

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

TEMA:

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL ECOSISTÉMICA DE LA
SUBCUENCA DEL RÍO CRISTOPAMBA MEDIANTE HERRAMIENTAS DE
TELEDETECCIÓN”**

**PLAN DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PARA OBTENER EL
TÍTULO DE INGENIERA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

AUTORAS:

Minda Benalcázar Marilyn Juliana

Pupiales Ipiales Sofía Pilar

DIRECTOR

Óscar Armando Rosales Enríquez MSc.

Ibarra, julio 2024



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hacemos la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional para lo cual ponemos a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1005096878		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Minda Benalcázar Marilyn Juliana		
DIRECCIÓN:	Ibarra- Carrera Colombia y Bolivia		
EMAIL:	mjmindab@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELF. MOVIL	0939353380

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1005030216		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Pupiales Ipiales Sofía Pilar		
DIRECCIÓN:	Ibarra- Avenida El Retorno y Calle Nazacota Puento		
EMAIL:	sppupialesi@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	2-512 258	TELF. MÓVIL	0980588762

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL ECOSISTÉMICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CRISTOPAMBA MEDIANTE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN”
AUTORES:	Minda Benalcázar Marilyn Juliana & Pupiales Ipiales Sofía Pilar
FECHA:	15/07/2024
CARRERA/PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	Ing. Rosales Enríquez Óscar Armando, MSc.

2. CONSTANCIAS


Las autoras manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 15 días, del mes de julio de 2024

AUTORAS:

Firma: 

Nombre: Minda Benalcázar Marilyn Juliana

Firma: 

Nombre: Pupiales Ipiates Sofia Pilar

**CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTERGRACIÓN
CURRICULAR**

Ibarra, 15 de julio de 2024

ÓSCAR ARMANDO ROSALES ENRÍQUEZ MSc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f)

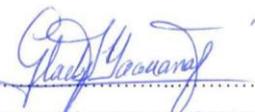
MSc. ÓSCAR ARMANDO ROSALES ENRÍQUEZ

C.C.: 0400932529

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL ECOSISTÉMICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CRISTOPAMBA MEDIANTE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN" elaborado por MINDA BENALCÁZAR MARILYN JULIANA & PUPIALES IPIALES SOFÍA PILAR, previo a la obtención del título de INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f): 
MSc. ÓSCAR ARMANDO ROSALES ENRÍQUEZ
C.C.: 0400933529

(f): 
MSc. GLADYS NERI YAGUANA JIMÉNEZ
C.C.: 1102511209

AGRADECIMIENTO

Agradecemos infinitamente a Dios por la salud, sabiduría, fortaleza y perseverancia que nos ha otorgado para superar los obstáculos a lo largo de este trabajo, permitiéndonos culminar esta etapa tan significativa de nuestras vidas.

También extendemos nuestro agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte y a la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables por la oportunidad brindada, los conocimientos impartidos y las valiosas experiencias formativas proporcionadas por su cuerpo docente. Reconocemos que, sin la guía divina, nada de esto hubiera sido posible.

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a nuestro director de tesis Magíster Óscar Rosales, nuestra asesora Magíster Gladys Yaguana y también al PhD. Paúl Arias Muñoz, cuyo conocimiento y apoyo fueron fundamentales para culminar esta investigación, demostrando ser unos excelentes profesionales.

También un agradecimiento a todos nuestros docentes que en el transcurso de la carrera universitaria han sido parte de nuestra formación académica y persona.

A nuestras familias por su apoyo incondicional, amor y paciencia a lo largo de este camino. Sin su fortaleza, motivación, trabajo y esfuerzo este logro no sería posible.

A mis compañeros de clase y amigos que conocimos durante esta etapa universitaria con quienes compartimos momentos memorables, tanto felices como desafiantes.

CON GRATITUD

Marilyn & Sofía

DEDICATORIA

Primero, agradezco a Dios por ser el pilar fundamental en mi vida, por iluminar mi camino, otorgarme sabiduría en mis estudios y darme la fortaleza necesaria para no desistir.

Dedico este logro a mis queridos padres Lidia & Milton, quienes han sido mi apoyo incondicional y mis guías en este trayecto llamado vida. A mi madre una constante fuente de admiración, por su incansable sacrificio, esfuerzo, valentía y determinación. Gracias a su infinito amor a pesar de las adversidades, quiero que sepa que sus oraciones hoy dan fruto.

Este logro es posible por ustedes y para ustedes.

A mis hermanos Daniela y Beycon, por creer en mi capacidad, por apoyarme y por ser mis compañeros de vida.

A mi abuelito en el cielo y toda mi familia por los consejos, comprensión y muestras de cariño fundamentales para llegar hasta aquí.

A ti que fuiste una parte importante de mi vida, aunque ya no estas en ella dejaste huella en mi corazón y agradezco los recuerdos, lecciones y risas con aprecio.

Por último y no menos importantes a mis amigos con quienes he formado una bonita amistad, compartiendo pláticas, consejos y apoyo. A mi amiga Sofía por acompañarme en esta ardua travesía, por las risas compartidas y el aliento constante. Este logro es tanto tuyo como mío y siempre recordaré con cariño todo lo que hemos pasado juntas.

Con cariño de este adulto chiquito que hoy se pone casco

Marilyn Juliana.

DEDICATORIA

Es importante agradecer a Dios, por darme la salud, la sabiduría, el entendimiento para culminar esta etapa de mi vida.

*A mis padres María Daudina y Julio Guillermo un agradecimiento infinito
En memoria de mi padre Julio Guillermo, que a pesar de que ya no estés, te agradezco de todo corazón todo lo que me enseñaste, los valores y tu sabiduría para poder enfrentar la vida. Tu recuerdo continúa guiando mis pasos en cada logro alcanzado. Gracias papi, por tu esfuerzo, que, aunque no me viste culminando mi etapa universitaria.*

A mi madre María, por brindarme siempre su apoyo incondicional en todo momento, por enseñarme a vencer cada obstáculo por más difícil que sea, gracias por ser mi fortaleza e inspiración para salir adelante además de aconsejarme siempre y brindarme los recursos necesarios para culminar esta universitaria, y hacer de mí una mejor persona, gracias infinitas.

A mis hermanos, Diego, René y Geoconda, y mi sobrino David gracias por su compañía y todos sus consejos de apoyo y siempre estar pendiente de mí, les aprecio mucho.

A Fabián, gracias por formar parte de mi vida y hacer de cada momento un recuerdo bonito.

Finalmente, a mi amiga Marilyn, gracias por este apoyo incondicional en toda la etapa, por todos aquellos trabajos universitarios de las malas noches y madrugadas por los buenos y malos momentos compartidos hasta el final, solo me queda agradecerte pues este logro es de las dos pues todo lo mejor para ti y sé que serás una gran profesional... te quiero mucho.

Y gracias a todos mis amigos universitarios con quienes se ha compartido muchas experiencias y conocimientos.

Con cariño, de alguien que ama y respeta la naturaleza...

Sofía Pilar

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Páginas
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	i
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Revisión de antecedentes o estado del arte.....	1
1.2. Problema de investigación y justificación.....	2
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Preguntas directrices de la investigación.....	4
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Marco teórico referencial.....	5
2.1.1. Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	5
2.1.1.1. Cambio de la cobertura vegetal y uso de suelo.....	5
2.1.2. Calidad ambiental.....	6
2.1.2.1. Efectos ambientales.....	7
2.1.3. Ecosistemas.....	7
2.1.4. Calidad ecosistémica.....	8
2.1.5. Planeación ambiental estratégica.....	8
2.2. Marco legal.....	10
METODOLOGÍA.....	11
3.1. Descripción del área de estudio.....	11
3.2. Métodos.....	17
3.2.1. Determinación de la calidad ambiental en el periodo 2001-2023.....	17
3.2.1.1. Tratamiento preliminar de imágenes.....	17
3.2.1.2. Tratamiento de imágenes.....	17
3.2.1.3. Tratamiento final de imágenes.....	19
3.2.1.4. Cálculo del índice de calidad ambiental en el periodo establecido ...	19

3.2.2.Evaluación de la calidad ecosistémica multitemporal producto del cambio de uso de suelo	22
3.2.2.1. Recopilación de información ecosistémica	22
3.2.2.2. Determinación de la unidad ecosistémica	23
3.2.2.3. Cuantificación de unidades ecosistémicas.....	23
3.2.3.Propuesta de estrategias para el uso adecuado del suelo	24
3.3. Materiales y equipos	25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1. Determinación de la calidad ambiental en el periodo 2001-2023.....	26
4.1.1.Índice Kappa y coeficiente de coherencia	26
4.1.2.Efectos ambientales del cambio de uso de suelo y calidad ambiental.....	26
4.2. Evaluación la calidad ecosistémica multitemporal producto del cambio de uso de suelo	30
4.3. Propuesta de estrategias para el uso adecuado del suelo	34
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	42
5.1. Conclusiones	42
5.2. Recomendaciones	43
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de forma	11
Tabla 2. Datos generales de imágenes empleadas.....	17
Tabla 3. Categoría de concordancias de validación para el índice Kappa	19
Tabla 4. Escala de importancia asignada para la matriz de Saaty	20
Tabla 5. Análisis multicriterio de las coberturas vegetales y/o uso de suelo	20
Tabla 6. Estandarización de datos de cobertura y uso de suelo	21
Tabla 7. Materiales y equipos	25
Tabla 8. Calidad ambiental año 2001 (km ²).....	27
Tabla 9. Calidad ambiental año 2023 (km ²).....	27
Tabla 10. Matriz de transición de ecosistemas y usos de suelo 2001 – 2023 (%)	30
Tabla 11. Modelo Presión-Estado-Respuesta.....	35
Tabla 12. Estrategias para el manejo adecuado del suelo	37
Tabla 13. <i>Nivel de concordancia de las distintas coberturas del suelo en el año 2001 ...</i>	<i>52</i>
Tabla 14. <i>Nivel de concordancia de las distintas coberturas del suelo en el año 2023 ...</i>	<i>53</i>
Tabla 15. <i>Resumen del cambio neto absoluto del uso de suelo 2001-2023 (%).....</i>	<i>54</i>
Tabla 16. <i>Matriz de transición de ecosistemas y usos de suelo 2001 –2023 (km²)</i>	<i>55</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pirámide de Kelsen de normas vigentes para la conservación y uso de suelo ...	10
Figura 2. Ubicación de la cuenca hidrográfica del río Cristopamba.....	12
Figura 3. Pendientes de la subcuenca hidrográfica del río Cristopamba	14
Figura 4. Ecosistemas de la subcuenca hidrográfica del río Cristopamba.....	16
Figura 5. Imágenes de Satélite Landsat	18
Figura 6. Representación gráfica de matriz de transición	24
Figura 7. Modelo de Presión-Estado-Respuesta (PER) y estrategia.....	25
Figura 8. Cambio de cobertura y uso de suelo entre 2001 y 2023	28
Figura 9. Cambio neto absoluto de cobertura total y usos de suelo (%) 2001- 2023	31
Figura 10. Transición de Ecosistemas y unidades ecosistémicas 2001 – 2023	32

RESUMEN

El estudio se realizó en la subcuenca hidrográfica del río Cristopamba, ubicada en el cantón Cotacachi, provincia de Imbabura. El objetivo fue evaluar la calidad ambiental ecosistémica correspondiente al periodo 2001 – 2023 mediante herramientas de Teledetección. Para determinar la calidad ambiental de los años en cuestión, se obtuvieron imágenes satelitales Landsat, las cuales fueron procesadas en ArcGIS. Se empleó una metodología de clasificación supervisada con firmas espectrales para la identificación de áreas sin vegetación, bosques, cultivos, pastizales, páramo y vegetación arbustiva y se generó información sobre la cobertura y uso de suelo (CUS). El análisis multicriterio (AMC) permitió aplicar el Índice de Calidad Ambiental (ICA) mediante el cálculo de las superficies de las coberturas y el índice de ambiente (*Evi*). Para la evaluación ecosistémica, se utilizó información vectorial de ecosistemas según la clasificación de Sierra publicada por el MAATE. Luego, se empleó la herramienta de geoprocusamiento (*Intersect*) con el CUS generado anteriormente para establecer las unidades ecosistémicas de cada año y finalmente aplicar la matriz de transición. Los resultados indicaron que la calidad ambiental se redujo en un 7,2% durante los 22 años analizados. En cuanto a la calidad ecosistémica, se evidenció una pérdida neta absoluta de ecosistemas naturales como el bosque siempreverde montano (19,12%) y el arbustal siempreverde (0,94%), contrastada con el aumento de cultivos en un 22,53%. Estos cambios se atribuyen a la extensión de tierras cultivadas con productos como granadilla, tomate y naranjilla, lo que ha fragmentado las coberturas naturales y disminuido los servicios ecosistémicos. En conclusión, la evaluación de la calidad ambiental y ecosistémica es fundamental para la preservación de los ecosistemas y el bienestar de la comunidad en la parroquia 6 de julio de Cuellaje.

Palabras clave: calidad ambiental, calidad ecosistémica, cobertura y uso de suelo, ecosistemas, teledetección

ABSTRACT

The study was conducted in the Cristopamba river sub-basin, located in the Cotacachi canton, province of Imbabura. The objective was to evaluate the ecosystemic environmental quality for the period 2001 - 2023 using remote sensing tools. To determine the environmental quality of the years in question, Landsat satellite images were obtained and processed in ArcGIS. A supervised classification methodology with spectral signatures was used to identify areas without vegetation, forests, crops, pastures, moorland and shrub vegetation, and information on land cover and land use (CUS) was generated. The multi-criteria analysis (MCA) made it possible to apply the Environmental Quality Index (EQI) by calculating the areas of cover and the environment index (Evi). For the ecosystem evaluation, vector information on ecosystems was used according to the Sierra classification published by MAATE. Then, the geoprocessing tool (Intersect) was used with the previously generated CUS to establish the ecosystem units for each year and finally apply the transition matrix. The results indicated that environmental quality decreased by 7.2% during the 22 years analyzed. In terms of ecosystem quality, there was an absolute net loss of natural ecosystems such as evergreen montane forest (19.12%) and evergreen shrubland (0.94%), contrasted with a 22.53% increase in crops. These changes are attributed to the extension of land cultivated with products such as passion fruit, tomato and naranjilla, which has fragmented natural cover and reduced ecosystem services. In conclusion, the evaluation of environmental and ecosystem quality is fundamental for the preservation of ecosystems and the well-being of the community in the parish of 6 de Julio de Cuellaje.

Key words: environmental quality, ecosystems quality, land cover and land use, transition matrix, remote sensing.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Revisión de antecedentes o estado del arte

Las acciones humanas han tenido un impacto significativo en los ecosistemas alrededor del mundo, un efecto progresivo que genera una creciente preocupación ambiental en las últimas décadas (Wang et al., 2023). El ambiente al ser el espacio geográfico, lugar donde ocurre la existencia de una variedad de seres vivos se ve afectado por el antropocentrismo una perspectiva que motiva el crecimiento económico y promueve el desarrollo urbano e industrial, causando así un deterioro ambiental (Huo et al., 2023). En este mismo contexto, es la actividad humana la que ha cambiado de forma enérgica los estándares del paisaje en todo el mundo, convirtiéndose en una especie excepcional con la capacidad de transformar la naturaleza (Kumari et al., 2022).

La intervención del ser humano se identifica como el factor primordial detrás del deterioro ambiental, puesto que se perciben retos mundiales como la variabilidad climática, la reducción de la capa de ozono, las sustancias tóxicas, la deforestación, la extinción de especies y la degradación del aire, agua y suelo (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia - UNICEF, 2015). Desde la década de los años 60, la explotación del suelo se ha convertido en una de las transformaciones más significativas, ya que aproximadamente un tercio de la superficie terrestre a nivel global ha experimentado un uso desmedido de la cobertura vegetal natural. (Stephens et al., 2019; Vitousek et al., 1997; Winkler et al., 2021). Estos cambios presentan considerables retos en la disponibilidad de recursos naturales, no obstante, la preservación de ecosistemas mediante áreas protegidas responde a estos desafíos proporcionando una amplia gama de servicios esenciales a través de sus estructuras y funciones (Fu et al., 2013).

Los bosques, al ser sistemas ecológicos singulares con alta biodiversidad y múltiples funciones, están gravemente amenazados por la pérdida de vegetación la cual aumenta la susceptibilidad del suelo y acelera su degradación (Právělie et al., 2020; Barros-Diaz, 2024). La tala de bosques y el deterioro de los ecosistemas constituyen el 77% y 10% respectivamente, de los cambios de cobertura vegetal desde 1850 en los países en desarrollo, lo que ha llevado al aumento de los gases de efecto invernadero y la disminución de los sumideros de carbono (Cortez et al., 2024). Leija y Mendoza, (2021) señalan que la tasa anual de deforestación en América Latina alcanza el 2,5%, lo que resultó en una disminución del 25% de la cobertura forestal entre 1990 y 2000, afectando negativamente el movimiento de organismos y el flujo

de procesos cruciales para la conservación. Muñoz-Marcillo et al. (2020) mencionan que la apertura de mercados nacionales a productos extranjeros promueve actividades extractivas, enfocándose en la explotación intensiva a gran escala de los recursos naturales.

Ecuador, un país con gran biodiversidad tiene una alta tasa de deforestación, debido a factores que transforman la vegetación como las actividades agrícolas, la explotación de madera, los asentamientos humanos e incluso la minería contribuyen al deterioro de los ecosistemas a futuro (Barros-Díaz, 2024). Además, se evidencia que, hasta comienzos del siglo XX, los bosques húmedos de la costa del Ecuador no confrontaban amenazas. Sin embargo, el cambio de uso de suelo ha generado un impacto ambiental considerable debido al aumento de las necesidades antrópicas en vastas extensiones de tierra expandiéndose tanto en términos espaciales como temporales (Ortega & Arias, 2022; Muñoz-Marcillo et al., 2020). La fragmentación de ecosistemas boscosos nativos afecta los servicios ambientales. Por ello, se exige el análisis de cambio de cobertura y uso de suelo para el seguimiento y gestión sostenible de los recursos que responde a las demandas del ser humano y mejora el vínculo ser humano-naturaleza (Zúñiga, 2009; Arias-Muñoz et al., 2024).

1.2. Problema de investigación y justificación

Rodríguez-Morales et al. (2011) señalan que la degradación ambiental se manifiesta cada vez más a nivel global debido al uso inadecuado de los recursos naturales para satisfacer las necesidades básicas, lo que ocasiona cambios en la calidad del medio que no siempre están justificados. Durante más de cinco décadas, los cambios en el paisaje y el uso de la tierra se han incrementado de forma desmedida debido a la rápida expansión de la agricultura hacia los límites forestales convirtiéndose en un desafío tanto a nivel nacional como subnacional (Stanimirova et al., 2022; Mascarenhas et al., 2015). Esto se debe a las alteraciones humanas en los ecosistemas que empeoran el estado de la tierra hasta generar su degradación, lo que repercute en la pérdida y el provisionamiento de servicios ecosistémicos, tanto directa e indirectamente (Fu et al., 2013; Právělie et al., 2020).

Muñoz-Marcillo et al. (2020) afirma que el cambio de cobertura y uso del suelo está impulsado por el rápido crecimiento demográfico y la demanda de productos agrícolas en monocultivos. Factores como la deforestación y la expansión de la frontera agrícola tienen efectos de magnitud variable en el cambio del uso de la tierra, influenciados por el progreso socioeconómico (Winkler et al., 2021). Esta transformación altera la biodiversidad mediante la

fragmentación de hábitats, la distribución de las especies y el agotamiento de los recursos suelo y agua, lo que conlleva a la disminución de la calidad de vida de la población (Stanimirova et al., 2022).

Muñoz-Marcillo et al. (2020) afirma que el cambio de cobertura y uso del suelo está impulsado por el rápido crecimiento demográfico y la demanda de productos agrícolas en monocultivos. Factores como la deforestación y la expansión de la frontera agrícola tienen efectos de magnitud variable en el cambio del uso de la tierra, influenciados por el progreso socioeconómico (Winkler et al., 2021). Esta transformación altera la biodiversidad mediante la fragmentación de hábitats, la distribución de las especies y el agotamiento de los recursos suelo y agua (Stanimirova et al., 2022). Por ello, el conocimiento de técnicas y métodos de manejo sostenible del suelo efectivas permite garantizar la seguridad alimentaria y la disponibilidad de los diversos servicios ecosistémicos vinculados (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2018).

En vista de los factores que ocasionan la degradación de la tierra, vulneran la calidad de entornos ecológicos, contribuyen al cambio climático y representan un reto para la conservación, este estudio se convierte en un componente importante de investigación, concretamente en cuencas hidrográficas (Jing et al., 2024; Xie et al., 2019). Evaluar la calidad ambiental y ecosistémica a través del cambio de cobertura y uso de suelo en la subcuenca del río Cristopamba beneficia a los asentamientos humanos de la parroquia 6 de Julio de Cuellaje mediante la propuesta de estrategias sostenibles para el uso adecuado del recurso suelo, con el fin de maximizar la calidad y bienestar de la localidad (Restrepo-Estrada y Alviar-Ramírez, 2013).

Se han realizado controles regulares que, aunque muchas veces no pueden ser financiados, son adecuados para la toma de decisiones (Muñoz-Iniestra et al., 2009). Actualmente las tecnologías de Teledetección y Sistema de Información Geográfica (SIG) han sido efectivas en identificar sectores degradados en el entorno natural, mejorando la capacidad de monitorear los impactos en los servicios del ecosistema (Kumari et al., 2022; Xie et al., 2019). Por lo tanto, la evaluación sobre la cobertura vegetal y el uso de suelo es crucial para estudios sobre cambios ambientales que abordan desafíos relacionados con dinámicas sociales (Sierra, 1999; Zúñiga, 2009).

En Ecuador, las herramientas de teledetección buscan promover medidas estratégicas, necesarias y correctivas para la preservación de los bienes renovables, las fuentes hídricas y la

vegetación remanente lo que contribuirá a un entorno sano y sostenible (Ruano, 2022). Por lo tanto, este estudio se ve enmarcado en el Plan Nacional Creando Oportunidades 2021 – 2025, sujeto al Plan de Acción Global para el año 2030 vinculado en el Eje de Transición Ecológica, Objetivo 11: Conservar, restaurar, proteger y hacer un uso sostenible de los recursos naturales. Objetivo 13: Promover la gestión integral de los recursos (Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 de Ecuador).

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar la calidad ambiental ecosistémica multitemporal de la subcuenca del río Cristopamba mediante herramientas de teledetección.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la calidad ambiental producto del cambio de uso de suelo en el período de 2001-2023.
- Evaluar la calidad ecosistémica producto del cambio de uso de suelo
- Proponer estrategias para el uso adecuado del suelo en la zona de estudio.

1.4. Preguntas directrices de la investigación

- ¿Cuál es la variación de la calidad ambiental producto del cambio de uso de suelo de la subcuenca del río Cristopamba en el periodo 2001-2023?
- ¿Cuáles son las principales coberturas ecosistémicas que han experimentado un cambio de uso de suelo en la subcuenca del río Cristopamba?

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Marco teórico referencial

Se realizó una revisión de fuentes bibliográficas basada en diversas fuentes confiables en relación con aspectos importantes del tema de investigación. Esta información permitió evaluar y determinar la calidad ambiental de los ecosistemas, los cambios en la cobertura vegetal, las técnicas de teledetección, entre otras variables vinculadas al estudio, con el fin de sustentar e interpretar eficazmente los resultados obtenidos.

2.1.1. Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG)

La teledetección es la técnica que permite obtener información de manera remota sobre la superficie terrestre mediante sensores que capturan y registran la energía emitida por los objetos (Araya-Morales, 2009). Esta información, junto con herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), facilita el conocimiento cartográfico y el procesamiento computarizado de los datos espaciales adquiridos (Santos, 2020). Por ello, es importante destacar que estas dos tecnologías en desarrollo son útiles en áreas específicas, ya que permiten monitorear el estado, los efectos y los cambios ambientales significativos en el paisaje, contribuyendo a mejorar el entorno ecológico y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Zheng et al., 2022; Kumari et al., 2022).

Actualmente, estas tecnologías son capaces de identificar cuerpos de agua natural superficiales y subterráneos, detectar problemas relacionados con la gestión del suelo a nivel local y regional y contribuir positivamente a la protección de tierras degradadas (Xie et al., 2019; Upwanshi et al., 2023). Además, se emplean ampliamente en evaluaciones ecológicas que incluyen la medición de la cantidad de radiación solar absorbida por la vegetación, el cálculo de la huella ecológica, el monitoreo de la abundancia de biomasa y finalmente datos de entrada para proyecciones ecológicas (Liu et al., 2014).

2.1.1.1. Cambio de la cobertura vegetal y uso de suelo

El deterioro de la tierra usualmente se proyecta con disminución de la cubierta nativa pues al ser un componente esencial actúa en la captación del carbono, el flujo de energía y el ciclo hidrológico, pero se ha modificado por la sobreexplotación de los recursos naturales impulsado por las necesidades de la población (Ruano, 2022). Stanimirova et al. (2022) refieren el cambio de cobertura y uso de suelo como las variaciones que se realizan en la vegetación y la ocupación del suelo para diversos fines, a pesar de generarse cambios en las propiedades fundamentales

de los ecosistemas terrestres, éste constituye un componente indispensable de investigación puesto que enfatiza los temas de cambio ambiental global y sostenibilidad.

La cobertura del suelo suele centrarse en transiciones abruptas y discretas sobre el paisaje a diferentes escalas temporales y regionales, por lo que casi no pone interés en las transiciones o cambios a pequeña escala en las clases de cobertura del suelo (Liu et al., 2014). En particular el uso de la tierra hace referencia a los impactos que tienen las actividades sociales y económicas desarrollándose en la superficie para satisfacción de las necesidades (Pineda, 2011). Sin embargo, para Muñoz-Iniestra et al. (2009) el uso del suelo se encuentra influenciado por la tipología de la cubierta vegetal formado naturalmente en el ambiente.

El cambio de uso y cobertura de la tierra ha modificado ampliamente los ecosistemas y ha introducido perturbaciones sustanciales en muchos procesos del sistema terrestre, incluida la dinámica del carbono, el ciclo del agua y balance de energía (Stanimirova et al., 2022). Como consecuencia en muchas partes del mundo, se puede atentar con el equilibrio, funcionamiento y resiliencia de un ecosistema al igual que con la sostenibilidad, incluso cuando las actividades de uso de la tierra no dan como resultado un cambio total en la cobertura (Rodríguez-Morales et al., 2011).

2.1.2. Calidad ambiental

Para comprender el alcance y concepto de calidad ambiental es preciso partir del enunciado *calidad* que hace referencia al “conjunto de propiedades intangibles de un servicio, que permiten dar un juicio de valor y satisfacer la necesidad.” (Real Academia Española, 2006). Además, al medioambiente se comprende como el entorno compuesto por elementos físicos, químicos, biológicos y socioculturales, tanto naturales como artificiales, que experimenta cambios continuos debido a la influencia de actividades humanas o naturales, los cuales afectan y controlan la presencia y diversos cambios en el entorno (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 1994). En este contexto la calidad ambiental tiene varias dimensiones y relaciones, por lo tanto, el entorno urbano es un factor esencial para determinar el bienestar del ser humano simultáneamente con el ambiente (Vásquez & García, 2003).

Las actividades que diariamente desarrolla el ser humano de forma indiscriminada han ocasionado daños ambientales desde su creación, intensificándose cada vez más en las últimas décadas, generando así una crisis ecológica a nivel mundial (Rojas, 2011). Cuando existe una tendencia de disminución o pérdida de los recursos naturales y del bienestar en conjunto con el ámbito ambiental, se fomenta una preocupación por la calidad ambiental tomando en cuenta

procesos de evaluación para el mejoramiento del bienestar poblacional (Otero-Pastor, 1998; Cartay, 2004).

Con el crecimiento de la población mundial, las sociedades aspiran a niveles más altos de desarrollo, por lo que se miden parámetros dentro del entorno que puedan representar un peligro para la sociedad y para la conservación de la naturaleza (Davis et al., 2022). La búsqueda del bienestar requiere un enfoque en los mecanismos de control e indicadores que permiten la identificación del medio deteriorado, convirtiéndose en una amenaza para la seguridad alimentaria y la persistencia de ecosistemas en todo el mundo (Právělie et al., 2020).

Además, la aplicación de la matriz de Saaty, corresponde a priorizar

2.1.2.1. Efectos ambientales

La transformación de la cobertura y utilidad del suelo puede tener una serie de efectos ambientales, porque pueden variar según las circunstancias locales y las malas técnicas agrícolas implementadas. En definitiva, se deben adoptar enfoques sostenibles y considerar los impactos ambientales que se generan (Rodríguez-Morales et al., 2011). Así pues, la correlación ser humano-ambiente es complicada y no es visible en un intervalo de tiempo reducido (Pineda, 2011). La demanda energética, la generación de basura y la falta de suministro de agua contribuyen a la degradación ecológica. (Huo et al., 2023). Es un hecho conocido que las actividades de desarrollo rápido siempre van acompañadas de una serie de problemas ecológicos y se han convertido en una preocupación crucial para las entidades competentes en proporcionar soluciones (Kumari et al., 2022).

Davis et al. (2022) mencionan que un índice ambiental puede reflejar resultados de sanidad y ofrecer a las administraciones políticas comparaciones de las condiciones ambientales entre zonas urbanas y rurales. Además, se basa en algunos impactos ocasionados al suelo como el desgaste superficial, la salinización, la pérdida de la biodiversidad y finalmente la compactación, son factores por evaluarse dentro de un ambiente considerado vulnerable que pasa a formar parte de la conciencia ciudadana, mismos que son responsables de adoptar decisiones a futuro (Rojas, 2011).

2.1.3. Ecosistemas

Ecuador, con una superficie de 256 370 km^2 , se sitúa en un área tropical que pasa por la Cordillera de los Andes. Las costas ecuatorianas son influenciadas por la corriente fría de Humboldt, y la combinación de estos factores crea una amplia diversidad de climas y tipos de vegetación en el país, que alberga 17 058 especies botánicas (De la Torre et al., 2008). Los

bosques secos característicos de la región andina han sido un recurso vital para la población desde tiempos antiguos. Estos bosques proporcionan una variedad de productos, como madera, frutos, resinas, gomas, látex y fibras, y desempeñan un papel integral en la preservación del equilibrio hídrico, la estética del entorno y la protección del suelo contra la erosión, ofreciendo diversos servicios (Chimarro Cumbal et al., 2023).

Según Sierra, (1999), el ecosistema se define como un conjunto de seres vivos que interactúan entre sí con el medio físico, incluyendo todas las características visuales y taxonómicas de la naturaleza que engloba tanto la flora y fauna. El Ministerio del Ambiente del Ecuador, (2012), resalta la importancia de tener unidades ecosistémicas definidas para un sistema de monitoreo efectivo de la biodiversidad, en los ecosistemas específicos como manglar, bosque (siempreverde, inundables, neblina, semidecuido, decuido o seco) matorral, espinar, sabana, páramo, gelidofitia, herbazal.

2.1.4. Calidad ecosistémica

El enfoque ecológico de los recursos naturales se define como toda forma de energía indispensable para el accionar de los seres vivos en el entorno (Otero-Pastor, 1998), no obstante, el aprovechamiento en exceso conlleva problemas de destrucción prominentes para los ecosistemas, por esta razón se busca mejorar los ecosistemas, a través de la acción social y un plan de recuperación ecológica (Zuñiga, 2009; Stephens et al., 2019). La evaluación integral de Servicios Ecosistémicos (SE) recibió una atención cada vez mayor, por lo que muchos expertos e investigadores han intensificado el estudio para preservar la capacidad de suministro y mantener la estabilidad del ecosistema (Wang et al., 2022). Siendo así, la calidad del ecosistema, un indicador para diagnosticar si el ecosistema es saludable bajo estrés ambiental y perturbaciones humanas que cuantifican componentes abióticos como el suelo, vegetación y agua superficial, estrechamente relacionados con las funciones que se establecen en el ambiente y se relacionan con el bienestar del ser humano (Zhang et al., 2022).

2.1.5. Planeación ambiental estratégica

Se reconoce los factores complejos del medio ambiente son múltiples y complementarios, debido a la ausencia de una cultura de conciencia hacia los recursos naturales (Rodríguez-Morales et al., 2011). De esta manera, en el marco de gobernanza ambiental estructurada en diferentes áreas políticas como la planificación espacial son escasos (Mascarenhas et al., 2015). En la actualidad, se precisa desarrollar una herramienta metodológica para evaluar el uso óptimo del suelo a partir de enfoques ecológicos y económicos, que determine las variaciones

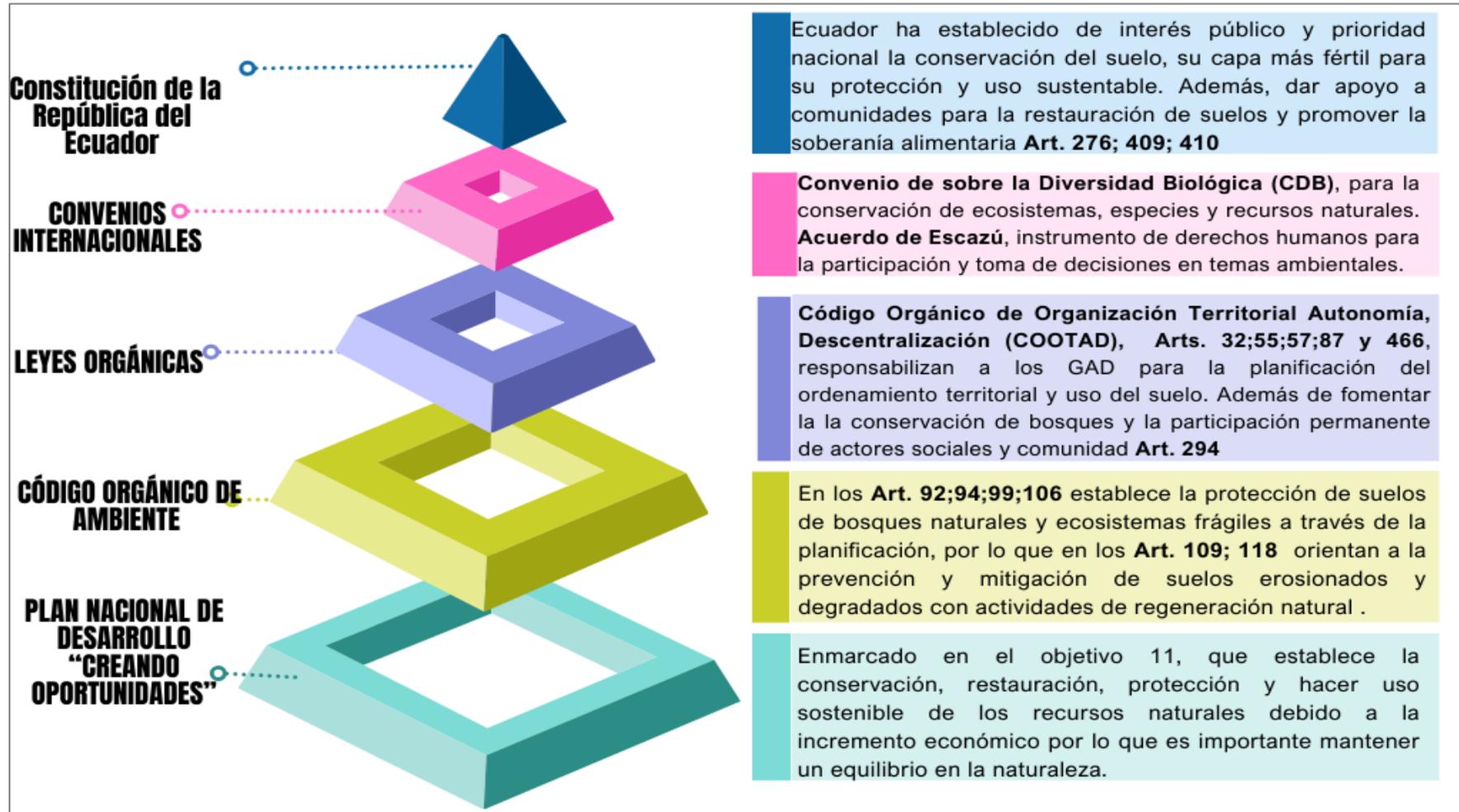
potenciales para la comunidad en el entorno de producción agrícola y al mismo tiempo se fomente la sostenibilidad de los lugares potenciales para la biodiversidad. (Restrepo-Estrada & Alviar-Ramírez, 2013).

La planificación ambiental consiste en el proceso que permite administrar de manera general un sistema hacia un estado con estándares ambientales elevados, a través de la categorización de ideas, conocimiento de las condiciones espaciotemporales y la transformación de información propuesta por cada actor involucrado, fijando objetivos y metas prioritarias (Armijo, 2011; Gao et al., 2017). Asimismo, las organizaciones competentes establecen instrumentos que facilita la valoración, investigación y consideración de los escenarios futuros (Ministerio del Ambiente, 2010).

2.2.Marco legal

Figura 1.

Pirámide de Kelsen de normas vigentes para la conservación y uso de suelo



CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Descripción del área de estudio

La cuenca del río Cristopamba al presentar una superficie de 20 127 ha es clasificada como subcuenca de acuerdo con Arias-Muñoz et al. (2023). Se encuentra ubicada en la parroquia 6 de Julio en el cantón Cotacachi, limita en el extremo noroccidental con el Parque Nacional Cotacachi-Cayapas, al noreste con la comunidad de Guanani y en la zona sur con el Área de Conservación y Uso Sustentable Municipal Intag-Toisán (Mapcarta, 2020). El río Cristopamba se origina en los páramos de Piñán y atraviesa las comunidades de Cuellaje, Playa Rica y El Rosario, donde confluye con varios drenajes tales como: el río Negro, el río Nápoles, el río Meridiano, el río Marañón, el río Magdalena, el río San Nicolás, el río San Joaquín, el río San Miguel, la quebrada Los Rojas, la quebrada Primavera, la quebrada La Paz, la quebrada Las Muertas, la quebrada La Despedida y Los Pasos (PDOT “6 de Julio de Cuellaje,” 2019).

Se determinó los parámetros de forma del área de estudio como se ve observa en la Tabla 1 permitiendo la planificación exitosa del uso del suelo para comprender la estructura y dinámica de la cuenca esencial para la conservación del ambiente.

Tabla 1.

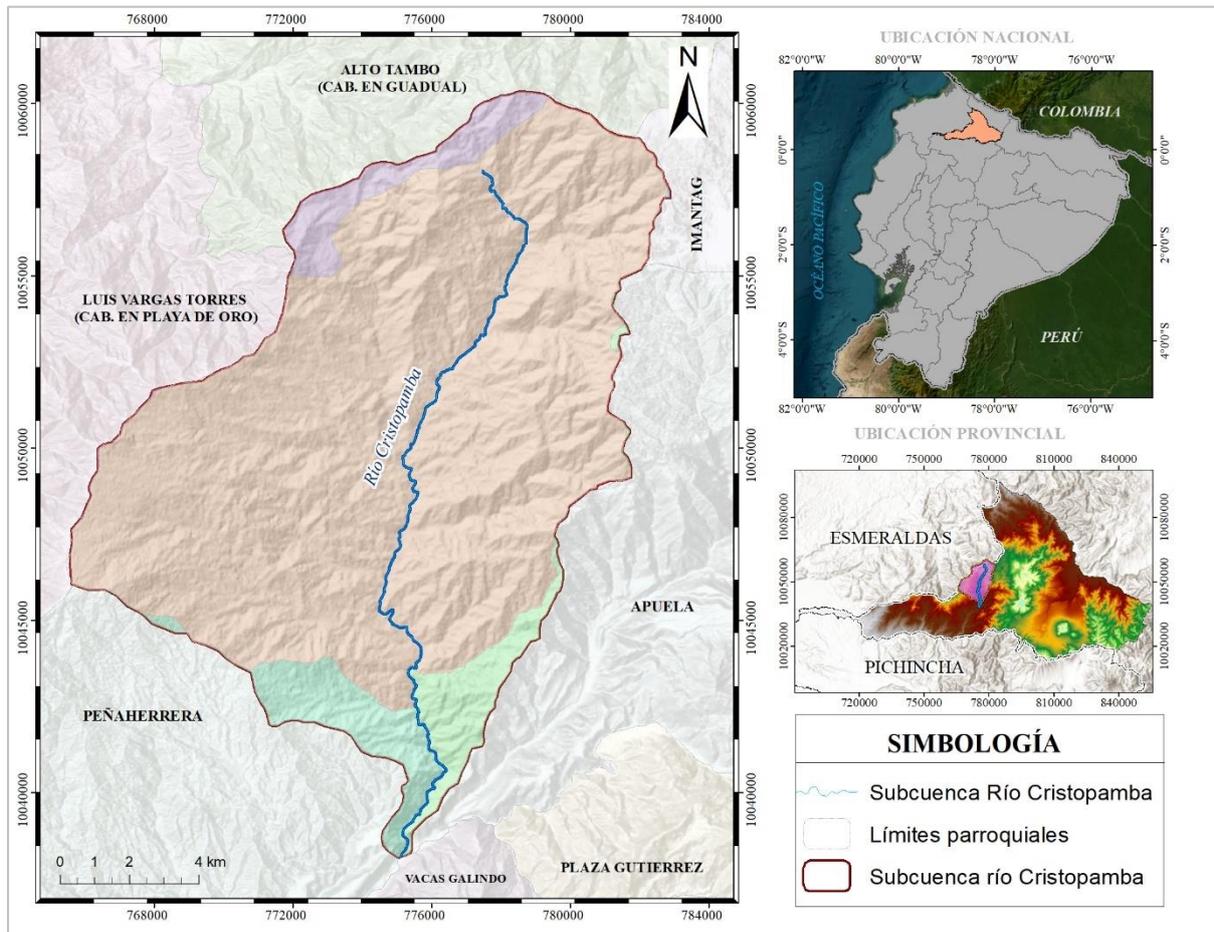
Parámetros de forma

Parámetro	Cálculo	Interpretación
Área	201,27 km ² 20 127 ha	Se clasifica en subcuenca
Perímetro	67,75 km	Medio
Longitud axial	22,50 km	Distancia máxima
Ancho promedio	8,95 km	Distancia perpendicular a la longitud axial.
Altitud mínima	1462 msnm	Punto de salida de la cuenca
Altitud máxima	3528 msnm	Parte más alta de la cuenca
Coefficiente de compacidad	1,34	Oval-oblonga
Factor forma	2,52	Achatada, con tendencia a ocurrencia de inundaciones

Nota. Elaboración propia

Figura 2.

Ubicación de la cuenca hidrográfica del río Cristopamba



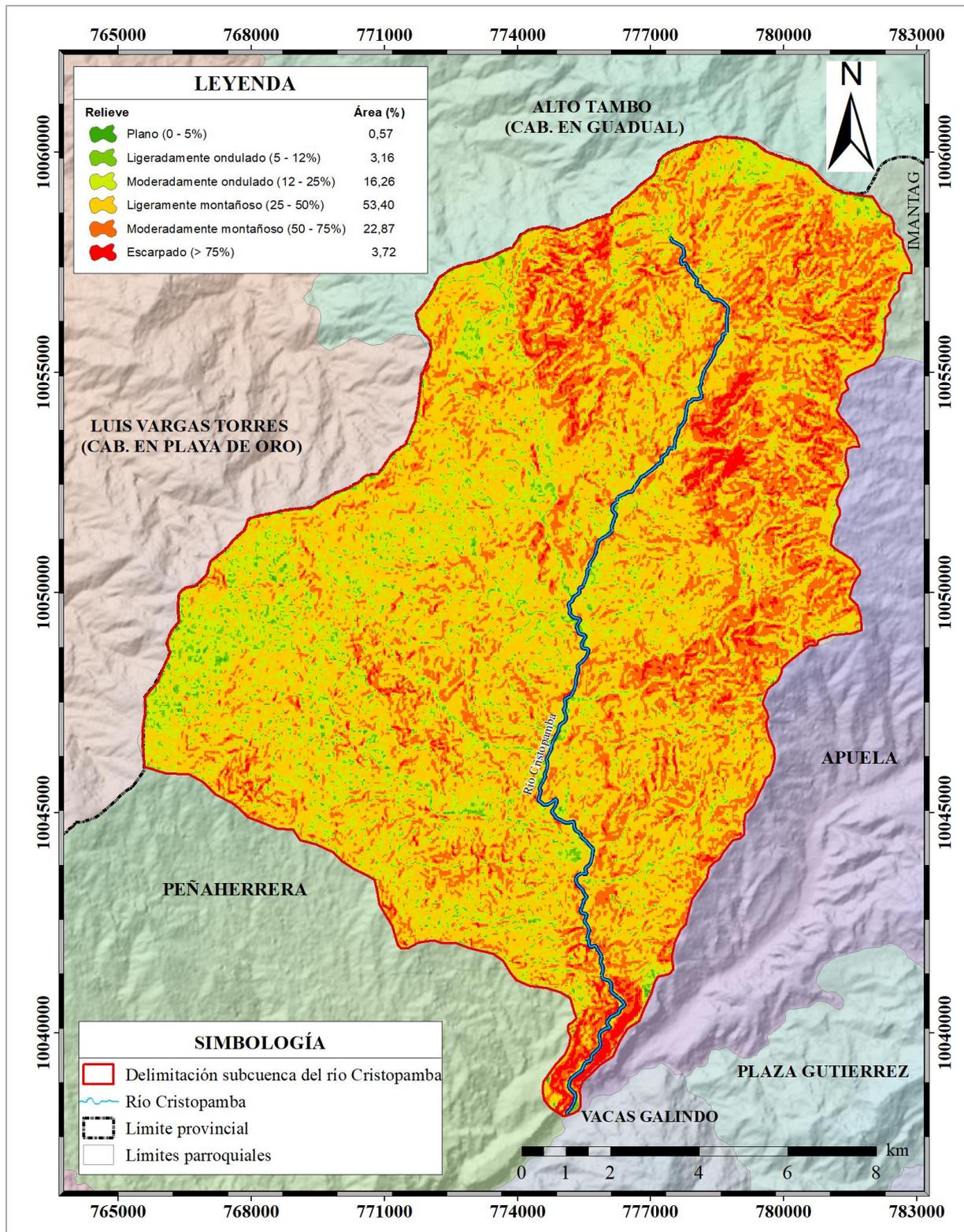
Nota. Elaboración propia

La subcuenca al estar ubicada en las estribaciones de la cordillera presenta un relieve variado e irregular como se indica en la Figura 3. En todo el territorio predomina un relieve ligeramente montañoso en un 53,40% con pendientes de (25-50%) en el que se desarrollan actividades agropecuarias. Seguido, el relieve moderadamente montañoso con el 22,87% del total de la subcuenca tiene pendientes (entre 50-75%) en el que se encuentran bosques en estado natural. A continuación, el relieve moderadamente ondulado con el 16,26% y con rango de (12-25%) donde se desarrollan cultivos en menor extensión. Luego, el relieve escarpado que representa el 3,72% con pendientes de rango (mayores a 75%) en el que se realizan actividades de conservación puesto que es un área adyacente al Parque Nacional Cotacachi-Cayapas. Finalmente, el relieve ligeramente ondulado y plano con pendientes de rango (5-12%) y (0-5%) son lugares dedicadas principalmente a actividades agrícolas y preferidas para asentamientos humanos. (PDOT “6 de Julio de Cuellaje,” 2019).

En áreas de relieve plano hasta ligeramente montañoso, las actividades agropecuarias son notables con cultivos de ciclo corto, largo e incluso bajo invernadero, junto con la cría y manejo de animales bovinos, porcinos y aves de corral a escala familiar como de producción de alimentos y productos derivados. La agricultura desempeña un papel vital en la parroquia, con una amplia diversidad de productos como la granadilla (*Passiflora ligularis* Juss), naranjilla (*Solanum quitoense*), fréjol (*Phaseolus vulgaris*), tomate de árbol (*Solanum betaceum*), café (*Coffea arabica*), aguacate (*Persea americana*), plátano (*Musa × paradisiaca*), zanahoria (*Daucus carota*), maíz (*Zea mays*), guabas (*Inga edulis*), naranjas (*Citrus × sinensis*) y otros. En términos de distribución en el mercado sobresale el fréjol y la granadilla. Por otro lado, el maíz resalta como un producto para el autoconsumo, mientras que el café se posiciona como el proyecto cafetalero principal destinado al acopio y procesamiento para impulsar la economía local de la parroquia (PDOT “6 de Julio de Cuellaje,” 2019).

Figura 3.

Pendientes de la subcuenca hidrográfica del río Cristopamba



Nota. Elaboración propia

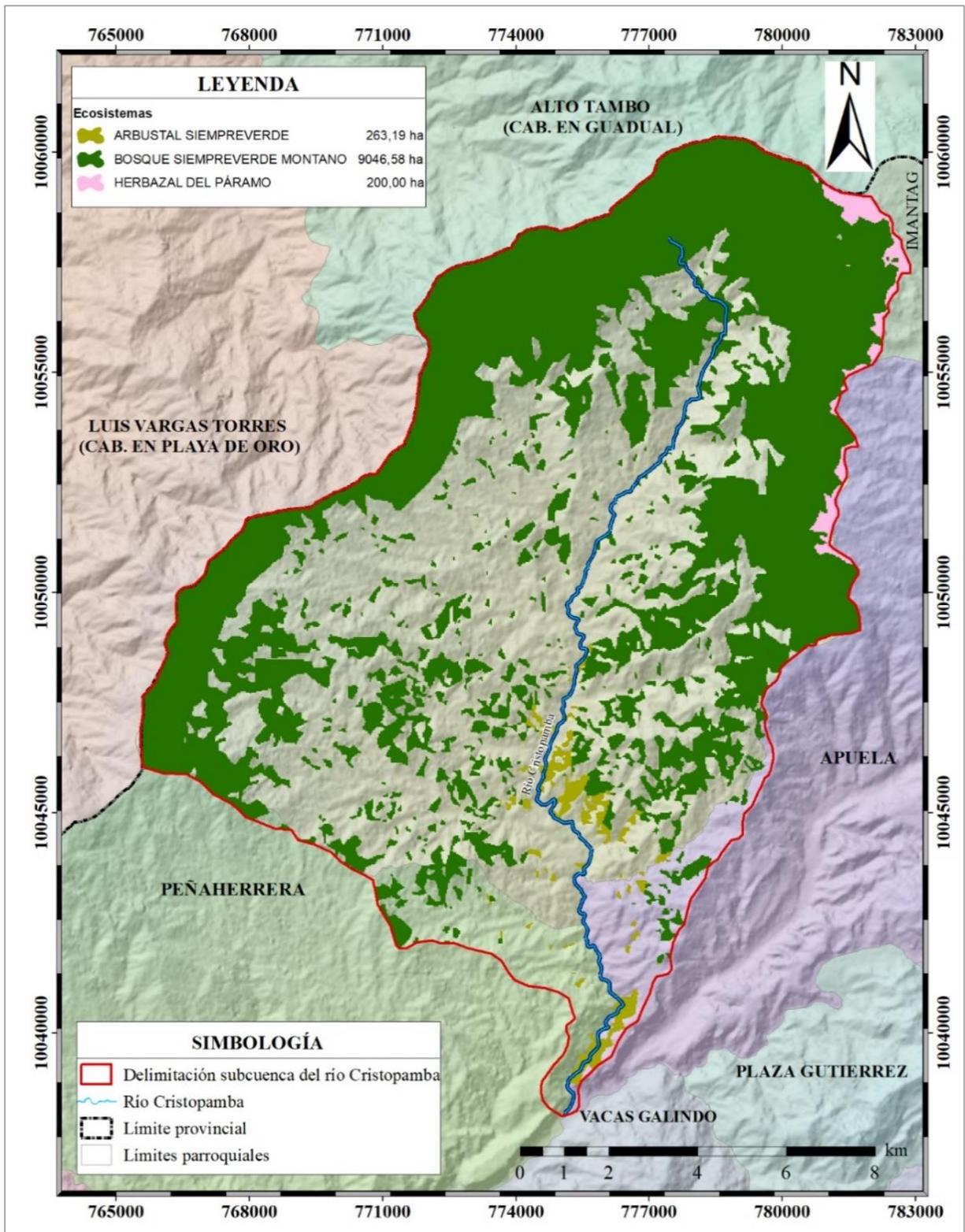
De acuerdo con el PDOT “6 de Julio de Cuellaje,” (2019), la parroquia posee un clima subtropical con una temperatura media anual de 10 a 20 °C y una precipitación anual promedio de 1500 – 2200 mm. Los ecosistemas terrestres predominantes son: el bosque siempreverde montano de cordillera occidental de los Andes, bosque siempreverde montano alto y el bosque siempreverde montano bajo, que cubren una superficie total de (9 046,58 ha), así como el arbustal siempreverde (263,19 ha) y herbazal de páramo (200,0 ha), como se muestra en la Figura 4.

Según la clasificación de Sierra, (1999), estas formaciones vegetales son diversas y albergan especies florísticas y faunísticas propias del lugar. En cuanto a la flora, este territorio se constituye como una reserva natural con especies como: dialoman (*Delostoma integrifolium*), guandero (*Clusia* sp), aguacatillo (*Persea schiedeana*), tura (*Calliandra pittierii*), roble (*Quercus robur*), mayo (*Sophora macrocarpa*), laurel (*Laurus nobilis*), palma de cera (*Ceroxylon quindiuense*), cedro (*Cedrus*), sangre de drago (*Croton lechleri*), guayacán (*Guaiacum officinale*), motilón (*Hieronyma macrocarpa*), huachig, arrayán (*Luma apiculata*). La fauna incluye especies como: danta (*Tapirus terrestris*), guanta (*Cuniculus paca*), serpientes, erizo (*Erinaceinae*), zorro (*Pseudalopex culpaeus*), ardillas (*Sciurus stramineus*) y raposas (*Didelphis pernigra*). Además, habita especies con alto valor endémico, como el Zamarrito pechinegro (*Eriocnemis nigrivestis*) y la palama de cera (*Ceroxylon quindiuense*) que sirve de alimento y hábitat para especies como loro orejiamarillo (*Ognorhynchus icterotis*) y el perico cachetidorado (*Leptosittaca branickii*) (Prefectura de Imbabura, 2020).

En el desarrollo del trabajo se considerará el nombre común de especies de flora y fauna.

Figura 4.

Ecosistemas de la subcuenca hidrográfica del río Cristopamba



Nota. Elaboración propia

3.2.Métodos

La investigación sigue un diseño longitudinal no experimental, por ello, se organizó en tres fases para alcanzar los tres objetivos establecidos.

3.2.1. Determinación de la calidad ambiental en el periodo 2001-2023

Para determinar la calidad ambiental actual a través del cambio de cobertura y uso de suelo se empleó la metodología de clasificación supervisada a partir del procesamiento de imágenes satelitales, por consiguiente, se ejecutaron los siguientes pasos:

3.2.1.1. Tratamiento preliminar de imágenes

Se llevó a cabo la búsqueda y descarga de imágenes satelitales LANDSAT del año 2001 y 2023 en el Geoportal *Earth Explorer* proporcionadas por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), las cuales se detallan a continuación en la Tabla 2. Se consideraron imágenes con una buena resolución atmosférica para luego realizar las respectivas correcciones tanto geométricas como radiométricas (Kumari et al., 2022). Esto facilita la identificación de coberturas presentes en el área de estudio y permite analizar su evolución a través del tiempo con ayuda de sistemas de información geográfica como lo es ArcGIS 10.8.

Tabla 2.

Datos generales de imágenes empleadas

Satélite	Sensor	Fecha de adquisición	Código de la imagen	N° de bandas empleadas
Landsat 7	ETM+	03/11/2001	LE07_L1TP_0100	6 bandas
			60_20011103_20200917_02_T1	
Landsat 9	OLI-2 TIRS-2	13/09/2023	LC09_L2SP_0100	8 bandas
			60_20230913_20230915_02_T1	

Nota. Elaboración propia

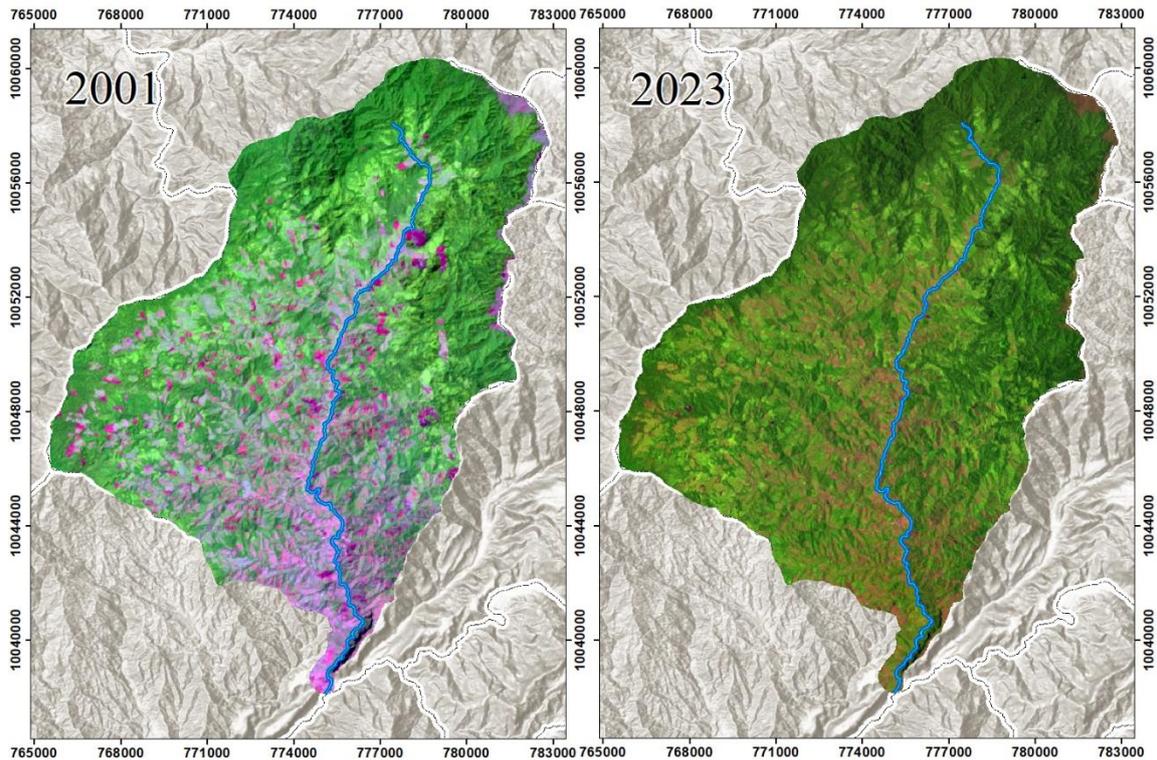
3.2.1.2. Tratamiento de imágenes

Al software se añadió únicamente las bandas con una resolución de 30 metros y se integraron utilizando la herramienta *Composite bands*. Posteriormente, se empleó la herramienta *Extract by mask* para recortar las imágenes conforme al polígono del área de estudio, de modo que al definir la proyección del ráster y observar la vegetación natural la combinación de bandas sea (6,4,3) y (6,5,2) para LANDSAT 7 y LANDSAT 9 respectivamente. Previo a la implementación del método supervisado se recopilaron datos en campo para conocimiento e

interpretación de cada píxel de la imagen, permitiendo asignar 1 de las 6 categorías predefinidas de cobertura del suelo: cultivos, pastizales, área sin vegetación, bosque, páramo y vegetación arbustiva, estableciendo 570 firmas espectrales para cada una de las imágenes conforme la superficie del área.

Figura 5.

Imágenes de Satélite Landsat



Nota. **A:** Imagen Satelital Landsat 7, capturada el año 2001. **B:** Imagen Satelital Landsat 9 capturada en el año 2023.

Establecido el tamaño de la muestra, se seleccionó aleatoriamente el 25% de las firmas espectrales para la validación de cada categoría, mientras que el 75% restante se utilizó para el entrenamiento de las coberturas del suelo, siendo este método matemático un cálculo de proporciones que garantiza un análisis y clasificación preciso (Gallo-Ramírez, 2002). Se generó un archivo de firmas reales para aplicar el algoritmo de máxima verosimilitud conocido como *Maximum likelihood classification* (Escandón Calderón et al., 2018), evidenciando así la clasificación de cobertura y uso de suelo (CUS). Finalmente, la información generada se convirtió a formato vectorial “shapefile” y se empleó la herramienta *Eliminate* para remover

polígonos con un umbral menor o igual a una hectárea, puesto que existe la probabilidad de incluir celdas erróneas o superficies no válidas.

3.2.1.3. Tratamiento final de imágenes

Inicialmente se utilizó la herramienta *Extract multi values to point*, para extraer las firmas coincidentes con los valores originales de cobertura y los encontrados en el ráster generado. Luego, de obtener un análisis estadístico de frecuencia en un entorno SIG los resultados fueron verificados mediante la matriz de confusión (<https://marcovanetti.com/pages/cfmatrix/>), para evaluar la concordancia entre las predicciones del modelo y las clases reales de cobertura del suelo. De esta forma el índice Kappa permitió obtener una mayor precisión en cuanto a la validación del modelo y el CUS generado, según el rango de concordancia establecido por Landis & Koch en el año 1997 como se muestra en la Tabla 3. Además, para mayor presión y certeza se obtuvo información de cobertura vegetal a escala 1:50.000 de los años 2000 y 2022 proporcionada por el Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica.

Tabla 3.

Categoría de concordancias de validación para el índice Kappa

Rango	Concordancia
0	Nula
0,01 - 0,20	Leve
0,21 - 0,40	Aceptable
0,41 - 0,60	Moderada
0,61 - 0,80	Considerable
0,81 - 1,00	Casi perfecta

Nota. (Landis & Koch, 1977)

3.2.1.4. Cálculo del índice de calidad ambiental en el periodo establecido

Saaty, (1988) propone la metodología de análisis multicriterio (AMC) o proceso de análisis jerárquico (AHP), en el que se asignan pesos para reflejar su importancia relativa en la decisión final. Los valores son del 1 al 7, donde 1 indica igual importancia y 7 representa absoluta importancia, de igual forma se consideraron valores fraccionarios o decimales opuestos a la evaluación como se observa en la Tabla 4 (Córdova & Gómez, 2021).

Tabla 4.*Escala de importancia asignada para la matriz de Saaty*

Valor	Nivel de importancia
< a 1	Ligeramente menos importante
1	Igual importancia
2 a 3	Ligeramente más importante
4 a 5	Notablemente más importante
5 a 6	Demostrablemente más importante
7	Absolutamente importante

Nota: (Saaty, 1988)

Desde esta perspectiva se evaluó el impacto sinérgico de cada una de las coberturas y/o usos del suelo, es decir una comparación de importancia relativa de una cobertura con respecto a otra bajo la percepción de ser afectadas y más susceptibles a efectos antrópicos (Právělie et al., 2020). El proceso se detalla en la Tabla 5.

Tabla 5.*Análisis multicriterio de las coberturas vegetales y/o uso de suelo*

Coberturas	Bosque	Páramo	Vegetación arbustiva	Pastizales	Cultivos	Área sin cobertura
Bosque	1	2	5	5	7	6
Páramo	0,5	1	2	4	6	7
Vegetación arbustiva	0,2	0,5	1	2	5	4
Pastizales	0,2	0,25	0,5	1	2	3
Cultivos	0,14	0,17	0,2	0,5	1	4
Área sin cobertura	0,17	0,14	0,25	0,33	0,25	1
TOTAL	2,21	4	8,95	12,83	21,25	25

Nota. Elaboración propia

Posteriormente, se dividieron cada uno de los valores asignados para el total correspondiente con la finalidad de estandarizar y obtener valores ponderados que oscilan de 0 a 1, los cuales representan la variable *EVi* (Índice de ambiente del tipo de uso de suelo). Como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6.*Estandarización de datos de cobertura y uso de suelo*

Alternativas	Bosque	Páramo	Vegetación arbustiva	Pastizales	Cultivos	Área sin cobertura	Media Ponderado
Bosque	0,45	0,49	0,56	0,39	0,33	0,24	0,41
Páramo	0,23	0,25	0,22	0,31	0,28	0,28	0,26
Vegetación arbustiva	0,09	0,12	0,11	0,16	0,24	0,16	0,15
Pastizales	0,09	0,06	0,06	0,08	0,09	0,12	0,08
Cultivos	0,06	0,04	0,02	0,04	0,05	0,16	0,06
Área sin vegetación	0,08	0,03	0,03	0,03	0,01	0,04	0,04
TOTAL	1	1	1	1	1	1	1

Nota. Elaboración propia

Para determinar la coherencia de los valores ponderados de la matriz, Arias-Muñoz et al., (2024a) sugiere calcular el coeficiente de coherencia (*CR*) y obtener un valor estrictamente menor al umbral 0,1. Para ello, se utilizó la siguiente fórmula:

$$Ci = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

$$Rci = \frac{1,98 \times (n - 2)}{n}$$

$$CR = \frac{Ci}{Rci}$$

Donde:

λ_{max} → Máximo auto vector de la matriz.

n → Número de variables utilizadas.

Ci → Índice de consistencia.

Rci → Índice de consistencia aleatorio.

CR → Coeficiente de coherencia.

La calidad ambiental de la subcuenca del río Cristopamba se determinó mediante la fórmula del Índice de Calidad Ambiental (ICA). Este índice se calculó considerando la superficie de cada cobertura, la superficie total del área de estudio y el índice de ambiente (*EVi*) según la metodología descrita por (Liu et al., 2014). Con la información obtenida anteriormente en

(km^2) y tras disminuir el margen de error se aplicó la fórmula de calidad ambiental, la cual permitió alcanzar una caracterización cuantitativa del entorno en porcentaje (%). Los valores resultantes permitieron determinar los efectos ambientales significativos resultantes del cambio de cobertura y uso de suelo, impulsado por las áreas agropecuarias (Liu et al., 2014).

$$EV_t = \sum_{i=1}^n LUA_i \times \frac{EV_i}{TA}$$

Donde:

EV_t → Índice de calidad ambiental de la región durante un período establecido.

LUA_i → Área del tipo de uso del suelo en el período.

EV_i → Índice de ambiente de tipo de uso del suelo en el período.

TA → Área total del área de estudio.

3.2.2. Evaluación de la calidad ecosistémica multitemporal producto del cambio de uso de suelo

Para evaluar la calidad ecosistémica multitemporal durante un periodo de 22 años, se cuantificó la variación de las coberturas naturales en los años 2001 y 2023. Este proceso se lo dividió en tres pasos metodológicos:

3.2.2.1. Recopilación de información ecosistémica

El archivo en formato shapefile a escala 1: 100.00 fue adquirido a través de la página oficial del Ministerio de Ambiente Agua y Transición Ecológica (MATTE) en el apartado del Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques (<http://ide.ambiente.gob.ec:8080/mapainteractivo/>), mismo que proporciona información detallada de caracterización, localización y distribución de los ecosistemas presentes en el Ecuador Continental según la clasificación de Sierra, (1999). Esta información se desarrolló a partir de modelamientos biofísicos, interpretación de imágenes satelitales (2010-2012) y validación en campo. Utilizando el software especializado en sistemas de información geográfica (ArcGIS), se procesó información para detectar relieves irregulares (ver Figura 3) y simultáneamente permitió la identificación de ecosistemas de importancia y alta diversidad biológica presentes en la subcuenca, validada a través de salidas

de campo. Entre los ecosistemas identificados se encuentra el arbustal siempreverde, el bosque siempreverde montano (Occidental, alto y bajo) y el herbazal de páramo.

3.2.2.2. Determinación de la unidad ecosistémica

Se realizó una intersección entre la cobertura y uso de suelo (CUS) generada para los años 2001 y 2023, y la información de ecosistemas proporcionada por el MAATE, todos en formato “shapefile”. De esta manera, se estableció la unidad ecosistémica considerando el equilibrio ambiental entre la cobertura natural y las actividades humanas. Por consiguiente, se realizó una última intersección entre las unidades ecosistémicas 2001 y 2023 con el fin de calcular el porcentaje absoluto, lo que facilita el diagnóstico de áreas con mayor presión, como lo señala Barros-Díaz, (2024). Esto permite identificar si los diferentes usos de suelo han invadido los ecosistemas o coberturas naturales, proporcionando la posibilidad de cambio en el paisaje y permitiendo monitorear las unidades ambientales-ecosistémicas y biodiversidad nacional (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012).

3.2.2.3. Cuantificación de unidades ecosistémicas

Después de obtener los valores de superficie y porcentaje de la unidad ecosistémica general, estos se integraron en la matriz de transición o matriz de tabulación cruzada propuesta por Pontius et al., (2004). La matriz organiza los datos en filas y columnas, correspondiendo el año 2001 a las filas y el año 2023 a las columnas. Por otro lado, la diagonal principal muestra las unidades ecosistémicas (usos de suelo y ecosistemas) que no han cambiado en el transcurso del tiempo. Además, se calcularon los valores absolutos de pérdidas y ganancias de superficie e inclusive se calculó el límite máximo de cambio (SWAP) y el cambio neto absoluto del suelo lo que permitió diagnosticar la variación de las superficies de las coberturas como se muestra en la Figura 6. Finalmente, se elaboraron mapas temáticos de las unidades ecosistémicas de los años 2001 y 2023 para identificar los cambios en las coberturas ecosistémicas y la variación en ambos años.

Figura 6.

Representación gráfica de matriz de transición

AÑO 1: 2001 ↓	AÑO 2: 2023 →				Total, año 1: 2001	Pérdida
Clase 1 Clase ecosistema 1 Clase 2 Clase ecosistema 2	Clase 1	Clase ecosistema 1	Clase 2	Clase ecosistema 2		
Total, año 2: 2023						
Ganancia						

Nota. Elaboración propia

3.2.3. Propuesta de estrategias para el uso adecuado del suelo

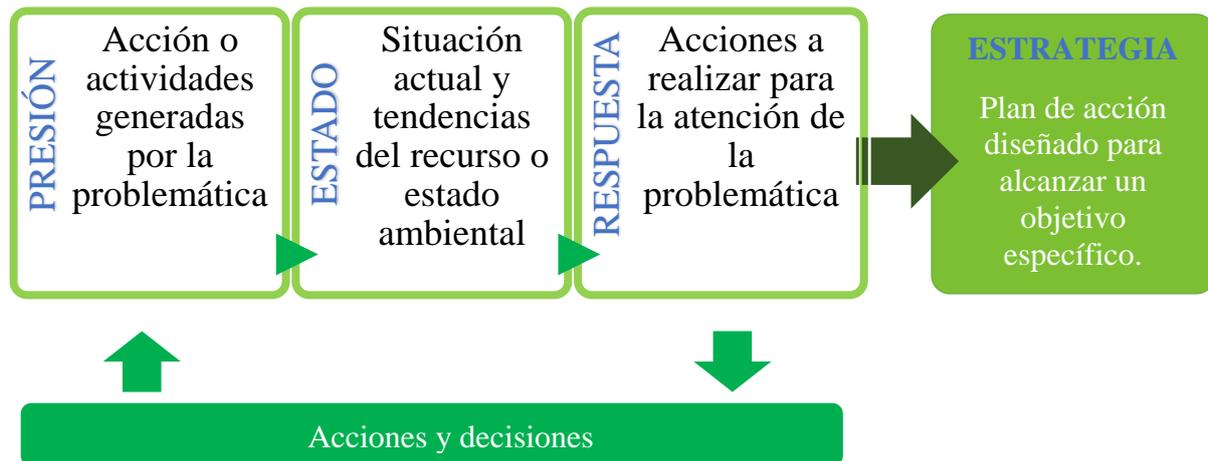
Para la elaboración de estrategias de gobernanza se utilizó el modelo/esquema PER (Presión-Estado-Respuesta), desarrollado en 1970 por el analista canadiense Anthony Friend y más tarde adoptada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en los años noventa. Esto permite analizar el desarrollo sostenible que realizan las autoridades con relación a temas ambientales (Carvajal Ortiz et al., 2019). Esta metodología se fundamenta en una lógica de casualidades, estableciendo una conexión entre las actividades humanas realizadas por la población habitante en el área de estudio (Presión) y su impacto en los recursos naturales existentes en la cuenca del río Cristopamba (Estado), constituido principalmente por los cambios de cobertura vegetal que conllevan a la generación y ejecución de acciones (Respuesta) para abordar la problemática específica a través de estrategias políticas ambientales, sociales y económicas para una adecuada toma de decisiones (Vázquez-Valencia y García-Almada, 2018).

El esquema PER analizó a detalle los vínculos existentes entre las condiciones ambientales por zonas y las actividades humanas antrópicas que se llevan a cabo, planteando así tres interrogantes: *¿Qué está afectando el ambiente?* En donde se obtuvo información de tres actividades principales que actualmente afectan el área de estudio, *¿Cuál es el estado actual de los recursos naturales y el ambiente?* En atención a las alteraciones en la cobertura vegetal debido al uso del suelo y otras causas como la erosión que promueven el deterioro del mismo,

finalmente ¿Qué se está haciendo y que se podría proponer al respecto? Con las preguntas antes mencionadas se plantean indicadores ambientales que permiten sistematizar la información, evaluar y planear estrategias con prioridades ambientales hacia el desarrollo sostenible (Pandía Fajardo, 2016). Tal como lo muestra la Figura 7.

Figura 7.

Modelo de Presión-Estado-Respuesta (PER) y estrategia



Nota. Elaboración propia

3.3. Materiales y equipos

Para llevar a cabo este trabajo de investigación, se emplearon los materiales y equipos detallados en la Tabla 7.

Tabla 7.

Materiales y equipos

Materiales de campo	Materiales de oficina
Navegador GPS	Computador portátil
Cámara fotográfica	Software ArcGIS 10.8
Mapas del área de estudio	Papel bond
Libretas de campo	Disco duro 1TB
Entrevistas	Impresiones
Alquiler de vehículo	Imágenes Satelitales Landsat

Nota. Elaboración propia

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se describen los resultados obtenidos de los tres objetivos específicos planteados referente al análisis de cambio de cobertura y/o uso del suelo.

4.1. Determinación de la calidad ambiental en el periodo 2001-2023

En el periodo 2001-2023 se obtuvieron datos del índice Kappa, coeficiente de coherencia y matriz de transición.

4.1.1. Índice Kappa y coeficiente de coherencia

Respecto a la validación de la clasificación supervisada, la matriz de confusión reportó valores Kappa de 0,97 y 0,93 para las imágenes satelitales de los años 2001 y 2023 respectivamente. Representó una estimación verificada en campo de las coberturas de uso de suelo, ejecutadas en el software ArcGIS según el rango de concordancia establecido casi perfecto que va de 0,81 - 1,00 (Anexos 1 y 2). Además, la consistencia de la matriz de Saaty fue de 0,086 lo que indica que los criterios son coherentes debido a que este valor se encuentra por debajo del umbral 0,1, tal como lo plantea Arias-Muñoz et al., (2024b) en su estudio de susceptibilidad para incendios a través de métodos multicriterio.

Liu et al. (2014) indicaron que combinar el método de clasificación de máxima verosimilitud con datos en campo y métodos visuales mejoró la precisión de los coeficientes Kappa, obteniendo buenos resultados de 0,83, 0,84, 0,84 y 0,81 para los años 1996, 2000, 2006 y 2010 respectivamente. En el estudio de Xie et al. (2019) destaca la importancia de las observaciones de campo y las imágenes de alta resolución para mejorar la clasificación supervisada. Sin embargo, los autores realizaron una evaluación general de precisión utilizando la matriz de error de población, que considera todas las áreas del mapa con el objetivo de reducir sesgos. De acuerdo con Escandón Calderón et al. (2018) el algoritmo clasificador de máxima verosimilitud es una técnica básica que requiere de suficientes muestras de entrenamiento de datos espectrales por clase y buena capacidad de interpretación visual. Además, Martínez et al., (2020) señala que la consistencia de criterios en la matriz de Saaty es aceptable cuando los valores se sitúan por debajo del umbral del 10 %, como se estableció en este estudio.

4.1.2. Efectos ambientales del cambio de uso de suelo y calidad ambiental

El índice de Calidad Ambiental (ICA) determinó que, en el periodo de 22 años el impacto ambiental en la cuenca hidrográfica repercute en las coberturas de: bosque, páramo y vegetación arbustiva. El bosque es la cobertura con mayor efecto ambiental negativo puesto

que se reduce conforme transcurre el tiempo, por el contrario, las áreas sin vegetación presentaron un efecto positivo, puesto que se recuperan de forma natural o antrópica. En 2023, se observa un efecto ambiental crítico debido al crecimiento acelerado de los cultivos. Sin embargo, los pastizales muestran un efecto ambiental moderado, ya que no disminuyen de forma drástica ni significativa en el tiempo, como se muestra en las (Tablas 8 y 9) y para mejor visualización (Figura 7).

Tabla 8.

Calidad ambiental año 2001 (km²)

2001					
COBERTURAS	LUA	Evi	TA	Evt	%
Bosque	103,05	0,41		0,2100	21,00
Páramo	2,03	0,26		0,0026	0,26
Vegetación arbustiva	33,92	0,15	201,47	0,0246	2,46
Pastizales	14,77	0,08		0,0061	0,61
Cultivos	33,56	0,06		0,0104	1,04
Área sin vegetación	13,88	0,04		0,0025	0,25
TOTAL	201,21	1	Suma	0,2562	25,62

Nota. EV_t : Índice de calidad ambiental de la región durante un período establecido. LUA_i : Área del tipo de uso del suelo en el período. EV_i : Índice de ambiente de tipo de uso del suelo en el período. TA : Área total del área de estudio.

Tabla 9.

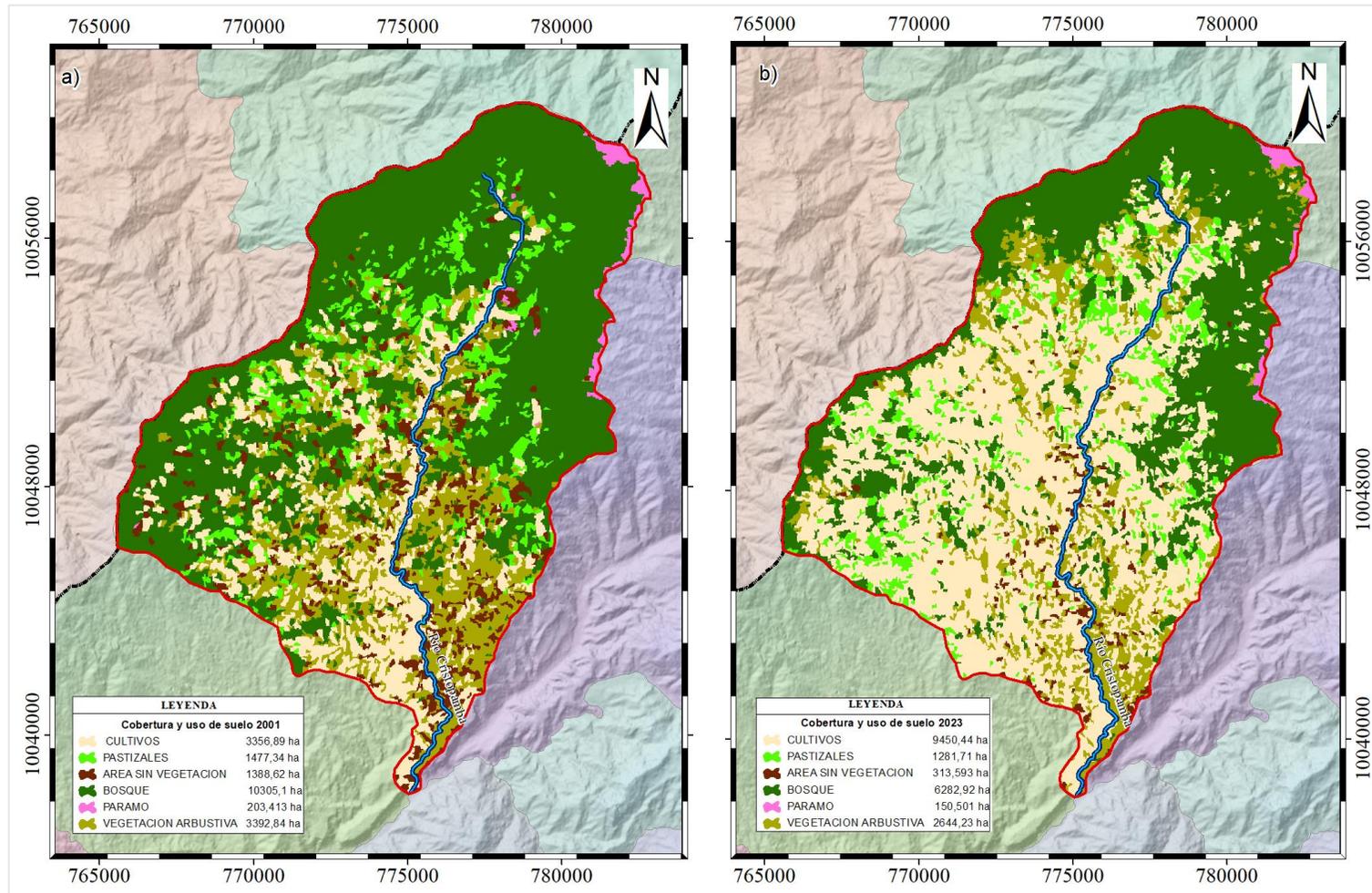
Calidad ambiental año 2023 (km²)

2023					
COBERTURAS	LUA	Evi	TA	Evt	%
Bosque	62,82	0,41		0,1280	12,80
Páramo	1,50	0,26		0,0019	0,19
Vegetación arbustiva	26,44	0,15	201,47	0,0192	1,92
Pastizales	12,81	0,08		0,0053	0,53
Cultivos	94,50	0,06		0,0292	2,92
Área sin vegetación	3,14	0,04		0,0006	0,06
TOTAL	201,21	1	Suma	0,1842	18,42

Nota. Elaboración propia

Figura 8.

Cambio de cobertura y uso de suelo entre 2001 y 2023



Nota. a) CUS del año 2001, b) CUS del año 2023

En el año 2001 se registró un valor ICA de 25,62% mientras que en el año 2023 el ICA fue de 18,42%, representando una reducción del 7,2% de la calidad ambiental en el periodo establecido dentro de la subcuenca del río Cristopamba. Esta disminución se atribuye principalmente a la expansión de la frontera agrícola, la apropiación de tierras, la deforestación y la deficiente organización territorial en áreas frágiles como bosques, páramos y vegetación arbustiva cercana al río. Arias-Muñoz et al. (2024a) menciona que la tendencia a perder coberturas naturales como bosques y páramos y ganar coberturas antrópicas como cultivos es común en cuencas hidrográficas andinas. Cabe destacar que estas transiciones generan efectos ambientales negativos y críticos en relación con el cambio de cobertura, reduciendo la calidad ambiental y por ende la calidad de vida de la población local, además de acelerar el agotamiento de los recursos naturales (Córdova y Gómez, 2021).

En el contexto nacional, los resultados obtenidos muestran afinidades con estudios realizados en cuencas hidrográficas, donde es evidente la disminución de coberturas naturales y la degradación de la tierra a lo largo del tiempo (Prävālie et al., 2020; Liu et al., 2014). El estudio de Arias-Muñoz et al. (2024a), observó la pérdida de bosques, matorrales y pastos entre 1996-2018 cuenca hidrográfica media-alta del río Mira, atribuida específicamente al uso excesivo del suelo y la demanda de bienes que conlleva a la expansión de tierras de cultivo y asentamientos humanos incluso en las proyecciones futuras. También se destaca la pérdida de pastos, posiblemente debido a similitudes espectrales que llevaron a clasificaciones incorrectas. Por otro lado, Barros-Díaz, (2024), detectó una disminución de áreas sin vegetación entre los años 2000-2022, desconociéndose si el aumento de la cobertura se debe a la reforestación o la conversión en zonas agrícolas o simplemente sucedió tras una regeneración natural como se logró determinar en el estudio de (Ortega y Arias, (2022).

Aunque los servicios ecosistémicos son fundamentales, los bosques primarios se están degradando a un ritmo acelerado debido a la expansión de las áreas de desarrollo y la pobreza (Ortega y Arias, 2022). Por ello Barros-Díaz, (2024) en el estudio realizado evaluaron y mapearon la calidad de la cobertura arbórea en Ecuador, encontrando que predomina una calidad alta superior al 80%, sin embargo, esta disminuye en un 11,56 % y 61,88 % a inicios del 2022. Aunque algunos estudios no se centren en la zona rural, investigaciones como la de Sánchez, (2017) ha evaluado la calidad ambiental mediante análisis multicriterio y de componentes principales, indicando que la calidad ambiental en las ciudades es generalmente deficiente y varía según la época del año. Por el contrario, el estudio de Liu et al. (2014) mostró una mejora de la calidad ambiental en los distritos suburbanos de Guiyang en los años 1996-

2010 destacando que la calidad ambiental varía en zonas urbanas y rurales debido a que, las áreas verdes tienden a mejorar la calidad, mientras que la urbanización tiende a degradarla.

4.2. Evaluación la calidad ecosistémica multitemporal producto del cambio de uso de suelo

La evaluación de la calidad ecosistémica en la subcuenca del río Cristopamba a través de la matriz de transición en un periodo de 22 años (2001 – 2023) permitió identificar que el 73,78% de los ecosistemas y usos del suelo han conservado su superficie. El bosque siempreverde montano fue el ecosistema con mayor persistencia, con el 68,00% de conservación, seguido el herbazal de páramo con 1,92% y el arbustal siempreverde con 1,29%, siendo este el porcentaje que no ha sido afectado por transiciones a usos de suelo. Cabe destacar también que usos de suelo como los cultivos, pastos y áreas sin vegetación persisten e invaden ecosistemas en 1,89%, 0,63% y 0,045% respectivamente. Respecto al porcentaje de ganancia en el año 2023, el uso de suelo que destaca son los cultivos con 22,93% y el de menor ganancia fue el herbazal de páramo con 0,12% como se observa en la Tabla 10.

Tabla 10.

Matriz de transición de ecosistemas y usos de suelo 2001 – 2023 (%)

		Año 2: 2023						Total 2001	Pérdida
		Arbsv	Asv	Bsvm	C	Hdpar	P		
Año 1: 2001	Arbsv	1,29	0,020	0,00	1,05	0,00	0,00	2,36	1,07
	Asv	0,09	0,045	0,34	1,22	0,10	0,11	1,91	1,86
	Bsvm	0,00	0,16	68,00	18,67	0,00	1,47	88,3	20,30
	C	0,04	0,02	0,24	1,89	0,015	0,09	2,30	0,41
	Hdpar	0,00	0,00	0,00	0,00	1,92	0,00	1,92	0,00
	P	0,00	0,00	0,60	1,99	0,00	0,63	3,22	2,59
Total 2023		1,42	0,25	69,18	24,82	2,04	2,3	100	26,23
Ganancia		0,13	0,20	1,18	22,93	0,12	1,67	26,23	

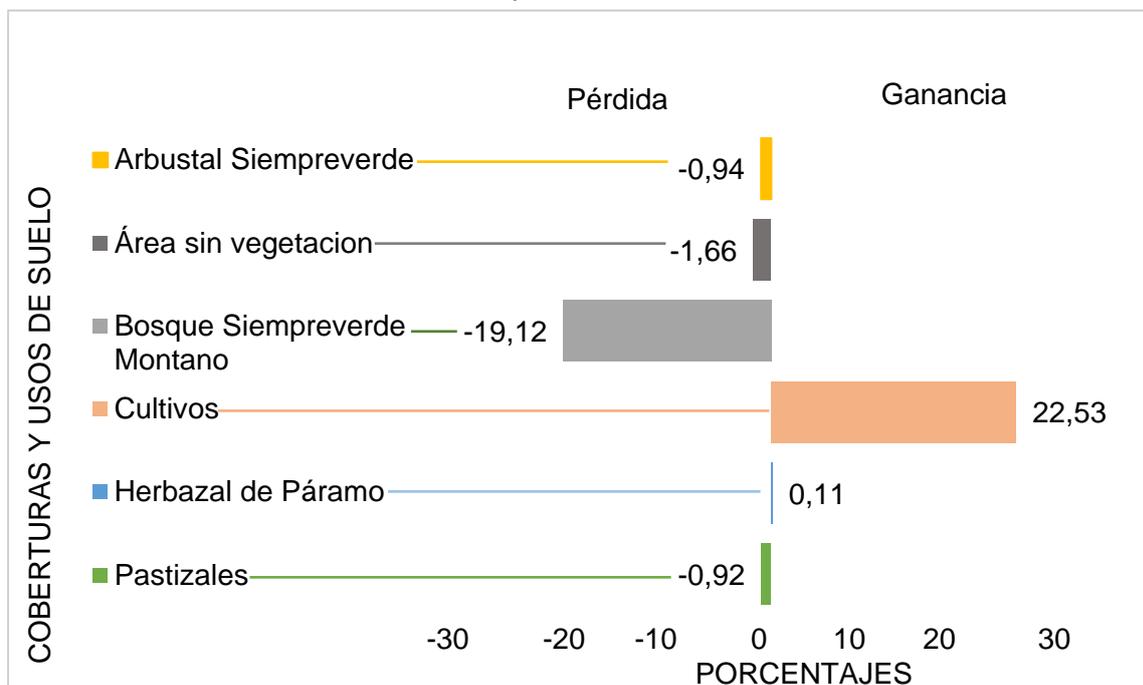
Nota. Arbsv= Arbustal siempreverde; Asv= Área sin vegetación; Bsvm= Bosque siempreverde montano; C= Cultivos; Hdpar=Herbazal de páramo; P= Pastizales

Se evidencia que, en el año 2001 el bosque siempreverde montano (Bsvm) ocupaba un 88,30% del área total, equivalente a 8 385,96 ha. Este ecosistema experimentó pérdidas en un 20,30% de su superficie, lo que representa 1 928,83 ha. Asimismo, el arbustal siempreverde montano (Arbsv), que inicialmente cubría 2,36% (222,45 ha) perdió el 1,07% (102,03 ha) de su superficie y la clase que tuvo menor variación fue el herbazal de páramo. Tanto el bosque como el arbustal son las coberturas naturales frágiles que han experimentado cambios significativos y se ven afectadas por la expansión de la frontera agrícola de cultivos de granadilla y aguacate, extinguiendo especies como el colibrí Zamarrito pechinegro y el loro orejiamarillo. Las Figuras 9 y 10 ilustran las pérdidas y ganancias absolutas de las coberturas y usos de suelo en el transcurso de 22 años, así como las unidades ecosistémicas y su respectiva transición.

Por tanto, es evidente que en la subcuenca del río Cristopamba entre los años 2001-2023, se registró una pérdida neta absoluta de la cobertura natural de bosque siempreverde montano en (19,12%) equivalente a 1 814,92 ha y una ganancia neta en el uso de suelo para cultivos en (22,53%) equivalente a 2 137,95 ha. Además, se destaca que estos cultivos son los principales responsables del cambio abrupto en la disminución de cobertura natural y por ende en la disminución de la calidad ecosistémica en conjunto con los servicios ecosistémicos que proporciona la naturaleza.

Figura 9.

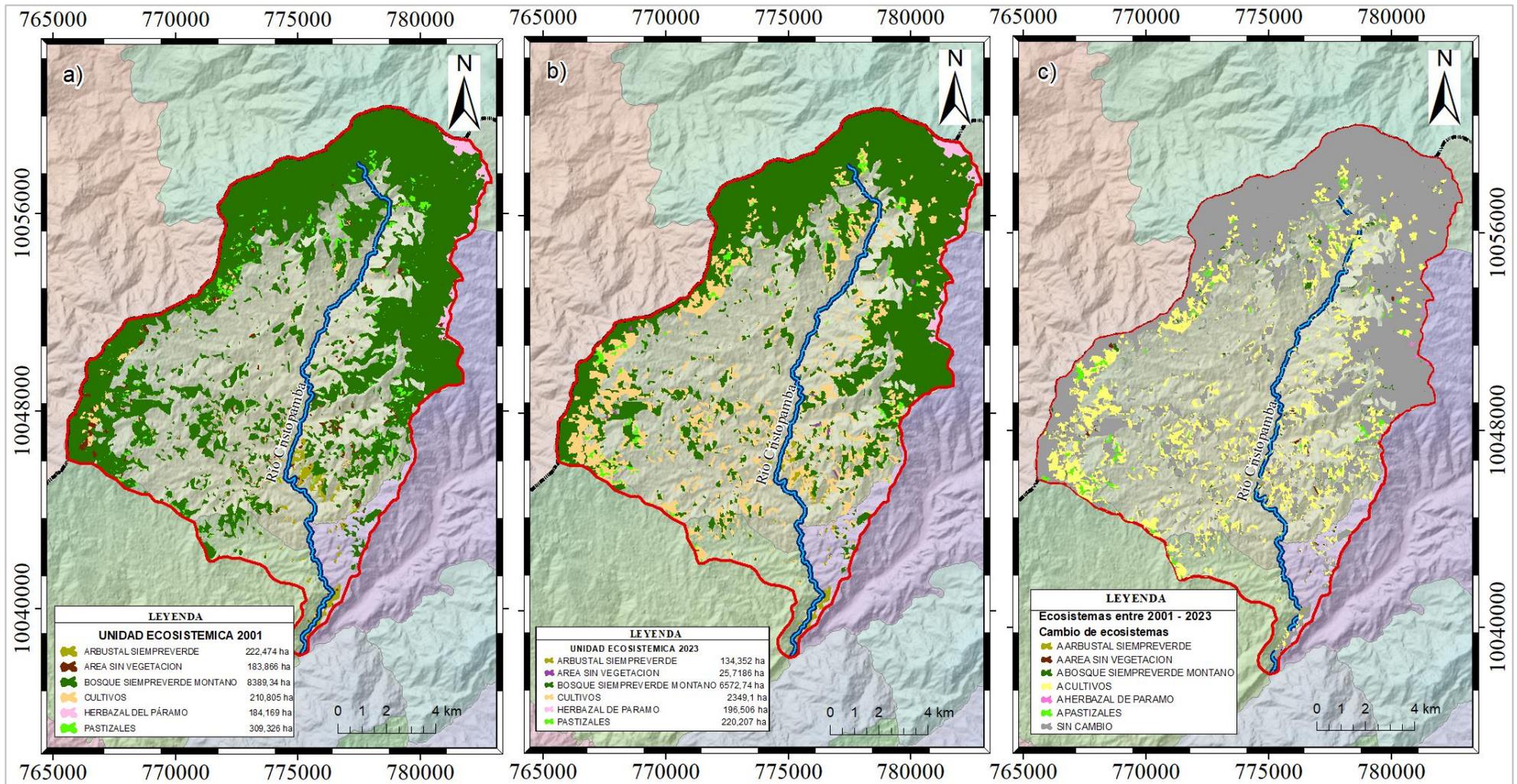
Cambio neto absoluto de cobertura total y usos de suelo (%) 2001- 2023



Nota. Elaboración propia

Figura 10.

Transición de Ecosistemas y unidades ecosistémicas 2001 – 2023



Nota. a) Ecosistemas año 2001, b) Ecosistemas año 2023, c) Transición de los ecosistemas entre 2001 y 2023

Herrera-Feijoo, (2024) establece a la deforestación como la principal amenaza para la biodiversidad en Ecuador en las últimas décadas, siendo este un problema para los ecosistemas puesto que ha sufrido la pérdida de coberturas forestales en 51 700 ha, detallando que las actividades antrópicas continúan agravando con mayor magnitud y concluye que las causas más significativas es la expansión agrícola y ganadera, sin excluir la extracción de los recursos naturales. No obstante, en el artículo de Rivas et al. (2024) determinan la deforestación y cambio de cubierta forestal, dicho estudio fue realizado a nivel nacional en donde los bosques naturales perdieron 21.263 km^2 (2 123,3 ha) en un periodo de tiempo de 28 años desde 1990 a 2018, por lo que los ecosistemas forestales con mayor índices de deforestación son los bosques siempreverdes de tierras bajas del Chocó Andino, que se asemejan al tipo de ecosistemas del bosque siempreverde montano de la cuenca hidrográfica del río Cristopamba.

En el estudio realizado por Abad-Auquilla, (2020) en la cuenca hidrográfica del río Guayllabamba entre 1987 y 2017, se observó una disminución del área de bosques y zonas seminaturales del 64,92% al 44,34%, causada por la urbanización y la construcción en zonas cercanas a quebradas, afectando así la calidad de los servicios ecosistémicos y la fragilidad del paisaje. En este sentido, se destaca la importancia de una planificación adecuada del uso del suelo para conservar la flora y fauna. De la misma manera en la cuenca hidrográfica media-alta del río Mira entre los años 1996 y 2018, se incrementó la frontera agrícola debido al crecimiento poblacional y demanda de alientos en la proyección para el año 2030. (Arias-Muñoz et al., 2024a). En el estudio de Ortega & Arias, (2022), se determinó una pérdida del 13,2% del bosque húmedo en la cuenca del río Cayapas y consigo una alteración en el estado de conservación de especies de flora y fauna, como la palma de cera, *Phytelephas aequatorialis* (tagua), *Carapa guianensis* (tangaré), *Guarea cartaguenya* (chalde).

En la subcuenca del río Cristopamba, de acuerdo con el (PDOT de la Parroquia “6 de Julio de Cuellaje,” 2019) la transición de ecosistemas de bosque siempreverde montano y arbustal siempreverde se ven afectados por el avance de la frontera agrícola correspondiente a cultivos de granadilla, tomate de árbol, naranjilla y aguacate, por lo que se disminuye el hábitat de especies en peligro de extinción como el Zamarrito pechinegro, el loro orejiamarillo, el loro cachetidorado y la palma de cera. Es así como en el estudio de Balvanera, (2012) establece que los bosques tropicales facilitan los servicios ecosistémicos los como la regulación hidrológica (aumento infiltración, aumento de evapotranspiración), regulación climática (captura y

almacenaje de carbono, reducción de temperatura), regulación de calidad del agua, regulación de erosión, regulación de deslaves y regulación de inundaciones. Por lo que la fragmentación de los ecosistemas naturales tiene como consecuencia la pérdida de los servicios ecosistémicos relacionado a las actividades antrópicas.

4.3.Propuesta de estrategias para el uso adecuado del suelo

La resiliencia y las estrategias de gobernanza ambiental están intrínsecamente relacionadas en el contexto del uso adecuado del suelo y el manejo de los cambios en la cobertura. La gobernanza implica la implementación de estrategias que permitan a los ecosistemas y a las comunidades adaptarse, recuperarse y prosperar ante los cambios y desafíos. Estas estrategias no solo mejoran la sostenibilidad ambiental, sino que también contribuyen al bienestar y la seguridad de las comunidades humanas. (Neira et al., 2022). Al aplicar la metodología PER se consideró a las áreas identificadas con un elevado nivel de degradación y deterioro de ecosistemas, basado en la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo (2016), marco legal que promueve el desarrollo territorial equitativo y sostenible de áreas rurales, garantizando la protección del ambiente y la adecuada distribución de recursos naturales.

Además, en el Artículo 411 de la Constitución de la República del Ecuador establece el uso adecuado de los recursos hídricos en cuanto a la conservación, recuperación de las fuentes hídricas precautelando la calidad y volumen del agua, en conjunto con el equilibrio de los ecosistemas, que será usado como prioridad Código Orgánico del Ambiente (2018). Las estrategias de gobernanza identificadas en el área de estudio para el buen manejo de los recursos naturales ante el cambio de cobertura y uso de suelo que son planteadas como se muestran en las Tablas 11 y 12.

Tabla 11.

Modelo Presión-Estado-Respuesta

Presión	Categorización	Estado	Respuesta	Estrategias ambientales
Expansión de la frontera agrícola	Alto	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de cultivos en 22,53% - Efecto ambiental crítico 	<ul style="list-style-type: none"> - Implementación de prácticas agrícolas sostenibles como: la agroforestería, sistemas silvopastoriles y rotación de cultivos - Zonificación de áreas específicas para la expansión agrícola y zonas de alto valor ecológico 	Estrategias B y C
Degradación del suelo y desertificación	Medio	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de monocultivos en 22,53% - Efectos ambientales negativos, críticos y moderados 	<ul style="list-style-type: none"> - Implementación de abonos orgánicos, barreras vivas y reservas forrajes - Reducción la labranza de la tierra a sistemas de siembra con labranza mínima o labranza cero 	Estrategia B
Alteración de servicios ecosistémicos	Alto	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución de la calidad ambiental en un 7,2% - Pérdida de Bosque y arbustal siempreverde montano en 19,12% y 0,94% respectivamente 	<ul style="list-style-type: none"> - Implementación de proyectos de reforestación de ecosistemas degradados y manejo integrado de plagas - Participación en programas de educación ambiental que sensibilicen a la población sobre la importancia de los servicios ecosistémicos 	Estrategias A y D

Continúa

Presión	Categorización	Estado	Respuesta	Estrategias ambientales
Tala indiscriminada de bosques	Alto	- Pérdida de bosque siempreverde montano en 19,12%	- Restauración para la recuperación completa de la funcionalidad y los servicios ecosistémicos con especies nativas - Aplicación de agricultura de conservación integrando árboles y arbustos	Estrategia A
Afectación a la biodiversidad ecológica	Alto	- Pérdida de bosque siempreverde montano en 19,12% - Extinción de especies como: Zamarrito pechinegro, loro orejiamarillo, loro cachetidorado y la palma de cera	- Empleo de tecnologías SIG avanzadas con imágenes satelitales y drones para monitorear los bosques y las actividades de tala y avance agrícola en tiempo real	Estrategias C
Falta de educación y participación de la comunidad	Medio	- Desconexión de la comunidad con el ambiente natural	- Impulsar el desarrollo de emprendimientos y actividades económicas a nivel local, a través del fomento del ecoturismo y el aviturismo. - Desarrollo de políticas en campañas de concientización para la conservación de ecosistemas frágiles naturales	Estrategia D

Nota. Elaboración propia

Tabla 12.

Estrategias para el manejo adecuado del suelo

Literal	Estrategia
A.	Restauración de ecosistemas naturales degradados
B.	Optimización de métodos agrícolas sustentables
C.	Planes de regulación de uso del suelo en zonas rurales
D.	Educación ambiental de conservación en comunidades

Nota. Elaboración propia

ESTRATEGIA A: *Restauración de ecosistemas naturales degradados*

Problemática:

Los diversos problemas que se presentan en la subcuenca del río Cristopamba son factores que generan disminución de la calidad ambiental y ecosistémica. De esta manera, un problema es la tala indiscriminada de los bosques primarios que representa una grave problemática ambiental. La deforestación acelerada está destruyendo hectáreas de bosques naturales lo cual altera los sumideros naturales de carbono y disminuye los servicios ecosistémicos. Es así como se necesitan acciones y estrategias conjuntas para controlar esta problemática y promover prácticas para la restauración de estos ecosistemas.

Justificación:

La subcuenca del río Cristopamba al ser una zona de constante producción agrícola de cultivos de exportación tales como: granadilla, tomate de árbol, naranjilla y aguacate, por lo que, han fragmentado los ecosistemas de bosque siempreverde montano y arbustal siempreverde. Estos ecosistemas han perdido desde el año 2001 al 2023 el 19,12% para el (Bsvm) mientras que para el (Arbs) el 0,94% de su área debido a las actividades antrópicas. Es así que, los ecosistemas naturales son alterados en cuanto a los servicios ecosistémicos que prestan. También, disminuyen su calidad como hábitats como es el colibrí zamarrillo pechinegro, la palma de cera, el loro orejiamarrillo y el loro cachetidorado. Que han sido declaradas en peligro de extinción. Por lo que la restauración de los ecosistemas es fundamental para el equilibrio de la naturaleza y el ser humano.

Objetivo general:

Restaurar la funcionalidad y biodiversidad de ecosistemas naturales degradados a través de especies nativas, promoviendo la recuperación de hábitats, mejorando los servicios ecosistémicos y la resiliencia frente al cambio climático en conjunto con las comunidades locales.

Actores responsables:

Junta parroquial de 6 de Julio de Cuellaje, Gobierno Autónomo descentralizado Cotacachi, Academia UTN y MAATE en conjunto con los responsables de del Parque Nacional Cotacachi Cayapas.

Efectividad: Alta a largo plazo

ESTRATEGIA B: *Optimización de métodos agrícolas sustentables*

Problemática: Degradación del suelo y desertificación

La degradación del suelo y la desertificación son desafíos ambientales que requieren soluciones integrales para su mitigación ya que amenazan la productividad agrícola, la biodiversidad y la economía de las comunidades, debido a la sobreexplotación del recurso suelo y su consecuente degradación. Entre las principales causas de la degradación del suelo y la desertificación están las actividades humanas, el cambio climático y la erosión del suelo que determinan la pérdida de productividad y la vulneración de la seguridad alimentaria. De esta manera, la implementación de prácticas agrícolas sostenibles y la adopción de medidas para controlar esta problemática es esencial para asegurar un futuro sostenible.

Justificación:

De acuerdo con los resultados, en la subcuenca del río Cristopamba el aumento de los cultivos en un 20,53% que representa el 2 137,95 ha correspondiente a granadilla, tomate de árbol, aguacate y naranjilla han provocado la fragilidad y fragmentación de los ecosistemas naturales y la pérdida de fertilidad en el suelo. Es por esto, que se requiere la implementación de prácticas agrícolas sostenibles para mejorar la fertilidad del suelo y recuperar la cobertura vegetal del mismo. Se propone prácticas como la rotación de cultivos y la implementación de barreras vivas para mantener la humedad, biología y la disponibilidad de nutrientes del suelo.

Objetivo general:

Implementar prácticas agrícolas sostenibles, a través de la adopción de técnicas como agricultura de conservación, agroforestería y manejo integrado de plagas, con el fin de aumentar la productividad, mejorar la calidad del suelo y agua, reducir el impacto ambiental para promover la seguridad alimentaria a largo plazo

Actores responsables:

Asociación de agricultores, poseedores de predios, Prefectura de Imbabura, GAD cantonal de Cotacachi y parroquia de 6 de Julio de Cuellaje

Efectividad: Alta a corto plazo

ESTRATEGIA C: *Planes de regulación de uso del suelo en zonas rurales*

Problemática: Afectación a la biodiversidad ecológica

La destrucción de ecosistemas naturales a menudo implica deforestación y destrucción de hábitats naturales, lo cual afecta la biodiversidad y con ello a los servicios ecosistémicos. La sobreexplotación de los recursos naturales, urbanización y avance de la frontera agrícola, amenazan el bienestar de las comunidades y la vida silvestre. Esto dificulta la gestión, conservación y equilibrio ambiental, ecológico y social. Las discrepancias entre las necesidades agrícolas y las de conservación, generan conflictos de interés y desigualdades socioeconómicas. Finalmente, la falta de interés y la oposición de las comunidades locales a cambiar sus formas de vida tradicionales y la posible pérdida de predios, dificultan la planificación del ordenamiento y el desarrollo territorial por parte de las autoridades.

Justificación:

El empleo de planes de ordenamiento territorial permite establecer un marco para el desarrollo rural sostenible, asegurando una coordinación eficiente de actividades agrícolas, residenciales, industriales y ambientales. Además, mediante tecnologías SIG avanzadas, se puede monitorear en tiempo real los bosques y el avance agrícola, lo cual facilita la protección y prevención del deterioro de los recursos naturales para las generaciones futuras. Estos planes también reducen conflictos entre diferentes usos de suelo al establecer normativas claras. Finalmente, la implementación de esta estrategia justifica su importancia al contribuir significativamente a la reducción del riesgo de desastres naturales, evitando la ocupación de áreas vulnerables a inundaciones, deslizamientos u otros fenómenos adversos.

Objetivo general:

Desarrollar planes de regulación de uso del suelo en tierras agrícolas para reducir los efectos ambientales generados por la pérdida de cobertura vegetal.

Actores responsables: Comunidades locales, Instituciones académicas, GADs parroquiales, MAATE, asociación de agricultores.

Efectividad: Alta a largo plazo

ESTRATEGIA D: *Educación ambiental de conservación en comunidades*

Problemática:

En áreas rurales el acceso limitado a la información actualizada sobre temas ambientales y la escasez de materiales educativos adecuados, dificulta la difusión de conocimientos relacionado con el ambiente. Así mismo la débil articulación entre instituciones y comunidades, genera una menor coordinación y colaboración para implementar programas educativos sostenibles y la gestión de recursos naturales. Este escenario contribuye al bajo nivel de conciencia ambiental, lo cual resulta en una participación y compromiso reducidos, exacerbando el problema. Además, las prácticas tradicionales y las creencias culturales constituyen generalmente obstáculos para adoptar métodos más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente que promueven beneficios a largo plazo en la conservación de recursos naturales.

Justificación:

La educación ambiental en comunidades rurales es una herramienta fundamental para enfrentar desafíos actuales y futuros. Mediante la difusión de información relacionada con el ambiente se logra la concientización, la participación ciudadana, la promoción de prácticas sostenibles y el fomento de una cultura de respeto hacia la naturaleza. Esto contribuyendo significativamente al desarrollo sostenible y al bienestar de las localidades. Los espacios de diálogo y debate donde la comunidad participa activamente en el cuidado del patrimonio natural y cultural fomentan la preservación del medio ambiente para las generaciones futuras mediante la innovación y la solución de problemas que deterioran la calidad de vida de las comunidades. Finalmente, la conservación de los recursos naturales es una garantía para el desarrollo sostenible.

Objetivo general:

Incentivar la conciencia y el conocimiento ambiental sobre la conservación del bosque y el arbustal siempreverde montano, susceptibles a cambios en la subcuenca del río Cristopamba.

Actores responsables: Academia, MAATE, comunidades, asociación de agricultores y escuelas comunitarias.

Efectividad: Alta a corto plazo

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Durante el período de 2001 a 2023, se identificó un efecto ambiental adverso en las coberturas naturales de bosque nativo, páramo y vegetación arbustiva en la subcuenca del río Cristopamba. Esta problemática ha contribuido a la disminución del 7,2% en la calidad ambiental debido a factores como la expansión agrícola, la creciente demanda de alimentos, el cambio climático y políticas económicas gubernamentales. Además, tendencias claras como la deforestación han desempeñado una función crucial lo cual requiere de respuestas inmediatas y la implementación de estrategias de conservación del suelo.

Se evaluó una reducción en las coberturas ecosistémicas naturales que está directamente relacionada con el cambio en la cobertura y uso del suelo. Pues se evidenció una pérdida neta absoluta del 19,12% de bosque siempreverde montano y del 1,07% de arbustal siempreverde, lo que equivale a una pérdida total de ecosistemas en un 21,37%, que representa 2 030,86 ha. Esto enfatiza la importancia de considerar detenidamente las implicaciones de la extracción de madera de los bosques y la necesidad de controlar el avance antrópico en áreas de vegetación arbustiva cercanas a los ríos, ya que podría llevar al agotamiento de estos recursos naturales.

De acuerdo con los resultados de calidad ambiental y ecosistémica obtenidos a través del análisis de cambio de cobertura y uso de suelo, se evidenció una pérdida notable en la cobertura del bosque. Este bosque nativo representa al ecosistema de bosque siempreverde montano que ha sido reemplazado en gran parte a suelos destinados a la producción de monocultivos. Como consecuencia, los ecosistemas se encuentran fragmentados y la calidad ambiental se ha deteriorado significativamente en el transcurso de un periodo de 22 años.

La metodología PER facilita la evaluación ambiental, el desarrollo de estrategias de gobernanza y la toma de decisiones por parte de actores clave para la gestión sostenible de los recursos naturales. Además, permite el seguimiento de la efectividad de las estrategias implementadas para mitigar impactos negativos, gestionar el cambio de uso del suelo y mejorar la calidad ambiental y ecosistémica en la subcuenca del río Cristopamba. Este enfoque fue crucial para la conservación en áreas con mayor degradación y el manejo adecuado del uso del suelo. Adicional a lo anterior, al considerar sectores y aplicar la metodología PER en un enfoque cualitativo, se encontró que cuatro de los problemas ambientales se pueden clasificar con un estado medio y tres con un estado alto de impacto negativo.

5.2.Recomendaciones

- Al aplicar herramientas de teledetección en estudios a escalas más grandes para el análisis de espacio-tiempo, se recomienda que las imágenes posean el mismo sensor satelital libre de interferencias atmosféricas y obtener un número significativo de firmas espectrales para evitar errores en las matrices de transición.
- Se recomienda en la subcuenca del río Cristopamba a los pobladores locales realizar prácticas ecológicas y productivas para la conservación del suelo y el bosque, debido a la pérdida de los ecosistemas naturales y aumento extensivo de los cultivos.
- Asimismo, realizar investigaciones sobre la susceptibilidad de los ecosistemas y de calidad que involucre los recursos agua, suelo, aire y vegetación, con un análisis de enfoque integral; a través de valores ponderados que determinen el estado para la tasa de deforestación, tasa de compactación del suelo, tasa de erosión y recursos hídricos.
- Es importante que las entidades gubernamentales como los GADS Parroquiales, consideren las estrategias de este estudio en las actualizaciones de los PDOT con el fin de mitigar los problemas que deterioran la calidad ambiental y mejor planificación territorial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad-Auquilla, A. (2020). El cambio de uso de suelo y la utilidad del paisaje periurbano de la cuenca del río Guayllabamba en Ecuador. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(2), 68–91. <https://doi.org/10.15359/rca.54-2.4>
- Araya-Morales, E. J. (2009). *Manual de procesos en fotografías aéreas e Imágenes de satélite*. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-0985.pdf>
- Arias-Muñoz, D. P., Jiménez-Illapa, R. P., Oquendo-Andino, J. R., & Cabrera-García, J. S. (2023). *Reporte de salud ambiental de la cuenca hidrográfica del río Ambi-Ecuador*.
- Arias-Muñoz, P., Chuma-Pomasqui, L., Coronado Cacuango, P., & Jácome-Aguirre, G. (2024). Susceptibilidad para incendios de cubierta vegetal: una evaluación desde los métodos multicriterio y radiofrecuencia (Cantón Cotacachi, Ecuador). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 50. <https://doi.org/http://doi.org/10.18172/cig.5867>
- Arias-Muñoz, P., Saz, M. Á., & Escolano, S. (2024). Trends of land use and land cover change in the upper-middle Mira basin in Ecuador. *Investigaciones Geograficas*, 81, 155–179. <https://doi.org/10.14198/INGEO.25248>
- Armijo, M. (2011). Planificación Estratégica e indicadores de desempeño en el sector público. *Cepal-Naciones Unidas*, 105. http://www.cepal.org/ilpes/publicaciones/xml/8/44008/SM_69_MA.pdf
- Balvanera, P. (2012). *Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales*. 21(1–2), 136–147. <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=709>
- Barros-Díaz, C. (2024). Estado actual de la cobertura arbórea de Ecuador y sus regiones naturales. Oportunidades para mejorar los programas de conservación. *Investigatio*, 21(1). <https://doi.org/10.31095/INVESTIGATIO.2024.21.5>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (1994). LEY 19300 | APRUEBA LEY SOBRE BASES GENERALES DEL MEDIO AMBIENTE. In *Biblioteca del Congreso Nacional / Ley Chile*.
- Cartay, B. (2004). Consideraciones en torno a los conceptos de calidad de vida y calidad ambiental. *Revista Venezolana de Sociología y Antropología*, 14(41), 491–502.

- Carvajal Ortiz, S. Y., Preciado Valencia, K. L., & Rodríguez Estacio, J. (2019). Presión – Estado – Respuesta en la gestión de las áreas protegidas de la provincia de Esmeraldas. *Gestión Ambiental*, 17.
- Chimarro Cumbal, J. C., Cué García, J. L., Arcos Unigarro, C. R., & Paredes Rodríguez, H. O. (2023). Diversidad florística y estructura del bosque seco en el norte del Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 11(2).
- Córdova, D., & Gómez, J. (2021a). *Evaluación de las causas sociales y efectos ambientales del cambio de uso de suelo en la cuenca del río Mira*.
- Córdova, D., & Gómez, J. (2021b). *Evaluación de las causas sociales y efectos ambientales del cambio de uso de suelo en la cuenca del río Mira*. Universidad Técnica del Norte.
- Cortez, D., Soto, J., Román-Figueroa, C., & Paneque, M. (2024). Monitoring loss and degradation of forests and shrubs in the North of Chile using Landsat time series data sets from 1998 to 2018. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 35, 101244. <https://doi.org/10.1016/J.RSASE.2024.101244>
- Davis, Z., de Groh, M., & Rainham, D. G. (2022). The Canadian Environmental Quality Index (Can-EQI): Development and calculation of an index to assess spatial variation of environmental quality in Canada's 30 largest cities. *Environment International*, 170, 107633. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2022.107633>
- De la Torre, L., Navarrete, H., Muriel, P., Macía, M. J., & Balslev, H. (2008). *La diversidad de ecosistemas en el Ecuador* (L. De la Torre, H. Navarrete, M. Muriel, M. Macía, & H. Balslev, Eds.; Quito y Aarhus).
- Escandón Calderón, J., Ordóñez Díaz, J. A. B., Nieto de Pascual Pola, M. C. del C., & Ordóñez Díaz, M. de J. (2018). Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo del 2000 al 2009 en Morelos, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(46), 27–53.
- Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia - UNICEF. (2015). *Medio ambiente y cambio climático*. <https://www.unicef.org/es/medio-ambiente-cambio-climatico>
- Fu, B., Wang, S., Su, C., & Forsius, M. (2013). Linking ecosystem processes and ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(1), 4–10. <https://doi.org/10.1016/J.COSUST.2012.12.002>

- Gallo-Ramírez, E. (2002). *Segmentación de Imágenes de Satélite usando Modelos Ocultos de Campos Markovianos* [Centro de Investigación en Matemáticas, A.C.]. <http://cimat.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1008/106>
- Gao, J., Li, F., Gao, H., Zhou, C., & Zhang, X. (2017). The impact of land-use change on water-related ecosystem services: a study of the Guishui River Basin, Beijing, China. *Journal of Cleaner Production*, *163*, S148–S155. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.01.049>
- Herrera-Feijoo, R. J. (2024). Principales amenazas e iniciativas de conservación de la biodiversidad en Ecuador. *Journal of Economic and Social Science Research*, *4*(1), 33–56. <https://doi.org/https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n1/85>
- Huo, W., Zaman, B. U., Zulfiqar, M., Kocak, E., & Shehzad, K. (2023). How do environmental technologies affect environmental degradation? Analyzing the direct and indirect impact of financial innovations and economic globalization. *Environmental Technology & Innovation*, *29*, 102973. <https://doi.org/10.1016/J.ETI.2022.102973>
- Jing, Q., He, J., Li, Y., Yang, X., Peng, Y., Wang, H., Yu, F., Wu, J., Gong, S., Che, H., & Zhang, X. (2024). Analysis of the spatiotemporal changes in global land cover from 2001 to 2020. *Science of The Total Environment*, *908*, 168354. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168354>
- Kumari, M., Somvanshi, S., Sharma, R., & Zubair, S. (2022). Analysis, of multi-temporal remotely sensed spectral indices influence on ecology of Singrauli sub-district, Madhya Pradesh using an ecological impact index. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, *25*(3), 863–871. <https://doi.org/10.1016/J.EJRS.2022.08.005>
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). An Application of Hierarchical Kappa-type Statistics in the Assessment of Majority Agreement among Multiple Observers. *Biometrics*, *33*(2), 363. <https://doi.org/10.2307/2529786>
- Leija, E. G., & Mendoza, M. E. (2021). Landscape connectivity studies in latin america: Research challenges. *Madera y Bosques*, *27*(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2712032>
- Liu, Y., Huang, X., Yang, H., & Zhong, T. (2014). Environmental effects of land-use/cover change caused by urbanization and policies in Southwest China Karst area e A case study of Guiyang. *Hábitat Internacional*, *44*, 339–348.

- Mapcarta. (2020). *Río Cristopamba*. <https://mapcarta.com/es/19663166>
- Martínez, A., Valdivieso, J., Gómez, M., & Leyva, M. (2020). Análisis multicriterio para seleccionar técnicas de Inteligencia Artificial para el diagnóstico de enfermedades ganaderas Multicriteria analysis to select Artificial Intelligence techniques for the diagnosis of livestock diseases. *Serie Científica de La Universidad de Las Ciencias Informáticas*, 13(6), 121–134. <http://publicaciones.uci.cu>
- Mascarenhas, A., Ramos, T. B., Haase, D., & Santos, R. (2015). Ecosystem services in spatial planning and strategic environmental assessment—A European and Portuguese profile. *Land Use Policy*, 48, 158–169. <https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2015.05.012>
- Ministerio del Ambiente. (2010). *Planificación Estratégica Ministerio del Ambiente*. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/08/Plan+Estrat%C3%A9gico+MAE.pdf>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2012). *Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*.
- Muñoz-Iniestra, D. J., López, G. F., Hernández, M. M., Soler, A. A., & López, G. J. (2009). Impacto de la pérdida de la vegetación sobre las propiedades de un suelo aluvial. *Terra Latinoamericana*, 27(3), 237–246. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792009000300008&script=sci_arttext
- Muñoz-Marcillo, José., Gentili, J., & Bustos-Cara, R. (2020). Uso agrícola del suelo y demanda de agua para riego en la cuenca del río Vinces (Ecuador) durante el período 1990 – 2014. *Investigaciones Geográficas*, 59, 91–104. <https://doi.org/https://doi.org/10.5354/0719-5370.2020.56958>
- Neira, F., Ribadeneira, S., Erazo-Mera, E., & Younes, N. (2022). Adaptive co-management of biodiversity in rural socio-ecological systems of Ecuador and Latin America. *Heliyon*, 8(12), e11883. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2022.E11883>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2018). *Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales*. <https://www.fao.org/3/i8864es/I8864ES.pdf>

- Ortega, J., & Arias, P. (2022). Análisis de los efectos del cambio de uso de suelo en el paisaje del bosque húmedo: una visión al año 2022 en la cuenca del río Cayapas-Ecuador. *Sathiri*, 17(1), 288–311. <https://doi.org/10.32645/13906925.1116>
- Otero-Pastor, I. (1998). Evaluación de la Calidad Ambiental. . *Observatorio Medioambiental*, 1. <https://revistas.ucm.es/index.php/OBMD/article/view/OBMD9898110015A>
- Pandia Fajardo, E. A. (2016). Modelo presión, estado, respuesta (P-E-R) para la clasificación de indicadores ambientales y gestión de la calidad del agua caso: cuenca del río Puyango Tumbes. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 19(37).
- Pineda, O. (2011). *Análisis de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el municipio de Valle de Santiago*.
- Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 de Ecuador | Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo*. (n.d.). Retrieved April 23, 2023, from <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/planes/plan-de-creacion-de-oportunidades-2021-2025-de-ecuador>
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia “6 de Julio de Cuellaje.” (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, de la Parroquia “6 de Julio de Cuellaje” 2019 – 2023*.
- Pontius, R. G., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101(2–3), 251–268. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2003.09.008>
- Prăvălie, R., Patriche, C., Tișcovschi, A., Dumitrașcu, M., Săvulescu, I., Sîrodoev, I., & Bandoc, G. (2020). Recent spatio-temporal changes of land sensitivity to degradation in Romania due to climate change and human activities: An approach based on multiple environmental quality indicators. *Ecological Indicators*, 118, 106755. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2020.106755>
- Prefectura de Imbabura. (2020). *Intag un paraíso en Imbabura*. https://www.yumpu.com/es/document/read/63741651/intag-un-paraiso-en-imbabura#google_vignette
- Real Academia Española, definición 1. (2006). *Diccionario*.

- Registro Oficial. (2016). *Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo* (LOOTUGS, Ed.; Quito).
- Registro Oficial. (2018). *Código Orgánico del Ambiente* (CODA, Ed.; Quito).
- Restrepo-Estrada, C., & Alviar-Ramírez, M. (2013). Usos óptimos del suelo bajo enfoques ambientales y económicos. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 69, 229–243. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302013000400019&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Rivas, C. A., Guerrero-Casado, J., & Navarro-Cerrillo, R. M. (2024). Functional connectivity across dominant forest ecosystems in Ecuador: A major challenge for a country with a high deforestation rate. *Journal for Nature Conservation*, 78, 126549. <https://doi.org/10.1016/J.JNC.2023.126549>
- Rodríguez-Morales, V., Bustamante-Alfonso, L., & Jean-Claude, M. (2011). La protección del medio ambiente y la salud, un desafío social y ético actual. *Revista Cubana de Salud Pública*, 37(4), 510-518.
- Rojas, A. (2011). Calidad de vida, calidad ambiental y sustentabilidad como conceptos urbanos complementarios. *Fermentum. Revista Venezolana de Sociología y Antropología*, 21(61), 176-207.
- Ruano, G. (2022). *Análisis de cambios en la cobertura vegetal del cantón san lorenzo provincia de esmeraldas causados por actividad minera en el periodo 2010-2020*. UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR .
- Saaty, T. L. (1988). *Decision making for leaders : the analytical hierarchy process for decisions in a complex world*. 291. https://books.google.com/books/about/Decision_Making_for_Leaders.html?hl=es&id=G sDZAAAAMAAJ
- Sánchez, L. (2017). *Elaboración de un índice de calidad ambiental (ICA), enfocado al sector urbano de la ciudad de Cuenca utilizando teledetección y análisis espacial*. Universidad de Cuenca.
- Santos, J. (2020). *Sistemas de información geográfica* (Editorial UNED.). <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=xjbeDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1>

&dq=Sistemas+de+informacion+geografica+&ots=wsn-
mArFcf&sig=PX2hSovqyr8QhTbzIa8hZM9x7J8&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

- Sierra, R. (1999). *Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental*. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y EcoCiencia.
- Stanimirova, R., Graesser, J., Olofsson, P., & Friedl, M. (2022). Widespread changes in 21st century vegetation cover in Argentina, Paraguay, and Uruguay. *Remote Sensing of Environment*, 282. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2022.113277>
- Stephens, L., Fuller, D., Boivin, N., Rick, T., Gauthier, N., Kay, A., Marwick, B., Armstrong, C. G., Barton, C. M., Denham, T., Douglass, K., Driver, J., Janz, L., Roberts, P., Rogers, J. D., Thakar, H., Altaweel, M., Johnson, A. L., Vattuone, M. M. S., ... Ellis, E. (2019). Archaeological assessment reveals Earth's early transformation through land use. *Science*, 365(6456), 897–902. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAX1192>
- Vásquez, E., & García, J. (2003). Calidad ambiental y su relación con el crecimiento económico en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. *Ecos de Economía: A Latin American Journal of Applied Economics*, 7(16), 27–48.
- Vázquez-Valencia, R., & García-Almada, R. (2018). Indicadores PER y FPEIR para el análisis de la sustentabilidad en el municipio de Cihuatlán, Jalisco, México. *Noésis. Revista de Ciencias Sociales*, 27(53–1), 1–26. <https://doi.org/10.20983/NOESIS.2018.3.1>
- Wang, Q., Xiong, K., Zhou, J., Xiao, H., & Song, S. (2023). Impact of land use and land cover change on the landscape pattern and service value of the village ecosystem in the karst desertification control. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 141. <https://doi.org/10.3389/FENVS.2023.1020331/BIBTEX>
- Wang, Z., Guo, J., Ling, H., Han, F., Kong, Z., & Wang, W. (2022). Function zoning based on spatial and temporal changes in quantity and quality of ecosystem services under enhanced management of water resources in arid basins. *Ecological Indicators*, 137. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108725>
- Winkler, K., Fuchs, R., Rounsevell, M., & Herold, M. (2021). Global land use changes are four times greater than previously estimated. *Nature Communications 2021 12:1*, 12(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22702-2>

- Xie, Z., Phinn, S. R., Game, E. T., Pannell, D. J., Hobbs, R. J., Briggs, P. R., & McDonald-Madden, E. (2019). Using Landsat observations (1988–2017) and Google Earth Engine to detect vegetation cover changes in rangelands - A first step towards identifying degraded lands for conservation. *Remote Sensing of Environment*, 232, 111317. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2019.111317>
- Zhang, M., Zhang, L., He, H., Ren, X., Lv, Y., Niu, Z., Chang, Q., Xu, Q., & Liu, W. (2022). Improvement of ecosystem quality in National Key Ecological Function Zones in China during 2000–2015. *Journal of Environmental Management*, 324, 116406. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2022.116406>
- Zheng, Z., Wu, Z., Chen, Y., Guo, C., & Marinello, F. (2022). Instability of remote sensing based ecological index (RSEI) and its improvement for time series analysis. *Science of The Total Environment*, 814, 152595. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.152595>
- Zúñiga, A. (2009). Indicadores para la evaluación de la calidad ambiental del hábitat urbano . *Nexo Revista Científica*, 22(1), 23–31.

ANEXOS

Tabla 13.

Nivel de concordancia de las distintas coberturas del suelo en el año 2001

Año 2001	Cultivos	Pastizales	Áreas sin vegetación	Bosque	Páramo	Vegetación arbustiva	Clasificación general	Precisión del usuario
Cultivos	23	0	0	0	0	1	24	95,83%
Pastizales	0	23	0	1	0	0	23	100%
Áreas sin vegetación	0	0	24	0	0	0	24	100%
Bosque	0	0	0	24	0	0	24	100%
Páramo	1	0	0	0	24	0	25	96%
Vegetación arbustiva	0	1	0	0	0	23	24	95,83%
Truth overall	24	24	24	24	24	24	144	
Precisión del productor	95,83%	95,83%	100%	100%	100%	95,83%		

Nota. Elaboración propia

Precisión global	97,917%
Kappa	0,975

Tabla 14.*Nivel de concordancia de las distintas coberturas del suelo en el año 2023*

Año 2023	Cultivos	Pastizales	Áreas sin vegetación	Bosque	Páramo	Vegetación arbustiva	Clasificación general	Precisión del usuario
Cultivos	19	0	0	0	0	1	20	95%
Pastizales	0	23	0	0	0	0	23	100%
Áreas sin vegetación	0	0	21	0	1	1	22	95,45%
Bosque	0	0	0	23	0	0	23	100%
Páramo	0	0	0	0	23	0	23	100%
Vegetación arbustiva	4	0	2	0	0	21	27	77,77%
Truth overall	23	23	23	23	23	23	138	
Precisión del productor	82,60%	100%	91,30%	100%	100%	91,30%		

Nota. Elaboración propia

Precisión global	94,203%
Kappa	0,93

Tabla 15.*Resumen del cambio neto absoluto del uso de suelo 2001-2023 (%)*

	Ganancia	Pérdida	Cambio total	Intercambio (Swap)	Cambio neto absoluto %
Arbustal siempreverde	0,13	1,07	1,20	2,14	-0,94
Área sin vegetación	0,20	1,86	2,06	0,40	-1,66
Bosque siempreverde montano	1,18	20,30	21,48	40,6	-19,12
Cultivos	22,93	0,40	23,33	45,86	22,53
Herbazal de páramo	0,11	0,00	0,11	0,00	0,11
Pastizales	1,67	2,59	4,26	3,34	-0,92

Tabla 16.*Matriz de transición de ecosistemas y usos de suelo 2001 –2023 (km²)*

Año 1: 2001	Año 2: 2023						Total 2001	Pérdida
	Arbustal siempreverde	Área sin vegetación	Bosque siempreverde montano	Cultivos	Herbazal de páramo	Pastizales		
Arbustal siempreverde	120,42	2,24	-	99,79	-	-	222,45	102,03
Área sin vegetación	9,03	4,65	33,06	115,91	10,43	10,54	183,62	178,97
Bosque siempreverde montano	-	15,50	6457,13	1773,44	-	139,89	8385,96	1928,83
Cultivos	4,32	2,45	23,15	169,91	1,86	9,06	210,75	40,84
Herbazal de páramo	-	-	-	0,18	183,16	-	183,34	0,18
Pastizales	0,51	0,85	57,70	189,47		60,59	309,12	248,53
Total 2023	134,28	25,69	6571,04	2348,70	195,45	220,08	9495,24	2499,38
Ganancia	13,86	21,04	113,91	2178,79	12,29	159,49	2499,38	

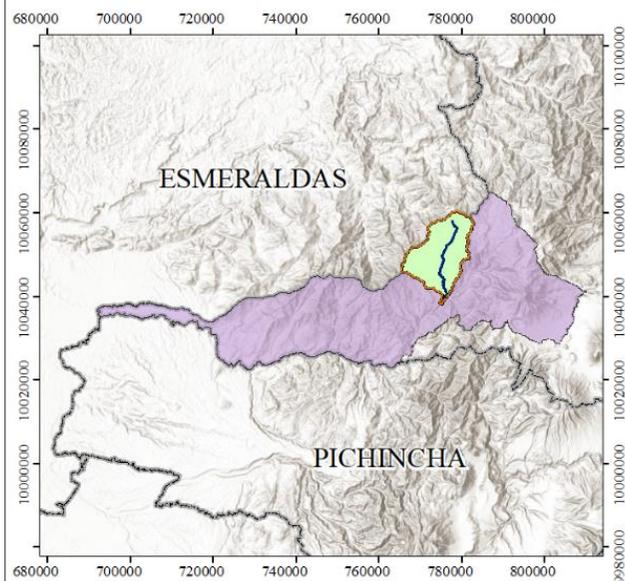
ANEXOS DE MAPAS

MAPA DE UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CRISTOPAMBA, CANTÓN COTACACHI

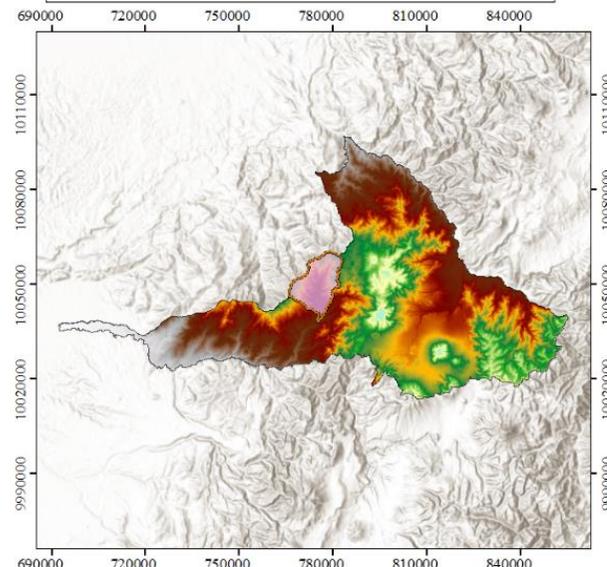
Ubicación Nacional



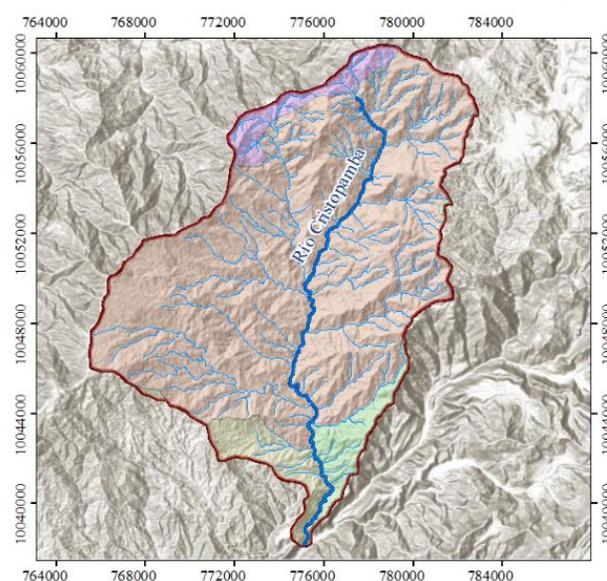
Ubicación Cantonal



Ubicación Provincial



Ubicación Local



VISTA REFERENTE AL ÁREA DE ESTUDIO



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



UTN
IBARRA - ECUADOR

Recursos Naturales
Renovables

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

MAPA DE UBICACIÓN DE LA SUBCUENCA DEL
RÍO CRISTOPAMBA - COTACACHI

ELABORADO POR: Minda Marilyn - Pupiales Sofia Pilar

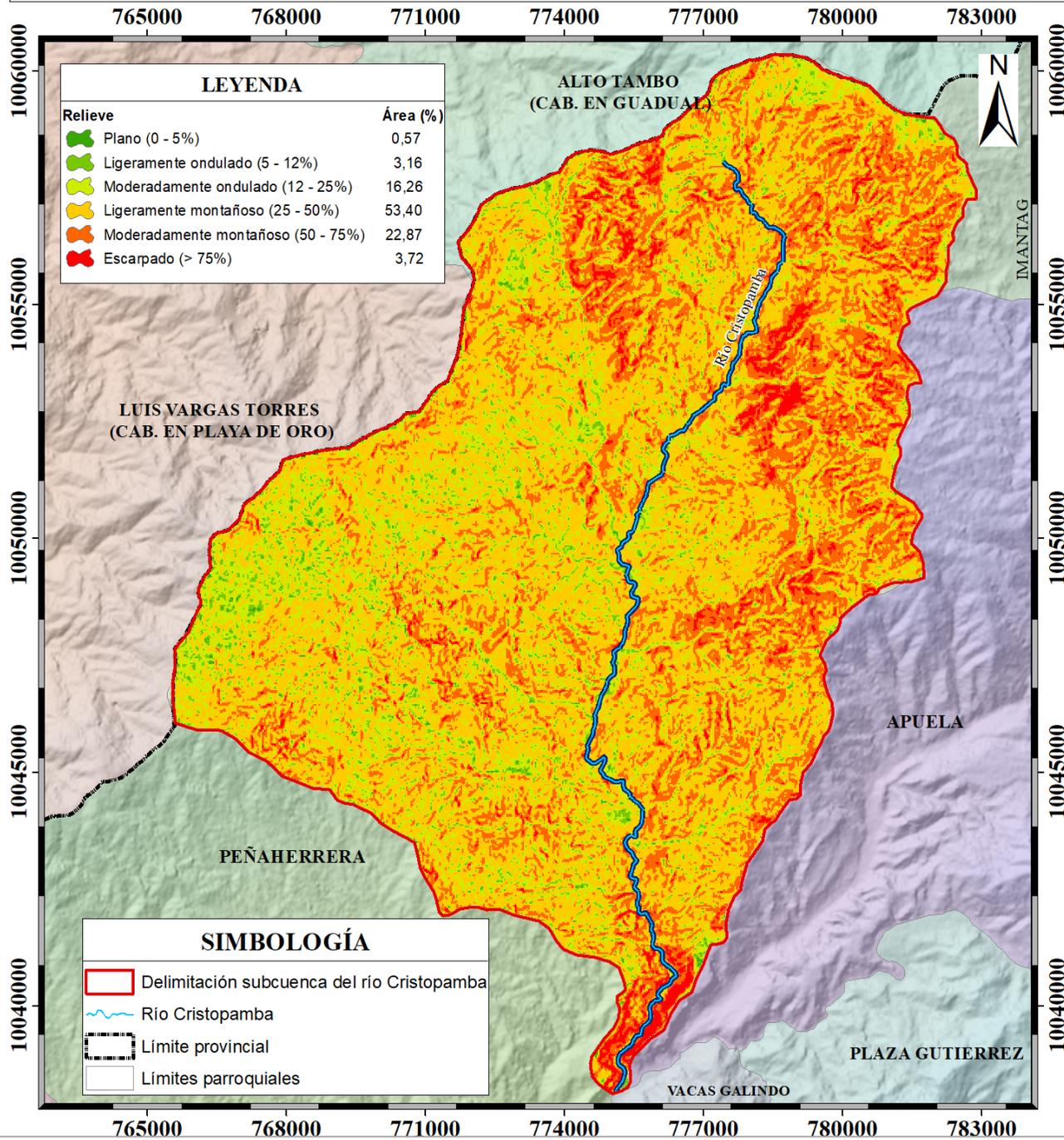
ESCALA: 1:175.000

FECHA: Junio 2024

FUENTE: SNI, 2018

Nro DE MAPA 1

MAPA DE PENDIENTES DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CRISTOPAMBA



LEYENDA	
Relieve	Área (%)
Plano (0 - 5%)	0,57
Ligeramente ondulado (5 - 12%)	3,16
Moderadamente ondulado (12 - 25%)	16,26
Ligeramente montañoso (25 - 50%)	53,40
Moderadamente montañoso (50 - 75%)	22,87
Escarpado (> 75%)	3,72

SIMBOLOGÍA	
	Delimitación subcuena del río Cristopamba
	Río Cristopamba
	Límite provincial
	Límites parroquiales



0 87,5 175 350 525 700 km

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

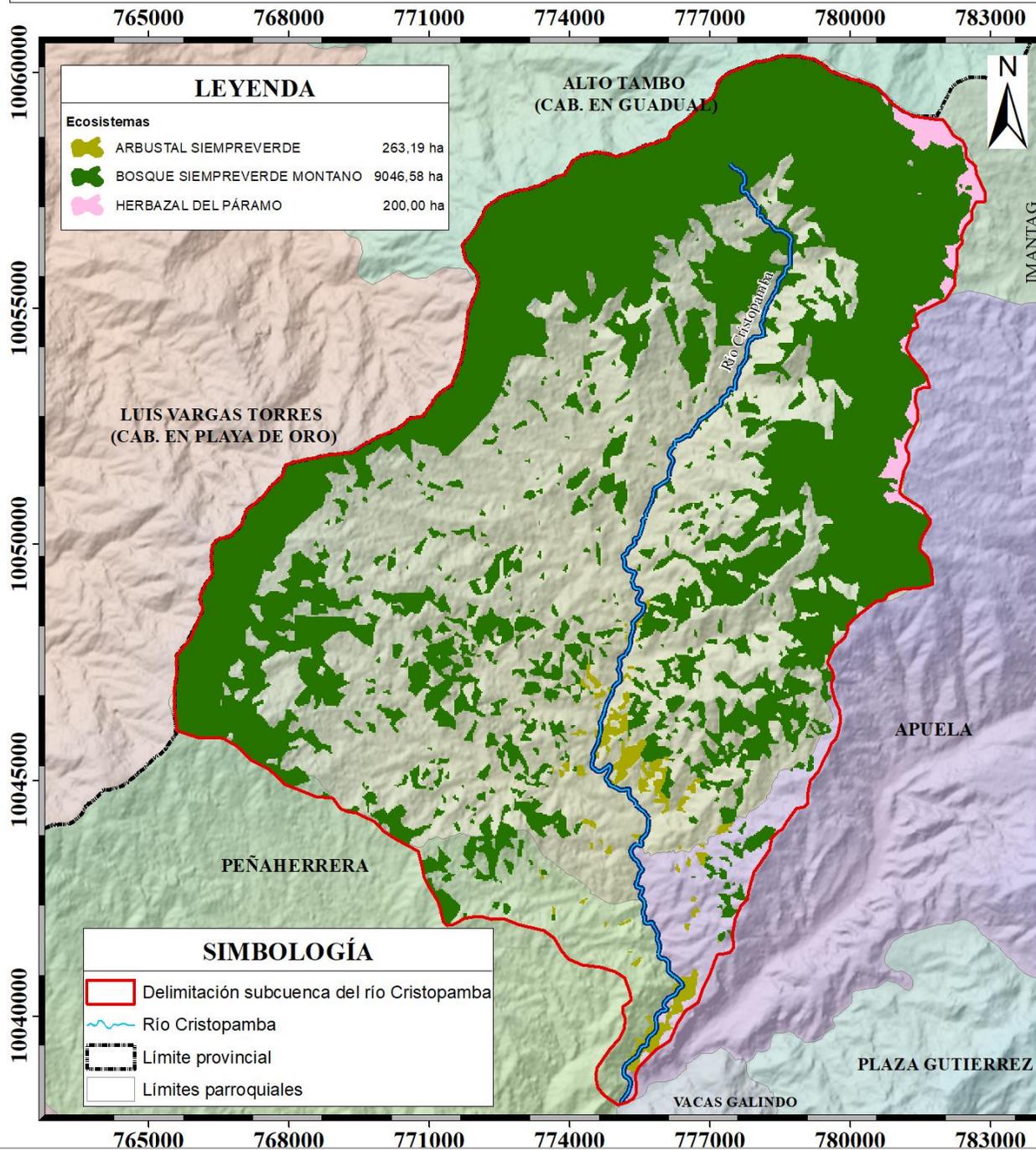
MAPA DE PENDIENTES DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CRISTOPAMBA

ELABORADO POR: Minda Marilyn - Pupiales Sofia Pilar

ESCALA: 1:60.000 FECHA: Junio 2024

FUENTE: SNI, 2018 Nro DE MAPA 2

MAPA DE ECOSISTEMAS DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CRISTOPAMBA



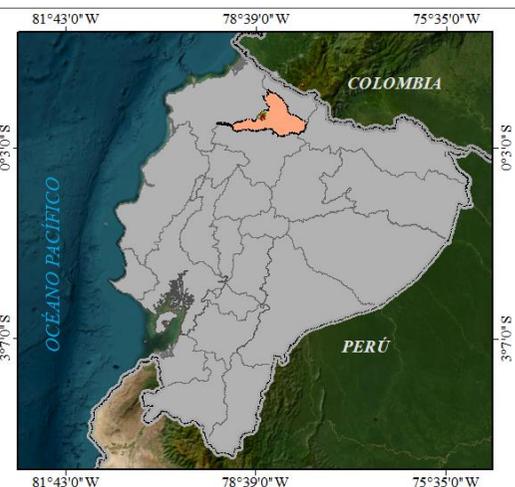
LEYENDA

Ecosistemas

	ARBUSTAL SIEMPREVERDE	263,19 ha
	BOSQUE SIEMPREVERDE MONTANO	9046,58 ha
	HERBAZAL DEL PÁRAMO	200,00 ha

SIMBOLOGÍA

	Delimitación subcuenca del río Cristopamba
	Río Cristopamba
	Límite provincial
	Límites parroquiales



0 87,5 175 350 525 700
km

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

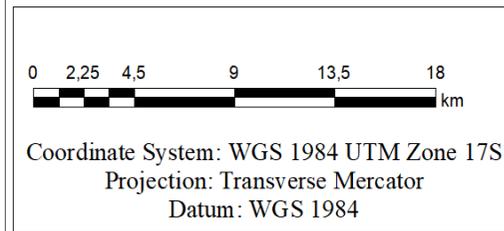
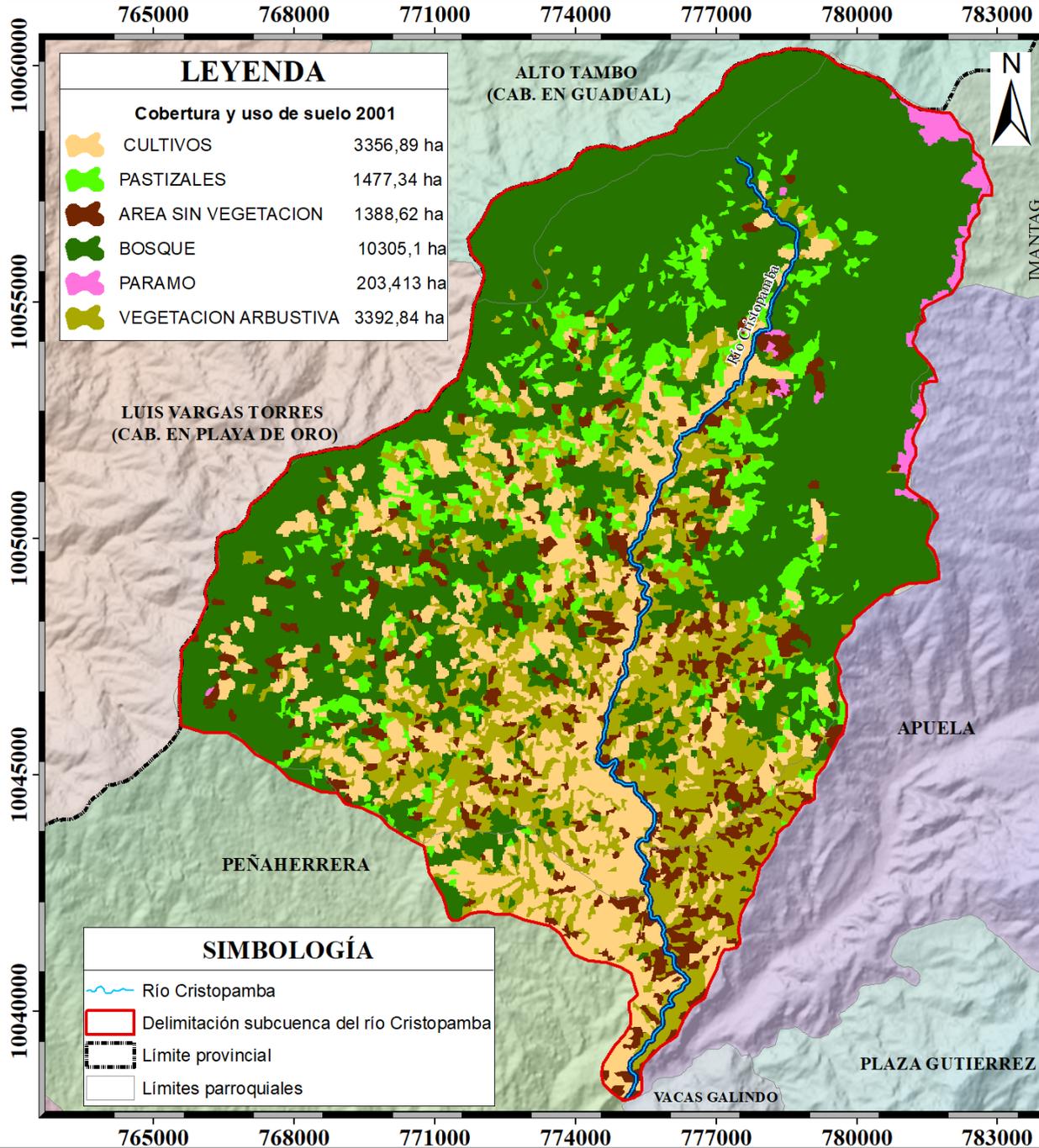
MAPA DE ECOSISTEMAS DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CRISTOPAMBA

ELABORADO POR: Minda Marilyn - Pupiales Sofia Pilar

ESCALA: 1:60.000 FECHA: Junio 2024

FUENTE: SNI, 2018 Nro DE MAPA 3

MAPA DE COBERTURA Y USO DE SUELO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CRISTOPAMBA AÑO 2001



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

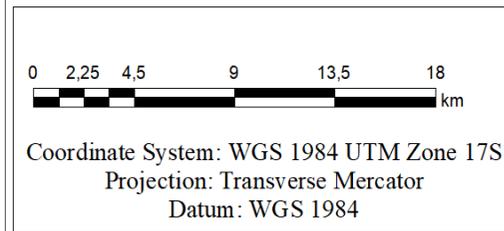
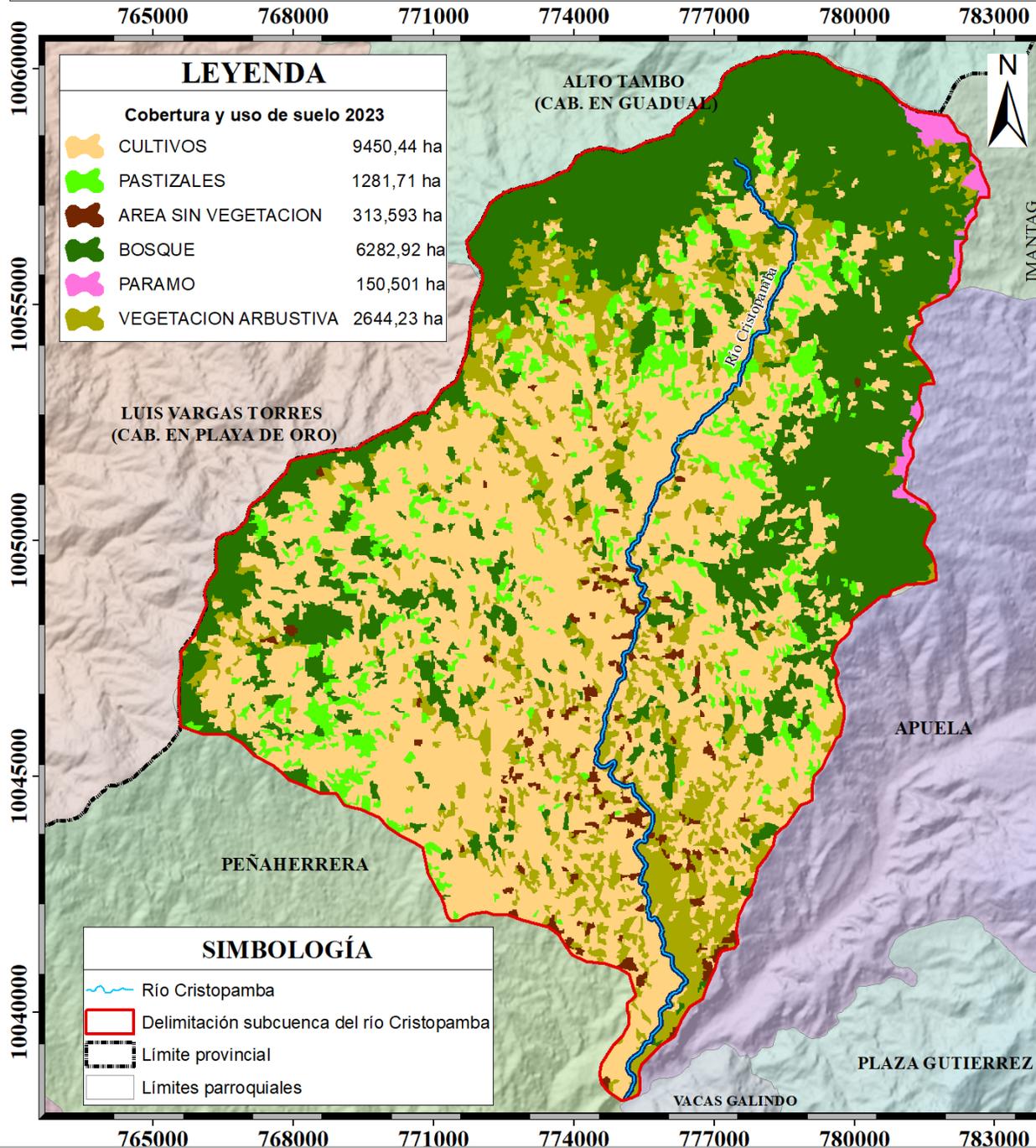
MAPA DE COBERTURA Y USO DE SUELO DE LA
SUBCUENCA DEL RÍO CRISTOPAMBA AÑO 2001

ELABORADO POR: Minda Marilyn - Pupiales Sofia Pilar

ESCALA: 1:60.000 FECHA: Junio 2024

FUENTE: SNI, 2018 Nro DE MAPA 4

MAPA DE COBERTURA Y USO DE SUELO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CRISTOPAMBA AÑO 2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

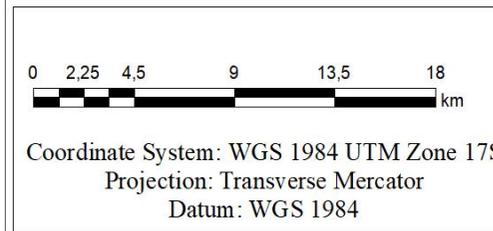
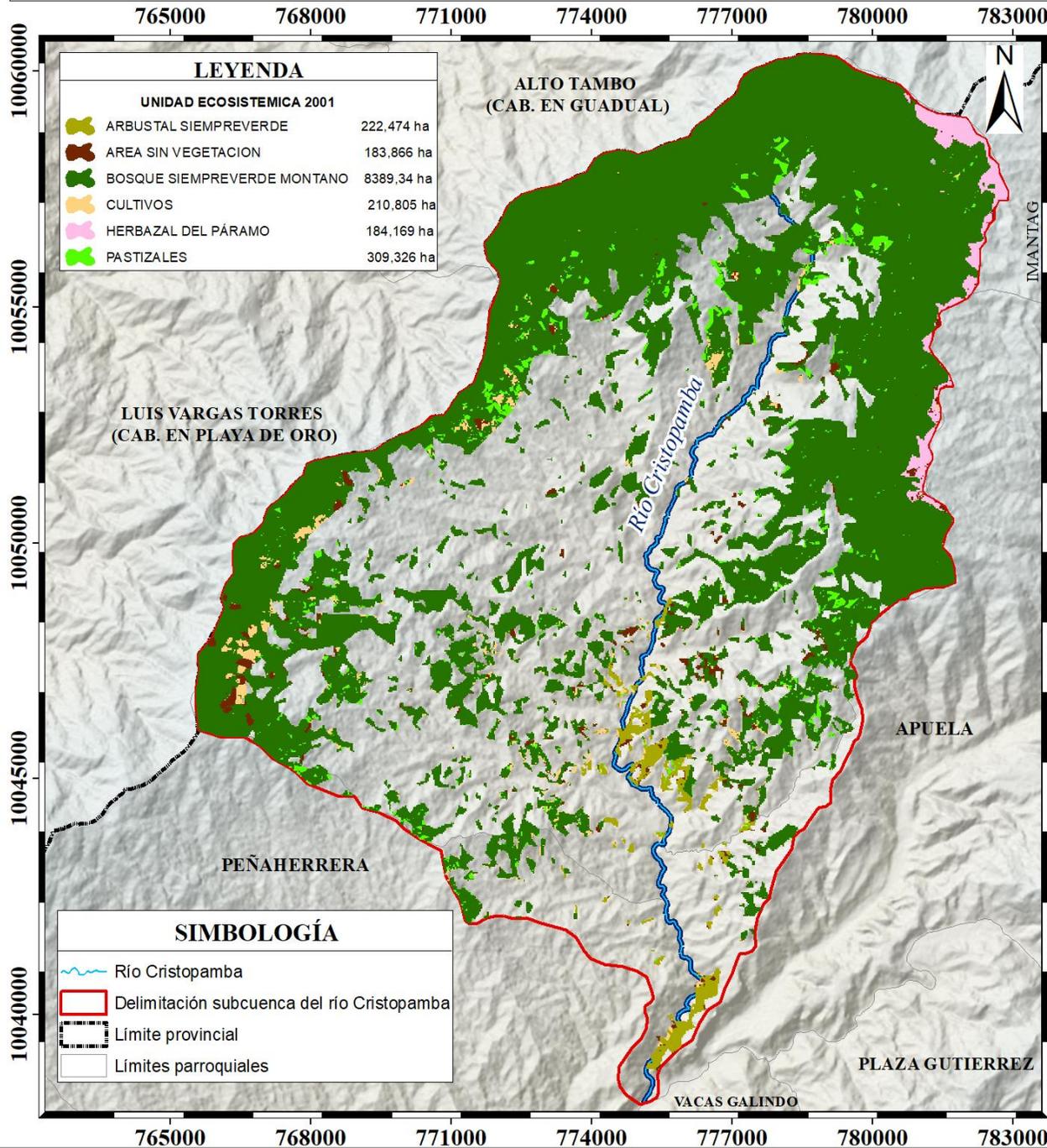
MAPA DE COBERTURA Y USO DE SUELO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CRISTOPAMBA AÑO 2023

ELABORADO POR: Minda Marilyn - Pupiales Sofia Pilar

ESCALA: 1:60.000 FECHA: Junio 2024

FUENTE: SNI, 2018 Nro DE MAPA 5

MAPA DE UNIDAD ECOSISTÉMICA SUBCUENCA DEL RÍO CRISTOPAMBA AÑO 2001



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

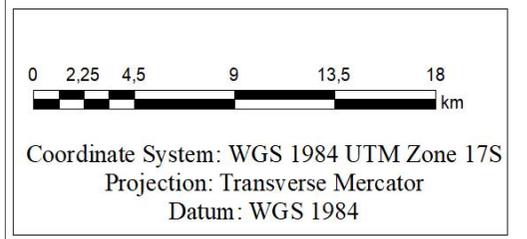
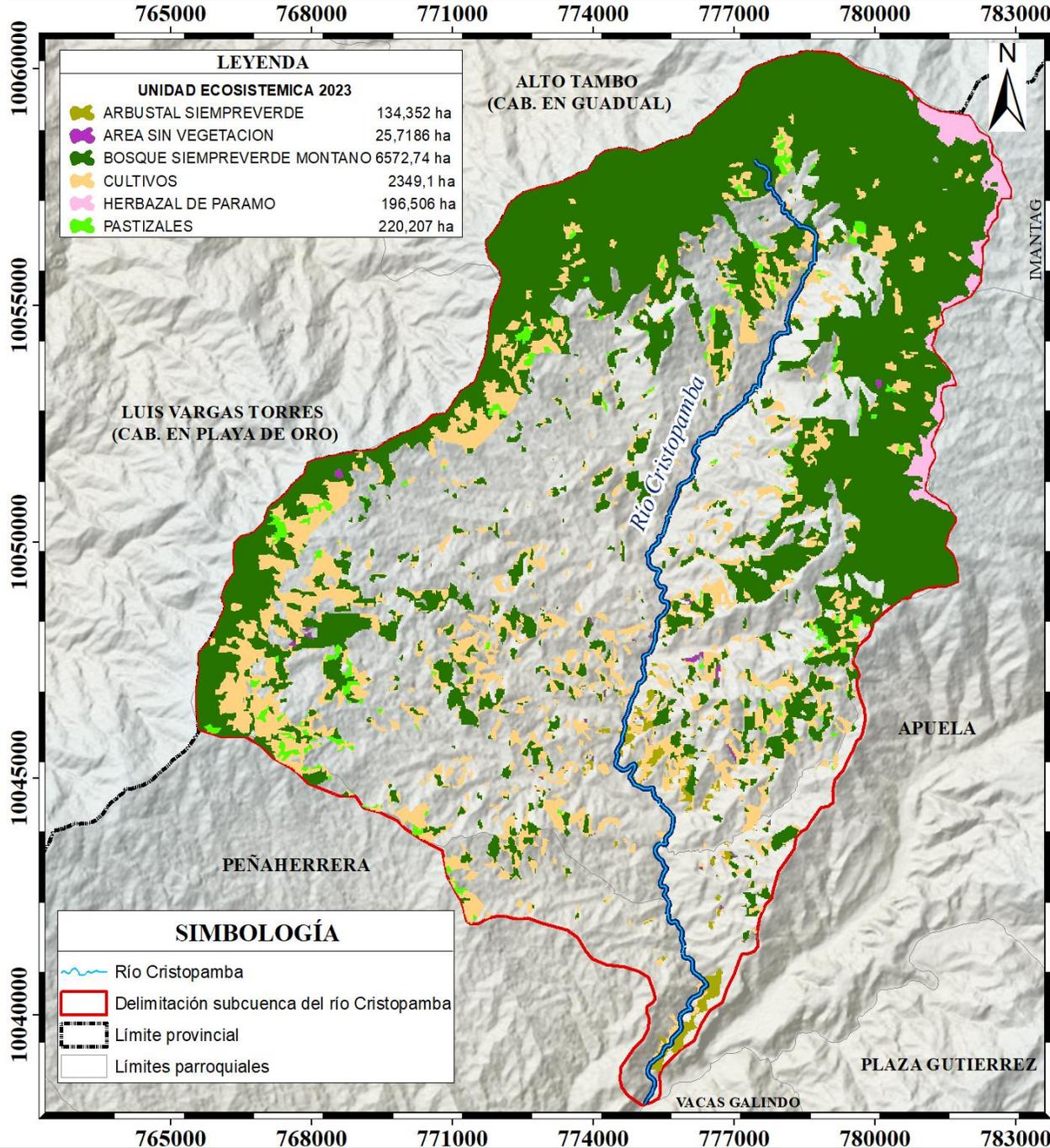
MAPA DE UNIDAD ECOSISTÉMICA SUBCUENCA DEL RÍO CRISTOPAMBA AÑO 2001

ELABORADO POR: Minda Marilyn - Pupiales Sofia Pilar

ESCALA: 1:60.000 FECHA: Junio 2024

FUENTE: SNI, 2018 Nro DE MAPA 6

MAPA DE UNIDAD ECOSISTÉMICA SUBCUENCA DEL RÍO CRISTOPAMBA AÑO 2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Recursos Naturales Renovables

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

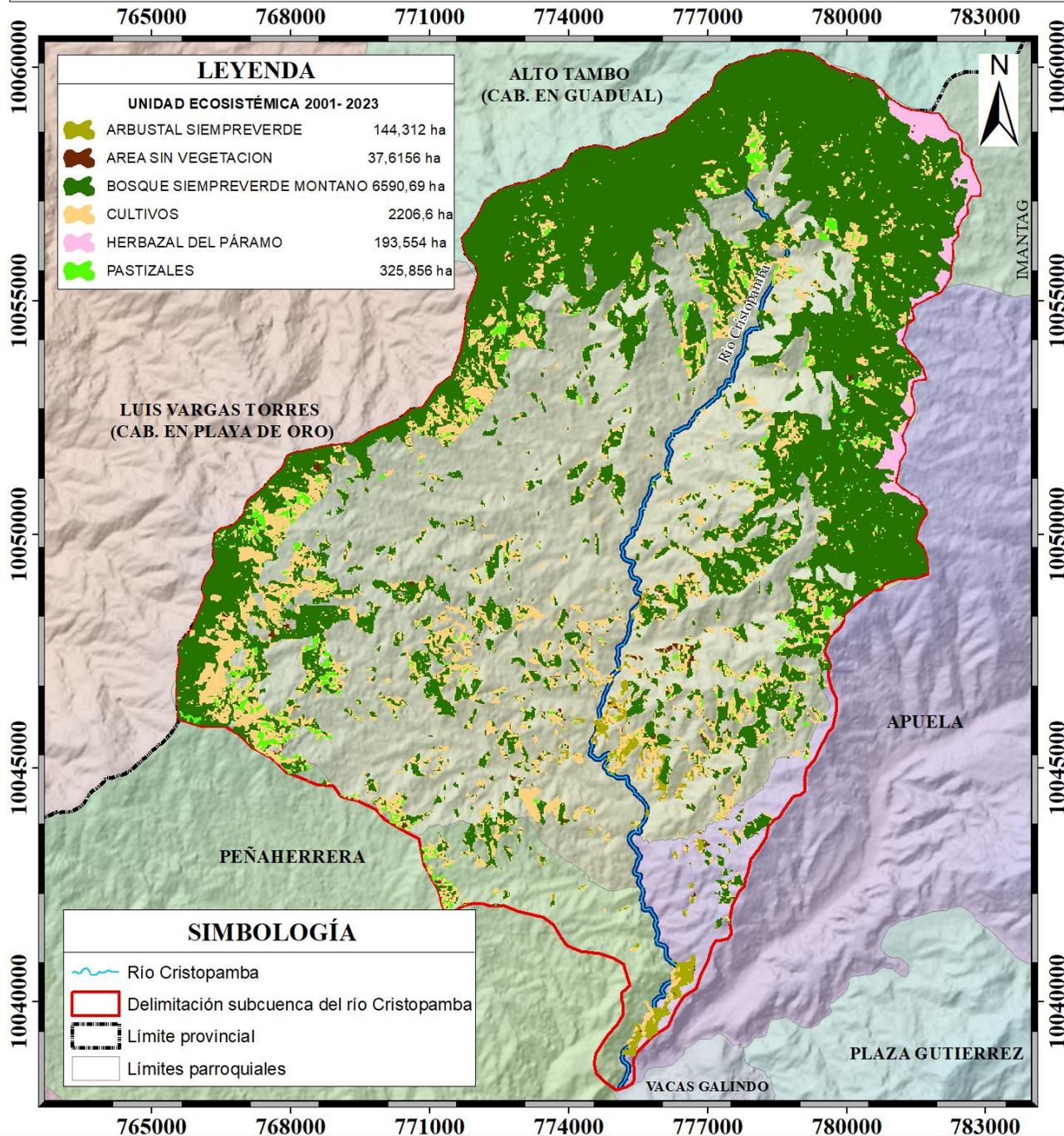
MAPA DE UNIDAD ECOSISTÉMICA SUBCUENCA DEL RÍO CRISTOPAMBA AÑO 2023

ELABORADO POR: Minda Marilyn - Pupiales Sofia Pilar

ESCALA: 1:60.000 FECHA: Junio 2024

FUENTE: SNI, 2018 Nro DE MAPA 7

MAPA DE UNIDAD ECOSISTÉMICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CRISTOPAMBA 2001 - 2023



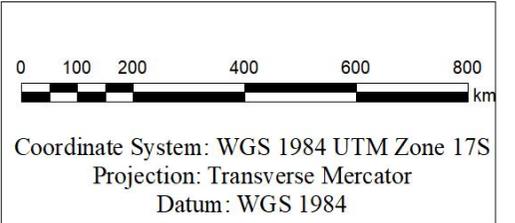
LEYENDA

UNIDAD ECOSISTÉMICA 2001- 2023

	ARBUSTAL SIEMPREVERDE	144,312 ha
	AREA SIN VEGETACION	37,6156 ha
	BOSQUE SIEMPREVERDE MONTANO	6590,69 ha
	CULTIVOS	2206,6 ha
	HERBAZAL DEL PÁRAMO	193,554 ha
	PASTIZALES	325,856 ha

SIMBOLOGÍA

	Río Cristopamba
	Delimitación subcuenca del río Cristopamba
	Límite provincial
	Límites parroquiales



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

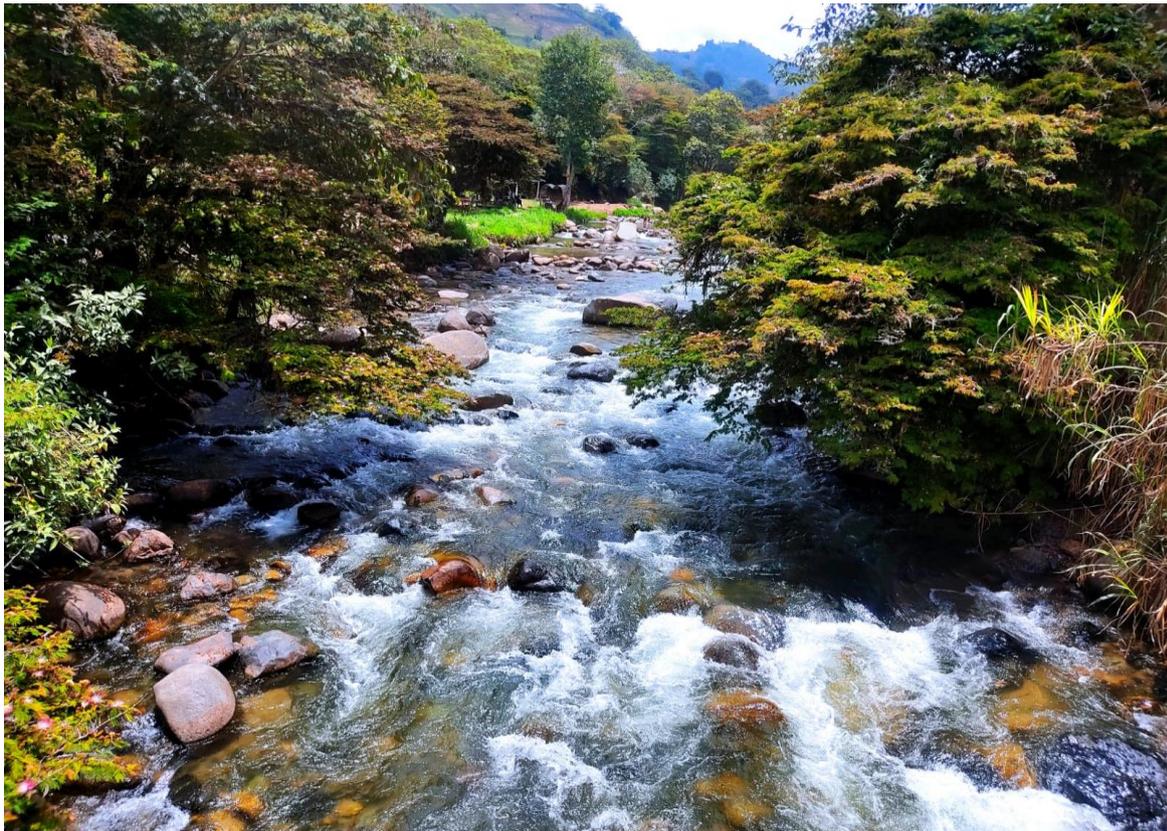
MAPA DE UNIDAD ECOSISTÉMICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CRISTOPAMBA 2001 - 2023

ELABORADO POR: Minda Marilyn - Pupiales Sofía Pilar

ESCALA: 1:6.000.000	FECHA: Junio 2024
FUENTE: SNI, 2018	Nro DE MAPA 8

ANEXO FOTOGRAFICO

Anexo 9. Río Cristopamba, parroquia 6 de Julio de Cuellaje.



Anexo 10. Evidencia de cultivos de cultivos de aguacate en zonas de pendientes



Anexo 11. Límite entre avance de la frontera agrícola y ecosistemas naturales



Anexo 12. Expansión de la frontera agrícola, zonas altas de la subcuenca



Anexo 13. Bosque siempreverde montano con especies nativas como la palma de cera.



Anexo 14. Deforestación de cobertura vegetal natural



Anexo 15. Salida de campo y toma de datos de coberturas vegetales



Anexo 16. Registro de puntos GPS



NOMBRE DEL TRABAJO

MINDA_PUPIALESS_TIC_9_07_2024_T.pdf

AUTOR

Marilyn Minda

RECUENTO DE PALABRAS

13790 Words

RECUENTO DE CARACTERES

75048 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

51 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

3.1MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 9, 2024 4:15 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 9, 2024 4:17 PM GMT-5

● 7% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 7% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)