

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
CUENCA DEL RÍO APUELA MEDIANTE HERRAMIENTAS DE
TELEDETECCIÓN”**

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

AUTOR:

Andrade Dias Mateo Yasser

DIRECTOR:

Ing. Óscar Armando Rosales Enríquez, MSc.

Ibarra, Febrero 2025



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003688312	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Andrade Dias Mateo Yasser	
DIRECCIÓN:	Imbabura – Otavalo	
EMAIL:	myandraded@utn.edu.ec mateandrade02@gmail.com	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0997006911

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“Evaluación de la calidad ambiental ecosistémica de la cuenca del río Apuela mediante herramientas de teledetección”
AUTOR:	Andrade Dias Mateo Yasser
FECHA: DD/MM/AAAA	10 de febrero de 2025
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Recursos Naturales Renovables
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Rosales Enríquez Óscar Armando, MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta 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 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 10 días del mes de Febrero de 2025

EL AUTOR:

Firma: 

Nombre: Andrade Dias Mateo Yasser

CL: 1003688312

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: 05 de Febrero de 2025

ANDRADE DIAS MATEO YASSER

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL ECOSISTÉMICA DE LA CUENCA DEL RÍO APUELA MEDIANTE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN

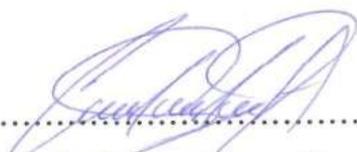
Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, Ibarra, 05 de Febrero de 2025.

DIRECTOR: Ing. Óscar Armando Rosales Enríquez, MSc.

El objetivo de este estudio es realizar un análisis de la calidad ambiental ecosistémica de la cuenca del río Apuela, empleando herramientas de teledetección para determinar la calidad ambiental multitemporal producto del cambio de uso del suelo.

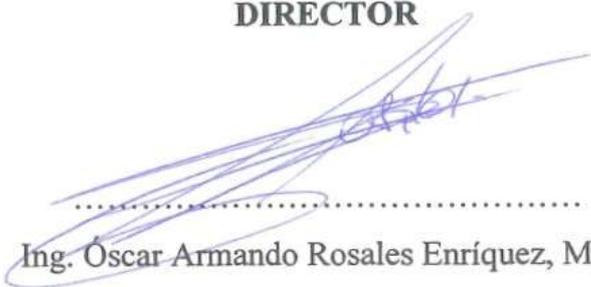
Ibarra, Febrero de 2025

AUTOR



.....
Andrade Dias Mateo Yasser

DIRECTOR



.....
Ing. Óscar Armando Rosales Enríquez, MSc.

**CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR**

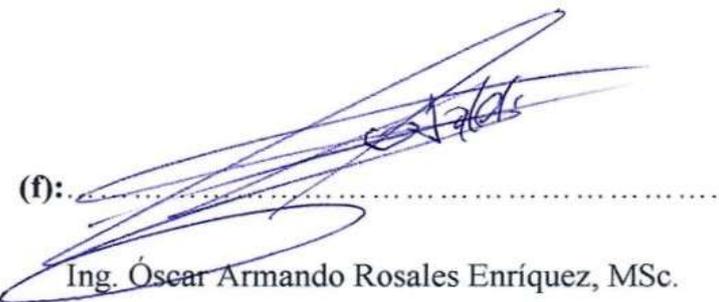
Ibarra, 5 de Febrero de 2025

Ing. 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 finales legales pertinentes.

(f): 

Ing. Óscar Armando Rosales Enríquez, MSc.

AGRADECIMIENTO

En este trabajo de investigación quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios por permitirme alcanzar uno de mis primeros objetivos de vida y dar gracias a todas las personas que contribuyeron al éxito de este trabajo.

Agradezco inmensamente a mi director de tesis, Ing Oscar Rosales por su orientación experta, apoyo constante y por la paciencia a lo largo de este proceso.

También agradezco a mi familia por su inquebrantable apoyo y comprensión durante esta etapa académica. A mis amigos y compañeros de clase, gracias por las discusiones enriquecedoras.

A todos aquellos que han contribuido de alguna manera a este logro, en especial a mi compañera Samanta que gracias a su influencia he logrado culminar con éxito este trabajo.

Esta tesis es un tributo a todos ustedes, y espero que mi trabajo pueda contribuir al conocimiento

Profundamente agradecido:

ANDRADE DIAS MATEO YASSER

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Páginas
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
CAPÍTULO I.....	1
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	4
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Marco teórico referencial	5
2.1.1. Servicios ecosistémicos	5
2.1.2. Componentes de la calidad ambiental.....	5
2.1.3. Impactos Ambientales.....	6
2.1.4. Evaluación de impactos ambientales	7
2.1.5. Métodos de evaluación de impactos ambiental	7
2.1.6. Calidad ambiental ecosistémica.....	9
2.1.7. Calidad ambiental multitemporal.....	11
2.1.8. Técnicas de teledetección	12
2.1.9. Uso adecuado del recurso suelo.....	13
2.1.10. Recurso Hídrico	14
2.1.11. Estrategias de gobernanza.....	15
2.2. Marco Legal.....	16

CAPÍTULO III.....	17
METODOLOGÍA	17
3.1 Descripción del área de estudio	17
3.1.1. Recurso Hídrico	18
3.1.2. Clima.....	18
3.1.3. Ecosistemas.....	19
3.1.4. Diagnóstico Social	19
3.2 Métodos.....	20
3.2.1. Etapa 1. Determinar la calidad ambiental en la cuenca del río Apuela	20
3.2.2. Etapa 2. Evaluación de la calidad ecosistémica multitemporal producto del cambio de uso de suelo	27
3.2.3. Etapa 3. Propuesta de estrategias para el uso adecuado del suelo	28
CAPÍTULO IV.....	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1 Determinación de la calidad ambiental en el periodo 2002 - 2023.....	29
4.1.1 Índice Kappa y coeficiente de coherencia	29
4.1.2 Efectos ambientales del cambio de uso de suelo y calidad ambiental.....	30
4.2 Evaluación la calidad ecosistémica multitemporal producto del cambio de uso de suelo	35
4.3 Propuesta de estrategias para el uso adecuado del suelo	39
4.3.1. Estrategia 1: Diseño y ejecución de planes de uso del suelo que integren prácticas agrícolas sostenibles y acciones de conservación de ecosistemas.	41
4.3.2. Estrategia 2: Realización de plantaciones con especies nativas para recuperar la cobertura vegetal y la biodiversidad.	42
4.3.3. Estrategia 3: Educación ambiental a las comunidades	44
CAPÍTULO V	45
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	45
5.1 Conclusiones	45
5.2 Recomendaciones	46

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
ANEXO A: Tabla de resultados adicionales.....	57
ANEXO B: Mapas temáticos del área de análisis.....	61
ANEXO C: Registro fotográfico.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Metodologías para la evaluación de impactos ambientales	8
Tabla 2. Características de las imágenes satelitales	20
Tabla 3. Coberturas vegetales de la cuenca del río Apuela	21
Tabla 4. Niveles de concordancia	22
Tabla 5. Matriz de Saaty	23
Tabla 6. Análisis multicriterio de las coberturas vegetales y/o uso de suelo.....	24
Tabla 7. Estandarización de datos de cobertura y uso de suelo	25
Tabla 8. Calidad ambiental del año 2002 (ha)	30
Tabla 9. Calidad ambiental del año 2023 (ha)	31
Tabla 10. Matriz de transición de ecosistemas y usos de suelo 2002 – 2023 (%).....	35
Tabla 11. Modelo Presión – Estado – Respuesta	40
Tabla 12. Nivel de concordancia de las distintas coberturas del suelo en el año 2002....	57
Tabla 13. Nivel de concordancia de las distintas coberturas del suelo en el año 2023....	58
Tabla 14. Matriz de transición de ecosistemas y usos de suelo 2002 –2023 (km ²).....	59
Tabla 15. Resumen del cambio neto absoluto del uso de suelo 2002-2023 (%).....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la cuenca hidrográfica del río Apuela.....	17
Figura 2. Hidrología de la cuenca del río Apuela	18
Figura 3. Cambio de cobertura y uso de suelo del año 2002 y 2023	33
Figura 4. Cambio neto absoluto de cobertura total y usos de suelo (%) 2002- 2023.....	36
Figura 5. Transición de Ecosistemas y unidades ecosistémicas 2002 - 2023	37
Figura 6. Río Apuela, parroquia Apuela	70
Figura 7. Deforestación de cobertura vegetal natural	70
Figura 8. Bosque siempreverde montano.....	71
Figura 9. Toma de datos y registro de puntos GPS.....	71

RESUMEN

El análisis de este estudio se realizó en la cuenca hidrográfica del río Apuela, localizada en el cantón Cotacachi, provincia de Imbabura. El propósito fue evaluar la calidad ambiental ecosistémica en un período de 21 años, en base a imágenes satelitales de los años 2002 y 2023. Para ello, se adquirieron imágenes satelitales Landsat 7 y 8 posteriormente procesadas utilizando ArcGis para así eliminar cualquier posible error. Se identificaron siete coberturas terrestres: bosques, páramo, cuerpo de agua, vegetación arbustiva, cultivos, pastos y área sin cobertura vegetal, así, mediante la clasificación supervisada con firmas espectrales, se obtuvo información detallada sobre la cobertura y uso de suelo (CUS). La evaluación se complementó con un análisis multicriterio (AMC), donde se aplicó el Índice de Calidad Ambiental (ICA) basado en el cálculo de las superficies de cobertura y el índice de vegetación mejorado (EVI). Adicionalmente, para el análisis ecosistémico, se usó la matriz de transición. Los resultados evidenciaron que a pesar de que el 86,46% del territorio ha mantenido una cobertura ecosistémica relativamente estable, el análisis revela dinámicas cambiantes en algunos ecosistemas. Mientras el páramo, el bosque siempreverde montano y el arbustal siempreverde han mostrado una notable conservación, con porcentajes de cobertura estable de 52,45%, 22,66% y 3,39% respectivamente. Otros ecosistemas han experimentado pérdidas: el bosque siempreverde montano bajo y el bosque montano alto han disminuido en un 6,64% y 0,72% en su orden. Por ello, la expansión de cultivos en un 3% ha generado presiones sobre los ecosistemas naturales de la cuenca del río Apuela, disminuyendo su calidad ambiental ecosistémica en el período 2002-2023.

Palabras clave: análisis ambiental, calidad ambiental, cobertura y uso de suelo, imágenes satelitales, teledetección.

ABSTRACT

This study analyzed the Apuela River watershed, located in Cotacachi canton, Imbabura province. The objective was to assess the ecosystem's environmental quality over a 21-year period, using satellite images from 2002 and 2023. Landsat 7 and 8 satellite images were acquired and processed using ArcGIS to eliminate any potential errors. Seven land cover types were identified: forests, páramo, water bodies, shrubland, crops, grasslands, and bare land. Through supervised classification with spectral signatures, detailed information on land cover and land use (LCLU) was obtained. The assessment was complemented by a multi-criteria analysis (MCA), applying the Environmental Quality Index (EQI) based on the calculation of coverage areas and the Enhanced Vegetation Index (EVI). Additionally, a transition matrix was used for the ecosystem analysis. Results showed that although 86.46% of the territory has maintained a relatively stable ecosystem cover, the analysis reveals changing dynamics in some ecosystems. While the páramo, montane evergreen forest, and evergreen shrubland have shown remarkable conservation, with stable coverage percentages of 52.45%, 22.66%, and 3.39%, respectively, other ecosystems have experienced losses. The lower montane evergreen forest and the upper montane forest have decreased by 6.64% and 0.72%, respectively. Therefore, it can be stated that the expansion of crops by 3% has generated pressures on the natural ecosystems of the Apuela River watershed.

Keywords: environmental analysis, environmental quality, land cover and land use, satellite imagery, remote sensing.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Revisión de antecedentes o estado del arte

Actualmente, se vive en un mundo contemporáneo donde se hace presente una serie de problemas en la sociedad, ocasionando graves consecuencias. Esto llama la atención de las complejas problemáticas como: el calentamiento global, la degradación de los ecosistemas, pérdida de biodiversidad, contaminación y agotamiento del agua (Sánchez *et al.*, 2015). Esta preocupación contemporánea de la explotación a la naturaleza, en torno al aprovechamiento de los recursos naturales para las actividades de producción y consumo, está altamente relacionada con la economía. Por lo que se han desarrollado distintas maneras de convivencia con la economía y el ambiente, por ejemplo: la economía ambiental, dicho sistema trata de evitar los riesgos ecológicos innecesarios (Reséndiz, 2020).

Es posible afirmar que las alteraciones ecosistémicas son predominantemente inducidas por la actividad antropogénica. Dichas acciones han fragmentado severamente la calidad de vida en general (Orpí, 2006). Esto a gran escala es un problema difícil de estudiar, pero existen diversas tecnologías utilizadas para medir y monitorear los cambios ecológicos, así, permitiendo la recopilación de datos precisos. Proporcionando información valiosa para comprender los impactos de las actividades humanas en el medio ambiente.

Sánchez (2018) llevó a cabo un análisis centrado en el impacto del cambio de uso de suelo y la alteración de la cobertura vegetal en las Áreas Naturales Protegidas (ANP) de la Sierra Madre Oriental, México. El estudio empleó imágenes satelitales de los años 1989, 2000 y 2005 para evaluar las transformaciones en la región, simulando además un escenario proyectado para 2025. Se observó una tasa de cambio del 0.54 % en selvas, 0.22 % en bosques y 0.23 % en matorrales, mientras que en las ANP las tasas fueron de 0.34 % y 0.60 % en selvas y bosques, respectivamente. Las proyecciones indicaron una disminución significativa de estas coberturas para 2025, esto predice posibles transformaciones adversas, lo que pone en riesgo la integridad del ecosistema y la conectividad de las áreas de distribución de diversas especies (Sánchez *et al.*, 2018).

Otra investigación que aborda la utilización de herramientas satelitales es el estudio, titulado "Análisis jerárquico de la intensidad de cambio de cobertura/uso de suelo y deforestación (2000-2008) en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, México". En este trabajo, se comparó la tasa anual de cambio entre los años 2000 y 2004 con el período 2004-2008, demostrando a nivel de categorías, altas tasas de deforestación de las selvas tropicales y bosques templados debido a usos agropecuarios (Gutiérrez *et al.*, 2016).

Estos cambios en el ambiente son causados por las actividades humanas y requieren una atención urgente y acciones para reducir su impacto. Por ello, la utilización de sistemas de información geográfica (SIG) en conjunto con imágenes de alta resolución permite detectar y cuantificar cambios en la superficie terrestre, identificar patrones de deforestación, expansión agrícola y urbanización (Suárez *et al.*, 2008).

1.2. Problema de investigación y justificación

Los cambios en el uso del suelo son impulsados por factores como el crecimiento poblacional, la demanda de recursos naturales, el desarrollo económico y las políticas. Este fenómeno es preocupante debido a sus impactos ambientales y socioeconómicos negativos, contribuyendo al calentamiento global al alterar ciclos biogeoquímicos, el ciclo del agua y la erosión del suelo. A pesar de su relevancia, la sociedad no le otorga la atención necesaria, poniendo en riesgo a las futuras generaciones. Existen varias definiciones para un "suelo fértil", El Comité para la Salud del Suelo de la Soil Science Society of America lo define como la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado (García *et al.*, 2012).

Numerosas investigaciones han profundizado en el tema en diversas regiones. Un estudio, por ejemplo, evaluó las diferencias en el cambio de uso y cobertura del suelo en la cuenca del río Chico, provincia de Manabí, Ecuador. Utilizando productos de la Agencia Espacial Europea (ESA) y la Iniciativa de Cambio Climático (CCI) desde 1998 hasta 2015. Las variaciones en la cobertura del suelo, basadas en imágenes Landsat, destacan las consecuencias de la escorrentía en la cuenca baja debido al aumento de áreas de cultivo, la expansión urbana y la deforestación. Este análisis predice colapsos temporales en los sistemas de drenaje pluvial en las cabeceras parroquiales, teniendo un riesgo para las poblaciones aledañas (Poggi *et al.*, 2021).

Otro estudio realizado en el cantón de Guano, provincia de Chimborazo, empleó herramientas multiespectrales para evaluar el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI, por sus siglas en inglés), el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI, por sus siglas en inglés) y el Índice de estrés hídrico (CWSI, por sus siglas en inglés) de los cultivos de tuna (*Opuntia ficus*). Evaluaron la calidad del suelo con ayuda de una imagen satelital del año 2018; y obtuvieron una media aproximada y referencial de NDVI, dicha reflectancia es usado tanto del suelo como del cultivo y transpiración del estrés hídrico (CSWI). Los hallazgos de la investigación correspondieron a estimaciones aproximadas y referenciales del NDVI, con un valor de 0.31, junto con los valores del SAVI que reflejan las características del suelo y del cultivo, y un CWSI muy bajo que indica una mínima transpiración, esto sugiere que una de las técnicas más eficaces para aumentar la producción de la tuna es el riego por goteo (Sevilla *et al.*, 2019).

El enfoque antropocéntrico ha sido identificado como un factor que genera efectos adversos sobre la biodiversidad y en los servicios ecosistémicos, contribuyendo significativamente a los procesos de cambio climático a nivel regional. En la región de Intag, en Imbabura, las comunidades han luchado persistentemente para detener las actividades mineras en su territorio debido a las graves consecuencias que estas generan. Aproximadamente 41 bosques protectores han sido afectados por la minería, y cerca de 300 especies de animales están ahora incluidas en la lista roja de conservación (Tapia *et al.*, 2017).

El desarrollo de este estudio proporcionara información para mejorar la calidad de vida de las comunidades afectadas por los problemas ambientales, vinculados a la actividad agrícola y pecuaria. Se confirma que uno de los principales factores de esta problemática son las altas tasas de deforestación, impulsadas por la tala ilegal, la falta de control forestal, y la búsqueda de alternativas económicas por parte de la población local. Además de la deforestación, otras cuestiones ambientales incluyen la contaminación de cuerpos de agua debido a la gestión inadecuada de residuos sólidos y el uso excesivo de agroquímicos y pesticidas. Estas dinámicas representan una amenaza tanto para la biodiversidad como para el potencial ecoturístico de la región (Latorre, 2011).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar la calidad ambiental ecosistémica multitemporal de la cuenca del río Apuela mediante herramientas de teledetección.

1.3.2. Objetivos específicos

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

1.4. Preguntas directrices

¿Existen comunidades afectadas por el cambio de uso del suelo en la cuenca alta del río Apuela?

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Marco teórico referencial

2.1.1. Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos son las ventajas tanto directas como indirectas que las poblaciones humanas obtienen de las diversas funciones que realizan los ecosistemas (Costanza *et al.*, 1997). La iniciativa Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EME), promovida por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y considerada como una de las referencias más citadas en este tema, se define los servicios ecosistémicos como los beneficios que las personas consiguen de los ecosistemas (Finlayson *et al.*, 2005). El objetivo principal de introducir el concepto de servicios ecosistémicos es incorporar las preocupaciones ecológicas en términos económicos, resaltando la interdependencia entre la sociedad y los ecosistemas naturales, así como, fomentar el interés público en la conservación de la biodiversidad.

La actividad humana está alterando los ecosistemas naturales a un ritmo acelerado, lo que ha perturbado aproximadamente el 75% de la superficie terrestre a nivel mundial (Pinto *et al.*, 2019). Esta preocupante situación ha llevado a numerosos países a centrarse en la protección y restauración de los ecosistemas, implementando nuevos planes, políticas y asignando financiamiento para tales fines (Bendor *et al.*, 2015). La comprensión de los servicios ecosistémicos es una tarea crucial. En respuesta a esta creciente concienciación, los gobiernos y las instituciones financieras multilaterales están considerando explícitamente los servicios ecosistémicos en la toma de decisiones de importancia (Finlayson *et al.*, 2005).

2.1.2. Componentes de la calidad ambiental

Los componentes de calidad ambiental poseen diferentes aspectos del ambiente que se consideran fundamentales para evaluar su estado general. Estos componentes proporcionan un enfoque integral para comprender y medir la calidad ecológica. Algunos de los componentes clave son: la calidad del aire, el agua, el suelo, la biodiversidad y los impactos en el paisaje (Romanelli *et al.*, 2016).

La calidad del suelo ejerce una influencia significativa en la calidad ecosistémica, englobando atributos como la fertilidad, la productividad potencial, la sostenibilidad y la calidad ambiental (Cruz *et al.*, 2004). Además, la calidad del suelo funciona como una herramienta fundamental para comprender la utilidad y salud de este recurso. El Comité para la Salud del Suelo de la Soil Science Society of America (SSSA) define la salud del suelo como su capacidad para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o gestionado, garantizando la sostenibilidad y mejora de la productividad de plantas y animales, así, promoviendo la salud humana (García *et al.*, 2012).

2.1.3. Impactos Ambientales

En la actualidad, el impacto ambiental se ha convertido en un tema de suma importancia, se refiere al efecto que una acción llevada a cabo por los seres humanos en la ambiente causa diferentes aspectos, tanto a corto como a largo plazo. Estas acciones son impulsadas principalmente por intereses personales, sin una consideración adecuada hacia el entorno natural y social. Aunque los efectos buscados suelen ser positivos para aquellos que promueven dichas acciones, los efectos secundarios resultantes suelen ser negativos, a pesar de algunas consecuencias positivas que también puedan surgir (Pérez *et al.*, 2017).

Las actividades humanas que tienen un impacto significativo en el ambiente a nivel global son el uso de combustibles fósiles, agricultura y ganadería. Estas actividades generan un alto porcentaje de contaminantes que se desembocan en los ríos y llegan al mar, lo que enfatiza los efectos de la contaminación en las cuencas hidrográficas. Esto genera pérdida de diversidad biológica, degradación de hábitats acuáticos y contaminación de los ecosistemas fluviales y marinos, teniendo consecuencias directas en la salud humana (Cruz *et al.*, 2010).

Estas actividades implican la implementación de estrategias de planificación territorial y de recursos, mediante la zonificación y programas específicos. Con el objetivo de proporcionar información fundamental para la gestión de la calidad del agua, tanto desde una perspectiva ambiental como ecosistémica. Estas herramientas de gestión suelen incluir programas de vigilancia y seguimiento de la calidad del agua, inspecciones de fuentes de contaminación, así como, de procesos y productos contaminantes. Además, se establecen sistemas de permisos y licencias ambientales que están condicionados a una serie de factores y requisitos mínimos para el control de la contaminación (Santos, 2009).

2.1.4. Evaluación de impactos ambientales

Desde un enfoque de sustentabilidad para remediar los efectos negativos en el ambiente producidos por la intervención humana, es necesario conocer los factores de la presión antropogénica y de la situación ambiental general de un determinado territorio y el tiempo determinado. Esto permite evaluar la magnitud de los cambios ocasionados y proponer medidas adecuadas de respuesta. Así mismo, según esta necesidad de la revisión y en gran medida de la prevención de la degradación ambiental, es aquí, con este enfoque que se creó el mecanismo de la evaluación de impacto ambiental (EIA), a partir de la Conferencia de las Naciones Unidas (ONU) sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en 1992 (Perevochchtchikova, 2013).

2.1.5. Métodos de evaluación de impactos ambiental

En consecuencia, su objetivo principal es identificar, prever, cuantificar y evaluar los cambios o perturbaciones (impactos ambientales) que pueden surgir como resultado de una serie de acciones o actividades. Estas metodologías aportan la capacidad de comprender cuales variables físicas, químicas, biológicas, procesos socioeconómicos, culturales y paisajísticos se verán afectados. Además, su aplicación permite evaluar el proyecto desde su concepción hasta su abandono, incluyendo el diseño e implementación de un Plan de Manejo durante la ejecución de la actividad y un sistema de monitoreo correspondiente (Ramos, 2013).

Existen muchos métodos diferentes para la evaluación del impacto ambiental, incluidas listas de verificación de revisión, cuestionarios del Banco Mundial, diagramas de redes, métodos de Sorensen y matrices de interacción de factores (Salvador *et al.*, 2005). Según Canter (1998), dividió los métodos de evaluación de impacto ambiental (EIA) en matrices de interacción (causa y efecto) y listas de verificación. Conesa Fernández (2011) destacó que los métodos evaluados generan impactos ambientales específicos que no son aplicables de manera generalizada, lo que sugiere la necesidad de un análisis contextualizado y particular para cada caso (Tabla 1).

Actualmente, los métodos de EIA más utilizados se encuentran sistematizados por categorías, con una jerarquía que parte de:

- a) Matriz de causalidad (por ejemplo, Leopold, Clark, CNYRPAB, Moore, Bereano, guías de métodos M.O.P.U.),
- b) Listas de verificación (por ejemplo, listas de verificación simples, descriptivas, simples y escaladas),
- c) Sistemas de interacción o de redes (por ejemplo, Sorensen, Extended Networks),
- d) Mapeo de sistemas (por ejemplo, superposiciones transparentes),
- e) Análisis de sistemas,
- f) Métodos basados en indicadores, y
- g) Métodos cuantitativos

(Bolea, 1984).

Tabla 1

Metodologías para la evaluación de impactos ambientales

Método	Definición
Método de Leopold	Se trata de una matriz que presenta, en las columnas, las acciones del proyecto y en las filas, los componentes del medio y sus características.
Diagramas de flujo	Se aplica en colaboraciones de causalidad lineal entre la acción y el ambiente perjudicado.
Método de Batelle	Consiste en un listado de verificación con escalas de ponderación que contempla la especificación de los componentes del medio ambiente, la ponderación valórica de cada aspecto y la asignación de unidades de trascendencia.

Nota. Espinoza Daniela & Varela Alexander, (2021).

2.1.6. Calidad ambiental ecosistémica

La importancia de la "calidad ecosistémica" comprende múltiples disciplinas, incluyendo la ecología, la economía y la salud pública. La biodiversidad es indispensable desde una perspectiva ecológica, ya que los ecosistemas desempeñan un rol clave en la regulación y mantenimiento de funciones biológicas esenciales para la supervivencia de todas las especies. Estas funciones abarcan la regulación del clima, la fertilidad del suelo y el ciclo de nutrientes. Desde un enfoque socioeconómico, la biodiversidad es igualmente crítica, ya que proporciona los recursos naturales necesarios para la producción industrial, bienes de consumo y servicios ecosistémicos que sustentan la economía global y el bienestar humano (Figueroa, 2005).

En el ámbito socioeconómica de la parroquia Apuela, las actividades principales se dividen en el sector primario, que incluye la agricultura, pecuaria y minería; seguido del sector secundario y terciario, que abarca el comercio, la educación y otros servicios. Las actividades agrícolas han experimentado cambios significativos debido a factores externos, lo que ha llevado al abandono de ciertos cultivos tradicionales. Por ejemplo, el cultivo de penca (*Opuntia sulphurea*) para la producción de cabuya (*Furcraea andina*) y la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la elaboración de licor y panela han perdido relevancia gradualmente, siendo reemplazados por cultivos como el café (*Coffea arabica*), el tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y productos de ciclo corto como el fréjol (*Phaseolus vulgaris*) y el maíz (*Zea Mays*) (PDOT, 2011).

Es crucial entender cómo se configura actualmente el uso de la tierra y las actividades productivas en la parroquia Apuela, ya que esto facilita un análisis más profundo de la relación entre la expansión de la frontera agrícola y las transformaciones territoriales. Aunque factores como el crecimiento o disminución de las comunidades locales también influyen en estas modificaciones, su impacto es relativamente menor. Es importante considerar que las actividades productivas son las principales responsables de los daños ambientales significativos, dado que la degradación del suelo obliga a los pequeños productores a ejercer presión sobre los bosques y páramos, lo que provoca la destrucción de la vegetación y genera conflictos en cuanto a la distribución del territorio (PDOT, 2015).

El desarrollo de la ciencia y de la tecnología, es particular de la era moderna post industrial, la incorporación de conocimientos que coadyuven a solucionar las problemáticas ambientales, con la visión hacia la sustentabilidad se requiere de herramientas novedosas para trabajar en conjunto con la sociedad. La innovación tecnológica busca desarrollar tecnología que responda a las necesidades de los actores sociales, como campesinos, empresas, comunidades rurales, organizacionales sociales. Con el fin de mejorar la calidad ambiental, haciéndole más eficiente, conservar, restaurar, o remediar los recursos asociados, esto con lleva a impactos positivos para la sociedad (Gavito *et al.*, 2017).

En el artículo “Consequences of Changing Biodiversity” de Chapin et al. (2000), se examina la relación entre la biodiversidad y la calidad ecosistémica. El texto subraya que la biodiversidad es esencial para el funcionamiento saludable de los ecosistemas, influyendo en procesos ecológicos clave como la productividad primaria, la estabilidad del ecosistema y la regulación de los ciclos biogeoquímicos. También se destacan las graves consecuencias de la pérdida de biodiversidad, impulsada por la deforestación, la urbanización y la contaminación, que incluyen una disminución en la estabilidad ecológica, un aumento en la vulnerabilidad a enfermedades y plagas, y una reducción en la capacidad de los ecosistemas para proporcionar servicios esenciales (Dias *et al.*, 2000).

La importancia de la calidad ecosistémica repercute en el ámbito de la salud, partiendo de componentes como valores naturales, sociales y culturales. Investigaciones ambientales recientes han demostrado que el deterioro del ambiente compromete en gran medida a la salud humana y los ecosistemas. Según un estudio de la Organización Mundial de la Salud, en 2002, aproximadamente el 24% de la carga global de morbilidad (medida en años de vida saludable perdidos) y el 23% de todas las muertes fueron atribuibles a factores ambientales. Se estima que entre 2030 y 2050, el cambio climático podría ocasionar alrededor de 250.000 muertes adicionales anuales. Además, se ha informado que hasta un 36% de las muertes en niños de 0 a 14 años están relacionadas con estas causas. Estos porcentajes de mortalidad prematura son más elevados en las regiones en desarrollo en comparación con las más avanzadas (Roa *et al.*, 2016).

2.1.7. Calidad ambiental multitemporal

El proceso implica la recopilación de datos numéricos y geográficos con el objetivo de crear una base de datos que documente la cobertura espacial y temporal, empleando imágenes satelitales para el análisis. Se comparan imágenes de la misma zona en diferentes momentos para realizar análisis específicos, como la variación en la vegetación o el deshielo de glaciares, dependiendo de los requerimientos del estudio. Esto permite identificar patrones de cambio en los intervalos temporales proporcionando información para la planificación ambiental y la gestión de recursos naturales. Los resultados obtenidos pueden ser utilizados para predecir futuras tendencias y evaluar el impacto de intervenciones humanas en el ambiente. (Gómez, *et al.*, 2013).

En un estudio regional enfocado en los bosques de la cuenca del río Amazonas, se encontró que la Región Amazónica Ecuatoriana (RAE) perdió el 12% de ecosistemas boscosos entre 2010 y 2015, lo que representa una disminución en la tasa de deforestación en comparación con el período 2005-2010, con una reducción del 2%, un patrón que refleja la tendencia observada en toda la cuenca Amazónica. El análisis se efectuó con imágenes satelitales geoespaciales Landsat 5 adquiridas entre los años 2002 y 2015. La resolución implementada en las imágenes fue de 30 m, siendo suficiente para detectar los cambios en los bosques. Ecuador en el año 2015 ha perdido un total de 12.6% de sus bosques amazónicos originales (12.120 ha), esto es principalmente provocado por la deforestación en los Territorios Indígenas (TI) (Borja *et al.*, 2017).

No obstante, en el análisis multitemporal de la calidad ambiental, es fundamental considerar diversas variables que afectan la exactitud y precisión de los resultados. Estas variables pueden incluir cambios en la vegetación, alteraciones en el uso del suelo, variaciones en los cuerpos de agua, eventos atmosféricos extremos, así como impactos humanos como la urbanización o la deforestación, entre otros. Cada una de estas variables puede influir significativamente en la interpretación de los datos ambientales y en la planificación de estrategias para la conservación y gestión del entorno natural. Por ello, es esencial tener en cuenta estas variables y su influencia en el análisis multitemporal para obtener resultados más precisos y valiosos (Chander *et al.*, 2009).

Un estudio más reciente tuvo como objetivo identificar los cambios en la cobertura del suelo en la parroquia Baños a través del uso de imágenes satelitales de los sensores Landsat 5, 7 y 8. Estas imágenes fueron clasificadas en categorías como bosque, vegetación arbustiva y herbácea, tierras agropecuarias, cuerpos de agua y zonas antrópicas, utilizando una clasificación supervisada basada en el logaritmo de máxima probabilidad. Además, se empleó el complemento MOLUSCE para evaluar y proyectar cambios en el uso del suelo desde 1991 hasta 2021, con predicciones para el periodo 2031-2051 en intervalos de 10 años, utilizando el modelo CA-ANN. Los resultados indicaron que la vegetación arbustiva y herbácea se degradó a una tasa anual del 0,59%, mientras que las tierras agropecuarias y las zonas antrópicas aumentaron a tasas anuales del 8,85% y 3,84%, respectivamente. Las proyecciones muestran que en los próximos años se perderán hectáreas de bosque (Mejía, 2023).

2.1.8. Técnicas de teledetección

El Instituto Geográfico Nacional de España define la teledetección como una técnica que permite obtener datos sobre la superficie terrestre utilizando sensores ubicados en plataformas espaciales (Jara, 2012). Esta técnica consiste en la adquisición y análisis de datos e imágenes obtenidas desde plataformas aéreas o satelitales, permitiendo obtener información detallada sobre el estado y los cambios en los recursos naturales y el medio ambiente. Es una fuente de datos para obtener imágenes satelitales que permite monitorear y evaluar las coberturas y el uso del suelo (Gil *et al.*, 2016); así, como evaluar los impactos ambientales de manera eficiente y a gran escala, abarcando áreas extensas y proporcionando una visión integral de los ecosistemas (Perevochtchikova, 2013).

Un estudio realizado en un bosque mediterráneo del Macizo de Cadiretes, España, exploró la aplicación de un enfoque multidimensional para evaluar la recuperación de la vegetación tras incendios forestales. El objetivo fue probar la viabilidad de combinar teledetección y análisis en campo, junto con modelización aleatoria. Los resultados demostraron que esta aproximación permite evaluar eficazmente la capacidad de regeneración de la vegetación. Sin embargo, el modelo aleatorio reveló que las variables topográficas y de vegetación son valiosas para explicar la severidad de los incendios a corto plazo, pero su precisión predictiva disminuye considerablemente en periodos más largos (Francos *et al.*, 2021).

2.8.1.1. Imágenes pancromáticas

Las imágenes se generan a partir de los mismos satélites que capturan imágenes multiespectrales, como Landsat, DigitalGlobe, y SPOT6/7, entre otros. Una imagen pancromática es obtenida mediante sensores digitales que miden la reflectancia de energía en una amplia gama del espectro electromagnético. Estos sensores capturan detalles finos al integrar información de múltiples longitudes de onda en una sola imagen en blanco y negro, permitiendo una mayor resolución espacial que las imágenes multiespectrales. Este tipo de imágenes es crucial para aplicaciones que requieren un análisis detallado de la superficie terrestre, como la detección de cambios en la cobertura del suelo y el monitoreo de desastres naturales. (Jara, 2012).

Es la combinación de las bandas visibles roja, verde y azul permite obtener una imagen con mayor resolución espacial debido a la intensidad total de la radiación solar. Estas bandas se utilizan para mejorar la resolución espacial de las imágenes multiespectrales a través de un proceso conocido como fusión pancromática. En este proceso, las bandas de baja resolución se combinan con bandas en escala de grises de alta resolución para producir una imagen visual de mayor calidad. Sin embargo, una limitación de este método es la posible distorsión espectral, lo que puede complicar la clasificación precisa de los objetos en la imagen (Chuvienco, 2002).

2.1.9. Uso adecuado del recurso suelo

El suelo es la capa superficial de la corteza terrestre formada por minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos. Es crucial para la vida, ya que provee nutrientes para las plantas, filtra agua, regula el clima y alberga biodiversidad. Su formación, un proceso prolongado, depende de interacciones físicas, químicas y biológicas, así como de factores como el clima y la topografía. Además, actúa como sumidero de carbono, desempeñando un papel clave en la mitigación del cambio climático y en la sostenibilidad agrícola (Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura [FAO], 2021).

La calidad del suelo puede analizarse a través de varios indicadores que permiten comprender mejor su composición. Un estudio realizado en Cuba introduce nuevos conceptos sobre la calidad del suelo y los indicadores que la determinan. Se destaca que el suelo es un ecosistema donde interactúan diversos factores, por lo que ningún indicador aislado puede ofrecer una

visión completa. Es necesario considerar indicadores físicos, químicos, biológicos, productivos y sociales para evaluar adecuadamente la calidad y/o salud del suelo (Parkin *et al.*, 2015).

El trabajo señala que se empleó el software SEMCAS para evaluar y monitorear la calidad del suelo, así como los indicadores utilizados en los sistemas ganaderos. Los indicadores más destacados fueron los físicos, junto con algunos biológicos, basándose en las buenas propiedades químicas del suelo. Además, se realizaron análisis multivariados para identificar los principales indicadores de calidad de los suelos Ferralíticos Rojos en la región central de Cuba. Entre los más representativos se encontraron los indicadores físicos, como la permeabilidad, la estabilidad de los agregados, la estructura y el límite inferior de plasticidad (García *et al.*, 2012).

2.1.10. Recurso Hídrico

Ecuador cuenta con una notable disponibilidad de recursos hídricos, distribuidos en dos principales vertientes: la del Océano Pacífico y la Vertiente Oriental o Amazónica. Este recurso es fundamental para sectores, incluyendo la agricultura, la industria y la generación de energía hidroeléctrica. No obstante, en los últimos años, la gestión y conservación del agua han enfrentado grandes desafíos. En el año 2024, el país experimentó una de las sequías más severas en décadas, lo que desencadenó incendios forestales y prolongados cortes eléctricos, afectando la economía del país. La disminución de los cuerpos de agua se atribuye a factores como la actividad humana y el cambio climático, alterando los patrones de precipitación y afectando la disponibilidad hídrica. Ante esta situación, se han implementado políticas integrales enfocadas en el uso sostenible del agua, la diversificación de fuentes de energía para la preservación del recurso hídrico esencial para las generaciones actuales y futuras (Rivera, 2016).

Además de la importancia en el desarrollo económico y social, es crucial en la preservación de la biodiversidad. Los ecosistemas acuáticos del país tienen una variedad de flora y fauna. Sin embargo, la contaminación proveniente de actividades humanas ha puesto en riesgo estos ecosistemas frágiles. Según un estudio llevado a cabo en la ciudad de Loja, se encontró que los principales focos de contaminación provenían de aguas residuales en zonas media y baja de la microcuenca. Estos estudios destacan la necesidad de implementar medidas de mitigación y planes de manejo ambiental para prevenir, controlar y reducir los impactos negativos en la calidad del agua, protegiendo así la salud de los ecosistemas (Sánchez *et al.*, 2012).

2.1.11. Estrategias de gobernanza

En Ecuador, la gobernanza engloba un conjunto de reglas, instituciones y procesos que rigen la toma de decisiones y la gestión pública, mediante los cuales se ejerce el poder y se gestionan los asuntos públicos. Estos procesos están orientados por principios constitucionales como la participación ciudadana, la transparencia, la equidad y la descentralización, promoviendo un modelo de desarrollo sustentable e inclusivo, con el fin de fortalecer la democracia y garantizar el bienestar de la población (Alonso *et al.*, 2007).

Al nivel de cuencas la gobernanza asigna responsabilidades y se gestionan los recursos hídricos dentro de una cuenca hidrográfica, con el objetivo de uso sostenible y equitativo. La administración del recurso hídrico implica un enfoque integral que involucra a instituciones gubernamentales como la Secretaría del Agua (SENAGUA), los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) y organizaciones comunitarias, para la conservación de los ecosistemas hídricos y prevenir conflictos del acceso al agua (Abadía *et al.*, 2016).

Gobernanza Ambiental

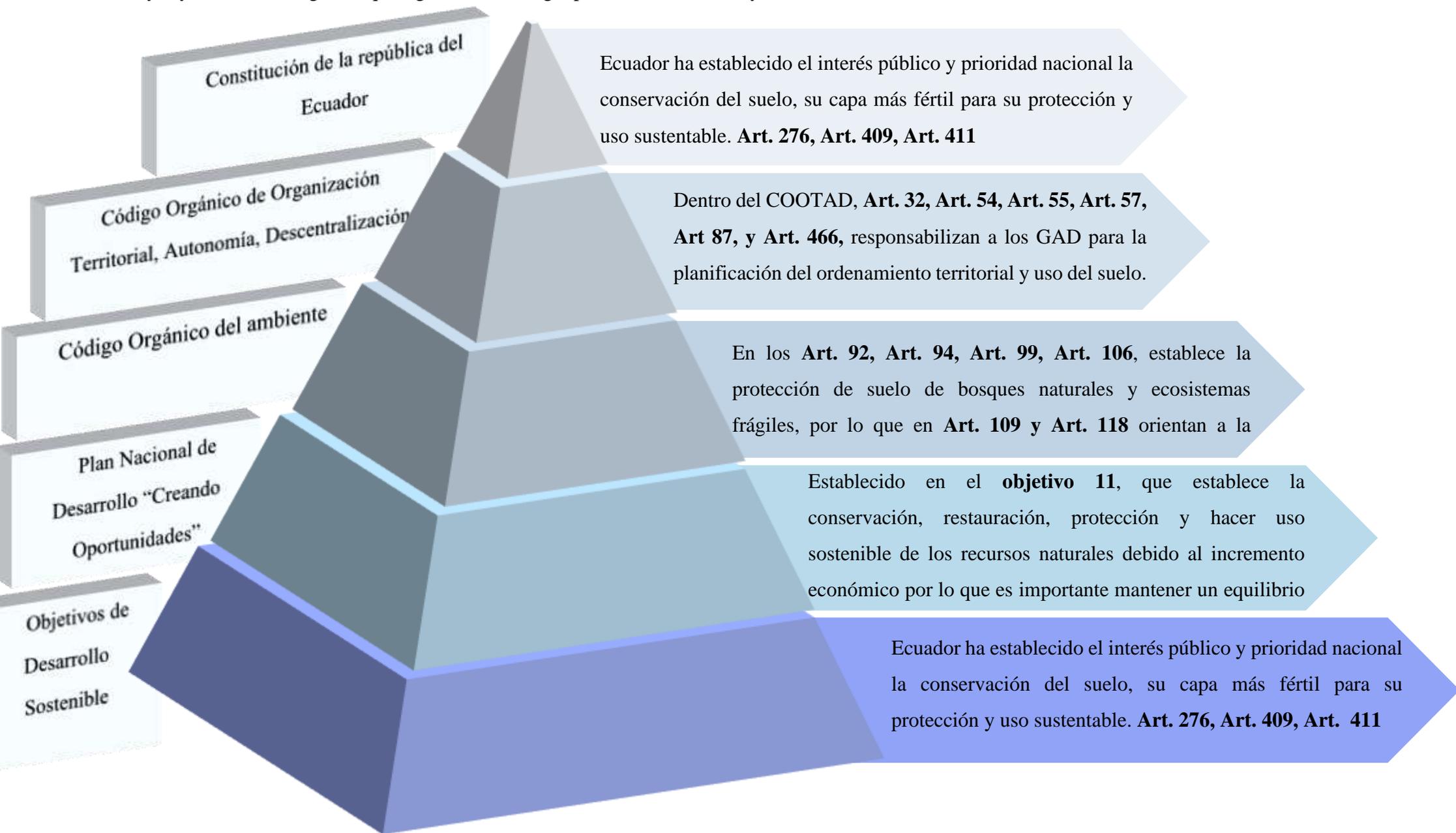
Las áreas protegidas desempeñan un papel crucial en la preservación y gestión de la diversidad biológica y los ecosistemas. Su relevancia se ve potenciada al servir como áreas destinadas al secuestro de carbono, lo que puede colaborar en los esfuerzos de mitigación y adaptación a los impactos del cambio climático. Además, a nivel local, estas áreas proveen y seguirán proporcionando opciones valiosas para la supervivencia de las comunidades circundantes, contribuyendo así a la reducción de la pobreza en general (Meléndez *et al.*, 2017).

Participación ciudadana

Las conductas corruptas y sus perjudiciales consecuencias para el sistema legal, el funcionamiento de las instituciones y la ética pública afectan negativamente la estabilidad económica del país. Aquellos responsables de estos actos se amparan en vacíos legales o contradicciones presentes en la legislación vigente, como es el caso de la infracción que se comete cuando un funcionario utiliza fondos públicos para propósitos ajenos al servicio público (Ramo *et al.*, 2017).

2.2. Marco Legal

Leyes y normativas vigentes que rigen el marco legal para la conservación y uso de suelo.



CAPÍTULO III

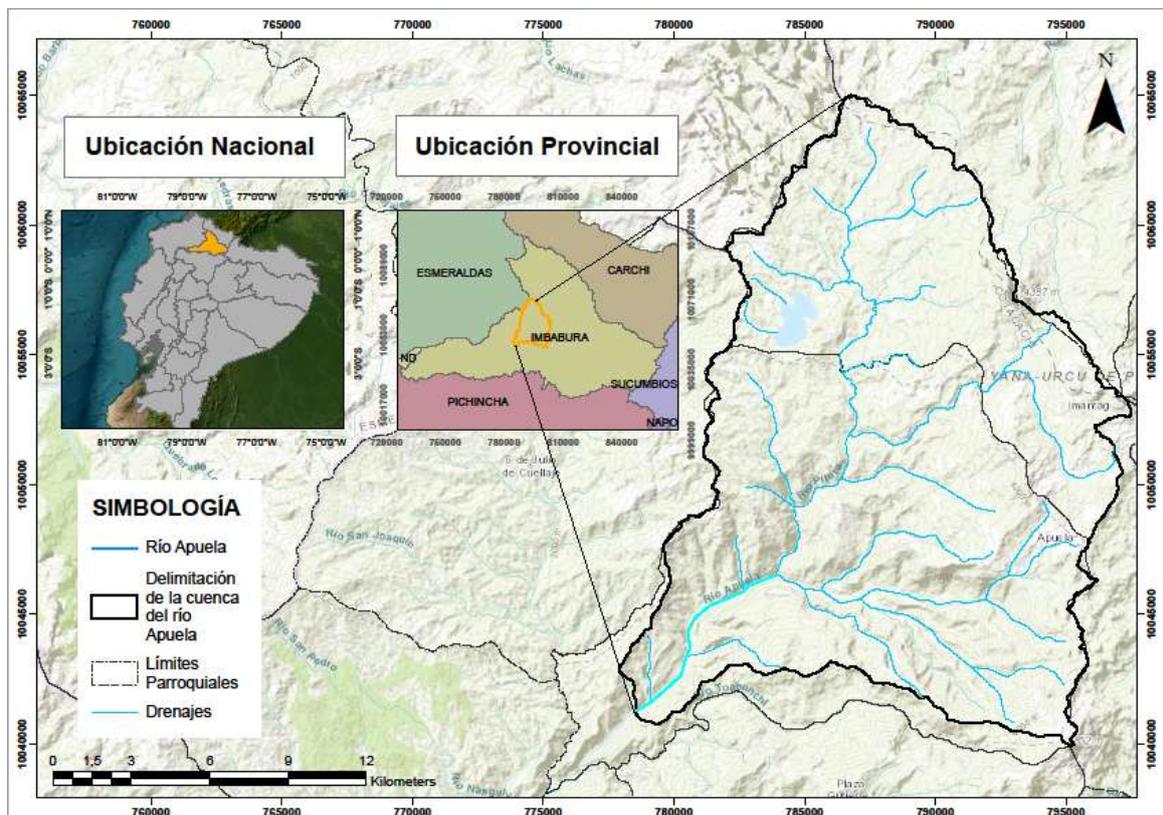
METODOLOGÍA

3.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio se localiza en la parroquia de Apuela, perteneciente al cantón Cotacachi, en la provincia de Imbabura, Ecuador (Figura 1). Apuela se encuentra en la región andina, dentro de la zona subtropical de la cuenca del río Intag. Esto favorece la presencia de vegetación nativa y suelos fértiles. La topografía es variada, con pendientes pronunciadas y zonas planas, características típicas de un paisaje montañoso. El área posee una extensión de 21857,91 Hectáreas – 218,57 Kilómetros cuadrados, igualmente una gran biodiversidad y ecosistemas vulnerables, lo que convierte a Apuela en un sitio de interés para estudios relacionados con la conservación, manejo de recursos naturales, y la sostenibilidad de las actividades agrícolas y forestales que predominan en la zona (Latorre, 2015).

Figura 1

Ubicación de la cuenca hidrográfica del río Apuela

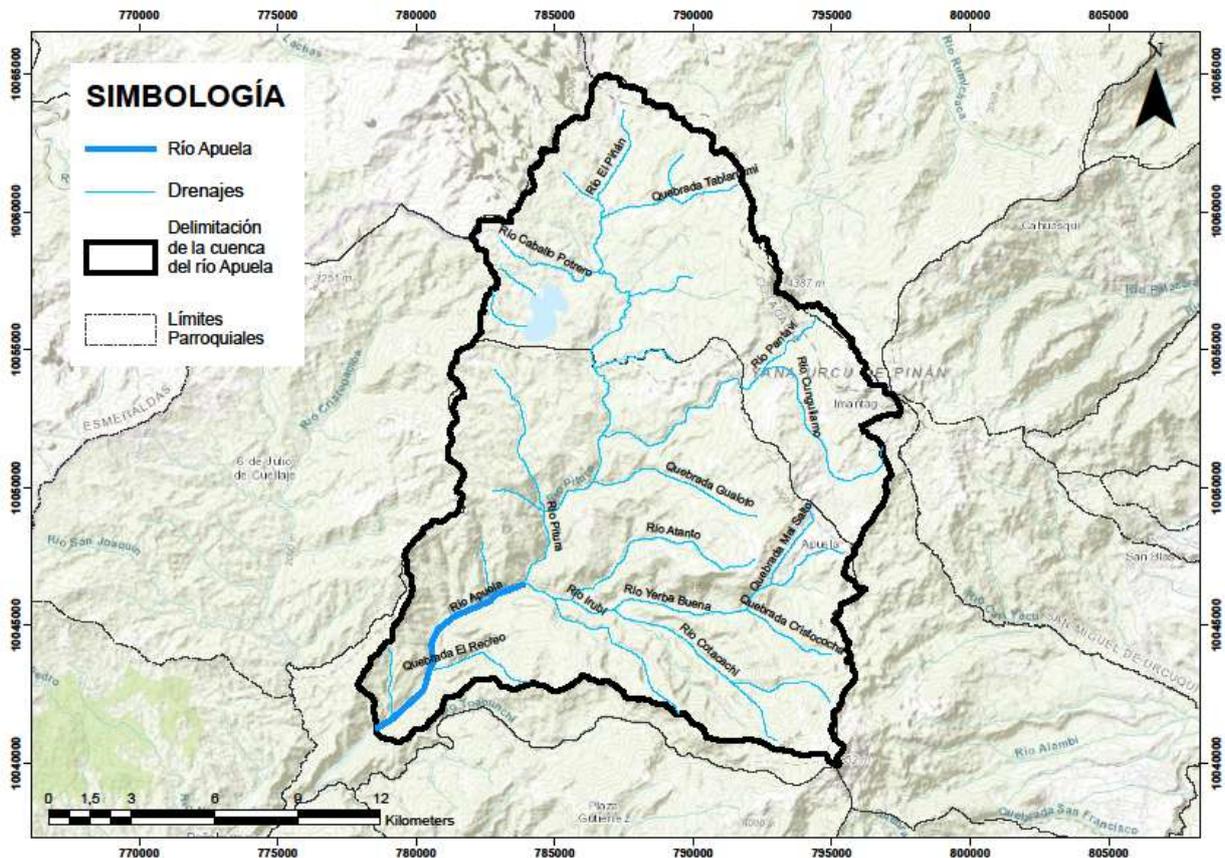


3.1.1. Recurso Hídrico

La red hídrica de la parroquia está compuesta por diversos cuerpos de agua, como ríos, quebradas y acequias, que funcionan como fuentes de agua (Figura 2). Entre los principales ríos que conforman la cuenca del río Apuela se encuentran el río Asabí, Atanto, Cotacachi, Caballo potrero, El Piñán, Irubí, Pantaví, Pitura, Cunguilamo y Yerbabuena. También destacan varias quebradas, como la quebrada Cuchihuasi, Huaycupungu, Gualoto, Pilchihuaycu, Ulupe y Mal Salto (Cevallos, 2015).

Figura 2

Hidrología de la cuenca del río Apuela



3.1.2. Clima

Según la clasificación climática la parroquia tiene una variedad de climas. En la parte baja predomina un clima tropical megatérmico húmedo, en la zona central se encuentra un clima ecuatorial mesotérmico semi húmedo, y en la parte alta un clima ecuatorial propio de las zonas montañosas (Pierre, 1995). El rango de altitud media aproximada es de 1.500 msnm - 3.000

msnm, con precipitaciones medias anuales que oscilan entre 1.000 y 3.000 mm, y una temperatura media de 10°C - 20°C (Cevallos, 2015).

3.1.3. Ecosistemas

La parroquia contiene una variedad de ecosistemas terrestres y acuáticos que constituyen hábitats clave para la flora y fauna locales. Entre estos ecosistemas destacan el bosque húmedo montano bajo, el pluvial sub-alpino, así como el bosque húmedo montano y pre-montano. Posee una notable diversidad biológica, con fauna representada por especies de los órdenes *Artiodactyla* (venados), *Carnívora* (Oso Andino), *Chiroptera* (murciélagos), *Didelphimorphia* (zarigüeyas), *Pilosa* (perezosos) y *Rodentia* (roedores). En cuanto a la flora, predominan los géneros *Calamagrostis*, *Agrostis*, *Festuca*, *Cortaderia* y *Stipa*, acompañados por arbustos de los géneros *Diplostephium* y *Hypericum* (Flores, 2020).

3.1.4. Diagnóstico Social

El diagnóstico social de Apuela está conformada por comunidades como: Cazarpamba, Irubí, Guamirla, La Colonia, La Esperanza, Pucará Alto, Pueblo Viejo y Puranquí, con una estructura socioeconómica basada principalmente en la agricultura, la ganadería y, en menor medida, la minería artesanal. La mayoría de la población depende de cultivos como café (*Coffea arabica*), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), maíz (*Zea mays*) y pastos, que representan el 97% de la superficie agrícola y el 20% de la superficie total de la zona. Sin embargo, las fluctuaciones en los precios de estos productos y la falta de acceso a mercados amplios generan inestabilidad económica, lo que motiva a algunos habitantes a migrar temporalmente a otras regiones en busca de mejores oportunidades laborales (Aragón *et al.*, 2019).

En cuanto a la infraestructura, aunque existen servicios básicos como electricidad y agua potable, su cobertura es limitada en zonas más apartadas, lo que genera inequidades en la calidad de vida. Apuela también enfrenta problemas ambientales derivados de la deforestación y la minería artesanal, lo que ha generado tensiones sociales relacionadas con la protección del entorno natural. Además, el acceso limitado a servicios de salud y la presencia de enfermedades tropicales en algunas áreas rurales incrementan la vulnerabilidad de la población, especialmente entre los grupos más vulnerables, como niños y ancianos (Peña, 2021).

3.2 Métodos

3.2.1. Etapa 1. Determinar la calidad ambiental en la cuenca del río Apuela

Metodología para la delimitación de la cuenca del río Apuela

3.2.1.1. Delimitación de la cuenca del río Apuela

La delimitación automática de la cuenca del río Apuela se realizó utilizando el software ArcGIS 10.8. Para este proceso, se emplearon como variables principales las curvas de nivel, el modelo digital de elevación (DEM), la red hidrográfica y el punto de aforo del río Apuela. Posteriormente, se efectuó una corrección manual para ajustar posibles errores derivados de la automatización del programa.

3.2.1.2. Obtención de imágenes satelitales

Se obtuvieron imágenes satelitales Landsat 7 (ETM) y Landsat 8 (OLI_TIRS) correspondientes a los años 2002 y 2023, respectivamente, mediante el Geoportal del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Para la selección de estas imágenes, se consideró que el porcentaje de cobertura nubosa fuera inferior al 50%. Asimismo, se verificó que las imágenes contaran con los metadatos necesarios para realizar el preprocesamiento adecuado (Tabla 2).

Tabla 2

Características de las imágenes satelitales

Año	Fecha de adquisición	Satélite	Sensor	Código de la imagen
2002	12/4/2002	Landsat 7	ETM+	LE07_L1TP_010060_20020412_20200916_02_T1
2023	07/19/2023	Landsat 8	OLI-2 TIRS-1	LC08_L2SP_010060_20230719_20230802_02_T1

3.2.1.3. Tratamiento de imágenes satélites

En el software se importaron únicamente las bandas con una resolución espacial de 30 metros, las cuales fueron combinadas mediante la herramienta *Composite Bands*. Luego, se utilizó la herramienta *Extract by Mask* para recortar las imágenes según el polígono del área de estudio. Al definir la proyección del ráster y analizar la vegetación natural, se emplearon las combinaciones de bandas (B3, B2, B1) para LANDSAT 7 y (B4, B3, B2) para LANDSAT 8. Antes de aplicar el método de clasificación supervisada, se realizaron trabajos de campo para recopilar información y facilitar la interpretación de cada píxel, permitiendo clasificarlo en una de las siete categorías predefinidas de cobertura del suelo: 1) Bosque, 2) Páramo, 3) Cuerpo de agua, 4) Vegetación arbustiva, 5) Cultivos, 6) Pastos, 7) Áreas sin vegetación (Tabla 3).

Una vez definido el tamaño de la muestra, se seleccionó aleatoriamente el 25% de las firmas espectrales para validar cada categoría, mientras que el 75% restante se destinó al entrenamiento de las coberturas del suelo. Posteriormente, se generó un archivo de firmas reales para aplicar el algoritmo de máxima verosimilitud, conocido como *Maximum Likelihood Classification* lo que permitió identificar las coberturas y el uso del suelo (CUS). Posteriormente, los datos obtenidos se transformaron al formato vectorial shapefile y se utilizó la herramienta *Eliminate* para suprimir polígonos con áreas iguales o menores a una hectárea, con el fin de evitar la inclusión de celdas erróneas o superficies no válidas (Gutiérrez *et al.*, 2016).

Tabla 3

Coberturas vegetales de la cuenca del río Apuela

Valor	Coberturas vegetales
1	Bosque
2	Páramo
3	Cuerpo de agua
4	Vegetación arbustiva
5	Cultivos
6	Pastos
7	Área sin vegetación

3.2.1.4. Aplicación del coeficiente Kappa para el análisis de precisión y exactitud de la clasificación supervisada en la cuenca del río Apuela

La validez de una investigación se relaciona con la correspondencia entre la percepción del observador y la realidad. Esto permite determinar hasta qué punto los observadores concuerdan en sus mediciones en campo (Chamorro, 2019). En este estudio se validaron las coberturas vegetales registradas en dos imágenes satelitales correspondientes a los años 2002 y 2023, utilizando el software ArcMap 10.8. Para esta validación, se empleó el índice de Kappa (Congalton, 1991), que evalúa la precisión de un mapa mediante una matriz de confusión (<https://marcovanetti.com/pages/cfmatrix/>), comparando la clasificación cartográfica con la realidad observada. En esencia, el índice mide el grado de concordancia en la exactitud de la clasificación, la fórmula utilizada para calcular este índice según (Cohen. 1960).

$$K = \frac{Po - Pe}{1 - Pe}$$

En donde:

Po: Proporción de acuerdos observados

Pe: Proporción de acuerdos por azar

El índice de Kappa define límites tanto inferiores como superiores, los cuales se determinan según el contenido de las celdas en la matriz de confusión (Arenas *et al.*, 2011). La (Tabla 4) presenta una escala cuantitativa de valores utilizada para evaluar la categoría de concordancia de validación para el índice Kappa.

Tabla 4

Niveles de concordancia

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).

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

Para evaluar la calidad ambiental, se utilizó la matriz de Saaty como un método cuantitativo que permite integrar los datos mediante el análisis de las variables que influyen en los cambios de uso del suelo (Melgarejo *et al.*, 2007). En este proceso, se asignan pesos a cada variable a través de una categorización específica, lo que refleja su importancia relativa en la decisión final. Saaty (2012) plantea esta metodología dentro del análisis multicriterio (AMC) o proceso de análisis jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés), otorgando flexibilidad al investigador para utilizar tanto valores pares como fraccionarios según las necesidades del análisis (Tabla 5).

La toma de decisiones se jerarquiza de acuerdo a la contribución en la calidad ambiental del territorio comparando la importancia relativa de una cobertura sobre otra y se realizó mediante la matriz con valores que van desde 1 hasta 7 donde 1 representa igual importancia y 7 absoluta dominancia. Se debe considerar que dentro de esta escala también existe la presencia de valores fraccionarios opuestos, es decir, que si se valora con absoluta dominancia (valor 7) a dos coberturas vegetales el opuesto de las mismas coberturas tendrá valor de 1/7 de acuerdo a Saaty (2012).

Tabla 5

Escala de Saaty

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

Nota. (Saaty, 2012)

Se evaluó la idoneidad de diferentes usos de suelo en el área de la cuenca del río Apuela. Los criterios considerados fueron: bosque, páramo, cuerpo de agua, vegetación arbustiva, cultivos, pastos y área sin vegetación. Se crea una matriz cuadrada ($n \times n$), donde n es el número de criterios. La diagonal principal (de la parte superior izquierda a abajo a la parte inferior derecha) siempre tiene valores a 1, porque cada criterio se compara consigo mismo. Posteriormente, se comparan pares de criterios asignando valores de 1 a 7 según la escala de Saaty. Si el criterio A es más importante que el criterio B, colocamos un número mayor que 1 en la celda correspondiente. Si B es más importante que A, colocamos el recíproco (1 dividido por el valor de A sobre B). Por ejemplo: Bosque es notablemente más importante que área sin vegetación → se coloca el valor de 7 (Bosque, Área sin vegetación), por lo tanto, la inversa de ambos criterios es $1/7$ (Área sin vegetación, Bosque), es importante mencionar que se evalúa de izquierda a derecha y la matriz es recíproca, es decir, si un criterio tiene un valor X en una celda, su comparación inversa tendrá el valor $1/X$.

Con el índice de importancia asignado a cada cobertura vegetal se evaluará su susceptibilidad diferencial a los efectos antrópicos. Esto permitirá identificar qué cobertura tiene más importancia frente al uso adecuado del suelo, como se detalla en la (Tabla 6).

Tabla 6

Análisis multicriterio de las coberturas vegetales y/o uso de suelo

Criterios	Bosque	Páramo	Cuerpo de agua	Vegetación arbustiva	Cultivos	Pastos	Área sin vegetación
Bosque	1	1	1/5	3	3	4	5
Páramo	1	1	1/2	1	6	3	7
Cuerpo de agua	5	2	1	3	4	5	6
Vegetación arbustiva	1/3	1	1/3	1	3	2	5
Cultivos	1/3	1/6	1/4	1/3	1	2	2
Pastos	1/4	1/3	1/5	1/2	1/2	1	1
Área sin vegetación	1/5	1/7	1/5	1/5	1/2	1	1
Total	8,12	5,64	2,65	9,03	18,00	18,00	27,00

Una vez construido la matriz de comparación, el siguiente paso es la normalización. Esto se hace para convertir los valores en proporciones y calcular el peso de cada criterio. Este proceso nos asegura que la matriz sea coherente y matemáticamente válida. Primero, se suman los valores de cada columna para convertirlos en proporciones. Para obtener valores normalizados, cada elemento de la matriz se divide entre la suma de su respectiva columna. Posteriormente, se suman los valores normalizados de cada fila y se divide entre el número de criterios (n). Ahora tenemos los valores ponderados en una escala de 0 a 1. Estos valores representan el Índice de Ambiente del Uso de Suelo (EVi), como se observa en la (Tabla 7). Hay que tomar en cuenta que la suma de cada columna nos del valor de 1, para evitar errores en la toma de decisiones.

Tabla 7

Estandarización de datos de cobertura y uso de suelo

Bosque	Páramo	Cuerpo de agua	Vegetación arbustiva	Cultivos	Pastos	Área sin vegetación	Ponderación
0,12	0,18	0,08	0,33	0,17	0,22	0,19	0,183
0,12	0,18	0,19	0,11	0,33	0,17	0,26	0,194
0,62	0,35	0,38	0,33	0,22	0,28	0,22	0,343
0,04	0,18	0,13	0,11	0,17	0,11	0,19	0,131
0,04	0,03	0,09	0,04	0,06	0,11	0,07	0,063
0,03	0,06	0,08	0,06	0,03	0,06	0,04	0,049
0,02	0,03	0,06	0,02	0,03	0,06	0,04	0,036
1	1	1	1	1	1	1	1

Una vez normalizada la matriz y obtenidos los pesos de cada criterio, es fundamental verificar su consistencia para asegurarnos de que las comparaciones son lógicas y coherentes. Para evaluar la coherencia de los valores ponderados en la matriz, Muñoz *et al.*, (2024) recomiendan calcular el coeficiente de coherencia (CR) y asegurarse de que su resultado sea estrictamente inferior al umbral de 0,1. Para este propósito, se aplicó la siguiente fórmula.

El procedimiento para evaluar la consistencia es el siguiente: cada fila de la Matriz de Comparación Original se multiplica por los pesos calculados y se suman los valores, obteniendo así un nuevo vector ponderado. Posteriormente, para calcular el máximo autovalor de la matriz (λ_{max}), cada valor del vector ponderado se divide entre su peso correspondiente. Con estos pasos, garantizamos que el Análisis Multicriterio es matemáticamente correcto, fiable y apropiado para respaldar una toma de decisiones objetiva y fundamentada.

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

$$Rci = \frac{1.98 \times (n - 2)}{n}$$

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

Donde:

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

n → Número de criterios.

Ci → Índice de consistencia.

Rci → Índice de consistencia aleatorio.

CR → Coeficiente de coherencia.

3.2.1.6. Cálculo del índice EVt para determinar la calidad ambiental en cuenca del río Apuela

La calidad ambiental se evaluó utilizando la fórmula del Índice de Calidad Ambiental (ICA). Este índice se calculó tomando en cuenta la superficie de cada tipo de cobertura, el área total del estudio y el índice de calidad ambiental (EV_i), conforme a la metodología propuesta por Liu et al. (2014). Luego, se utilizó una matriz de error para comparar la clasificación derivada de las imágenes satelitales con los patrones de uso del suelo reconocidos en la zona mediante un monitoreo exhaustivo. Además, se minimizaron las probabilidades de error en la categorización de la cobertura vegetal y los usos del suelo. Finalmente, se evaluó el impacto ambiental aplicando la fórmula propuesta por Córdova y Gómez (2021).

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

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 (hectáreas).

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

TA → Área total del área de estudio (hectáreas).

3.2.2. Etapa 2. Evaluación de la calidad ecosistémica multitemporal producto del cambio de uso de suelo

Método de recopilación y fuentes de información ecosistémica

3.2.2.1. Recopilación de información ecosistémica

Se obtuvo un archivo en formato “shapefile” a escala 1:100.000 desde el sitio web oficial del Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MATTE), en la sección del Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques (<http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/>). Esta información fue procesada con el software ArcGIS, especializado en sistemas de información geográfica, lo que permitió identificar relieves irregulares y, al mismo tiempo, reconocer ecosistemas relevantes con alta diversidad biológica en la cuenca, de los cuales la validación se realizó mediante visitas de campo.

3.2.2.2. Determinación de la unidad ecosistémica

Se llevó a cabo una superposición entre los datos de cobertura y uso del suelo (CUS) correspondientes a los años 2002 y 2023, junto con la información de ecosistemas proporcionada por el MAATE, todos en formato "shapefile". Esto permitió definir las unidades ecosistémicas, considerando el equilibrio entre la cobertura natural y las actividades antrópicas. Posteriormente, se realizó una intersección final entre las unidades ecosistémicas de 2002 y 2023 para calcular el porcentaje absoluto, facilitando así la identificación de las áreas más sometidas a presión Barros-Díaz (2024). Este análisis ayuda a detectar si los distintos usos del suelo han invadido ecosistemas o coberturas naturales, lo que evidencia posibles transformaciones del paisaje y permite el monitoreo continuo de las unidades ambientales-ecosistémicas y de la biodiversidad nacional (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012).

3.2.2.3. Cuantificación de la unidad ecosistémica

Por último, se calculó el cambio neto de los ecosistemas con el objetivo de identificar el porcentaje de pérdida y ganancia de cada uno mediante una matriz de transición. La matriz organiza los datos en filas y columnas, asignando las filas al año 2002 y las columnas al año 2023. La diagonal principal refleja las unidades ecosistémicas (usos de suelo y ecosistemas). Además, se calcularon los valores absolutos de pérdidas y ganancias de superficie, junto con el límite máximo de cambio (SWAP) y el cambio neto absoluto del suelo. Esto permitió evaluar la variación en las coberturas (Lombeida *et al.*, 2018).

3.2.3. Etapa 3. Propuesta de estrategias para el uso adecuado del suelo

Se aplicó la metodología PER (Presión-Estado-Respuesta), la cual se fundamenta en una relación causal. Esta metodología identifica los problemas ambientales generados por las actividades humanas en el área de estudio, que ejercen presión sobre el entorno y alteran tanto la calidad como la disponibilidad de los recursos naturales en la cuenca del río Apuela. El "Estado" refleja los cambios en las coberturas vegetales y los impactos ambientales derivados de dicha presión, los cuales están directamente relacionados con la interacción social. A partir de esta evaluación, se proponen estrategias ambientales para el ordenamiento adecuado del territorio, con el fin de mitigar los efectos negativos detectados en la cuenca. De esta manera, la sociedad contribuye mediante políticas ambientales, económicas y sectoriales que facilitan la toma de decisiones orientadas a la mejora del entorno (Respuesta) (Vázquez *et al.*, 2017).

El enfoque PER evaluó las interacciones entre las condiciones ambientales del área y las actividades humanas que allí se desarrollan, planteando tres preguntas clave: ¿Qué está ocurriendo con el entorno? Aquí se recopiló información sobre el estado actual del área de estudio. ¿Por qué está ocurriendo? Se profundizó en los cambios en el uso del suelo y en las causas que provocaron su deterioro. Finalmente, ¿Qué se está haciendo y qué se podría proponer al respecto? Estos cuestionamientos permitieron utilizar los indicadores como herramientas para cuantificar, simplificar y sistematizar la información ambiental y la influencia de las actividades humanas (Guttman *et al.*, 2004).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Determinación de la calidad ambiental en el periodo 2002 - 2023

En el presente capítulo se detallan los resultados obtenidos para cada uno de los tres objetivos específicos planteados, luego de haber realizado las respectivas metodologías. Al realizar las clasificaciones de las imágenes Landsat 7 y 8 de los años 2002 - 2023, se obtuvieron los siguientes datos respecto a los cambios ocurridos en los diferentes años.

4.1.1 Índice Kappa y coeficiente de coherencia

El análisis estadístico de frecuencia aplicado a la clasificación supervisada permitió evaluar la precisión del modelo a través de la matriz de confusión, obteniendo valores del índice Kappa de 0.96 para Landsat 7 (año 2002) y de 0.93 para Landsat 8 (año 2023). Los resultados fueron validados mediante verificaciones en campo y procesados utilizando el software ArcGIS, lo que permitió confirmar la exactitud de la clasificación. De acuerdo con la escala de interpretación del índice Kappa, los valores obtenidos reflejan una concordancia casi perfecta (Tabla 4), lo que demuestra que las coberturas identificadas en las imágenes satelitales coinciden en gran medida con las observaciones realizadas en terreno.

Los resultados obtenidos en este estudio coinciden con los reportados por Rodríguez *et al.*, (2019), quienes evaluaron la precisión de la clasificación supervisada en imágenes satelitales de Landsat 8 en un estudio similar de monitoreo de cobertura terrestre. En su investigación, se obtuvieron valores de Kappa superiores a 0.90, lo que también indica una concordancia casi perfecta entre las clasificaciones generadas y los datos de campo. La ligera variabilidad entre los valores de Kappa en ambos estudios puede atribuirse a diferencias en la resolución espacial, los algoritmos de clasificación empleados y las condiciones ambientales en las fechas de adquisición de las imágenes. Sin embargo, la consistencia en los altos valores de concordancia refuerza la eficacia de la clasificación supervisada para el análisis de cambios en la cobertura del suelo (Rodríguez *et al.*, 2019).

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

En el análisis de 21 años del Índice de Calidad Ambiental (ICA) en la cuenca hidrográfica de Apuela, se observaron impactos ambientales significativos, especialmente en las coberturas de bosque, páramo y áreas sin vegetación, atribuibles principalmente a actividades antrópicas. Entre estos efectos, destaca el aumento de incendios forestales, los cuales generan una pérdida considerable de cobertura vegetal y degradación de suelos (Tabla 8 y 9). En 2019, según datos de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SGR), Imbabura ocupó el segundo lugar a nivel nacional en concentración de focos de incendios forestales, registrándose un total de 320 incendios que afectaron aproximadamente 221,89 hectáreas. Estos incendios no solo reducen la cobertura forestal, sino que también alteran el balance hídrico de la cuenca y contribuyen a la pérdida de biodiversidad, agravando los efectos ambientales a largo plazo en la región (Incendios Forestales a nivel nacional [INF], 2019).

Tabla 8

Calidad ambiental del año 2002 (ha)

Coberturas	2002			
	LUA _i	EV _i	TA (ha)	EV _t
Bosque	8815	0,183	29198,3	0,0552
Páramo	12943	0,194	29198,3	0,0860
Cuerpo de Agua	182	0,343	29198,3	0,0021
Vegetación arbustiva	946	0,131	29198,3	0,0042
Cultivos	592	0,063	29198,3	0,0013
Pastos	5225	0,049	29198,3	0,0088
Área sin vegetación	491	0,036	29198,3	0,0006
Total	29194	1		0,1583

Nota. 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: Superficie total del área de estudio. EV_t: Índice de calidad ambiental de la región en el período.

Tabla 9*Calidad ambiental del año 2023 (ha)*

Coberturas	2023			
	LUA _i	EV _i	TA	EV _t
Bosque	6129	0,183	29198,3	0,0384
Páramo	11089	0,194	29198,3	0,0737
Cuerpo de Agua	182	0,343	29198,3	0,0021
Vegetación arbustiva	1093	0,131	29198,3	0,0049
Cultivos	662	0,063	29198,3	0,0014
Pastos	8225	0,049	29198,3	0,0138
Área sin vegetación	1813	0,036	29198,3	0,0022
Total	29194	1		0,1366

Nota. **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. **EV_t**: Índice de calidad ambiental de la región en el período.

El índice de calidad ambiental de la región en el año 2002 fue de **15,83%**, mientras que en el año 2023 descendió a **13,66%**, evidenciando una disminución de **2,17%** en el período analizado. Este descenso sugiere un deterioro en las condiciones ambientales del área de estudio a lo largo de los años.

Al comparar ambas tablas, se observa que la cobertura de bosque ha disminuido significativamente, pasando de 8815 ha en 2002 a 6129 ha en 2023, lo que se traduce en una reducción de su contribución al índice de calidad ambiental de 0,0552 a 0,0384. De manera similar, la cobertura de páramo, que tenía un aporte de 0,0860 en 2002, también ha disminuido a 0,0737 en 2023, reflejando una reducción de su extensión.

Por otro lado, coberturas como los pastos han aumentado en superficie de 5225 ha en 2002 a 8225 ha en 2023. Asimismo, las áreas sin vegetación han crecido considerablemente de 491 ha en 2002 a 1813 ha en 2023, afectando negativamente el índice ambiental al pasar de 0,6 a 0,22.

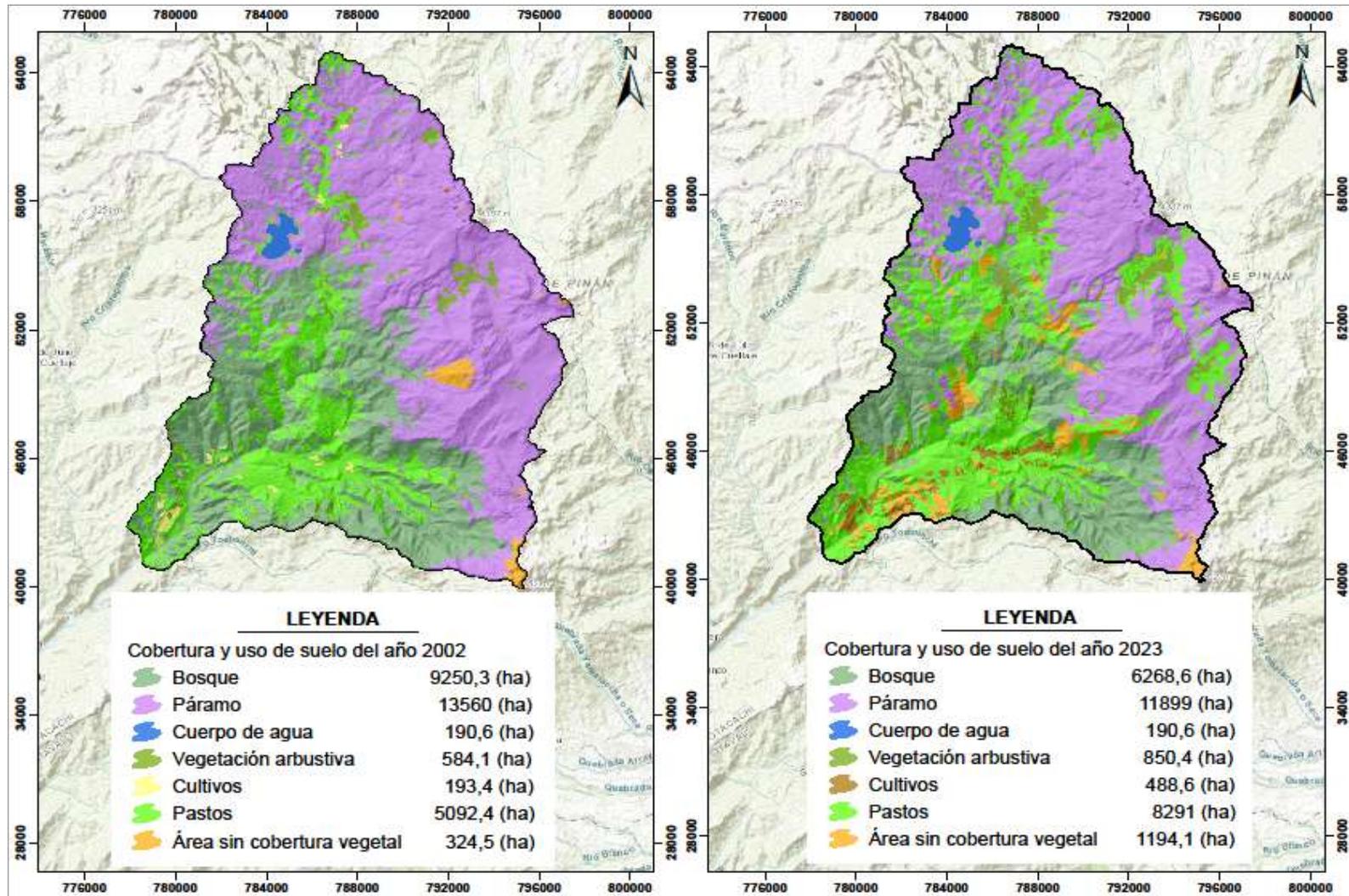
El índice de calidad ambiental calculado para la región en el año 2023 es de 0,1366, lo que refleja la influencia combinada de las diferentes coberturas de suelo presentes en el área de estudio. análisis destaca un cambio en la cobertura del uso de suelo en la cuenca hidrográfica de Apuela, caracterizado por una disminución significativa en las coberturas de bosque y páramo, en contraste con un aumento en áreas sin vegetación, lo que refleja una presión constante sobre los ecosistemas. Su alta vulnerabilidad sugiere que este fenómeno puede derivar con las actividades agrícolas, ganaderas y la expansión urbana. El índice de calidad ecosistémica del año 2002 para las coberturas de bosque y páramos.

Ecosistemas como bosque y páramo son particularmente vulnerables como reguladores del balance hídrico (FAO, 2020). Al reducir la cobertura forestal, pierde la capacidad de filtración del suelo y pone en riesgo la biodiversidad. Los páramos, que son estratégicos en la regulación del ciclo hidrológico andino y en la captación para almacenar agua son afectados por las actividades agrícolas que agravan aún más esta problemática, repercute en la calidad del agua y la disponibilidad hídrica (Harden, 2006).

Estos resultados son consistentes con investigaciones previas, como las de Moreno *et al.*, (2024), quienes, tras analizar la pérdida de cobertura vegetal y los cambios en el uso del suelo durante un período de 19 años, encontraron una disminución significativa en la superficie de bosque, relacionada con la expansión de pastos y cultivos. Esta tendencia se ve corroborada por Marcillo & Pupo (2018), quienes reportaron un incremento significativo en la proporción de productores dedicados a la ganadería, pasando del 47,5% al 84,9%, así como un crecimiento en cultivos tradicionales como el café y el cacao (Heras *et al.*, 2024). Además, estudios como el de Ramírez *et al.* (2020) destacan que la expansión de la frontera agrícola y la conversión de bosques en áreas de producción agropecuaria han generado impactos negativos en los servicios ecosistémicos, reduciendo la biodiversidad y afectando la calidad del suelo. De manera similar, investigaciones realizadas por Torres & Fernández (2021) evidencian que el aumento de la actividad ganadera está asociado a la fragmentación del hábitat y a la alteración de los ciclos hidrológicos en zonas previamente dominadas por ecosistemas naturales.

Figura 3

Cambio de cobertura y uso de suelo del año 2002 y 2023



La comparación de las imágenes satelitales de la cuenca del río Apuela entre los años 2002 y 2023 registro transformaciones significativas en el entorno natural. En el análisis se observa alteraciones en la cobertura vegetal, presentan un aumento en la extensión de pastizales y áreas de cultivo, en paralelo con una notable reducción en las áreas de bosques y páramo. Estos cambios pueden atribuirse a la expansión agrícola y ganadera, impulsada tanto por factores económicos como por un crecimiento poblacional en la región.

La comparación multitemporal muestra áreas que son destinadas a pastizales y cultivos un aumento al 50% representando un total de 3070 hectáreas en la última década, una tendencia impulsada en parte por la necesidad de satisfacer la demanda de productos agrícolas y ganaderos. El aumento de la estructura productiva de Íntag se caracteriza por la agricultura, es el 70% del empleo con el predominio de cultivos de café (*Coffea arabica*) y fréjol (*Phaseolus vulgaris*) (Maldonado, 2012). A nivel nacional se menciona que los principales resultados de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2023. Hay un aumento en el periodo 2023, el área destinada a cultivos fue de 1.380.405 hectáreas, presentado un aumento del 1,0 % con relación al año anterior. Así mismo, Los pastos cultivados en el año 2023 ocupan una superficie nacional de 2.323.582 hectáreas registrando una variación positiva del 0,1 % con respecto al año anterior (Ipiales *et al.*, 2024).

En conjunto con los valores obtenidos en el análisis multitemporal, las áreas de bosques y páramos presentan una disminución del 30% representando un total de 4540 hectáreas en la última década. Investigaciones como la de Vásconez *et al.*, (2023), han documentado el impacto ambiental de esta transformación en zonas de montaña, subrayando los riesgos para la biodiversidad y los recursos hídricos. Estos estudios resaltan que la alteración de los ecosistemas de páramo y bosques afecta directamente el suministro de agua para el consumo humano y agrícola, especialmente en épocas de sequía, y puede agravar el riesgo de erosión y deslizamientos en terrenos de alta pendiente. A nivel nacional la principal causa de la deforestación y la fragmentación de los bosques, así como de la pérdida de biodiversidad, sigue siendo la expansión agrícola. La agricultura comercial a gran escala es responsable del 40 % de la deforestación en las regiones tropicales, mientras que la agricultura de subsistencia representa un 33 % adicional. Según el IPCC, la pérdida de bosques y la degradación de las turberas contribuyen aproximadamente con un 13 % de las emisiones totales de carbono generadas por la actividad antrópica (COFO, 2020).

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

De acuerdo con los resultados obtenidos en la evaluación de calidad ecosistémica durante un período de 21 años, se identificó una disminución del 16 % en el año 2002 al 13 % para el 2023, lo que representa, una reducción del 2,17 %. El análisis realizado mediante la matriz de transición indicó que el 86,46 % del área corresponde a ecosistemas y usos de suelo que no han sufrido cambios significativos, manteniendo su superficie. Entre los ecosistemas con menor afectación por transiciones hacia otros usos del suelo se encuentran el herbazal de páramo, con un 52,45 % de conservación, seguido por el bosque siempreverde montano con un 22,66 % y el arbustal siempreverde con un 3,39 %. Estos resultados evidencian un grado notable de conservación en ciertos ecosistemas. No obstante, mientras que algunos han logrado preservarse otros han experimentado reducciones o incrementos en su superficie. Como el bosque siempreverde montano bajo registró una disminución del 6,64 %, seguido del bosque montano alto con un 0,72 %. En contraste, los cultivos incrementaron su superficie en un 3 %, generando un impacto negativo asociado a la pérdida de ecosistemas (Tabla 10).

Tabla 10

Matriz de transición de ecosistemas y usos de suelo 2002 – 2023 (%)

Año 1: 2002	Año 2: 2023									Total 2002	Pérdida
	Agua	Arbsv	Asv	Bsvm	Bsvma	Bsvmb	C	Hdpar			
Agua	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,76	0,01	
Arbsv	0,00	1,22	0,00	0,02	0,50	0,00	0,17	0,14	2,05	0,83	
Asv	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,33	0,03	
Bsvm	0,00	0,00	0,00	20,0	0,00	0,00	0,00	0,02	20,08	0,02	
Bsvma	0,00	0,00	0,00	0,00	6,13	0,00	0,00	0,72	6,85	0,72	
Bsvmb	0,00	0,08	0,00	1,48	0,00	0,82	3,69	1,39	7,46	6,64	
C	0,00	1,01	0,00	0,96	0,00	0,00	7,98	0,18	10,12	2,15	
Hdpar	0,01	1,09	0,06	0,14	0,02	0,00	1,07	49,9	52,33	2,4	
Total 2023	0,77	3,39	0,35	22,66	6,65	0,82	12,9	52,4	100	12,79	
Ganancia	0,01	2,17	0,06	2,59	0,52	0,00	4,94	2,50	12,79		

Nota. Arbsv: Arbustal siempreverde; Asv: Área sin cobertura vegetal; Bsvm: Bosque siempreverde montano; Bsvma: Bosque siempreverde montano alto; Bsvmb: Bosque siempreverde bajo; C: Cultivos; Hdpar: Herbazal de páramo.

De acuerdo con la matriz de transición es evidente que en la cuenca del río Apuela en el año 2002 al 2023, el cambio neto absoluto de uso de suelo para el ecosistema bosque siempreverde montano bajo (Bsvmb) tiende a una reducción del 6,64 % lo que es equivalente a 1 506,09 ha. Así mismo, uno de los cambios más notables dentro del área de estudio es el aumento de cultivos, con un porcentaje del 3 % lo que presenta 625,79 ha. Sin embargo, la predominancia del herbazal de páramo (Hdpar), así como, el bosque siempreverde montano (Bsvm) son ecosistemas que a través del tiempo han conservado su superficie. Estos ecosistemas se encuentran en altitudes elevadas donde las condiciones climáticas, como temperaturas frías y alta humedad (Valdez, 2019); se caracteriza por su capacidad de recursos hídricos regulares y actuar como sumideros de carbono, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático (Vásconez *et al.*, 2023).

En el caso específico de Apuela, Imbabura, la agricultura es esencial debido a la dependencia económica de cultivos, que no solo generan ingresos locales, sino que también fortalecen las economías familiares. Además, las condiciones climáticas y geográficas de la región favorecen estas prácticas, consolidándolas como un pilar fundamental para la subsistencia y el desarrollo socioeconómico de la zona.

Figura 4

Cambio neto absoluto de cobertura total y usos de suelo (%) 2002- 2023

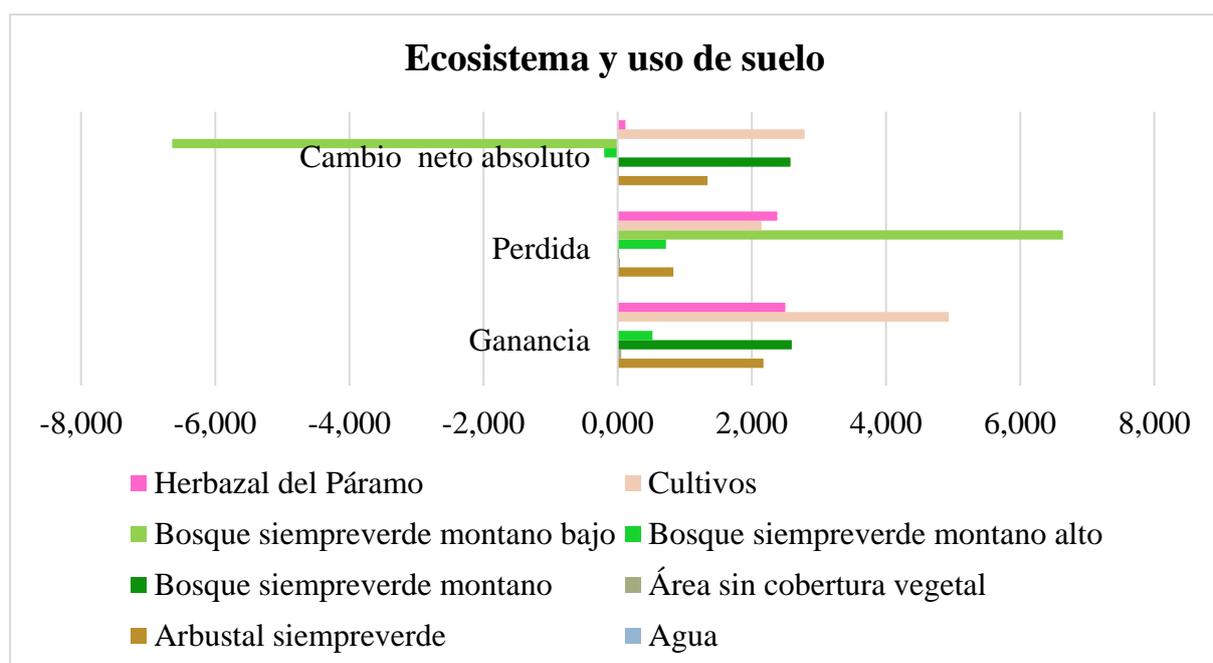
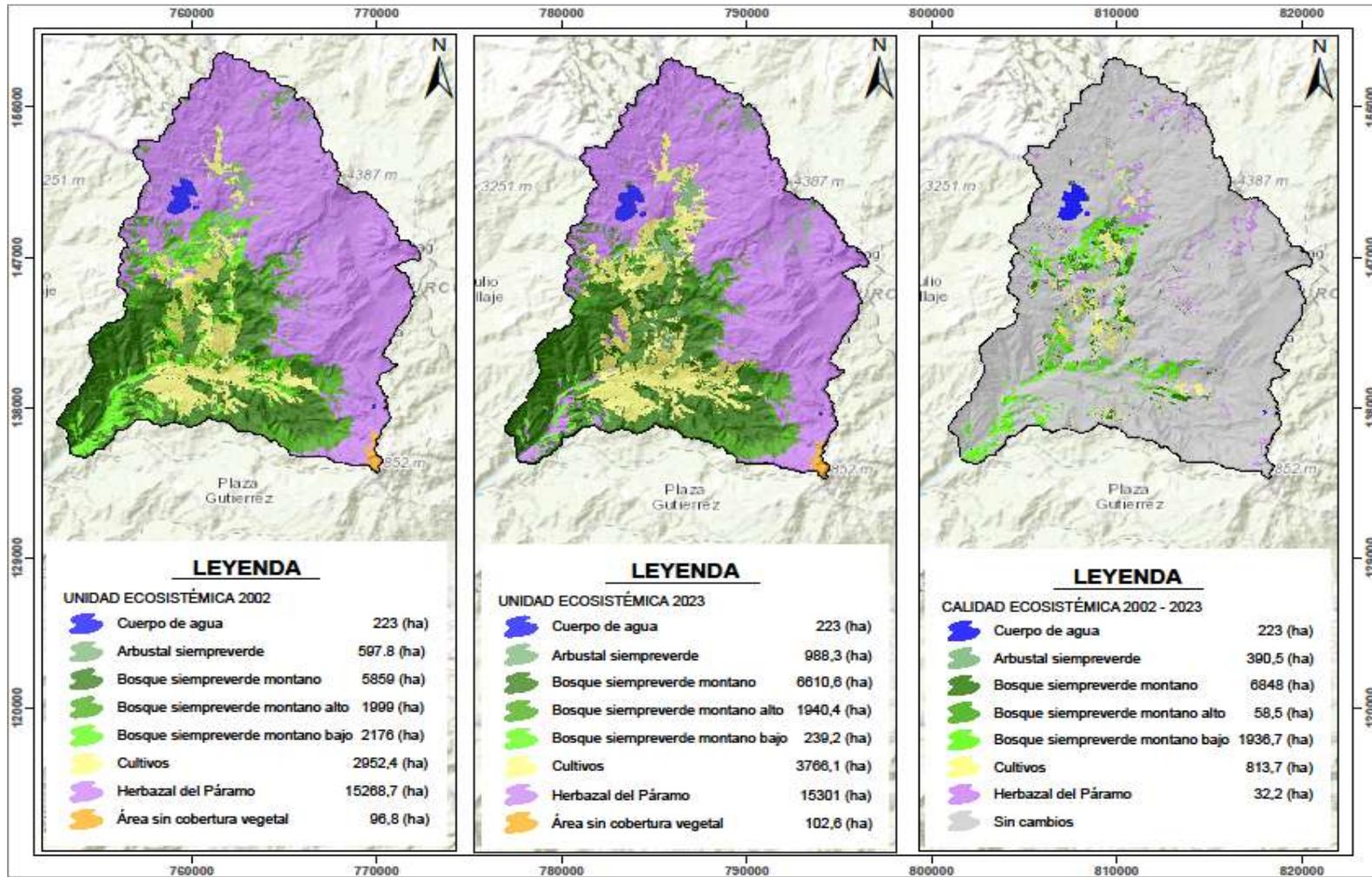


Figura 5

Transición de Ecosistemas y unidades ecosistémicas 2002 - 2023



Nota. A) Ecosistema año 2002, B) Ecosistema año 2023, C) Transición de los ecosistemas entre año 2002 - 2023

En términos ecológicos, la expansión agrícola ha ocasionado la deforestación de amplias áreas de bosques nativos, lo que compromete la biodiversidad y altera el equilibrio de los ecosistemas locales. De acuerdo con estudios del Ministerio del Ambiente de Ecuador, la deforestación en la región de Imbabura ha aumentado en las últimas décadas debido a la conversión de bosques en tierras agrícolas, lo que contribuye a la pérdida de hábitats para especies endémicas y pone en riesgo los servicios ambientales como la regulación del ciclo del agua y la captura de carbono.

Un estudio analizó los cambios en la cobertura del matorral seco montano en el valle del río Chota durante un periodo de 30 años, evaluando su estado de conservación. Para ello, se utilizó el método de clasificación supervisada (*Maximum likelihood classification*) sobre imágenes satelitales LANDSAT 5, 7 y 8 correspondientes a los años 1990, 2007 y 2020. Los resultados mostraron una disminución del 20% en la cobertura de matorral seco montano, con una pérdida promedio anual de 231.83 ha/año (-0.75%), atribuida principalmente a causas antrópicas. Estas actividades explicaron el cambio de cobertura en más de la mitad del área afectada (8.34%), destacando la expansión de la frontera agrícola como el principal factor, con un 3.96%. La presión de estos factores antrópicos contribuyó a que el estado de conservación del ecosistema fuera calificado como regular (Ramos *et al.*, 2023).

El crecimiento de la frontera agrícola constituye una amenaza continua, respaldada por investigaciones recientes. No obstante, las áreas de conservación de páramo y bosques nativos desempeñan una función en mitigar esta expansión. En este contexto, en el estudio realizado sobre la extensión de la frontera agrícola hacia la zona protegida autónoma descentralizada "Taita Imbabura", para evaluar la cobertura y el uso del suelo en los años 2012, 2018 y 2023. Los resultados indicaron que en el área en cuestión no ha existido un avance considerable de la frontera agrícola, y más bien, estas regiones podrían considerarse como áreas con potencial para futuros cambios en el uso del suelo. En particular, el aumento de las áreas de mosaico agropecuario y plantaciones forestales fue inferior al 1%. Estos resultados sugieren que la declaración del Área Ecológica para la Conservación ha logrado frenar el avance de las actividades humanas entre 2018 y 2023 (Enríquez, 2024).

4.3 Propuesta de estrategias para el uso adecuado del suelo

Los ecosistemas de bosques, páramos y vegetación arbustiva son considerados vulnerables y propensos a los impactos derivados de los cambios en el uso del suelo, lo que puede desencadenar problemas ambientales significativos (Liu *et al.*, 2004). Por ello, resulta esencial implementar estrategias que fortalezcan la gestión ambiental y promuevan políticas de uso del suelo orientadas a la protección del entorno natural (Yang *et al.*, 2012). Dichas políticas deben enfocarse en mitigar los efectos ambientales asociados al cambio de uso del suelo, particularmente en ecosistemas sensibles, y reforzar la regulación sobre áreas urbanas, tierras agrícolas y forestales. De acuerdo con Zhang y Wen (2008), optimizar la gestión de tierras forestales y pastizales, junto con la preservación de bosques y páramos, puede contribuir significativamente a la mejora de la calidad ambiental en la región estudiada.

En los últimos años, la función de las instituciones y organizaciones no gubernamentales en los procesos de desarrollo económico ha tenido mayor relevancia. La transición desde un modelo de Estado de bienestar hacia estrategias orientadas al crecimiento y al cambio estructural busca mejorar la calidad de vida de la población. Actualmente, el rol del Estado ha disminuido en términos de su intervención económica y social, centrándose más en la colaboración con gobiernos y organizaciones sociales, donde se percibe como un actor en igualdad de condiciones con otros (Bevir, 2009). El concepto de gobernanza posee múltiples definiciones. En esencia, se caracteriza por la interacción de redes de instituciones e individuos que trabajan en conjunto, basados en acuerdos de confianza mutua, formando estructuras de poder semiautónomas e incluso autogestionadas en algunos casos (Rodas, 1992).

Este estudio empleó la metodología de presión, estado y respuesta (PER) (Tabla 11), la cual se fundamenta en una lógica de causalidad que establece vínculos de acción y reacción entre las actividades económicas y el medio ambiente. Para ello, se consideran las áreas con niveles elevados de degradación y deterioro de los ecosistemas, así como aquellas que han experimentado un incremento significativo, en concordancia con la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo (2016) y el Código Orgánico del Ambiente (2018). Las estrategias de gobernanza identificadas en la zona de estudio son clave para la gestión sostenible de los recursos naturales frente al cambio en la cobertura y uso del suelo, lo que a su vez favorece el bienestar y la seguridad de las comunidades cercanas.

Los cambios de los ecosistemas afectados por la expansión agrícola y la pérdida de bosque siempreverde montano se ve representada en especies de flora, como *Cedrela montana* (Cedrón), un árbol endémico utilizado para madera, y *Oreopanax reticulatus* (Pumamaqui), conocido por su función en la estabilización de suelos que están en declive. Asimismo, la fauna característica de la región, está sufriendo cambios drásticos. De acuerdo con el análisis de amenaza nacional (BioWeb, mamíferos del Ecuador), las especies como el oso andino (*Tremarctos ornatus*), murciélago de nariz ancha del chocó (*Platyrrhinus chocoensis*) se encuentran dentro de la categoría en peligro (EN), y aves como el tucán andino de pecho gris (*Andigena laminirostris*) en estado vulnerable (VU), por lo que enfrentan una pérdida crítica de hábitat. La disminución de estas especies no solo pone en riesgo la riqueza biológica local, sino también los servicios ecosistémicos esenciales que estos organismos proveen, destacando la urgencia de implementar estrategias de conservación y restauración ecológica en la zona.

Tabla 11

Modelo Presión – Estado – Respuesta

Presión	Estado	Respuesta
✓ <i>Sobreexplotación de los recursos</i>	✓ <i>Calidad del medio ambiente</i>	✓ <i>Gestión sostenible</i>
✓ <i>Migración de la población</i>	✓ <i>Densidad de la población</i>	✓ <i>Acceso a servicios básicos</i>
✓ <i>Pérdida anual de áreas naturales</i>	✓ <i>Especies en peligro</i>	✓ <i>Inventarios de biodiversidad</i>
✓ <i>Tasa de extinción de especies</i>	✓ <i>Biodiversidad</i>	✓ <i>Participación en convenios y tratados</i>
		✓ <i>Educación ambiental</i>
✓ <i>Mayor capacidad de recuperación de la cuenca</i>	✓ <i>Diminución de bosque</i>	✓ <i>Regeneración de la cobertura vegetal</i>
	✓ <i>Incremento de cultivos</i>	

4.3.1. Estrategia 1: *Diseño y ejecución de planes de uso del suelo que integren prácticas agrícolas sostenibles y acciones de conservación de ecosistemas.*

Objetivo General

Definir zonas de amortiguamiento para la protección de los bosques y fomento de la agricultura en áreas menos vulnerables.

Objetivos específicos

- Identificar y cartografiar áreas boscosas prioritarias para la conservación y zonas agrícolas con menor potencial de erosión
- Implementar técnicas de conservación de suelo como terrazas, barreras vivas y franjas de vegetación.

Problemática

En la cuenca del río Apuela, ubicada en la provincia de Imbabura, es una región de alta biodiversidad que tiene ecosistemas como bosques montanos y páramos, esenciales para la regulación hídrica y conservación de especies endémicas. En las últimas décadas, la cobertura vegetal de la cuenca ha disminuido significativamente debido a la expansión agrícola y la deforestación, lo que ha resultado en una pérdida del 10,69 % de la superficie entre los años 2002 y 2023. Evidenciado por estudios recientes por Andrade (2016), entre el año 1991 y 2010, la vegetación de bosque natural y arbustiva disminuyó afectando negativamente los caudales de los ríos Piñan, Pitura, Piura y Apuela. Esta reducción compromete a la biodiversidad e incrementa la vulnerabilidad de los hábitats naturales de especies endémicas y reduce la resiliencia ecológica de la región (Andrade *et al.*, 2016).

Justificación

La intensa actividad agrícola, centrada en cultivos de exportación como la granadilla (*Passiflora ligularis*), el tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y la naranjilla (*Solanum quitoense*), ha fragmentado drásticamente los bosques siempreverdes montano y montano alto de la cuenca del río Apuela. Esta alteración ha afectado significativamente los servicios ecosistémicos y ha reducido la calidad de los hábitats para especies emblemáticas en peligro de extinción como el colibrí zamarrito pechinegro (*Loddigesia mirabilis*), la palma de cera

(*Ceroxylon quindiuense*), los loros orejiamarillos (*Ognorhynchus icterotis*) y cachetidorado (*Pionus senilis*). La restauración es imperativa para preservar la biodiversidad y el equilibrio de los ecosistemas.

Para lograr este objetivo, se prioriza la identificación y delimitación de zonas de amortiguamiento estratégicas alrededor de los bosques, utilizando herramientas de mapeo geoespacial. Estas zonas serán definidas considerando la vulnerabilidad de los ecosistemas, con el fin de reducir las amenazas derivadas de actividades humanas intensivas y promover la sostenibilidad a largo plazo. Esto incluye la implementación de técnicas como la agroforestería, la rotación de cultivos, la conservación de suelos y el manejo eficiente del agua, que mejoran la productividad agrícola sin comprometer los recursos naturales. La participación comunitaria es otro pilar fundamental de esta estrategia. Se buscará involucrar a actores locales, comunidades indígenas, agricultores y organizaciones ambientales en todas las etapas del diseño e implementación de los planes de uso del suelo.

4.3.2. Estrategia 2: *Realización de plantaciones con especies nativas para recuperar la cobertura vegetal y la biodiversidad.*

Objetivo General

Restaurar la cobertura vegetal y la biodiversidad a través de la plantación de especies nativas y mejorar la calidad de vida de las comunidades locales.

Objetivos específicos

- Realizar un inventario detallado de las especies nativas presentes en la zona y seleccionar aquellas que mejor se adapten a las condiciones edafoclimáticas y ecológicas del área a restaurar.
- Establecer viveros para la producción de plantones de especies nativas, garantizando la calidad genética y fitosanitaria del material vegetal.

Problemática

En las últimas décadas, la cuenca del río Apuela ha experimentado una alarmante disminución de su cobertura vegetal, evidenciando un proceso de degradación ambiental. Entre 2002 y 2023 se perdieron aproximadamente 6.848 hectáreas de bosque, lo que representa una reducción del

4,4% en comparación con el área total cubierta en el año 2002. La disminución de la cobertura arbórea ha alterado los servicios ecosistémicos esenciales, tales como la regulación del ciclo hídrico, la protección contra la erosión del suelo y la captura de carbono, lo que agrava la vulnerabilidad de las comunidades locales ante fenómenos como sequías e inundaciones.

La reforestación con especies nativas se presenta como una estrategia eficaz para restaurar la estructura y funcionalidad de los ecosistemas degradados. Sin embargo, la falta de inventarios detallados de las especies nativas adaptadas a las condiciones locales y la ausencia de viveros especializados que garanticen la calidad genética y fitosanitaria del material vegetal representan desafíos significativos para la implementación efectiva de proyectos de restauración (Duarte *et al.*, 2021).

Justificación

La restauración de ecosistemas mediante la plantación de especies nativas es una intervención necesaria para hacer frente a la crisis de biodiversidad y el cambio climático. Al reintroducir especies autóctonas en áreas degradadas, se promueve la recuperación de los procesos ecológicos esenciales, como el ciclo del agua y la regulación del clima. Además, la restauración con especies nativas contribuye a fortalecer la resiliencia de los ecosistemas frente a perturbaciones naturales y antropogénicas, aumentando su capacidad para adaptarse a las condiciones ambientales cambiantes. Esta estrategia no solo beneficia a la naturaleza, sino que también aporta múltiples beneficios a las comunidades locales, como la mejora de la calidad del agua, la protección de los suelos y la creación de oportunidades para el desarrollo de actividades económicas sostenibles, como el ecoturismo y la producción de alimentos orgánicos.

4.3.3. Estrategia 3: Educación ambiental a las comunidades

Objetivo General

Fortalecer la participación comunitaria en la gestión del territorio y reducir actividades perjudiciales como la tala no controlada.

Objetivos específicos

- Concientizar y dar charlas a las comunidades de la importancia de los ecosistemas e impactos de la tala indiscriminada.
- Impartir cursos y talleres prácticos sobre técnicas de reforestación, manejo sostenible de los recursos naturales y agroforestería.
- Capacitar a los líderes comunitarios en técnicas de facilitación, comunicación y resolución de conflictos.

Problemática

La falta de capacitación en prácticas agrícolas sostenibles y conservación forestal limita el desarrollo sostenible de las comunidades rurales. Estas comunidades dependen en gran medida de los recursos naturales para su subsistencia, por lo que es esencial que adquieran las herramientas y conocimientos necesarios para gestionar estos recursos de manera responsable. La falta de capacitación no solo afecta la conservación de los ecosistemas, sino que también limita las oportunidades económicas y el bienestar de las comunidades a largo plazo.

Justificación

Las comunidades locales desempeñan una función fundamental como custodios de los bosques y protagonistas en la producción de alimentos. Brindarles formación en prácticas agrícolas sostenibles no solo fortalece su capacidad para tomar decisiones responsables, sino que también promueve la protección de los ecosistemas forestales y mejora significativamente su calidad de vida. Este enfoque impulsa una participación activa y consciente en la gestión de los recursos naturales, mientras refuerza la conexión entre las personas y su entorno. Al integrar conocimientos técnicos con las tradiciones locales, se crean soluciones que benefician tanto a las comunidades como al equilibrio ambiental a largo plazo.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En conclusión, el análisis de la calidad ambiental revela una transformación significativa en el uso y cobertura del suelo, con una preocupante disminución del 30,45% en la cobertura boscosa. Esta pérdida no solo reduce la contribución del bosque al índice de calidad ambiental de un 5,52% a un 3,84%, sino que también coincide con un aumento del 57,38% en la cobertura de pastos, un indicador de degradación del suelo.

Si bien, el incremento de la producción agrícola puede mejorar la seguridad alimentaria y contribuir a la reducción de la pobreza, es crucial reconocer que sus beneficios no se distribuyen de manera equitativa. Las comunidades rurales, particularmente aquellas con recursos limitados, son las más vulnerables a los efectos de la degradación ambiental, dado que dependen directamente de los servicios ecosistémicos para su sustento. En este contexto, comunidades como Irubí y Puranquí se encuentran entre las más afectadas por la expansión agrícola, debido a la presión sobre los recursos naturales y la pérdida de cobertura vegetal. Por otro lado, la comunidad de Piñán ha logrado, en cierta medida, mantener la conservación de sus bosques, lo que contribuye a la preservación de la biodiversidad y la regulación de los ecosistemas locales.

Con base en los registros de transición de ecosistemas y uso del suelo entre los años 2002 y 2023, se observó una disminución en las áreas correspondientes a ciertos ecosistemas. El bosque siempreverde montano bajo (Bsvmb) experimentó una reducción del 6,64 %, equivalente a 1,506.09 hectáreas. Este descenso está asociado al aumento de las áreas destinadas a la agricultura, que crecieron un 3 %, alcanzando 625.79 hectáreas. La transformación en el uso del suelo no solo impacta negativamente la biodiversidad y la estabilidad de los ecosistemas, sino que también afecta los servicios ecosistémicos esenciales para las comunidades. La pérdida de bosques y páramos compromete funciones ecosistémicas lo que agrava problemas como la erosión, la sedimentación en cuerpos de agua y las emisiones de gases de efecto invernadero.

5.2 Recomendaciones

Para la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal, combinar la clasificación no supervisada con otras técnicas de análisis de datos, como la clasificación supervisada o el análisis de series temporales, para obtener una comprensión más completa de las áreas de interés.

Realizar monitoreos y análisis continuos de los cambios en el uso del suelo y las coberturas vegetales. Esta práctica facilita la cuantificación precisa de las ganancias y pérdidas en el área de estudio, proporcionando información para la toma de decisiones estratégicas por parte de los gobiernos autónomos descentralizados (GAD), el GAD parroquial de Apuela y el GAD municipal de Cotacachi.

Se recomienda integrar los resultados de esta investigación en los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de la parroquia Apuela y sus localidades vecinas. Esta integración permitirá: desarrollar políticas que promuevan la sostenibilidad ambiental, equilibrar el desarrollo socioeconómico con la conservación de los ecosistemas, generar beneficios tangibles para la calidad de vida de las comunidades locales, garantizar una planificación territorial más efectiva, basada en información precisa. Este enfoque contribuirá a un modelo de gestión territorial más resiliente y sostenible.

Se recomienda la realización de estudios futuros que continúen utilizando imágenes satelitales y herramientas de teledetección, como las empleadas en el presente trabajo. Esto generara información actualizada que respalde la toma de decisiones estratégicas para la gestión ambiental sostenible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaide Orpí, J. J. S. (2006). *Sistema de indicadores para la evaluación de la calidad ambiental del municipio Bauta, la Habana, Cuba*. Recuperado de: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212006000500003
- Alonso, P., Cruz, R. D. la, Payne, J. M., Pimenta, C., Jalkh, G., Straface, F., & Olabe, P. B. (2007). *República de Ecuador: Evaluación de la gobernabilidad democrática*. <https://doi.org/10.18235/0009943>
- Ángel Flores. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*.
- Arley, D., Parra, A., Camilo, J., & Sandoval, D. (2021). *Análisis multitemporal de la cobertura vegetal y la degradación en la extensión de la cobertura de páramo cuenca San José-páramo El Rabanal Universidad Santo Tomás Facultad de Ingeniería Civil 2021*.
- Bendor, T., Lester, T. W., Livengood, A., Davis, A., & Yonavjak, L. (2015). Estimating the Size and Impact of the Ecological Restoration Economy. *PLOS ONE*, 10(6), e0128339. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0128339>
- Bevir, M. (2009). The construction of governance. *International Journal of Organization Theory & Behavior*, 12(1), 60–87. <https://doi.org/10.1108/IJOTB-12-01-2009-B004>
- Borja, M. O., Aragón-Osejo, J., & Josse, C. (2017). EJE-02-03 Bosques de la Región Amazónica Ecuatoriana: ¿Qué nos dicen las cifras de deforestación de los últimos 15 años? *Memorias y Boletines de La Universidad Del Azuay*, XVI, 63–76. <https://doi.org/10.33324/MEMORIAS.VIIXVI.49>
- Chamorro Cadena D. V. (2019). *Análisis multitemporal de los patrones espaciales*

del paisaje en el cantón Pimampiro, provincia de Imbabura.

Chander, G., Markham, B. L., & Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113(5), 893–903.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>

Chuvieco, E. S. (2002). CAPÍTULO 1. Nociones Introductorias. *Teledetección Ambiental: La Observación de La Tierra Desde El Espacio*, 1–40.

Cobo Enríquez, E. J. (2024). *Análisis multitemporal del avance de la frontera agrícola hacia el área protegida autónoma descentralizada “Taita Imbabura.”*
<https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/16164>

COFO. (2020). *Los bosques: Soluciones basadas en la naturaleza para el cambio climático.*

Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37(1), 35–46.
[https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B)

Costanza, R., D’Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O’Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & Van Den Belt, M. (1997). The value of the world’s ecosystem services and natural capital. *Nature* 1997 387:6630, 387(6630), 253–260.
<https://doi.org/10.1038/387253a0>

Cruz, A. B., Etchevers Barra, J., Del Castillo, R. F., & Gutiérrez, C. (n.d.). *La calidad del suelo y sus indicadores.* Retrieved June 22, 2023, from
<http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=149>

De, E. B., Fuente, L. A., & Suárez, S. A. (2008). *Agricultura y problemas ambientales*

asociados a la actividad humana: la agricultura Sección especial.

Definiciones / Portal de Suelos de la FAO / Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2024). Retrieved September 9, 2024, from <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>

Doran, J. W., & Parkin, T. B. (2015). Defining and assessing soil quality. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, 3–21. <https://doi.org/10.2136/SSSASPECPUB35.C1>

Duarte Abadía, B., Hoogesteger van Dijk, J., & Yacoub Lopez, C. (2016). Introducción: Visiones desde la ecología y la justicia hídrica. *Gobernanza Del Agua*, 13–24. <https://abyayala.org.ec/producto/gobernanza-del-agua/>

Equipo Técnico de Dirección de Monitoreo de Eventos Adversos. (2019). *Informe de Situación - Incendios Forestales a nivel nacional 2019.*

Espinoza Viveros Viviana Daniela, & Varela Guevara Jimmy Alexander. (n.d.). *Análisis de los impactos ambientales causados por el cambio de uso del suelo en la cuenca hidrográfica del río Lita.* Recuperado el 11 junio de 2024, de: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/11871/2/03%20RNR%20393%20TRABAJO%20GRADO.pdf>

Farfán Gutiérrez, M., Rodríguez-Tapia, G., & Mas, J. F. (2016). Análisis jerárquico de la intensidad de cambio de cobertura/uso de suelo y deforestación (2000-2008) en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía*, 2016(90), 89–104. <https://doi.org/10.14350/RIG.48600>

Figueroa, J. R. (2005). Valoración de la biodiversidad: Perspectiva de la economía ambiental y la economía ecológica. *Interciencia*, 30(2), 103–107. Recuperado

de:http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442005000200011&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Finlayson, M., Lévêque, C., Randy Milton, G., Peterson, G., Pritchard, D., Ratner, B. D., Reid, W. V., Revenga, C., Rivera, M., Schutyser, F., Siebentritt, M., Stuip, M., Tharme, R., Mooney, H. A., Cropper, A., Capistrano, D., Carpenter, S. R., Chopra, K., Dasgupta, P., ... Watson, R. T. (2005). *A Report of the Millennium Ecosystem Assessment Contributing Authors, and Sub-global Coordinators Review Editors: José Sarukhán and Anne Whyte (Co-chairs) and MA Board of Review Editors The Cropper Foundation, Trinidad and Tobago.*

Francisco Javier Sahagún Sánchez, & Humberto Reyes Hernández. (2018). *Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, México.*
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582018000100006

Francos, M., Lemus Canovas, M., Francos, M., & Lemus Canovas, M. (2021). Observaciones en terreno y técnicas de teledetección para evaluar la recuperación vegetal después de un incendio forestal de diferente severidad en el ecosistema mediterráneo. *Bosque (Valdivia)*, 42(2), 245–258.
<https://doi.org/10.4067/S0717-92002021000200245>

Fonseca, J., & Gómez M. (2001). *Análisis multitemporal mediante imágenes landsat caso de estudio: cambio del área ladera de la ciénaga de Tumaradó parque natural los katíos.*

García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2),

125–138. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Garmendía Salvador, A. (2005). *Evaluación de impacto ambiental*. Recuperado de www.xlibros.com

Gavito, M. E., Wal, H. van der, Aldasoro, E. M., Ayala-Orozco, B., Bullén, A. A., Cach-Pérez, M., Casas-Fernández, A., Fuentes, A., González-Esquivel, C., Jaramillo-López, P., Martínez, P., Masera-Cerruti, O., Pascual, F., Pérez-Salicrup, D. R., Robles, R., Ruiz-Mercado, I., Villanueva, G., Gavito, M. E., Wal, H. van der, ... Villanueva, G. (2017). Ecología, tecnología e innovación para la sustentabilidad: retos y perspectivas en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 150–160. <https://doi.org/10.1016/J.RMB.2017.09.001>

Gil Leguizamón, P. A. & Morales Puentes, E. (2016). Información espacial, herramientas de análisis en la transformación de las coberturas vegetales. *Ingeniería e Innovación*, 4(2). <https://doi.org/10.21897/23460466.1176>

Harden, C. P. (2006). Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes. *Geomorphology*, 79(3–4), 249–263. <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2006.06.021>

Heras Heras, M. C., Moreno López, J. A., Quevedo Amay, D. V., Cuichan-Paucar, S. H., Heras-Heras, M. C., Moreno-López, J. A., Quevedo-Amay, D. V., & Cuichan-Paucar, S. H. (2024). Pérdida de cobertura vegetal y los cambios de uso del suelo en la Amazonia ecuatoriana. *Agroecología Global. Revista Electrónica de Ciencias Del Agro y Mar*, 6(10), 89–104. <https://doi.org/10.35381/A.G.V6I10.3579>

Ingeniería en Manejo Y Conservación del Medio Ambiente, C. DE, Ciudad Loja, L.

DE, Geovanny Córdova Sánchez Daniel Alejandro Lima Esparza, F., Johana Muñoz Chamba, I., & Sc, M. (2012). *Evaluación de la calidad del agua de la quebrada Borja en la ciudad de Loja*.
<https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/5069>

Jara, P. S. (2012). *UNIVERSIDAD DE CUENCA*.

Pérez, J. I., & Juan Pérez, J. I. (2017). Identificación y evaluación de impactos ambientales en el Campus Ciudad Universitaria, Universidad Autónoma del Estado de México, Cerro de Coatepec, Toluca México. *Acta Universitaria*, 27(3), 36–56. <https://doi.org/10.15174/AU.2017.1249>

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>

Latorre, S. (2011). *Íntag, un territorio en disputa. Evaluación de escenarios territoriales extractivos y no extractivos*.
https://www.academia.edu/93253217/%C3%8Dntag_un_territorio_en_disputa_Evaluaci%C3%B3n_de_escenarios_territoriales_extractivos_y_no_extractivos

Lombeida, A., Calderón, F., Santos, A., & Párraga, C. (2018). Evaluación geoespacial del cambio de cobertura y uso del suelo: caso del cantón las naves, provincia Bolívar. *Ciencia*, 19(2). <https://doi.org/10.24133/ciencia.v19i2.293>

Maldonado L, Carlos. (2012). *Análisis multicriterial sobre las alternativas de desarrollo en Íntag Escenarios prospectivos para las opciones de turismo-agricultura y minería*.
<https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/3818/1/PI-2012-02-Larrea->

[Intag%20Multicriterial.pdf](#)

- Marcillo, R. L. G., & Pupo, J. R. P. (2018). Percepciones Y Caracterización De Pastizales En Los Cantones Joya De Los Sachas Y Francisco Orellana. *European Scientific Journal, ESJ*, 14(20), 298. <https://doi.org/10.19044/ESJ.2018.V14N20P298>
- Meléndez, & Vegas, H. (2017). Políticas públicas y gobernanza: Articulación para una gestión pública local autónoma. *Http://Journals.Openedition.Org/Polis*, 48. <https://doi.org/10.4324/9781315126142>
- Mena Vásconez, P., Hofstede, R., Robalino, E. S., Calispa, M., Paredes, F. J. V., Freire, S. D. S., Eguiguren, P. S., Mosquera, G. M., Ochoa-Sánchez, A. E., Vallejo, J. P. P., Sánchez, P. C., Alvear, R. C., Romoleroux, K., Mera, P. M., Sklenář, P., Ulloa, C. U., Ortiz, D. A. E., Romoleroux, C., Ríos, G. Z., ... Calispa, M. (2023). Los páramos del Ecuador: Pasado, presente y futuro. *USFQ PRESS*. <https://doi.org/10.18272/USFQPRESS.71>
- Mendoza Poggi, M. L., Giler Ormaza, A. M., Aguilar Porro, C., Pimentel Leiva, R., Mendoza Poggi, M. L., Giler-Ormaza, A. M., Aguilar Porro, C., & Pimentel Leiva, R. (2021). Evaluación del uso y cobertura del suelo en la cuenca río Chico. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 8(SPE2). <https://doi.org/10.46377/DILEMAS.V8I.2596>
- Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L., Joaquín, J., & Rodríguez, A. (2007). “Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio. *GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology*, 7, 120–147. <https://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/114>

- Ngo, H. T., Guèze, M., Agard Trinidad, J., Arneth, A., Balvanera, P., Brauman, K., Watson, R., Baste, I., Larigauderie, A., Leadley, P., Pascual, U., Baptiste, B., Demissew, S., Dziba, L., Erpul, G., Fazel, A., Fischer, M., María Hernández, A., Karki, M., ... Mooney, H. (2019). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (Advance Uneted Version)*.
- Ipiales, O., & Cuichán M. (2024). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC)*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/2023/Boletin_tecnico_ESPAC_2023.pdf
- Perevochtchikova, M. (2013). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestión y Política Pública*, 22(2), 283–312. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-10792013000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Pierre Pourrut. (1995). *El agua en Ecuador* (Vol. 7).
- Policy Networks in British Government. (1992). *Policy Networks in British Government*. <https://doi.org/10.1093/ACPROF:OSO/9780198278528.001.0001>
- Ramos, D. S. (2013). *6_MEIA_I-resumen*.
- Ramos, R., & Ramos, R. (2017). Derecho constitucional en Ecuador y aspectos sobre la corrupción desde lo penal. *Revista Chakiñan de Ciencias Sociales y Humanidades*, 2, 35–46. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2550-

[67222017000100035&lng=es&nrm=iso&tlng=es](https://doi.org/10.18359/RMED.2335)

Reflexión La Salud Del Ser Humano Y Su Armonía Con El Ambiente Laura Alejandra Roa, A. DE, Pescador Vargas, B., & Alejandra Roa Culma, L. (2016). La salud del ser humano y su armonía con el ambiente. *Revista Med*, 24(1), 111–122. <https://doi.org/10.18359/RMED.2335>

Rivera Pazmiño, S. I. (2016). *La sostenibilidad del recurso hídrico en el Ecuador: análisis multicriterial de la gestión del agua*. <http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/9108>

Rodríguez Valero, M. I., & Alonso-Sarria, F. (2019). Classification of Landsat 8 images in the Segura Hydrographic Demarcation. *Revista de Teledetección*, 53, 33–44. <https://doi.org/10.4995/raet.2019.11016>

Romanelli, A., Massone, H. E., Romanelli, A., & Massone, H. E. (2016). Desarrollo de indicadores ambientales e índice de calidad de lagos someros pampeanos de Argentina con alta intervención antrópica. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 7(6),123–137.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000600123&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Ruiz, A., & Felipe, D. (2020). *UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE*.

Santos, E. B. (2009). *Ecotoxicology research developments*. 340.

Sevilla, H. C., Erazo, A., Sevilla, H. C., & Erazo, A. (2019). Estudio multiespectral del cultivo de tuna para determinar los índices NDVI, CWSI y SAVI, a partir de imágenes SENTINEL 2A, en el cantón Guano, provincia de Chimborazo, Ecuador. *Enfoque UTE*, 10(3), 55–66. <https://doi.org/10.29019/ENFOQUE.V10N3.453>

- SOFO. (2020). *El estado de los bosques del mundo 2020: Mensajes principales Resumen*.
- Stuart, F., Iii, C., Zavaleta, E. S., Eviner, V. T., Naylor, R. L., Vitousek, P. M., Reynolds||, H. L., Hooper, D. U., Lavorel#, S., Sala6, O. E., Hobbie, S. E., Mack, M. C., & Díaz, S. (2000). *Consequences of changing biodiversity*.
www.nature.com
- Tapia, E. E., Coloma, L. A., Pazmiño-Otamendi, G., & Peñafiel, N. (2017). Rediscovery of the nearly extinct longnose harlequin frog *Atelopus longirostris* (Bufonidae) in Junín, Imbabura, Ecuador. *Neotropical Biodiversity*, 3(1), 157–167. <https://doi.org/10.1080/23766808.2017.1327000>
- Vilema Ramos, B., León Espinoza, M., Layana-Bajaña, E., Rosales-Enríquez, O., Vilema-Ramos, B., León-Espinoza, M., Layana-Bajaña, E., & Rosales-Enríquez, O. (2023). Cambios en la cobertura del matorral seco montano del valle Chota (Imbabura y Carchi, Ecuador) entre 1990 y 2020. *Revista Peruana de Biología*, 30(4). <https://doi.org/10.15381/RPB.V30I4.24672>
- Vista de Financiamiento productivo a los agricultores en la zona de Intag, Cantón Cotacachi*. (2024). Retrieved October 7, 2024, from https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/article/view/1449/pdf_229
- Walter Fernando Mejía Sánchez. (2023). *Aplicación de técnicas geoespaciales para la evaluación y predicción del cambio de cobertura del suelo en la parroquia BañosCuenca-Ecuador*.
<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/43107/1/Trabajo-de-Titulaci%C3%B3n.pdf>

ANEXO A: Tabla de resultados adicionales

Tabla 12

Nivel de concordancia de las distintas coberturas del suelo en el año 2002

Año 1: 2002	Bosque	Páramo	Cuerpo de agua	Vegetación arbustiva	Cultivos	Pastos	Área sin vegetación
Bosque	10	0	0	0	0	0	0
Páramo	0	10	0	0	0	0	0
Cuerpo de agua	0	0	10	0	0	0	0
Vegetación arbustiva	0	0	0	10	0	0	0
Cultivos	0	0	0	0	11	0	0
Pastos	0	0	0	0	0	10	2
Área sin vegetación	0	0	0	0	0	0	7

Tabla 13*Nivel de concordancia de las distintas coberturas del suelo en el año 2023*

Año 2: 2023	Bosque	Páramo	Cuerpo de agua	Vegetación arbustiva	Cultivos	Pastos	Área sin vegetación
Bosque	10	0	0	0	0	0	0
Páramo	0	10	0	0	0	0	0
Cuerpo de agua	0	0	10	0	0	0	0
Vegetación arbustiva	0	0	0	10	0	0	0
Cultivos	0	0	0	0	8	1	0
Pastos	0	0	0	0	2	10	0
Área sin vegetación	0	0	0	0	0	0	10

Tabla 14*Matriz de transición de ecosistemas y usos de suelo 2002 –2023 (km2)*

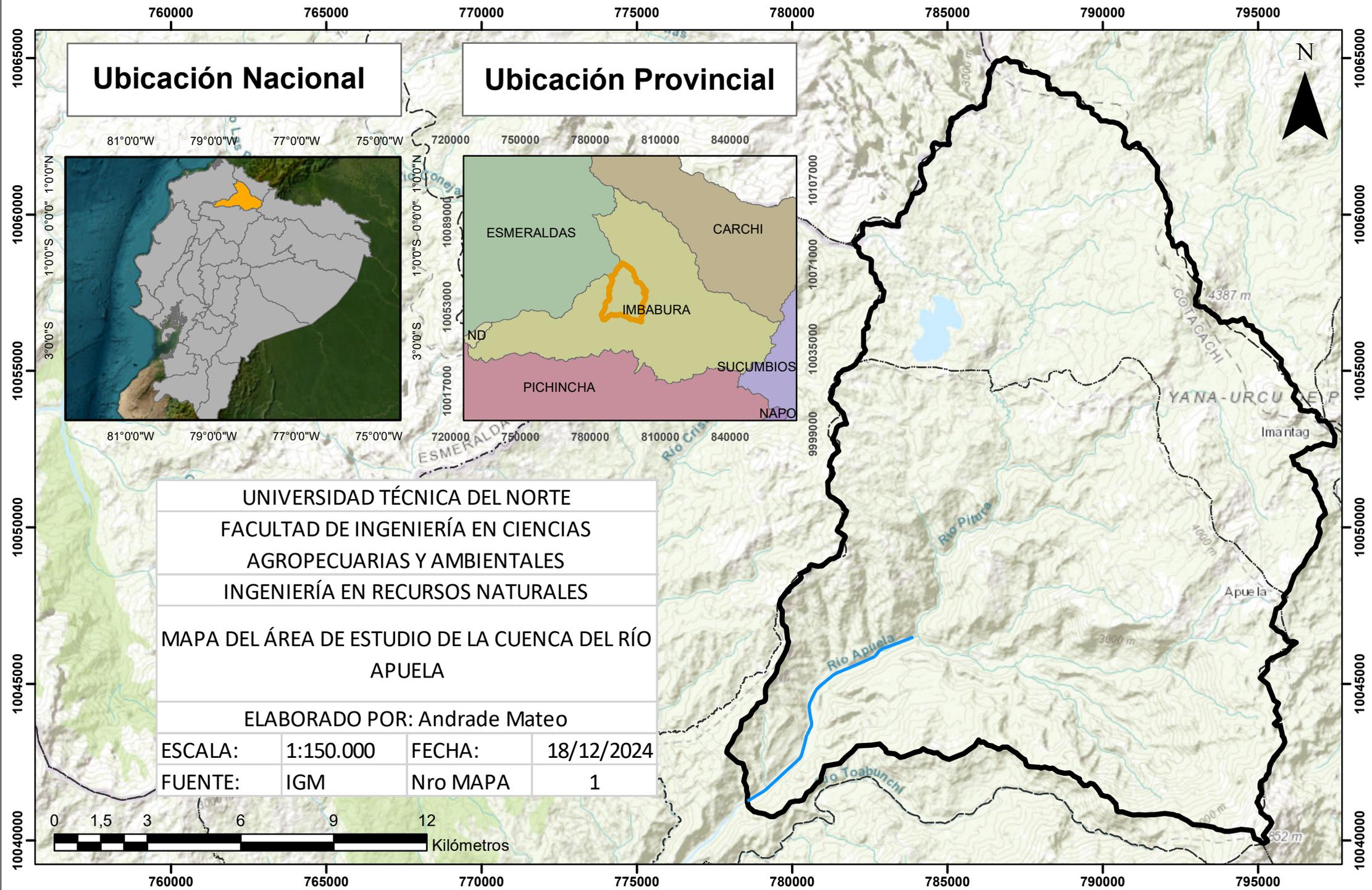
Año 1: 2002	Año 2: 2023								Total 2023	Pérdida
	Agua	Arbustal siempreverde	Área sin cobertura vegetal	Bosque siempreverde montano	Bosque siempreverde montano alto	Bosque siempreverde montano bajo	Cultivos	Herbazal del Páramo		
Agua	0,76	0,00	-	-	-	-	-	0,01	0,76	0,01
Arbustal siempreverde	0,00	1,22	-	0,02	0,50	-	0,17	0,14	2,05	0,83
Área sin cobertura vegetal	-	-	0,29	-	0,00	-	-	0,04	0,33	0,04
Bosque siempreverde montano	-	-	-	20,06	-	-	-	0,02	20,08	0,02
Bosque siempreverde montano alto	-	-	-	-	6,13	-	-	0,72	6,85	0,72
Bosque siempreverde montano bajo	-	0,08	-	1,48	-	0,82	3,69	1,39	7,46	6,64
Cultivos	-	1,01	-	0,96	-	-	7,98	0,18	10,12	2,15
Herbazal del Páramo	0,01	1,09	0,06	0,14	0,02	-	1,07	49,95	52,33	2,38
Total 2002	0,77	3,39	0,35	22,66	6,65	0,82	12,91	52,45	100,00	12,79
Ganancia	0,01	2,17	0,06	2,59	0,52	0,00	4,94	2,50	12,79	

Tabla 15*Resumen del cambio neto absoluto del uso de suelo 2002-2023 (%)*

	Ganancia	Perdida	Cambio Total	Swap	Cambio neto absoluto
Agua	0,00	0,00	0,00	0,016	0,00
Arbustal siempreverde	2,17	0,83	3,01	1,666	1,34
Área sin cobertura vegetal	0,05	0,03	0,09	0,073	0,02
Bosque siempreverde montano	2,59	0,02	2,62	0,040	2,57
Bosque siempreverde montano alto	0,52	0,72	1,24	1,040	-0,20
Bosque siempreverde montano bajo	0,00	6,64	6,64	0	-6,64
Cultivos	4,93	2,14	7,08	4,291	2,79
Herbazal del Páramo	2,50	2,38	4,88	4,765	0,12
	12,7	12,7	12,78	5,947	0,00

ANEXO B: Mapas temáticos del área de análisis

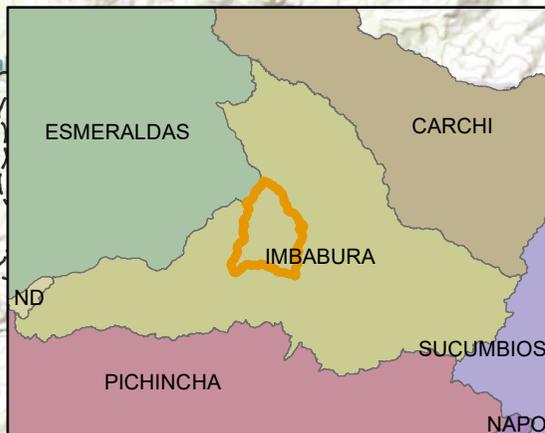
MAPA DEL ÁREA DE ESTUDIO DE LA CUENCA DEL RÍO APUELA



Ubicación Nacional



Ubicación Provincial



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES

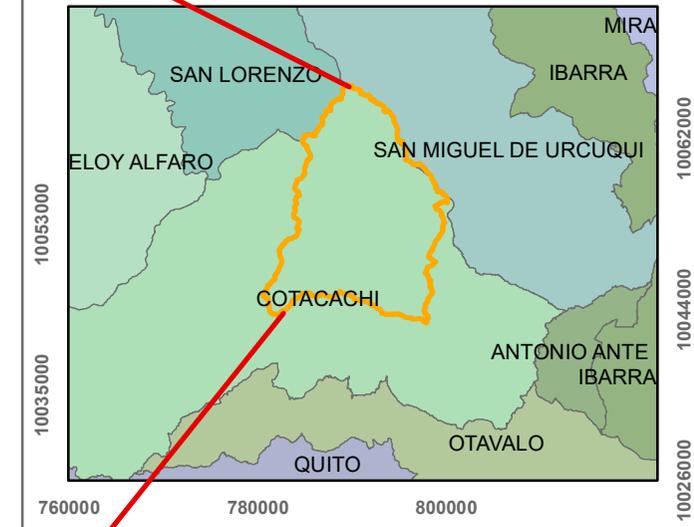
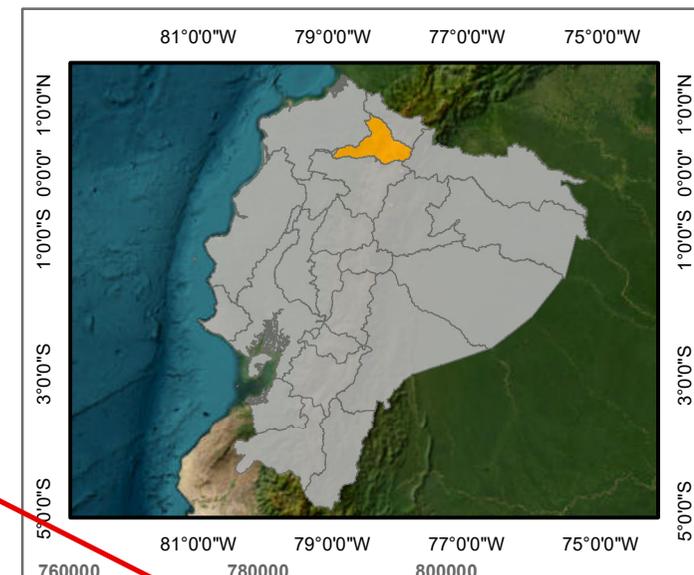
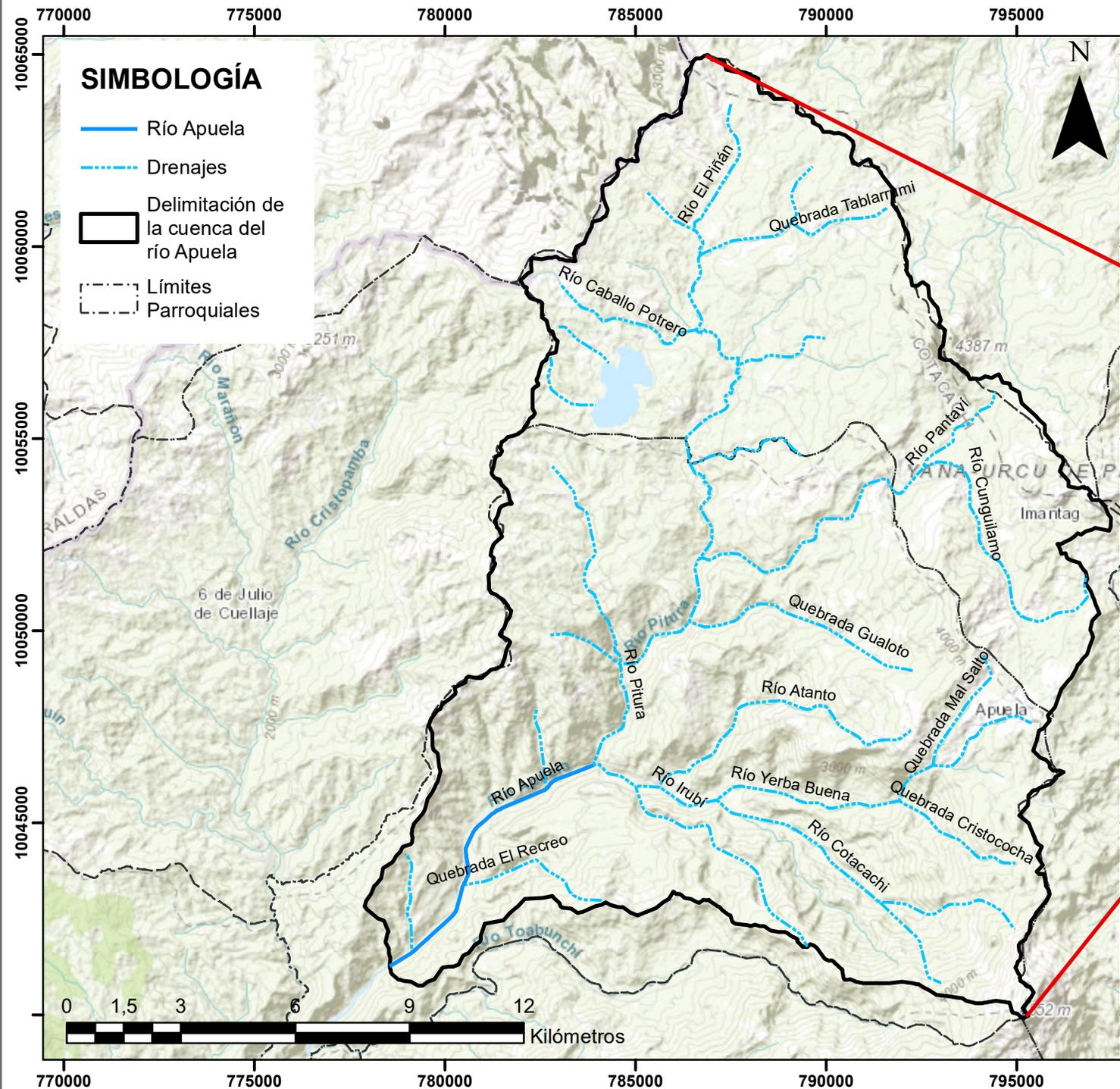
MAPA DEL ÁREA DE ESTUDIO DE LA CUENCA DEL RÍO
APUELA

ELABORADO POR: Andrade Mateo

ESCALA:	1:150.000	FECHA:	18/12/2024
FUENTE:	IGM	Nro MAPA	1



MAPA DE DRENAJES DE LA CUENCA DEL RÍO APUELA



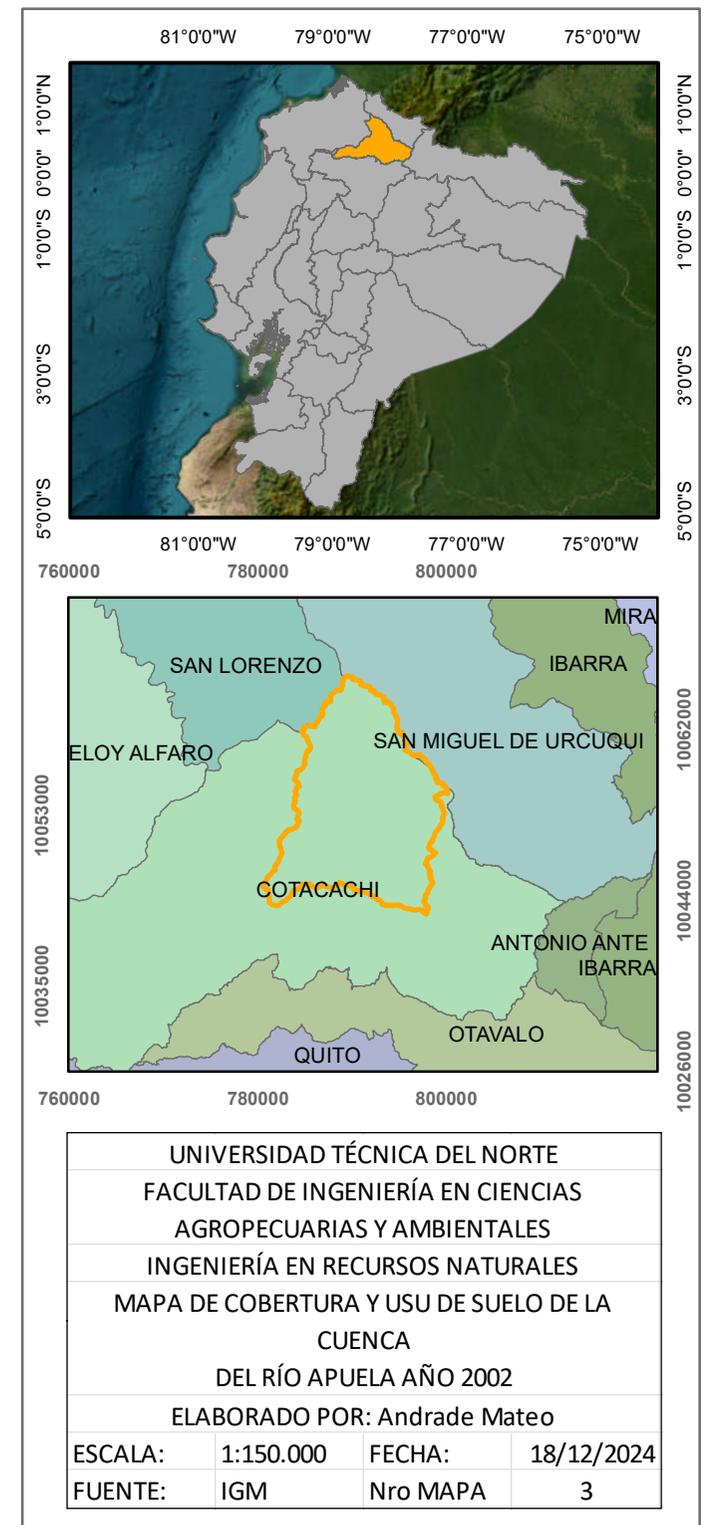
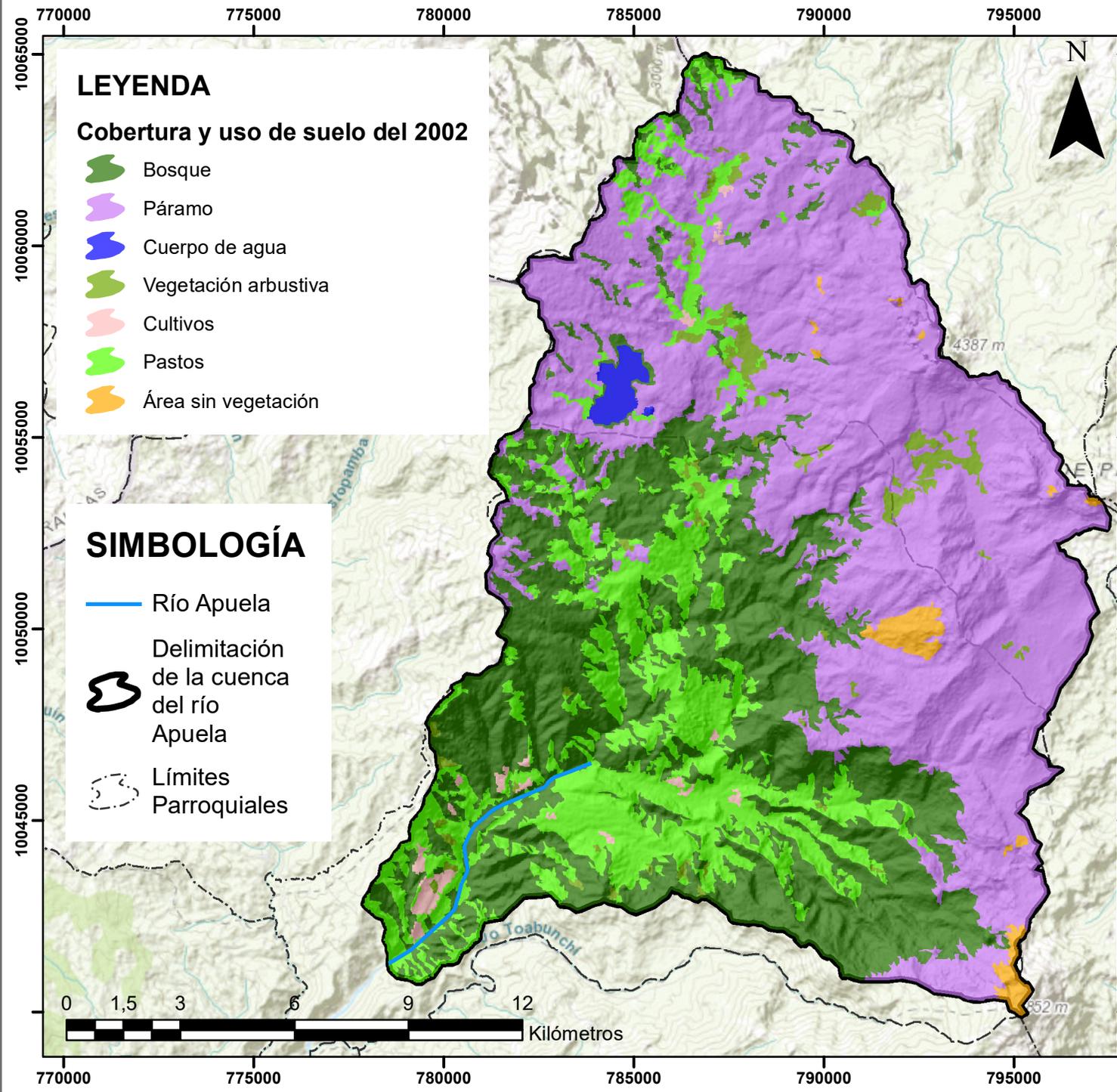
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
 AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
 INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES

MAPA DE DRENAJES DE LA CUENCA DEL RÍO APUELA

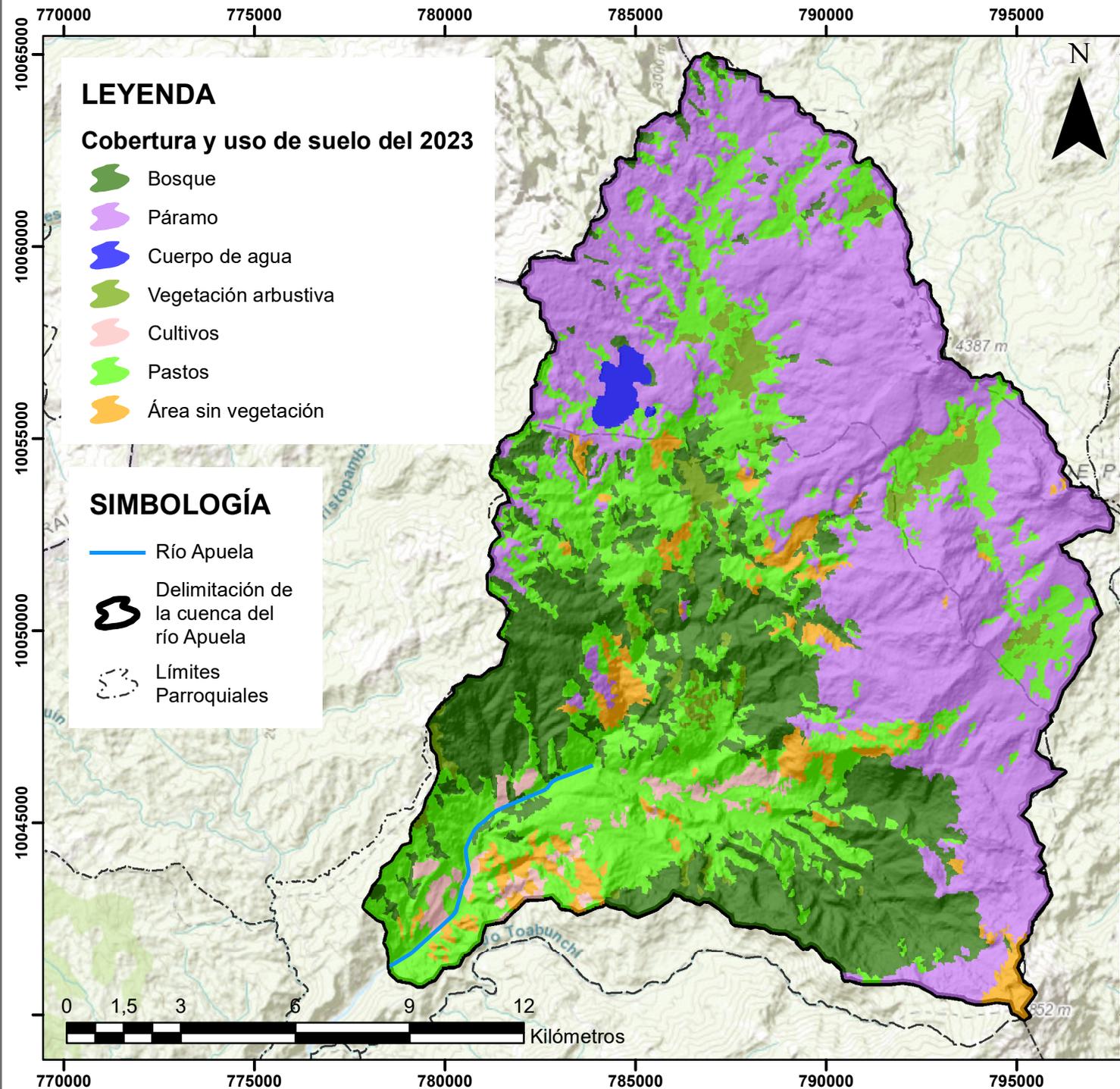
ELABORADO POR: Andrade Mateo

ESCALA:	1:150.000	FECHA:	18/12/2024
FUENTE:	IGM	Nro MAPA	2

MAPA DE COBERTURA Y USU DE SUELO DE LA CUENCA DEL RÍO APUELA AÑO 2002



MAPA DE COBERTURA Y USU DE SUELO DE LA CUENCA DEL RÍO APUELA AÑO 2023



LEYENDA

Cobertura y uso de suelo del 2023

-  Bosque
-  Páramo
-  Cuerpo de agua
-  Vegetación arbustiva
-  Cultivos
-  Pastos
-  Área sin vegetación

SIMBOLOGÍA

-  Río Apuela
-  Delimitación de la cuenca del río Apuela
-  Límites Parroquiales



81°0'0"W
79°0'0"W
77°0'0"W
75°0'0"W

81°0'0"W
79°0'0"W
77°0'0"W
75°0'0"W

1°0'0"S
0°0'0"
1°0'0"S
1°0'0"S

760000
780000
800000

10053000
10055000
10057000

760000
780000
800000

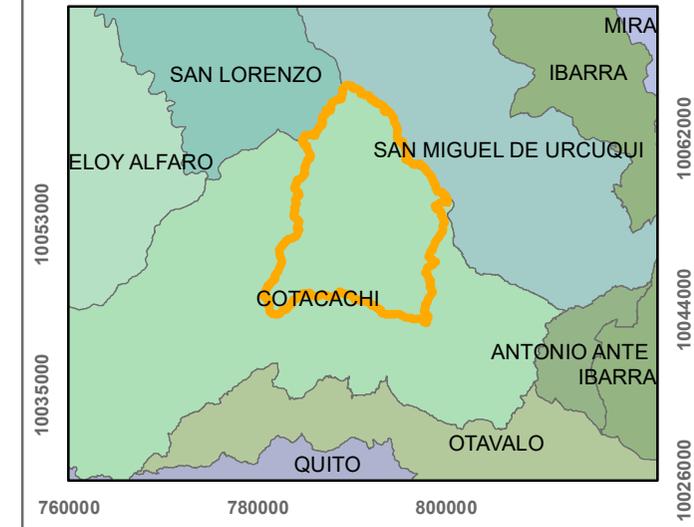
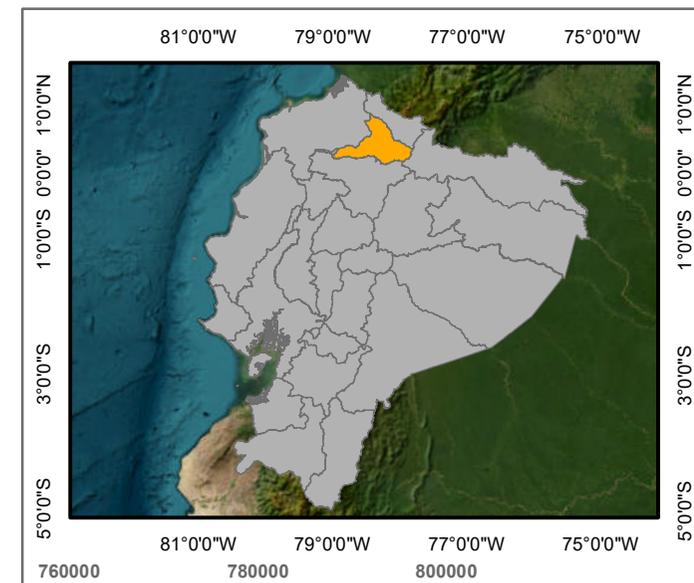
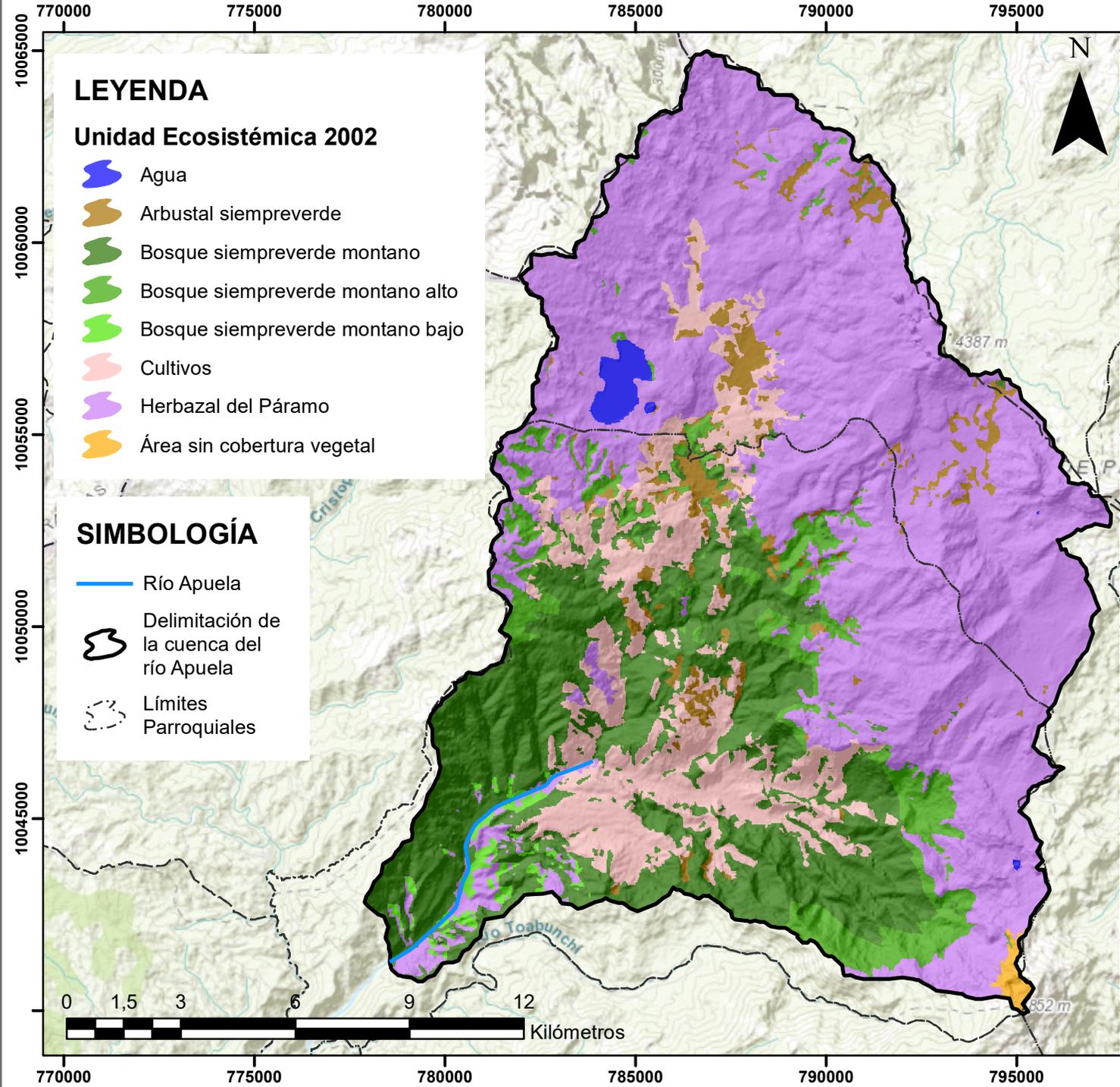
10045000
10047000
10049000

10040000
10042000
10044000

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
 AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
 INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
 MAPA DE COBERTURA Y USU DE SUELO DE LA
 CUENCA
 DEL RÍO APUELA AÑO 2023
 ELABORADO POR: Andrade Mateo

ESCALA:	1:150.000	FECHA:	18/12/2024
FUENTE:	IGM	Nro MAPA	4

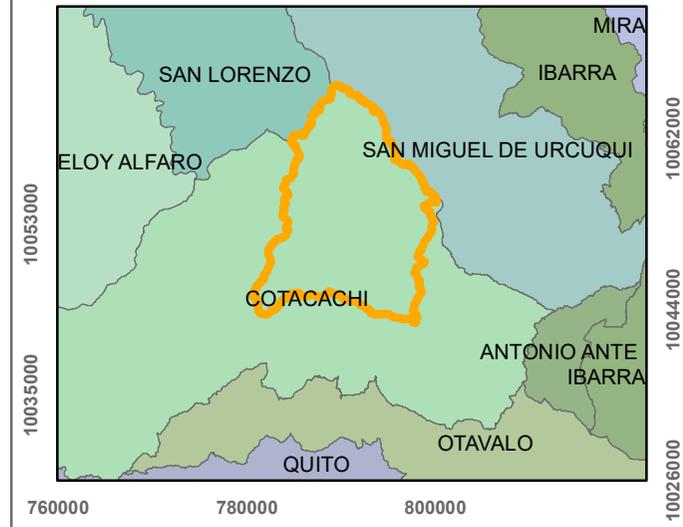
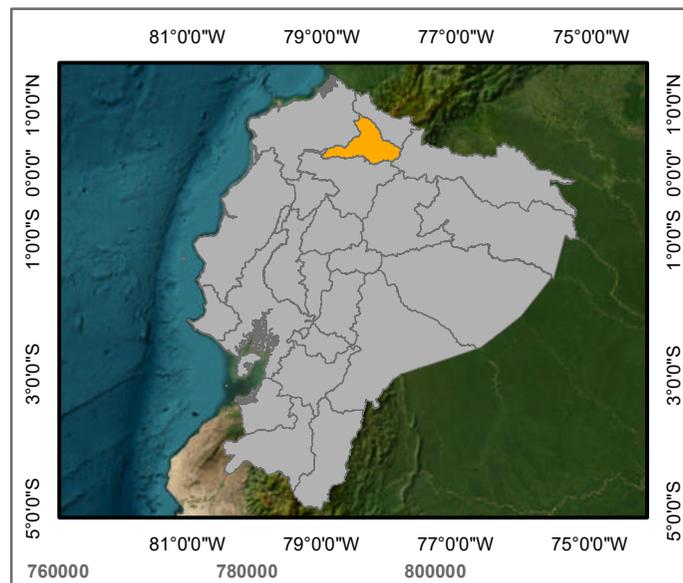
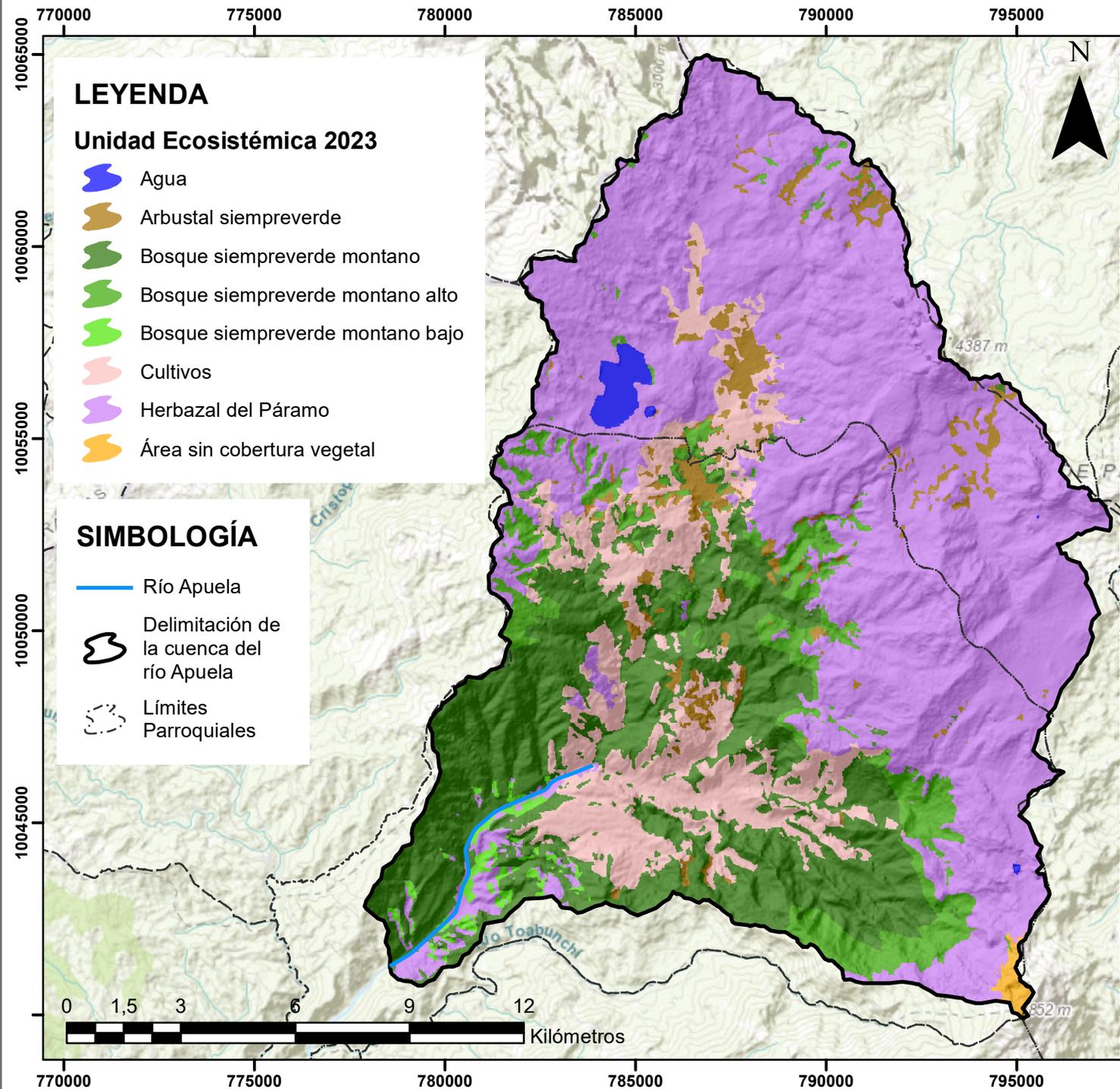
MAPA DE UNIDAD ECOSISTÉMICA DE LA CUENCA DEL RÍO APUELA AÑO 2002



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
 AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
 INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
 MAPA DE UNIDAD ECOSISTÉMICA DE LA CUENCA
 DEL
 RÍO APUELA AÑO 2002
 ELABORADO POR: Andrade Mateo

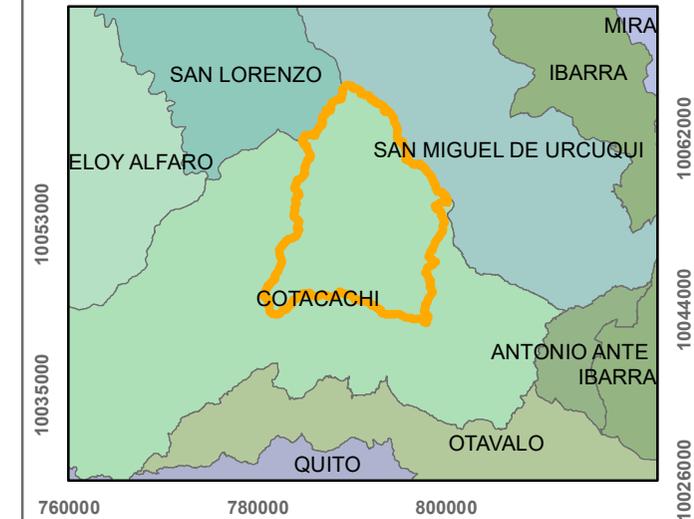
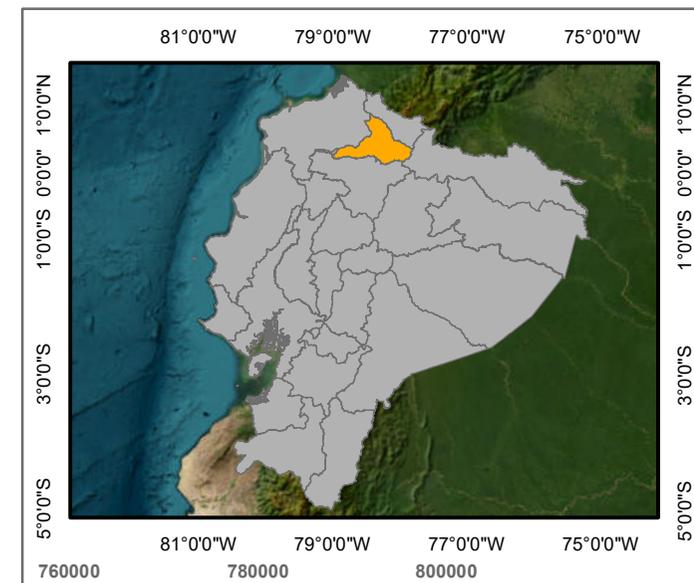
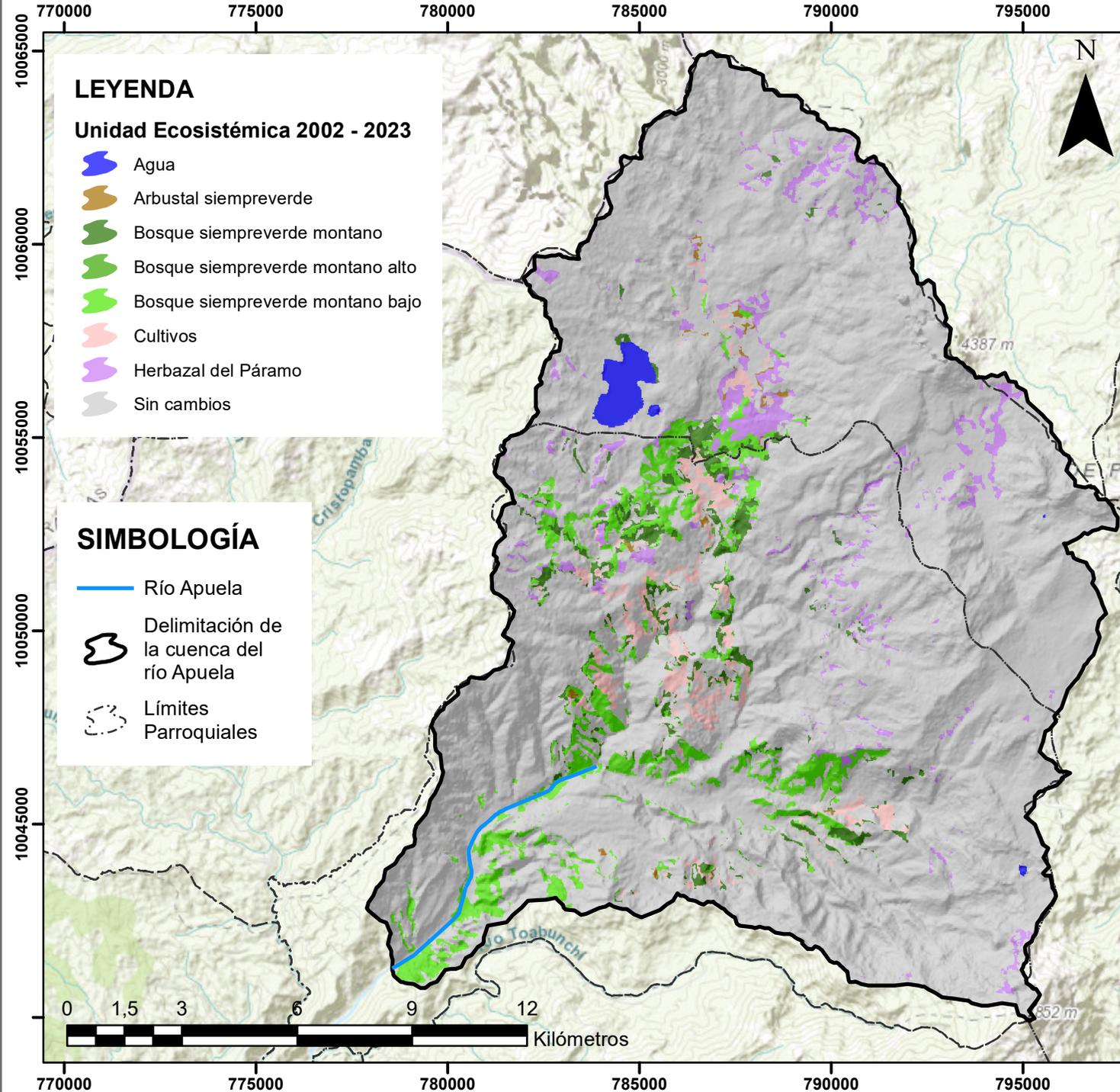
ESCALA:	1:150.000	FECHA:	18/12/2024
FUENTE:	IGM	Nro MAPA	5

MAPA DE UNIDAD ECOSISTÉMICA DE LA CUENCA DEL RÍO APUELA AÑO 2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES			
INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES			
MAPA DE UNIDAD ECOSISTÉMICA DE LA CUENCA DEL RÍO APUELA AÑO 2023			
ELABORADO POR: Andrade Mateo			
ESCALA:	1:150.000	FECHA:	18/12/2024
FUENTE:	IGM	Nro MAPA:	6

MAPA DE UNIDAD ECOSISTÉMICA DE LA CUENCA DEL RÍO APUELA AÑO 2002 - 2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
 AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
 INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
 MAPA DE UNIDAD ECOSISTÉMICA DE LA CUENCA
 DEL
 RÍO APUELA AÑO 2002 - 2023
 ELABORADO POR: Andrade Mateo

ESCALA:	1:150.000	FECHA:	18/12/2024
FUENTE:	IGM	Nro MAPA	7

ANEXO C: Registro fotográfico

Figura 1

Río Apuela



Figura 2

Deforestación de cobertura vegetal natural



Figura 3

Bosque siempreverde montano



Figura 4

Recolección de datos y registro de puntos GPS

