que podría causar dificultades con la identificación de píxeles al algoritmo clasificador. Sin embargo, con los debidos cuidados y un buen muestreo se puede evitar confusiones.

4.2. Clasificación Supervisada con Filtro Espacial en GEE

La clasificación supervisada de las imágenes compuestas para 1986, 1998 y 2019 que ejecutó el algoritmo clasificador, mostraron los siguientes resultados:

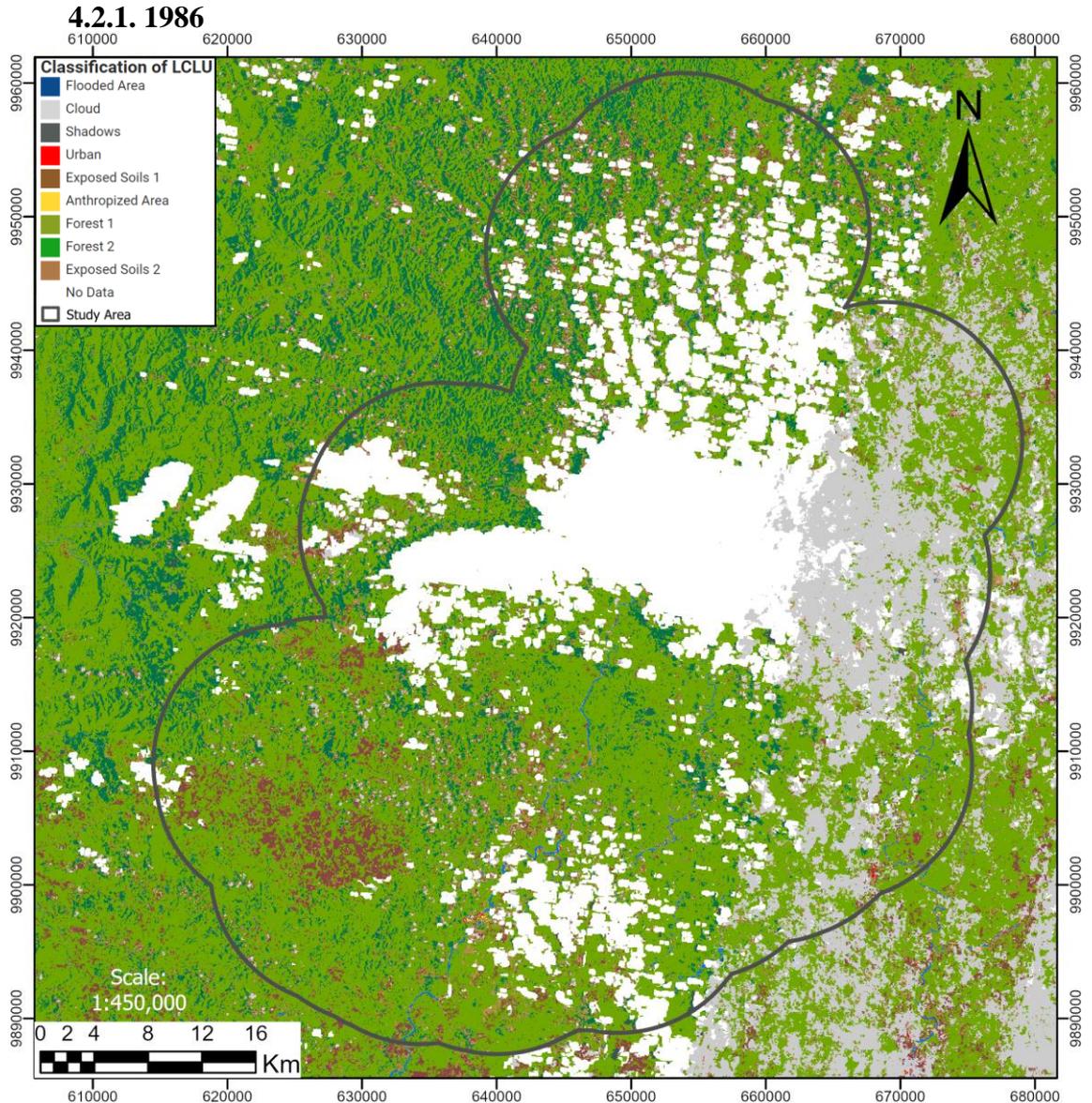


Fig. 10. Clasificación Supervisada para el periodo 1986-1987. Se aprecia la distribución de las clases tanto en el interior como el exterior del área de estudio.

En esta clasificación supervisada de 1986-1987 se aprecia que dentro del área de interés se encuentra la mayor área sin datos (color blanco). Se aprecia también la no existencia del lago reservorio, pues para esa época, en el área de estudio se desarrollaba la construcción de la obra. Las clases de bosque y suelo expuesto requirieron configurar una segunda clase de referencia a ellas para evitar confusión en la clasificación de píxeles por parte del algoritmo.

4.2.2. 1998

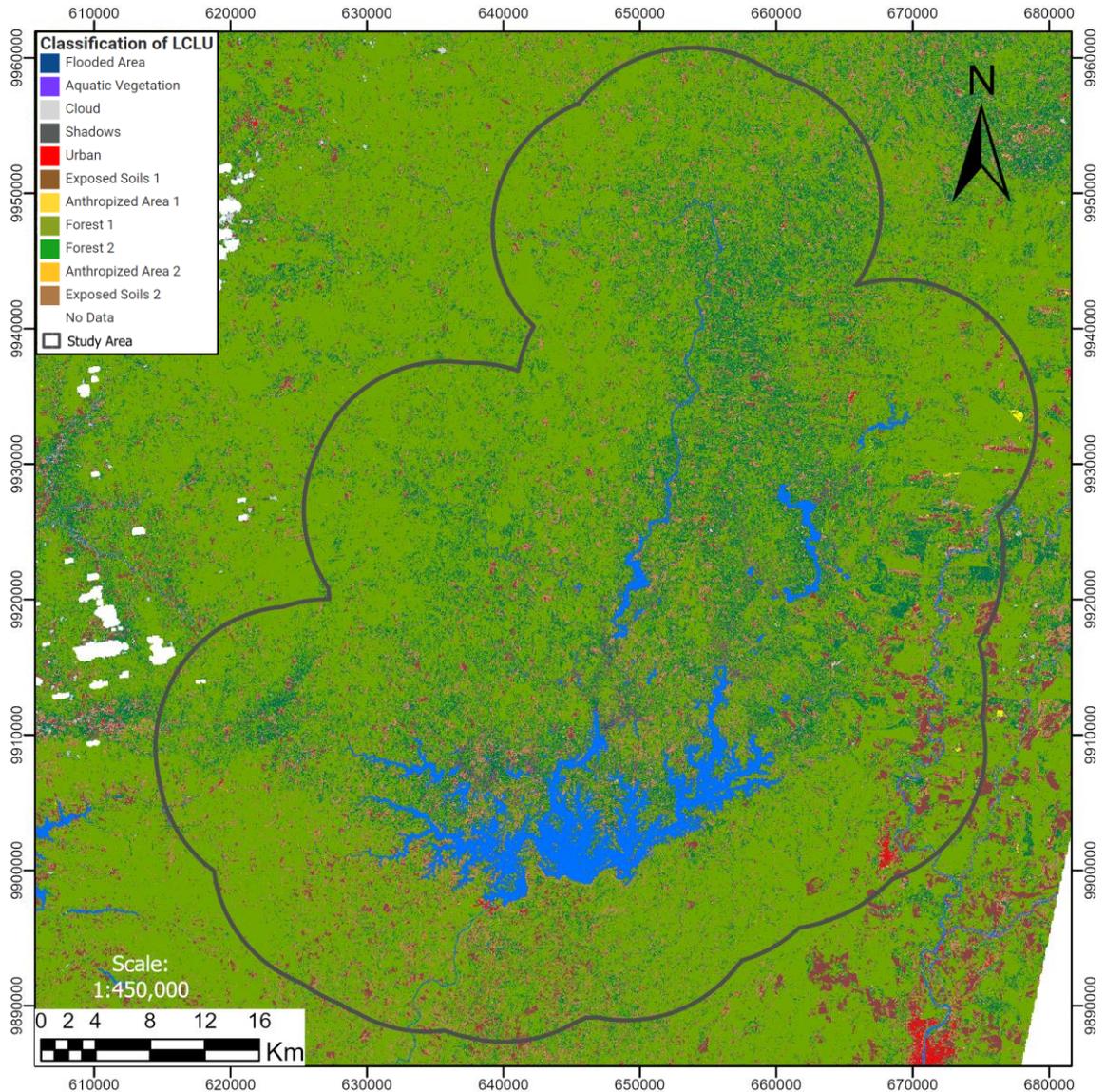


Fig. 11. Clasificación Supervisada para el periodo 1998. Se aprecia la distribución de las clases tanto en el interior como el exterior del área de estudio.

En esta clasificación supervisada de 1998 se aprecia que dentro del área de interés son mínimas las áreas sin datos (color blanco). Se aprecia también la existencia del lago reservorio con cierta vegetación acuática, pues para esa época la presa tenía ya 11 años operando. En el área de estudio se desarrollaba también la construcción de la CHMLW. Las clases de bosque, áreas antropizadas y suelos expuestos requirieron configurarles una segunda clase de referencia a ellas para evitar confusión en la clasificación de píxeles por parte del algoritmo.

4.2.3. 2019

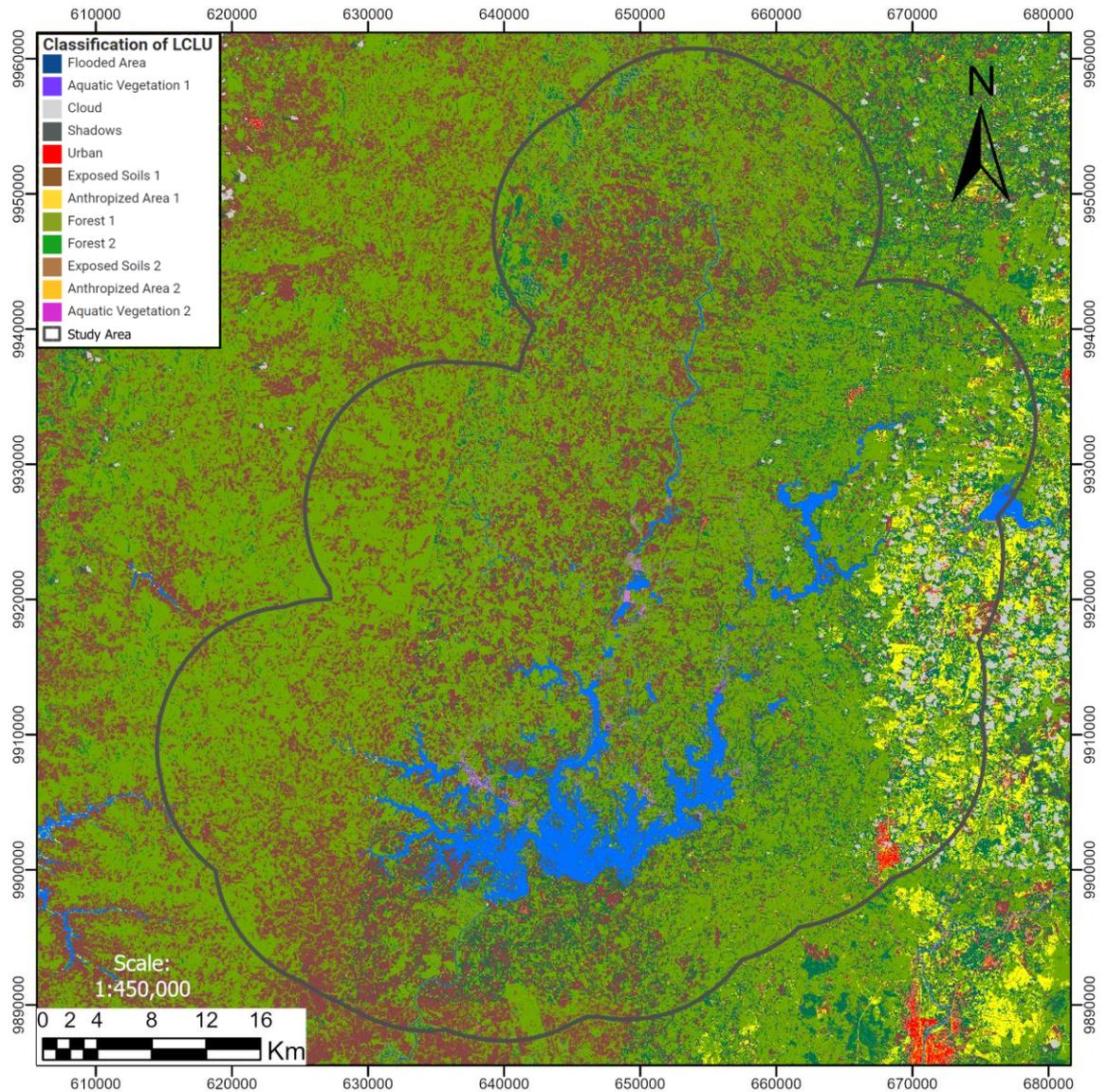


Fig. 12. Clasificación Supervisada para el periodo 2019. Se aprecia la distribución de las clases tanto en el interior como el exterior del área de estudio.

En esta clasificación supervisada de 2019 se aprecia que el área de interés está completa. Se aprecia también que el lago reservorio presenta varias áreas con vegetación acuática, pues para esa época la presa tenía ya 31 años operando. En el área de estudio se aprecia un incremento de las áreas con suelos expuestos ya sea por actividades antrópicas o por cuestiones naturales. Las clases de bosque, áreas antropizadas, suelos expuestos y vegetación acuática requirieron configurarles una segunda clase de referencia a ellas para evitar confusión en la clasificación de píxeles por parte del algoritmo.

4.3. Reclasificación y Reagrupamiento de Clases con Generalización de Salida Clasificada en ArcGIS Pro

En base a los resultados obtenidos en la clasificación, en el software ArcGIS Pro se aplicó una salida generalizada con las herramientas de análisis espacial *Region Group*, *Set Null* y *Nibble*. Este proceso de filtrado ayudó a eliminar pequeñas regiones de píxeles aislados en el ráster previo de reclasificación y agrupamiento de clases. Fue necesario aplicarlo para los tres años 1986, 1998 y 2019, cuyos resultados fueron los siguientes:

4.3.1. 1986

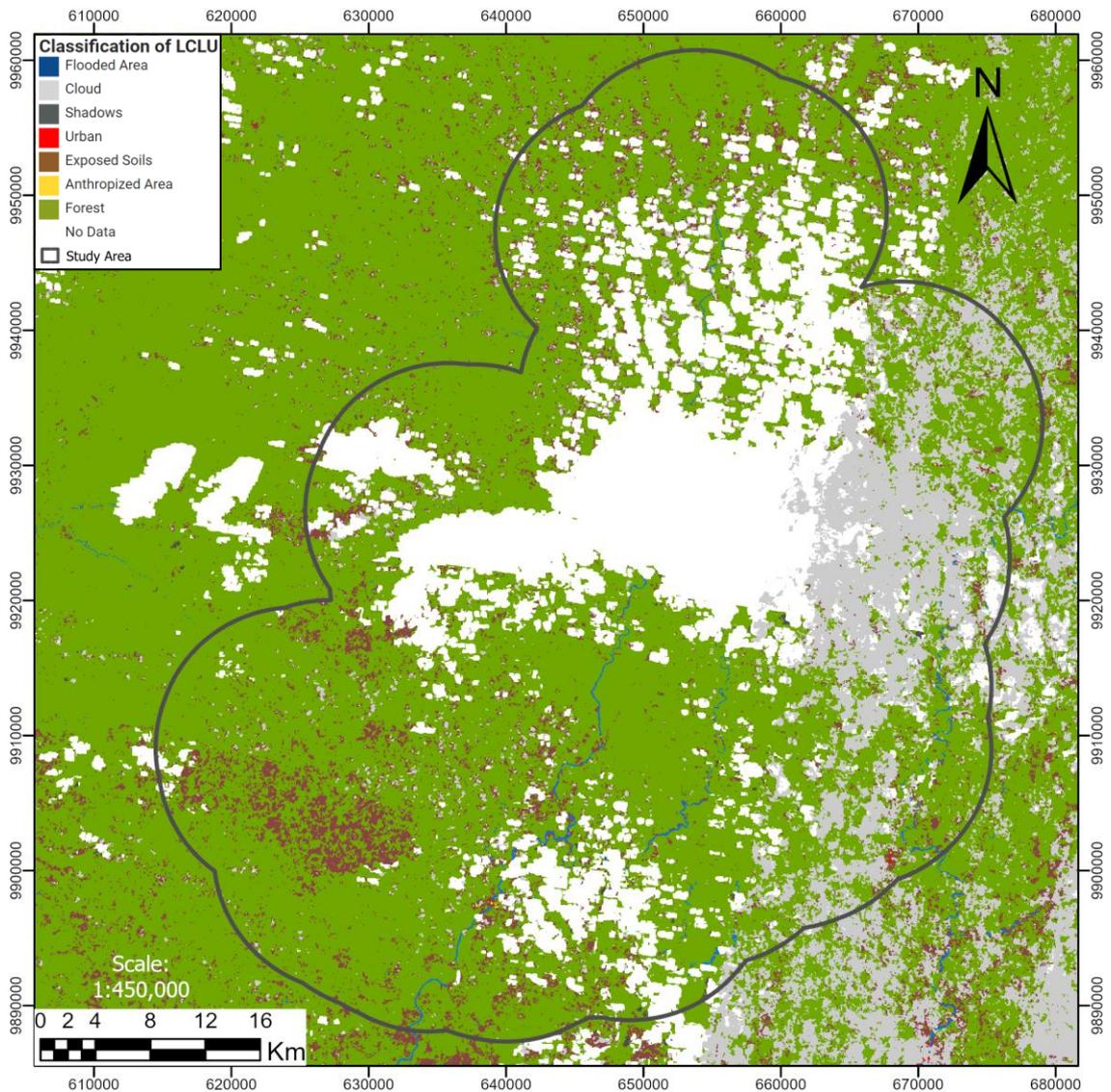


Fig. 13. Reclasificación supervisada de clases para el periodo 1986-1987. Se aprecia una distribución nítida de las clases tanto en el interior como el exterior del área de estudio.

En esta reclasificación supervisada de 1986-1987, después de aplicar los filtros, se puede apreciar con mucho más detalle el curso de ríos de la época dentro del área de interés. Se sigue conservando la extensa área sin datos. La clase de vegetación acuática no aparece en este tiempo debido a que no se daban las condiciones para desarrollarse ante la no existencia de un lago reservorio.

4.3.2. 1998

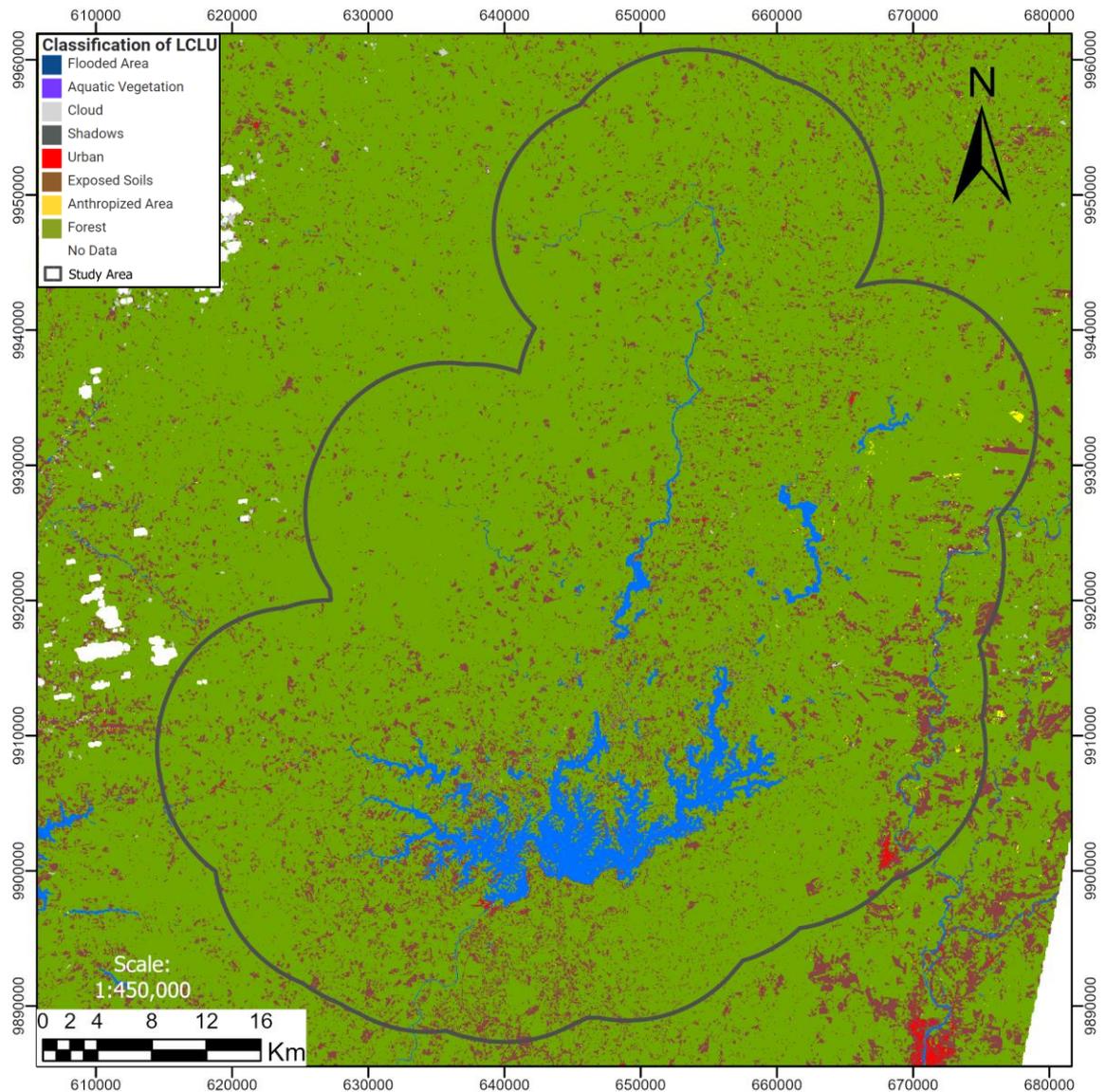


Fig. 14. Reclasificación supervisada de clases para el periodo 1998. Se aprecia una distribución nítida de las clases tanto en el interior como el exterior del área de estudio.

En esta reclasificación supervisada de 1998, después de aplicar los filtros, se puede apreciar con mucho más detalle los cambios de la cobertura de la tierra de la época dentro del área de interés. La distribución de las clases de suelo expuesto, urbano y

áreas antropizadas han tenido un leve incremento en cuanto a la extensión superficial que ocupan.

4.3.3. 2019

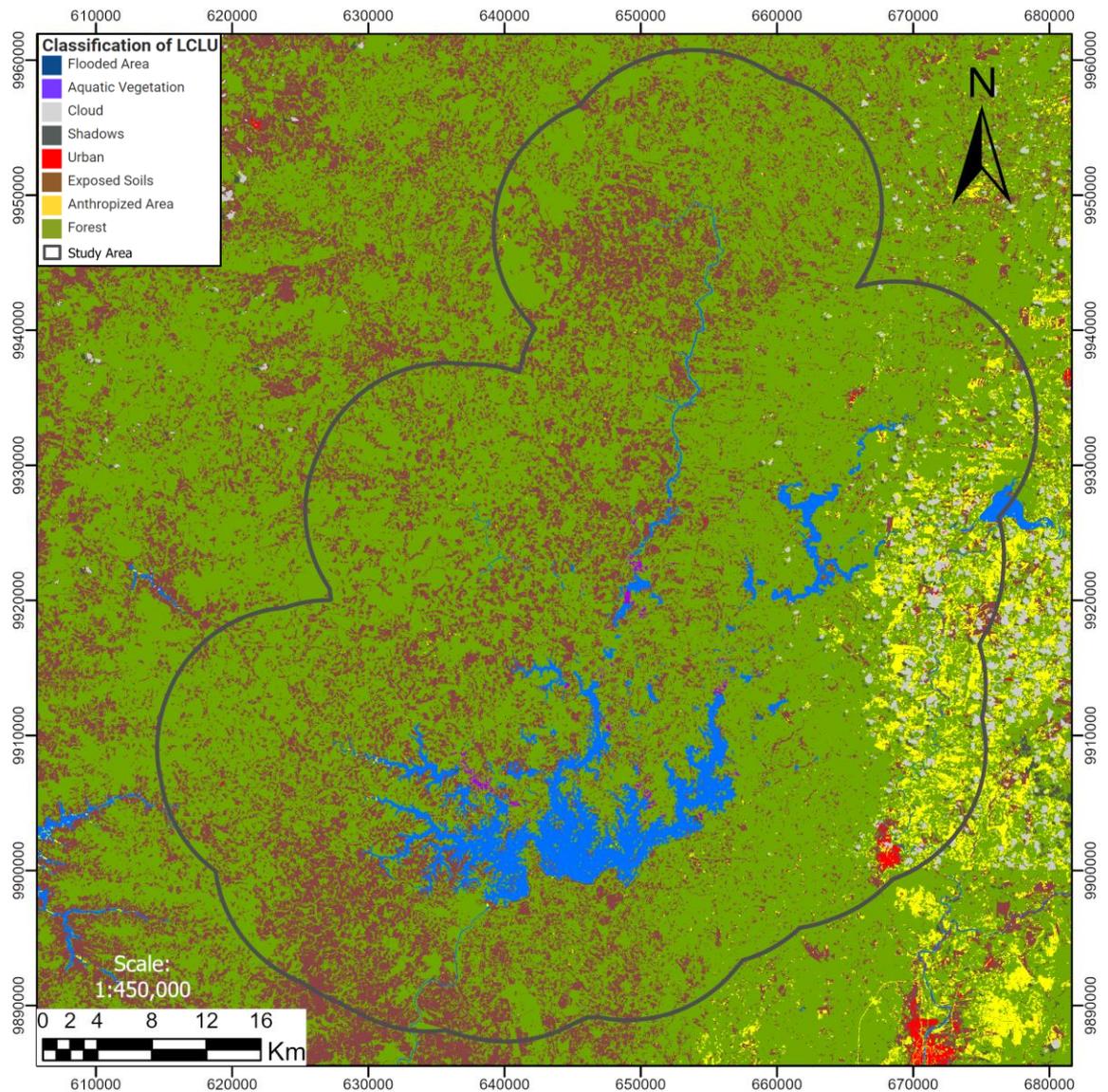


Fig. 15. Reclasificación supervisada de clases para el periodo 2019. Se aprecia una distribución nítida de las clases tanto en el interior como el exterior del área de estudio.

En esta reclasificación supervisada de 2019, después de aplicar los filtros, se puede apreciar con mucho más detalle los cambios de la cobertura de la tierra de la época dentro del área de interés. La distribución de las clases de suelo expuesto, urbano y áreas antropizadas muestran un notorio y continuo aumento en cuanto a la extensión superficial donde predominan.

4.4. Post-Reclasificación

En vista que desde un principio las imágenes ráster proporcionadas por el satélite Landsat 5 para los años 1986 y 1998 contienen zonas sin datos, esta situación podría generar inconvenientes al momento de analizar los cambios en el uso y cobertura de la tierra para dichos años. Ante esta situación, se modificó esas zonas sin datos (color blanco) con una nueva reclasificación para esa clase y lograr que sean identificados y procesadas como áreas de bosque (color verde). Esto permitió generar cálculos adecuados y más apegados a la realidad en dichos períodos. Se obtuvo lo siguiente:

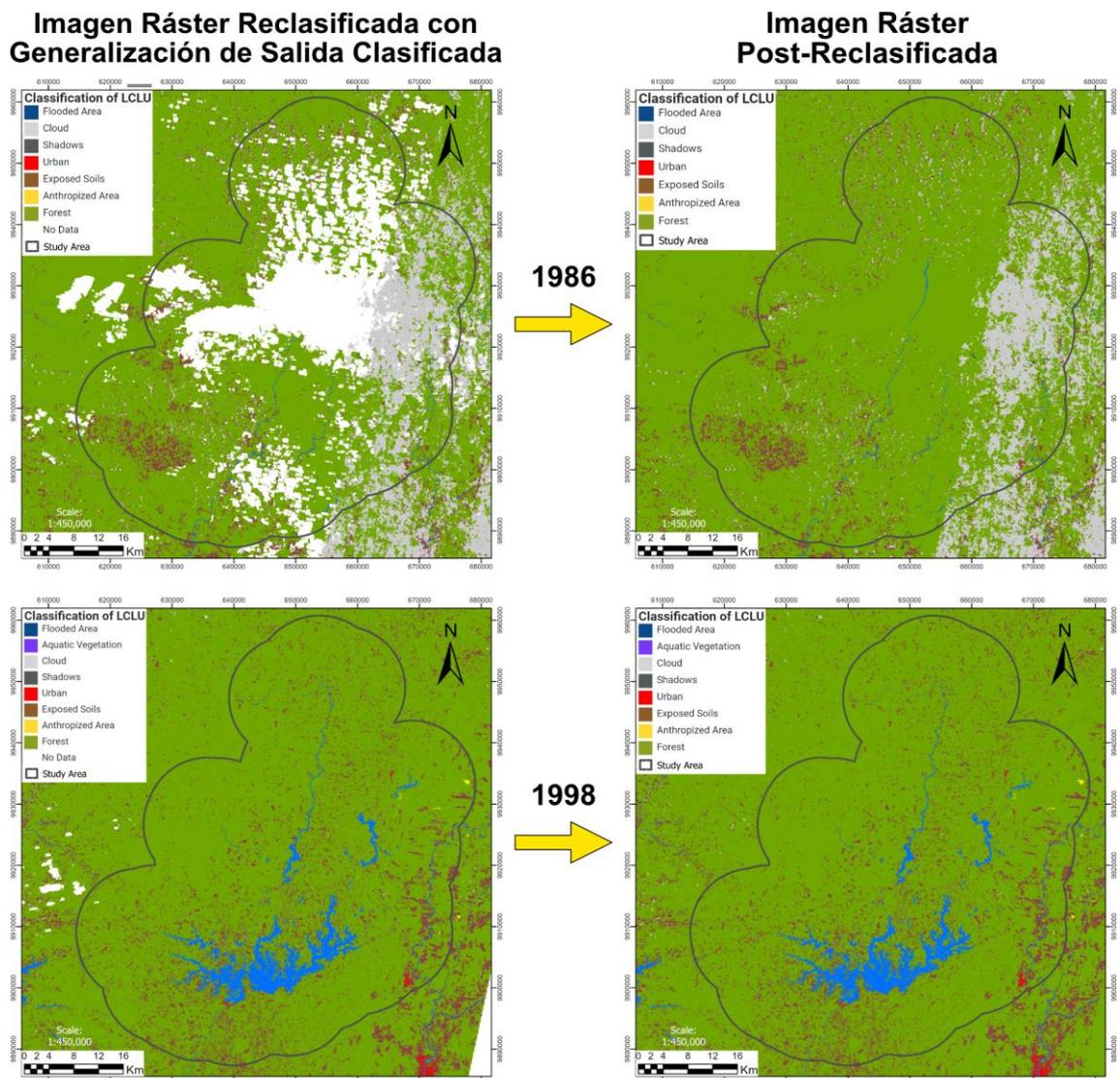


Fig. 16. Mapas temáticos con la post-reclasificación aplicada para los años 1986 y 1998. Se eliminaron las áreas sin datos (color blanco) por cobertura forestal (verde).

Para el año 1986, se modificó el polígono de la clase 'área inundada' para poder crear el curso del río siguiendo los límites interprovinciales como guía.

4.5. Mapas Temáticos de Cobertura de la Tierra

Por consiguiente, una vez realizada esas modificaciones previas, para cada año se va a trabajar con los siguientes resultados:

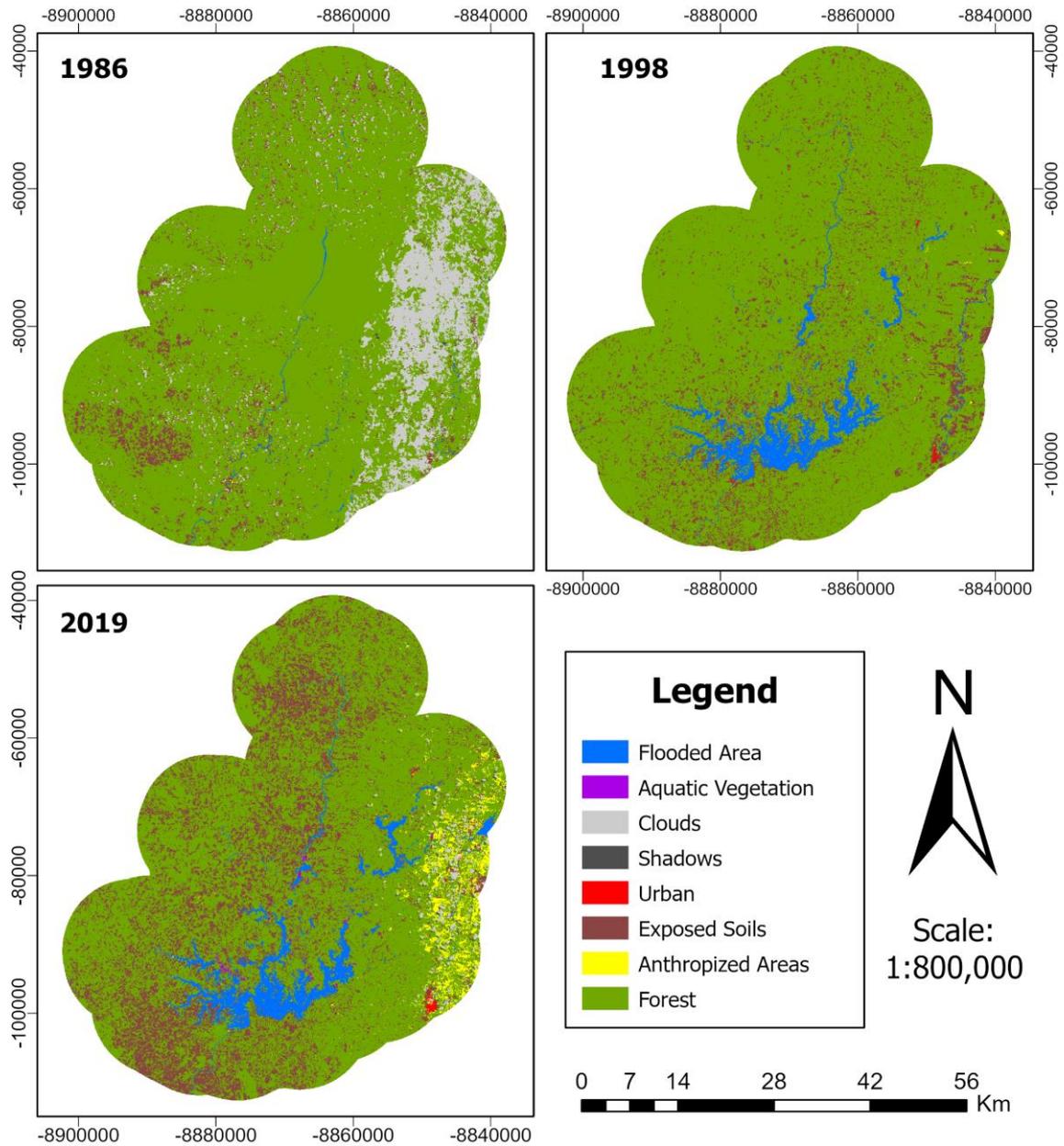


Fig. 17. Mapas temáticos de cobertura de la tierra dentro del buffer de 10 km que abarca los alrededores del lago artificial de la represa hidroeléctrica Daule-Peripa en los tres escenarios desde 1986 a 2019.

Con las últimas modificaciones, se obtienen los primeros resultados en cuanto al cambio espacial de la cobertura de la tierra dentro de un área (buffer) de 10 km que comprende los exteriores del embalse para los años 1986, 1998 y 2019. Basado en estos resultados, se aprecia y se puede inferir que la implementación progresiva de las actividades antropogénicas puede ser considerado como el principal impulsor que a través de los años ha provocado un impacto considerable que ha deteriorado la distribución natural de la cobertura terrestre en el área de estudio.

Para los años 1986, 1998 y 2019 las áreas antropizadas abarcan zonas que comprenden la presencia de vías rurales -que en su mayoría son de tierra-, incursión de actividades agrícolas por parte de las poblaciones aledañas, remoción artificial de suelo para distintas actividades, entre otras.

La cobertura terrestre de 1986 se da durante la fase de construcción de la presa (1982-1987), es decir, previo a su inauguración y del llenado de su embalse. Para ese momento, en el área de estudio mayoritariamente se observan áreas forestales y varios meandros de ríos cuyos cursos, a su vez, marcaron los límites interprovinciales de la época. Esta situación permitió mapear y clasificar adecuadamente la extensión del polígono del río faltante que en un principio no se visibilizaba debido a que la imagen satelital original no registraba datos para esa área en ese periodo. Para esa época, no se clasificó la clase de vegetación acuática debido a que la dinámica correntosa de los ríos corrientes no proporcionaba las condiciones adecuadas como las de un embalse. En la zona Este predomina una extensa área cubierta por nubes, pero no impide identificar pequeñas áreas urbanas y con pocas áreas antropizadas. Ciertas áreas con suelos expuestos de la época podrían corresponder a zonas de remoción de suelo para ser utilizada como materia prima de construcción del proyecto. Según informes, encuestas y testimonios de los pobladores que residían en el área de estudio durante la década de los 80, la gran mayoría del área de estudio solía ser aprovechada para producción agrícola y en los exteriores de esta, en su mayoría existían bosques nativos (Hidalgo, 2018).

La cobertura terrestre de 1998 pertenece a una época donde la presa Daule-Peripa tenía 11 años de operación y con su embalse totalmente lleno. Se aprecia un predecible

incremento de áreas urbanas y en la zona Este del mapa se aprecia un notorio cambio en la cobertura terrestre con áreas de suelos expuestos producto de la deforestación de zonas forestales para la implementación de áreas de producción agrícola. Esta tendencia se puede apreciar en los exteriores del embalse y en ciertas áreas entre sus ramales. Por ende, se podría inferir que debido a una mayor disponibilidad del recurso agua se genera un incremento de áreas antropizadas en el área de estudio. Un año después se inauguró la CHMLW.

Finalmente, para la cobertura terrestre del año 2019 que es considerado como ‘escenario actual’ la presa hidroeléctrica contaba ya con tres décadas de operación. El área del embalse no ha sufrido cambios perceptibles ni notorios. Sin embargo, los mayores cambios, disturbios y afectaciones a la cobertura terrestre natural se dan bajo la influencia de las áreas antropizadas, suelos expuestos, urbanas y que han disminuido la cobertura boscosa.

Luego de realizar el procesamiento de los datos, se analizó los cambios de cobertura de la tierra, del uso del suelo y deforestación en los alrededores de la PDP.

4.6. Análisis de Cobertura Forestal Mediante un Análisis Multitemporal

Con los resultados obtenidos en cuanto a la clasificación supervisada, reclasificación y post-reclasificación, se presentan los siguientes resultados en cuanto a los cambios en la cobertura de la tierra y uso del suelo (Tabla 4):

Tabla 4. Superficie total y porcentaje ocupado por cada cobertura y uso de suelo (clase) en el área de estudio, entre 1986 – 2019.

| Cobertura (Clase) | 1986 | | 1998 | | 2019 | |
|--|---------------|------------|---------------|------------|---------------|------------|
| | Área (ha) | % | Área (ha) | % | Área (ha) | % |
| Bosque (bosque + nubes + sombras) | 287098 | 92.98 | 262078 | 84.88 | 217131 | 70.32 |
| Área Inundada (embalse + vegetación acuática) | 1208 | 0.39 | 13949 | 4.52 | 15114 | 4.89 |
| Urbano | 20 | 0.01 | 192 | 0.06 | 290 | 0.09 |
| Suelos Expuestos | 20411 | 6.61 | 32208 | 10.43 | 68108 | 22.06 |
| Áreas Antropizadas | 38 | 0.01 | 348 | 0.11 | 8132 | 2.63 |
| Total | 308775 | 100 | 308775 | 100 | 308775 | 100 |

Para el año 1986, la cobertura representada por la clase bosque, fue de 287,098 ha, lo que representa un 92.93% del área de estudio (buffer). Este hecho implica que el bosque nativo predominaba en el área de estudio en 1986. Ocurre un cambio drástico en los años 1998 y 2019, donde la cobertura forestal disminuyó un 8.1% ocupando 262,078 ha y un 22.66% ocupando 217,131 ha, respectivamente.

Un análisis diferente corresponde para las coberturas representadas por las clases de área inundada, urbano, suelos expuestos y áreas antropizadas debido a que a través de los años han aumentado considerablemente. Este hecho se lo puede interpretar como un cambio irreversible en la cobertura y uso del suelo que por supuesto, tiene sus impactos y afectaciones a la cobertura forestal nativa del área de estudio.

Las áreas de suelos expuestos abarcan un 6.61% para 1986, y presenta un notorio y elevado incremento de un 15.45% para el 2019. Este hecho refiere a la implementación de actividades agrícolas en la zona, además de la posible extracción de materia prima para diferentes fines. Estas actividades son necesarias para la subsistencia de la población en el área de estudio, pero por supuesto, también ocasionan impactos a la cobertura forestal nativa.

La clase de áreas antropizadas tuvo un incremento de 2.62% desde 1986 al 2019. Este cambio corresponde por el progresivo aumento de la población que se ha ido asentando en diferentes zonas del área de estudio y en ciertos puntos, las áreas que han existido se han expandido.

Para el caso de la clase de área inundada, tuvo un incremento de 4.50% desde 1986 al 2019. Este cambio es percibido como un proceso planificado para lograr rellenar el área del embalse para que la presa pueda operar hasta la actualidad. Sin embargo, este hecho no justifica que, al inundarse estas áreas, se produjo un impacto socio ambiental que provocó migración forzada de pobladores que residían en esas áreas y pérdida de bosques nativos en dicha área (Hidalgo, 2018).

4.7. Análisis de la Deforestación en el Área de Estudio

Los resultados de los cálculos de la deforestación anual y de la tasa anual de deforestación en el área de estudio, se presentan en la Tabla 5:

Tabla 5. Deforestación y tasa anuales de deforestación en el área de estudio (buffer) de la represa hidroeléctrica Daule-Peripa entre 1986 y 2019

| | Área de Bosque 1986 (ha) | Área de Bosque 2019 (ha) | Deforestación Anual (ha) | Tasa Anual de Deforestación % |
|--|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Represa Hidroeléctrica Daule-Peripa | 287098 | 217131 | 2120.21 | -0.843 |

Estos resultados ponen en manifiesto la evidencia de una tasa elevada de deforestación en las inmediaciones de la presa hidroeléctrica Daule-Peripa durante 1986 – 2019, abarcando un período de 31 años. Esta tendencia general de disminución de cobertura forestal, principalmente se la atribuye al incremento de actividades antrópicas presentes en la zona.

4.8. Cálculo de Métricas de Estructura de Paisaje

A continuación, se muestran los cálculos de las distintas métricas que fueron seleccionadas para cada enfoque:

4.8.1. Cálculo de Métricas de Fragmentación del Paisaje

Los resultados de las métricas SHAPE_MN, NP, PD, LPI, TE, ED y AI se presentan a continuación:

4.8.1.1. SHAPE_MN

En la Fig. 18 se observa como la métrica SHAPE_MN tiene un crecimiento leve durante 1986 a 1998. Posteriormente, de 1998 a 2019 tiene un aumento fuerte. Esta ‘métrica de forma’ nos sirve para entender si la estructura del paisaje se vuelve más artificial con el pasar del tiempo.

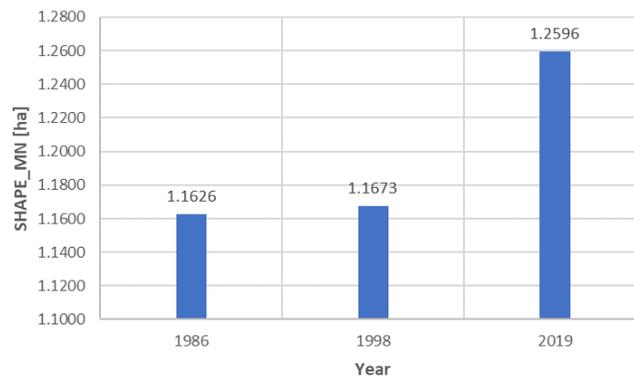


Fig. 18. Cálculo de métrica SHAPE_MN.

Estos resultados nos indican que nuestra área de estudio presenta áreas irregulares, debido a que sus valores son mayores a 1. Este hecho nos advierte con este incremento de formas irregulares en el paisaje, se ha dado fragmentaciones a través del tiempo.

4.8.1.2. NP

En la Fig. 19 se observa que la métrica NP durante 1986 a 2019 tuvo un incremento progresivo de 6898 a 9251 parches.

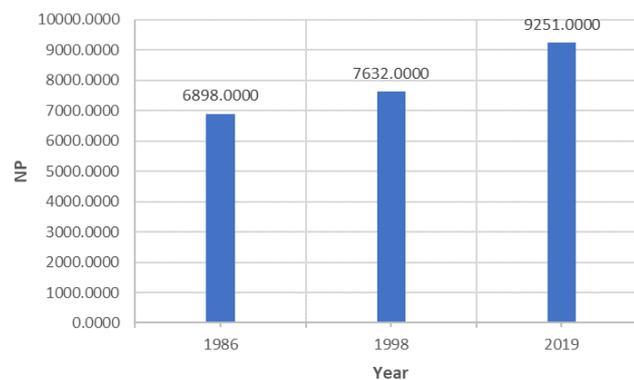


Fig. 19. Cálculo de métrica NP.

Estos cambios se pueden interpretar como una considerable disminución de cobertura forestal y que ha habido un incremento de las actividades antrópicas que han perforado la zona de estudio. Principalmente debido a que existe una relación proporcional que a mayor cantidad de parches implica una mayor fragmentación en el área de estudio.

4.8.1.3. PD

En la Fig. 20 se observa que la métrica PD durante 1986 a 2019 tuvo un incremento progresivo. Teóricamente, según Jaeger (2000) manifiesta que, a mayor densidad de parches, se tiene menor conectividad.

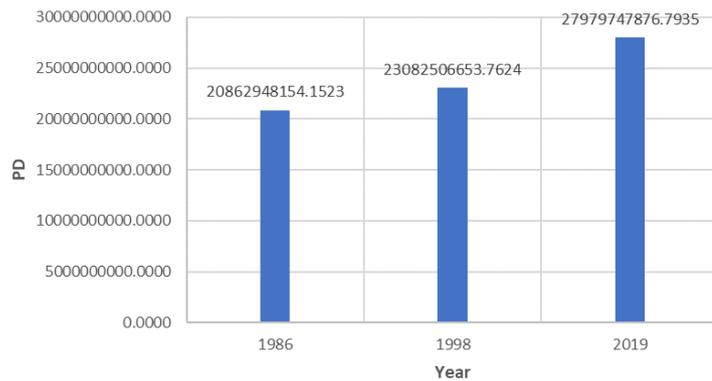


Fig. 20. Cálculo de métrica PD.

Estos resultados indican un incremento constante de la métrica PD. Lo que, a su vez, se traduce que estos elevados valores de PD implican que la cobertura de las diferentes clases está bastante fragmentada. Esto va en concordancia con los cálculos de las demás métricas y se comparten correlación entre los análisis, donde se infiere que los eventos que motivan la deforestación continuarán expandiéndose a través del tiempo.

4.8.1.4. LPI

En la Fig. 21 se observa que la métrica LPI tuvo un comportamiento variable. De 1986-1998 aumenta y posteriormente para 2019 vuelve a disminuir.

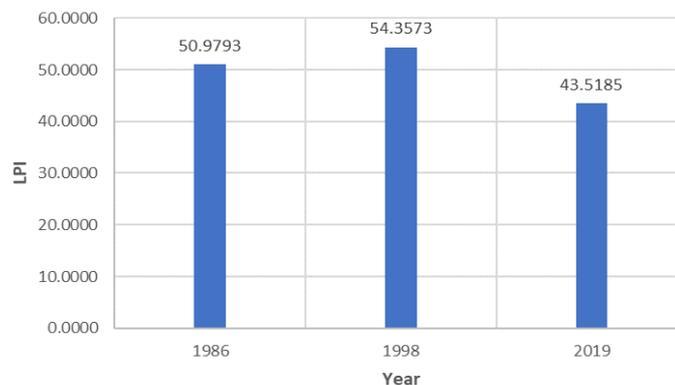


Fig. 21. Cálculo de métrica LPI.

Esto se interpreta que en el año 1998 se desarrolló el crecimiento más acentuado del parche más grande que existió. Es decir, se consolidó el parche o tesela más extensa que ha existido en el área de estudio en ese período. Estos cambios pueden deberse por el crecimiento de nuevos cultivos agrícolas en 1998, que provocaron la modificación y creación de parches en el área de estudio.

4.8.1.5. TE

En la Fig. 22 se observa que la métrica TE durante 1986 a 1998 tuvo un leve incremento. Posteriormente de 1998 a 2019 se da un aumento bastante representativo respecto a los años previos. Estos cambios de la métrica TE nos brindan indicios acerca de las pérdidas que las distintas coberturas (clases) sufren a través de los años en el área de estudio, o, dicho de otra manera, nos brinda información de cómo se va manifestando la fragmentación.

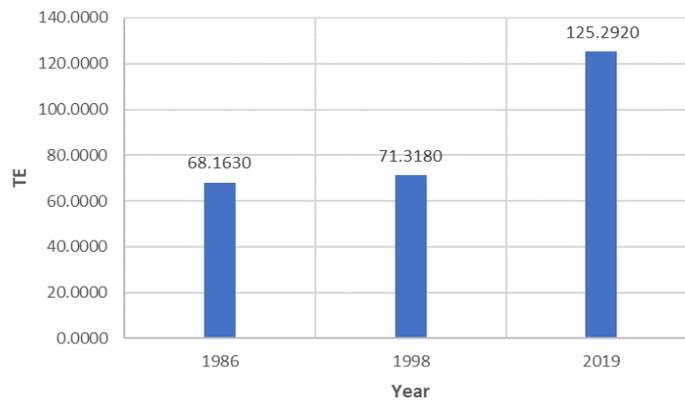


Fig. 22. Cálculo de métrica TE.

Por ende, se infiere que el mayor grado de fragmentación se desarrolla durante 1998 – 2019 al existir un incremento elevado en los cálculos de la sumatoria de todos los bordes de los parches existentes (TE) en ese periodo. Esto indica que para el año 2019 existe la mayor cantidad de parches en el área de estudio, tal como se refleja en los resultados para la métrica NP. Estas fragmentaciones se dan principalmente por la implementación de actividades antrópicas.

4.8.1.6. ED

En la Fig. 23 se observa que la métrica ED tuvo un leve incremento durante 1986 – 1998. Posteriormente, de 1998 a 2019 hubo un incremento más pronunciado.

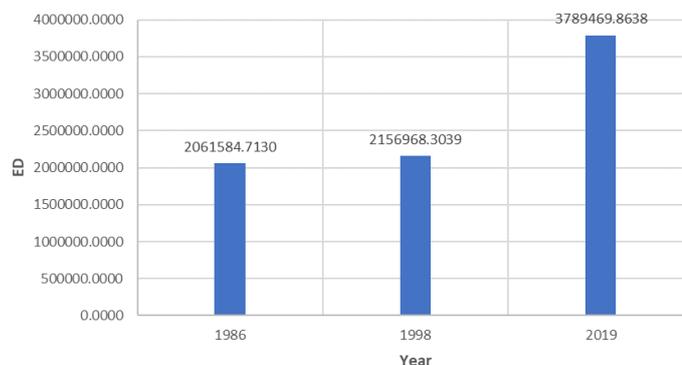


Fig. 23. Cálculo de métrica ED.

Este comportamiento va en concordancia con el cálculo de la métrica LPI cuya tendencia fue disminuyendo. Por ende, según Dutta et al., (2020) al tener una métrica LPI disminuyendo y una métrica ED en aumento, significa que hay pérdida de hábitat a causa de la fragmentación.

4.8.1.7. AI

En la Fig. 24 se observa que la métrica AI durante 1986 a 2019 tuvo una leve disminución. Posteriormente de 1998 a 2019 se da una disminución bastante representativa respecto a los años previos. Estos resultados de la métrica AI están relacionados también con el grado de fragmentación y por consiguiente con el grado de conectividad en el área de estudio a través de los años.

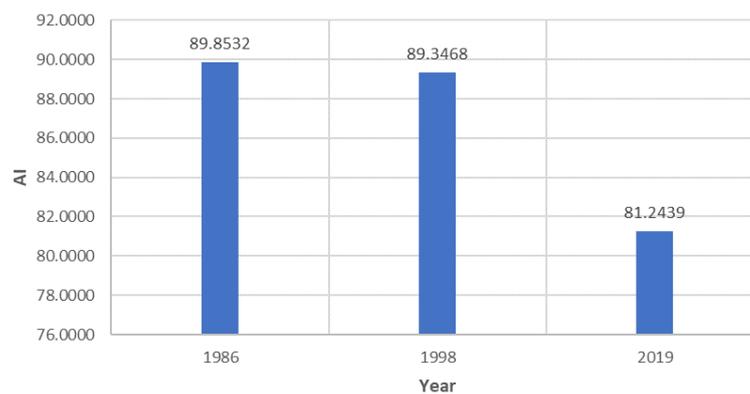


Fig. 24. Cálculo de métrica AI.

Los altos valores del AI durante 1986 a 1998 indican que las coberturas (clases) tienen un nivel de agregación alto, lo cual, implica que los fragmentos (parches) de todas las coberturas (clases) de ese tiempo están físicamente conectados y compactos, Es decir tienen muy buena conectividad. Ocurre lo contrario para el año 2019 que sufre una fuerte disminución evidenciando una fuerte fragmentación del hábitat y por consiguiente una baja conectividad.

Una vez que se han calculado las métricas SHAPE_MN, NP, PD, LPI, TE, ED, y AI, se pudo comprender, describir y evaluar los patrones espaciotemporales de fragmentación del hábitat.

4.9. Recomendaciones de Ordenamiento Territorial

Debido a que la actual área de estudio en su mayoría ha sido fragmentada por la implementación y extensión de áreas antrópicas, agrícolas y de suelos expuestos -que con el pasar de los años se percibe que esa tendencia va a continuar-, se sugiere:

- Incrementar la superficie de vegetación natural (bosques), para que con un objetivo trianual, gestionar el aumento gradual de un 5-8% de su superficie hasta que se logre alcanzar y cubrir más del 55% de cobertura vegetal original. Esto ayudaría a disminuir la presión antrópica que actualmente se manifiesta en área de estudio, debido a que con una cobertura vegetal densa y extensa, habrá una buena conectividad y simultáneamente la fragmentación disminuirá.

Ante la falta de disponibilidad de campañas sociales fuertes de concientización ambiental para la población. Se recomienda:

- Gestionar la implementación de herramientas informáticas de fácil acceso, libres y gratuitas al público en general, donde el público en general pueda generar lazos de colaboración entre todos. Esta herramienta será un apoyo importante para identificar estrategias en la toma de decisiones para la gestión territorial, ambiental y forestal.
- Involucrar y motivar la participación de los pobladores que residen en las inmediaciones de la PDP con el objeto de obtener respuestas y generar propuestas a modo de solución a mediano y largo plazo. Se requerirá impulsar publicidad física y audiovisual en el sector.

Estas problemáticas que se generan a nivel global ponen en evidencia los vacíos y debilidades de las actuales leyes y normas locales en vigencia. Por ende, se recomienda

- Que los gestores de territorio, gestores forestales y otros, lleguen a acuerdos para desarrollar estrategias y alternativas que permitan conservar, restaurar y gestionar adecuadamente nuestras áreas forestales. Aquí será importante hallar consensos que solucionen los conflictos internos sobre el uso del suelo cuyos impactos se relacionen con la fragmentación forestal.

El desarrollo de estudios enfocados al cuidado y conservación de paisajes es complejo, pero ayudan a comprender muchas problemáticas ambientales del área de interés. Para este caso, se recomienda:

- Considerar el uso de las métricas de paisaje en los estudios de deforestación en general. Pues estos cálculos proporcionan datos importantes para tomar decisiones e implementar medidas adecuadas para gestionar la correcta conservación de los suelos. Esto ayuda a mantener una alta conectividad entre parches y una fragmentación baja. Además, se evita la pérdida de corredores naturales y se mejora la calidad paisajística.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los bosques son una parte integral y fundamental de los ecosistemas ya que ayudan a conservar la biodiversidad existente y también son el hábitat de muchas especies. La presa Daule-Peripa también ha impactado a la cobertura forestal existente en sus alrededores. Por ende, este estudio permitió comprender y evaluar los cambios espaciotemporales de la cobertura de la tierra en las inmediaciones de la represa, lo que a su vez permitió analizar los impactos (fragmentaciones) que ha sufrido la cobertura forestal nativa para proporcionar sugerencias que contribuyan a mejorar el ordenamiento territorial en el área.

La clasificación supervisada de las imágenes satelitales permitió determinar que las pérdidas de cobertura forestal que ha sufrido las inmediaciones de la represa hidroeléctrica Daule-Peripa desde 1986 – 2019, son de carácter significativo. Este suceso se lo atribuye a tres grandes precursores: (i) relleno del lago artificial (actual embalse de la represa), (ii) extensión de las zonas antrópicas (poblados, vías e infraestructuras) para actividades comerciales, y (iii) aumento de las áreas de suelos expuestos asociados a la expansión de áreas agrícolas que son justamente el mayor y principal motor comercial de los pobladores que residen dentro del área de estudio. Estos precursores son también los mayores contribuyentes al cambio de la cobertura forestal, que en su mayoría han pasado a ser áreas de producción agrícola. Además, el relleno del embalse implicó una pérdida inminente de áreas forestales que actualmente están inundadas. Este último hecho fue quizás el cambio más notorio que en un corto periodo de tiempo causó un cambio considerable en la cobertura forestal en el área de estudio y cambió el estilo de vida de muchos pobladores.

Los cálculos de las diferentes métricas nos brindaron indicios suficientes para determinar que en el área de estudio se ha producido (i) dinámicas territoriales bruscas (fragmentación) del paisaje natural, (ii) una pérdida de potencial de conectividad y (iii) cambios en la cobertura boscosa. Estos indicios, indican que el área de estudio de este trabajo tiene un paisaje fragmentado, donde las coberturas naturales han sido reemplazadas por coberturas agrícolas, antrópicas y de suelo expuesto.

La revisión del contenido de varios cuerpos legales vigentes en Ecuador evidencia la existencia de una gestión enfocada a conservar principalmente la calidad e integridad de

los bosques que existen en el país. Sin embargo, es necesario que se adopten nuevas e innovadoras estrategias enfocadas a conservar los bosques bajo una sostenibilidad a largo plazo. Estas revisiones permitieron desarrollar propuestas para abordar las problemáticas registradas en este estudio y que simultáneamente puedan ser consideradas para que se reformen y se mejoren los cuerpos legales vigentes en Ecuador, y así, poder integrar nuevas estrategias para gestionar adecuadamente el territorio nacional, en especial cuando existe cobertura forestal nativa. Por ende, se proponen las siguientes recomendaciones: (i) modificar la forma de los parches más grandes del área para reducir la fragmentación de las áreas forestales, (ii) mejorar el índice de conectividad y reducir el índice de fragmentación en el área de estudio, ya que esto contribuirá significativamente a cumplir los objetivos de conservación forestal, (iii) generar buenas relaciones entre entidades, instituciones, actores locales y gestores para lograr una adecuada socialización de las propuestas, (iv) gestionar la creación de nuevas áreas protegidas para prevenir la deforestación en el área de estudio del presente trabajo, (v) considerar otros impulsores de deforestación que no son tomados en cuenta en el presente estudio para focalizar esfuerzos que ralenticen pérdida de bosques, (vi) conservar la matriz de paisaje para mantener las áreas que faciliten la conectividad, y (vii) crear redes de conservación estratégica promoviendo el uso de corredores ecológicos.

Se espera que estas recomendaciones permitan reconsiderar las políticas vigentes para adoptar y elaborar nuevas y mejores estratégicas que faciliten mitigar la fragmentación (deforestación) de los bosques, mantener un equilibrio y garantizar condiciones sustentables en el área. Además, estas recomendaciones son ejecutables en territorio una vez que se gestione su incorporación en los respectivos cuerpos legales vigentes para mejorar la gestión del ordenamiento territorial local y nacional. Esto permitirá alcanzar objetivos económicos, sociales, ambientales, urbanísticos y de sostenibilidad que permitan efectuar acciones integrales y ejecutar proyectos que ayuden a cumplir estos fines.

Finalmente, en este trabajo, se determinó que la fragmentación forestal ha sido motivada principalmente por la construcción de vías, implementación de áreas agrícolas y expansión urbana, que han provocado el deterioro de la biodiversidad, cambios en el uso del suelo y cobertura de la tierra, disminución de la calidad y extensión de los hábitats forestales, pérdida considerable de la conectividad y un fuerte incremento de la cantidad de parches y bordes.

CAPÍTULO 6

6. BIBLIOGRAFÍA

- Abbas, Z., & Jaber, H. S. (2020). Accuracy assessment of supervised classification methods for extraction land use maps using remote sensing and GIS techniques. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 745, No. 1, p. 012166). Iop Publishing.
- Altamirano, A., Echeverría, C., & Lara, A. (2007). Efecto de la fragmentación forestal sobre la estructura vegetal de las poblaciones amenazadas de *Legrandia concinna* (Myrtaceae) del centro-sur de Chile. *Revista chilena de historia natural*, 80(1), 27-42.
- Arrocha, D., Camargo, A., Petit, J., Rosas, Y., Villarreal, V., & Muñoz, L. (2020). Sistema de riego con movilidad a base de energía solar. *Revista de Iniciación Científica*, 6(1), 39-43.
- Banco de Desarrollo de América Latina. (2016). CAF 45 años en Ecuador. *CAF*.
- Bélisle, M. (2005). Measuring landscape connectivity: the challenge of behavioral landscape ecology. *Ecology*, 86(8), 1988-1995.
- Ballesteros-Ballesteros, V., & Gallego-Torres, A. P. (2019). La educación en energías renovables desde las controversias socio-científicas en la educación en ciencias. *Revista científica*, (35), 192-200.
- Bennet, A. F. (1998). Linkages in the Landscape: The role of corridors and connectivity in wildlife.
- BID (Banco Interamericano de Desarrollo). (2015). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia.
- Botelho, A., Ferreira, P., Fátima Lima, L. M., Pinto, C., & Sousa, S. (2017). Assessment of the environmental impacts associated with hydropower. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 896–904.
- CAIC (Comisión para la Auditoría Integral del Crédito Público). (2008). Informe final de la auditoría integral de la deuda ecuatoriana. *Quito: Ministerio de Finanzas*.
- CELEC E.P. (2013). 25 años Presa Daule - Peripa 1988-2013. *Revista 25 años de la Presa Daule Peripa*.
- CELEC E.P. (2016). INFORME DE RENDICIÓN DE CUENTAS 2015. *Unidad de Negocio: CELEC E.P.-Hidronación*.
- CELEC E.P. – Unidad de Negocio Hidronación. (2012). Informe General: Examen Especial a Disponibilidades, Cuentas por Cobrar, Bienes de Administración y Cuentas por Pagar, por el período comprendido entre el 01 de abril de 2007 y el 31

de agosto de 2011, en Hidroeléctrica Nacional Hidronación S.A., actual Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC E.P. – Unidad de Negocio Hidronación. *Informe de la Contraloría General del Estado. Dirección Regional 1 Guayas.*

- CELEC E.P – Unidad de Negocio Hidronación. (2020). ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y TÉRMINOS DE REFERENCIA PARA EL “SERVICIO DE MANTENIMIENTO DE LA TOMA N°1”. *Informe.*
- Chala, G. T., Ma’Arof, M. I. N., & Sharma, R. (2019). Trends in an increased dependence towards hydropower energy utilization—a short review. *Cogent Engineering*, 6(1), 1631541.
- Chen, G., Powers, R. P., de Carvalho, L. M., & Mora, B. (2015). Spatiotemporal patterns of tropical deforestation and forest degradation in response to the operation of the Tucuruí hydroelectric dam in the Amazon basin. *Applied Geography*, 63, 1-8.
- CISPDR (Changjiang Institute of Survey Planning Design and Research). (2016). Plan Hidráulico Regional de la Demarcación Hidrográfica Guayas. *Informe.*
- CONELEC. (2013). PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACIÓN 2013 – 2022. Aspectos de sustentabilidad y sostenibilidad social y ambiental. *Consejo Nacional de Electricidad.*
- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote sensing of environment*, 37(1), 35-46.
- Córdova Carmen, J. J. (2016). Diseño de embalse teniendo en consideración los impactos ambientales.
- Corral, L. (2006). Sembrando desiertos: La deuda social y ecológica generada por el endeudamiento externo en el Proyecto de Propósito Múltiple Jaime Roldós Aguilera. *Segunda. Quito: Acción Ecológica-Soboc Grafic.*
- Correa, J. J., Volante, J. N., & Seghezso, L. (2012). Análisis de la fragmentación y la estructura paisaje en bosques nativos del norte argentino.
- Curatola, G. F., Obermeier, W. A., Gerique, A., López Sandoval, M. F., Lehnert, L. W., Thies, B., & Bendix, J. (2015). Land cover change in the Andes of Southern Ecuador—Patterns and drivers. *Remote Sensing*, 7(3), 2509-2542.
- Donoso, A. (2009). Deuda ecológica: Impactos de la deuda externa en las comunidades y la naturaleza; Resultados de la auditoria integral ecuatoriana al crédito público. *Quito: Acción Ecológica.*
- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., ... & Bargellini, P. (2012). Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote sensing of Environment*, 120, 25-36.
- Du, P., Xia, J., Zhang, W., Tan, K., Liu, Y., & Liu, S. (2012). Multiple classifier system for remote sensing image classification: A review. *Sensors*, 12(4), 4764-4792.

- Dutta, S., Dutta, I., Das, A., & Guchhait, S. K. (2020). Quantification and mapping of fragmented forest landscape in dry deciduous forest of Burdwan Forest Division, West Bengal, India. *Trees, Forests and People*, 2, 100012.
- FAO. (2014). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015. Informe nacional. EcuFAO. 2014. «Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015. Informe nacional. Ecuador».: 97.
- FAO. (2016). El Estado de los bosques del mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra.
- Fearnside, P. M. (2002). Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and the energy policy implications. *Water, Air, and Soil Pollution*, 133, 69-96.
- Fitzsimmons, M. (2003). Effects of deforestation and reforestation on landscape spatial structure in boreal Saskatchewan, Canada. *Forest Ecology and Management*, 174(1-3), 577-592.
- Fuller, J. L., Foster, D. R., McLachlan, J. S., & Drake, N. (1998). Impact of human activity on regional forest composition and dynamics in central New England. *Ecosystems*, 1, 76-95.
- GAD Cantón Daule. (2018). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Daule 2015-2025.
- García-Balboa, J. L., Alba-Fernández, M. V., Ariza-López, F. J., & Rodríguez-Avi, J. (2018, July). Homogeneity test for confusion matrices: a method and an example. In *IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 1203-1205). IEEE.
- Gobierno Autonomo Descentralizado Municipal El Empalme. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial El Empalme 2015-2024. El Empalme, Ecuador: s.n.
- Gerebizza, E. (2009). El proyecto Daule Peripa Las responsabilidades italianas en la deuda ilegítima de Ecuador. *Rome: Campagna per la Riforma della Banca Mondiale*.
- Hilty, J., Worboys, G. L., Keeley, A., Woodley, S., Lausche, B. J., Locke, H., Carr, M., Pulsford, I., Pittock, J., White, W. J., Theobald, D. M., Levine, J., Reuling, M., Watson, J. E. M., Ament, R., Groves, C., & Tabor, G. M. (2021). Lineamientos para la conservación de la conectividad a través de redes y corredores ecológicos. *UICN*.
- San Vicente, M. G. (2004). Conectividad ecológica del territorio y conservación de la Biodiversidad: nuevas perspectivas en ecología del paisaje y ordenación territorial. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.
- Gutman, G., Huang, C., Chander, G., Noojipady, P., & Masek, J. G. (2013). Assessment of the NASA-USGS global land survey (GLS) datasets. *Remote sensing of environment*, 134, 249-265.

- Govorushko, S. M., & Oyedepo, S. O. (2014). Hydropower. Types, Development Strategies and Environmental Impacts. *Nova Science Publishers, Inc.*
- Gustafson, E. J. (1998). Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art? *Ecosystems*, 1(2), 143-156.
- Hidalgo-Bastidas, J. P., Boelens, R., & Isch, E. (2018). Hydroterritorial configuration and confrontation: The Daule-Peripa multipurpose hydraulic scheme in Coastal Ecuador. *Latin American Research Review*, 53(3), 517-534.
- IEA (International Energy Agency). (2022). World Energy Outlook 2022.
- IRENA (International Renewable Energy Agency). (2022). World Energy Transitions Outlook 2022.
- IHA (International Hydropower Association). (2022). 2022 Hydropower Status Report. Sector Trends and Insights.
- Jaeger, J. A. (2000). Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape ecology*, 15, 115-130.
- Jog, S., & Dixit, M. (2016, June). Supervised classification of satellite images. In *2016 Conference on Advances in Signal Processing (CASP)* (pp. 93-98). IEEE.
- Kleemann, J., Zamora, C., Villacis-Chiluisa, A. B., Cuenca, P., Koo, H., Noh, J. K., ... & Thiel, M. (2022). Deforestation in Continental Ecuador with a Focus on Protected Areas. *Land*, 11(2), 268.
- Kulkarni, A. D., & Lowe, B. (2016). Random forest algorithm for land cover classification.
- Lambin, E. F. (1997). Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in physical geography*, 21(3), 375-393.
- Lausch, A., & Herzog, F. (2002). Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability. *Ecological indicators*, 2(1-2), 3-15.
- Leija, E. G., & Mendoza, M. E. (2021). Landscape connectivity studies in Latin America: research challenges. *Madera y bosques*, 27(1).
- Li, X., He, H. S., Wang, X., Bu, R., Hu, Y., & Chang, Y. (2004). Evaluating the effectiveness of neutral landscape models to represent a real landscape. *Landscape and Urban Planning*, 69(1), 137-148.
- Li, C., Wang, J., Wang, L., Hu, L., & Gong, P. (2014). Comparison of classification algorithms and training sample sizes in urban land classification with Landsat thematic mapper imagery. *Remote sensing*, 6(2), 964-983.
- Llerena-Montoya, S., Velastegui-Montoya, A., Zhirzhan-Azanza, B., Herrera-Matamoros, V., Adami, M., de Lima, A., ... & Encalada, L. (2021). Multitemporal analysis of

- land use and land cover within an oil block in the Ecuadorian Amazon. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(3), 191.
- Llive Guerrero, H. L. (2019). Planificación de la operación energética de centrales hidroeléctricas multipropósito del sistema nacional interconectado considerando la metodología de curvas guías de los embalses. Bachelor's thesis, Quito, 2019. 107 hojas. Quito: EPN.
- López, C. A., Gago-Cortés, C., & Longarela-Ares, Á. (2019). Energías renovables y economía verde: la inversión en protección ambiental en el sector eléctrico. *Revista Raites*, 5(11).
- Lorenz, G., Figueroa, M. E., Giannuzzo, A. N., & Ludueña, M. E. (2017). El paisaje entre ciencia, educación y planificación: el legado que dejamos. In VI Jornadas y III Congreso Argentino de Ecología de Paisajes (Issue May).
- Lu, F., & Bilsborrow, R. E. (2011). A cross-cultural analysis of human impacts on the rainforest environment in Ecuador. In *Human population* (pp. 127-151). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Manyari, W. V., & de Carvalho Jr, O. A. (2007). Environmental considerations in energy planning for the Amazon region: Downstream effects of dams. *Energy Policy*, 35(12), 6526-6534.
- Martinez-Sierra, D., García-Samper, M., Hernández-Palma, H., & Niebles-Nuñez, W. (2019). Gestión energética en el sector salud en Colombia: un caso de desarrollo limpio y sostenible. *Información tecnológica*, 30(5), 47-56.
- Martínez Cordero, B. A. (2022). Cálculo de indicadores de estructura de paisaje utilizando el software Fragstats y estrategias de mejora de conectividad y patrones de fragmentación en el Distrito Metropolitano de Quito. (*Bachelor's thesis*).
- Mas, J.-F., & Sandoval, J. (2000). Investigaciones geográficas: boletín del Instituto de Geografía. *Investigaciones Geográficas*, (43), 42–59.
- MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca). (2011). “Censo de Riego.” *Guayaquil: MAGAP*.
- Martimort, P., Arino, O., Berger, M., Biasutti, R., Carnicero, B., Del Bello, U., ... & Sy, O. (2007, July). Sentinel-2 optical high resolution mission for GMES operational services. In *2007 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 2677-2680). IEEE.
- McGarigal, K., & Marks, B. (1995). FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure (Vol. 351). US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- McGarigal, K., Cushman, S. A., Neel, M. C., & Ene, E. (2002). FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for categorical maps. University of Massachusetts, Amherst.

- McGarigal, K., Cushman, S. A., & Ene, E. (2012). FRAGSTATS v4: spatial pattern analysis program for categorical and continuous maps. *Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst.*
- McGarigal, K., BJ Marks. (1995). FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. *USDA Forest Service General Technical Report PNW, 97331(503).*
- Morales, S., Álvarez, C., Acevedo, C., Diaz, C., Rodriguez, M., & Pacheco, L. (2015). An overview of small hydropower plants in Colombia: Status, potential, barriers, and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 50*, 1650–1657.
- Moreno, D. (2022). Identificación de impactos ambientales producidos por centrales hidroeléctricas. *Bachelor's thesis*, Fundación Universidad de América.
- Mu, Y., Biggs, T., Stow, D., & Numata, I. (2020). Mapping heterogeneous forest-pasture mosaics in the Brazilian Amazon using a spectral vegetation variability index, band transformations and random forest classification. *International Journal of Remote Sensing, 41(22)*, 8682-8692.
- National Geographic. (2021). Deforestación. *Revista Nat Geo. Medio Ambiente*. Tomado de: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/deforestacion#:~:text=El%20impacto%20m%C3%A1s%20dram%C3%A1tico%20es,factor%20coadyuvante%20del%20cambio%20clim%C3%A1tico>.
- Nájera González, A., Carrillo González, F. M., Morales Hernández, J. C., & Nájera González, O. (2021). Cambio de cobertura y uso de suelo en la llanura costera asociados a procesos antropogénicos: caso San Blas, Nayarit. *Madera y bosques, 27(1)*.
- Pérez, J. (2015). Estudio de Caso. Comunidades del embalse Daule-Peripa: De afectadas a guardianas del agua y la soberanía alimentaria de los pueblos del Guayas y Manabí. *Movimiento Regional Ecuador por la Tierra*.
- Oñate, J. (2016). Dinámicas territoriales: El caso de las comunidades rivereñas del embalse del proyecto multipropósitos Daule-Peripa. *Bachelor's thesis*. Quito: UCE.
- Oljirra, A. (2019). The causes, consequences, and remedies of deforestation in Ethiopia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management, 6(3)*, 1747.
- O'Neill, R. V., Riitters, K. H., Wickham, J. D., & Jones, K. B. (1999). Landscape pattern metrics and regional assessment. *Ecosystem health, 5(4)*, 225-233.
- Ortiz, J. D. S., & Crespo, T. J. R. (2017). Concepto de energía asociado a ciencias naturales y sociales. *Cultura energética desde la escuela, 9*.
- Oviedo-Ocaña, E. R. (2018). Las Hidroeléctricas: efectos en los ecosistemas y en la salud ambiental. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud, 50(3)*, 191-192.

- Parveen, S., Basheer, J., & Praveen, B. (2018). A literature review on land use land cover changes. *International Journal of Advanced Research*, 6(7), 1-6.
- Paucar, M. A., Amancha, P. I., San Antonio, T. D., Acurio, L. P., Valencia, A. F., & Galarza, C. (2018). Methane emissions from Ecuadorian hydropower dams. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 151, No. 1, p. 012002). IOP Publishing.
- Pinos Arévalo, N. J. (2016). Prospective land use and vegetation cover on land management-Case canton Cuenca. Estoa. *Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 5(9), 1-21.
- PNUD. (2021). La Deforestación en el Ecuador, 1990 – 2018: Factores, Promotores y Tendencias Recientes.
- Pontius Jr, R. G., & Millones, M. (2011). Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. *International Journal of Remote Sensing*, 32(15), 4407-4429.
- Puyravaud, J. P. (2003). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management*, 177(1–3), 593–596.
- Pontius Jr, R. G., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, ecosystems & environment*, 101(2-3), 251-268.
- Quesada, M., Sanchez-Azofeifa, G. A., Alvarez-Anorve, M., Stoner, K. E., Avila-Cabadilla, L., Calvo-Alvarado, J., ... & Sanchez-Montoya, G. (2009). Succession and management of tropical dry forests in the Americas: Review and new perspectives. *Forest Ecology and Management*, 258(6), 1014-1024.
- Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cárdenas, I., Crespo, P., & Célleri, R. (2012). Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. *Suelos Ecuatoriales*, 42(2), 138-153.
- Ribeiro, G. L. (1987). ¿ Cuánto más grande mejor? Proyectos de gran escala: una forma de producción vinculada a la expansión de sistemas económicos. *Desarrollo económico*, 3-27.
- Rijal, S., Vicayana, D. P., Barkey, R. A., Alimuddin, I., & Mukhlisa, A. N. (2019, June). Spatial Patterns Analysis of Deforestation in Palopo Municipality and East Luwu Regency. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 280, No. 1, p. 012028). IOP Publishing.
- Robles, C. A., & Rodríguez, O. A. (2018). Un panorama de las energías renovables en el Mundo, Latinoamérica y Colombia. *Espacios*, 39(10).
- Sahagún-Sánchez, F. J., & Reyes-Hernández, H. (2018). Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, México. *CienciaUAT*, 12(2), 6-21.

- Sánchez Sánchez, Y., Martínez Graña, A., Santos-Francés, F., Reyes Ramos, J. L., & Criado, M. (2021). Multitemporal analysis of land use changes and their effect on the landscape of the jerte valley (Spain) by remote sensing. *Agronomy*, 11(8), 1470.
- Segarra, J., Buchaillet, M. L., Araus, J. L., & Kefauver, S. C. (2020). Remote sensing for precision agriculture: Sentinel-2 improved features and applications. *Agronomy*, 10(5), 641.
- SENPLADES, CLIRSEN, MAGAP, SIGAGRO & IGM. (2009). Mapa de la División Hidrográfica de la Cuenca Río Guayas.
- Sierra, R. (2013a). Deforestación de la Sierra en el Ecuador. (GeoIS Consultores, Ed.). Quito, Ecuador.
- Sierra, R. (2013b). Patrones y factores de deforestación en el Ecuador continental, 1990-2010. Y un acercamiento a los próximos 10 años. *Conservación Internacional Ecuador y Forest Trends*. Quito, Ecuador.
- Sivongxay, A., Greiner, R., & Garnett, S. T. (2017). Livelihood impacts of hydropower projects on downstream communities in central Laos and mitigation measures. *Water Resources and Rural Development*, 9, 46–55.
- Stehr, A. (2020). Efectos del represamiento de ríos en países de América Latina y el Caribe sobre la biodiversidad, el agua, la alimentación y la energía. *Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL*.
- Suhet, H. B. (2015). Sentinel-2 user handbook. ESA Standard Document. Issue 1. Revision 1.
- Tapia, J. C. (2012). Modelización hidrológica de un área experimental en la cuenca del Río Guayas en la producción de caudales y sedimentos (*Doctoral dissertation*, Universidad Nacional de La Plata).
- Taylor, P. D., Fahrig, L., Henein, K., & Merriam, G. (1993). Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 571-573.
- Tischendorf, L., & Fahrig, L. (2000). On the usage and measurement of landscape connectivity. *Oikos*, 90(1), 7-19.
- Tundisi, J. G., Goldemberg, J., Matsumura-Tundisi, T., & Saraiva, A. C. (2014). How many more dams in the Amazon? *Energy Policy*, 74, 703-708.
- Turner, M. G., Gardner, R. H., O'Neill, R. V., Gardner, R. H., & O'Neill, R. V. (2001). *Landscape Ecology in Theory and Practice*, vol. 401 Springer. *New York*.
- Uriarte, M., Canham, C. D., Thompson, J., Zimmerman, J. K., Murphy, L., Sabat, A. M., ... & Haines, B. L. (2009). Natural disturbance and human land use as determinants of tropical forest dynamics: results from a forest simulator. *Ecological Monographs*, 79(3), 423-443.

- Velastegui-Montoya, A., Lima, A. D., & Adami, M. (2020). Multitemporal analysis of deforestation in response to the construction of the Tucuruí Dam. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(10), 583.
- Velastegui-Montoya, A., Rivera-Torres, H., Herrera-Matamoros, V., Sadeck, L., & Quevedo, R. P. (2022, July). Application of Google Earth Engine for Land Cover Classification in Yasuni National Park, Ecuador. In *IGARSS 2022-2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 6376-6379). IEEE.
- Vega-Vela, V., Muñoz-Robles, C. A., Rodríguez-Luna, E., López-Acosta, J. C., & Serna-Lagunes, R. (2018). Análisis de la fragmentación del paisaje de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 5(14), 227-238.
- Velásquez, P. (2017). Caracterización de la estructura del paisaje y su estado de conservación en las cuencas de cabecera de Medellín. *Trabajo de Grado. Especialización en Sistemas de Información Geográfica*. Universidad de San Buenaventura. Medellín, Colombia.
- Vinueza, M., Coloma, W., & Vargas, C. R. (2003). Simulación de la operación del embalse de la central hidroeléctrica Marcel Laniado de Wing. *Bachelor's thesis*.
- Watson, R., Baste, I., Larigauderie, A., Leadley, P., Pascual, U., Baptiste, B., ... & Mooney, H. (2019). Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. IPBES Secretariat: Bonn, Germany, 22-47.
- Yuab, M., Huang, Y., Cheng, X., & Tiana, J. (2019). Un complemento de ArcMap para calcular métricas de paisaje de datos vectoriales. *ELSEVIER*, 50, 13.
- Zhang, T., Su, J., Xu, Z., Luo, Y., & Li, J. (2021). Sentinel-2 satellite imagery for urban land cover classification by optimized random forest classifier. *Applied Sciences*, 11(2), 543.