

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL ECOSISTÉMICA MEDIANTE
HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO LITA”**

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

AUTORES:

Toro Espinoza Angélica Amaloha

Artos Usuay Carlos Daniel

DIRECTOR:

Ing. Darío Paul Arias Muñoz MSc.

Ibarra, julio 2024



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DEL CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0450221692		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Toro Espinoza Angélica Amaloha		
DIRECCIÓN:	Av. El Retorno y Nazacota Puento		
EMAIL:	aatoroe@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELF. MOVIL:	0983147834

DATOS DEL CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003972039		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Artos Usuay Carlos Daniel		
DIRECCIÓN:	río Tiputini y Sucre		
EMAIL:	cdartosu@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062-603-235	TELF. MOVIL:	0960293746

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Evaluación de la calidad ambiental ecosistémica mediante herramientas de teledetección en la cuenca del río Lita
AUTORES:	Toro Espinoza Angélica Amaloha y Artos Usuay Carlos Daniel
FECHA:	2024/07/09
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
CARRERA/PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	Ing. Paul Arias MSc.

2. CONSTANCIAS

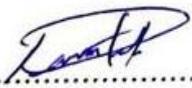
Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 25 días, del mes de julio de 2024

LOS AUTORES:

Firma: 

Nombre: Toro Espinoza Angélica Amaloha

Firma: 

Nombre: Artos Usuay Carlos Daniel

**CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL
TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**



Ibarra, 25 de julio de 2024

Ing. DARÍO PAUL ARIAS MUÑOZ MSc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

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

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Darío Paul Arias Muñoz', is written over a horizontal dotted line.

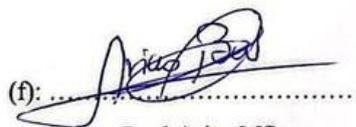
Ing. Darío Paul Arias Muñoz MSc.

C.C.: ...1002943544

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR



El comité calificador del trabajo de Integración Curricular "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL ECOSISTEMICA MEDIANTE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO LITA" elaborado por TORO ESPINOZA ANGÉLICA AMALOHA y ARTOS USUAY CARLOS DANIEL, previo a la obtención del título de INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f): 
Ing. Paul Arias MSc.

C.C.: 1002943544

(f): 
Ing. Oscar Rosales MSc.

C.C.: 0400933529

DEDICATORIA

Este logro es dedicado a mis padres Elsa y Luis, cuya sabiduría y amor incondicional han sido mi refugio y mi guía, les dedico cada palabra y cada descubrimiento contenido en estas páginas. Ustedes me enseñaron a perseguir mis sueños con tenacidad y a enfrentar cada desafío con valentía.

También a mis hermanos Vanne y Jonathan que han sido siempre compañeros incansables de aventuras y cómplices en cada paso del camino, les agradezco por las risas compartidas, los momentos de apoyo mutuo y las lecciones aprendidas juntos.

Esta tesis es mucho más que un logro académico; es el testimonio de la fortaleza, el amor y el sacrificio que cada uno de ustedes ha vertido en mi vida. Juntos, hemos construido un legado de perseverancia y esperanza que se refleja en este trabajo. Que esta tesis sirva como un pequeño tributo a nuestra unidad y a los sueños que seguimos tejiendo como familia.

Con amor, Amaloha

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, quienes han sido mi fuente inagotable de apoyo, inspiración y sacrificio a lo largo de mi vida académica. Su constante aliento y amor incondicional han sido la fuerza motriz detrás de cada logro alcanzado.

A mi familia, en especial a mis abuelitos Luis y María, por su paciencia y comprensión durante este arduo camino de aprendizaje. A mis amigos y seres queridos, por su ánimo y alegría compartida en cada etapa. A todos aquellos que creyeron en mí y me brindaron su guía y conocimientos, mi más profundo agradecimiento.

Por sobre todas las cosas este gran paso se lo dedico a Dios, fuente de toda sabiduría y guía en mi vida. Agradezco profundamente su constante amor, fortaleza y dirección que han iluminado mi camino durante este viaje académico. Cada paso, cada desafío y cada logro han sido posibles gracias a su gracia y misericordia. Que este trabajo refleje mi profunda fe y mi compromiso de honrarlo con mi esfuerzo y dedicación. A él sea la gloria, ahora y siempre.

Esta tesis es el resultado de su apoyo inquebrantable y representa mi compromiso con el conocimiento y el progreso en nuestro campo de estudio.

Carlos

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a todas las personas que han sido parte fundamental en esta etapa universitaria.

En primer lugar, al ingeniero Paul Arias, nuestro director, por su invaluable guía, apoyo constante y por compartir su vasto conocimiento con nosotros. Su dedicación y compromiso han sido una fuente de inspiración y motivación a lo largo de este camino.

A nuestro asesor, el ingeniero Oscar Rosales, por su paciencia, consejos y por siempre estar dispuesto a ayudarnos en cada paso del proceso. Su experiencia y sabiduría han sido cruciales para el desarrollo de este trabajo.

También queremos agradecer a todos nuestros maestros que, con su enseñanza y dedicación, han contribuido significativamente a nuestra formación académica y personal.

Finalmente, a nuestros amigos y compañeros, quienes han sido un pilar de apoyo, compañerismo y alegría durante estos años. Gracias por estar siempre presentes, por los momentos compartidos y por hacer de esta experiencia algo inolvidable.

A todos ustedes, nuestro más sincero agradecimiento, Amaloha y Carlos

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
CAPÍTULO I	3
INTRODUCCIÓN	3
1.1. Revisión de antecedentes o estado del arte	3
1.2. Problema de Investigación y Justificación.....	4
1.3. Objetivos.....	6
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	6
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	6
1.4. Preguntas directrices	7
CAPÍTULO II.....	8
REVISIÓN DE LITERATURA	8
2.1. Marco teórico referencial.....	8
2.1.1. Cambio de uso del suelo	8
2.1.2. Calidad ambiental y ecosistémica.....	10
2.1.3. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la teledetección para caracterización de cuencas hidrográficas.....	12
2.2. Marco legal	14
CAPÍTULO III.....	15
MÉTODOS	15
3.1. Descripción del Área de Estudio.....	15
3.1.1. Hidrología	15
3.1.2. Clima.....	16
3.1.3. Cobertura vegetal.....	17
3.1.4. Diagnóstico social.....	18
3.2. Métodos.....	21
3.2.1. Etapa 1. <i>Evaluación de la calidad ambiental en la subcuenca del río Lita</i>	21
3.2.2. Etapa 2. <i>Establecimiento de la calidad ecosistémica de la subcuenca del río Lita</i>	28
3.2.2. Etapa 3. <i>Proponer estrategias de manejo y monitoreo ambiental integrando herramientas de teledetección</i>	30
CAPÍTULO IV.....	32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1. Clasificación de imágenes para determinar el cambio y uso de suelo para los años 2015 y 2023	32
4.1.2. Aplicación de índices para evaluar la precisión y exactitud en los resultados de la clasificación supervisada.....	34

4.2. Evaluación de la calidad ambiental.....	35
4.3. Evaluación de la calidad ecosistémica.....	37
4.4. Proponer estrategias de manejo y monitoreo ambiental integrando herramientas de teledetección 39	
CAPÍTULO V.....	50
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	50
REFERENCIAS.....	52
ANEXOS.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de las imágenes satelitales obtenidas	21
Tabla 2. Cobertura y uso de suelo presentes en la subcuenca del río Lita	23
Tabla 3. Valorización del índice <i>kappa</i>	24
Tabla 4. Categorización de uso del suelo	26
Tabla 5. Relevancia de las clases de coberturas	26
Tabla 6. Valores ponderados (<i>EVi</i>) de las clases de coberturas	28
Tabla 7. Ecosistemas identificados para el año 2015 y 2023	29
Tabla 8. Como determinar los factores internos y externos	31
Tabla 9. Exactitud del productor y usuario para los años 2015 y 2023.....	35
Tabla 10. Incidencias ambientales para los años 2015 y 2023	36
Tabla 11. Estrategias internas	40
Tabla 12. Estrategias externas	42
Tabla 13. Propuesta de una política ambiental	43
Tabla 14. Programa de forestación.....	45
Tabla 15. Declaración de bosque protector	46
Tabla 16. Capacitación de prácticas agrícolas sostenibles	48
Tabla 17. Seguimiento del cambio y uso del suelo	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de clasificaciones de imágenes satelitales.	13
Figura 2. Ubicación de la subcuenca del río Lita.....	15
Figura 3. Hidrología de la subcuenca del río Lita.....	16
Figura 4. Clima de la subcuenca del río Lita	17
Figura 5. Ecosistemas presentes en la subcuenca del río Lita.....	18
Figura 6. Cultivos presentes en la subcuenca del río Lita.....	19
Figura 7. Ganadería.....	20
Figura 8. Concesiones mineras ubicadas en la subcuenca del río Lita	20
Figura 9. Cobertura y uso del suelo. a) CUS para el año 2015. b) CUS para el año 2023	33
Figura 10. Cambio de uso del suelo para el año 2023	34
Figura 11. Cambio neto absoluto de los ecosistemas en la subcuenca del río Lita.....	38

RESUMEN

El cambio de uso del suelo (CUS) ha mostrado tendencias preocupantes en las últimas décadas. La expansión agrícola y el crecimiento urbano desordenado han llevado a una reducción considerable de la cobertura vegetal. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad ambiental y ecosistémica producto del cambio de uso del suelo en la subcuenca del río Lita. Para ello se utilizaron imágenes satelitales Landsat 8 y 9 de los años 2015 y 2023 respectivamente, para posteriormente realizar una clasificación supervisada que fue validada mediante los índices *kappa* y exactitud global. Para la calidad ambiental se usó la matriz de Saaty para calcular el índice de calidad ambiental (*Evt*) y establecer la calidad ecosistémica se realizó una matriz de confusión. Finalmente, mediante un análisis FODA se propuso estrategias de manejo y monitoreo ambiental integrando herramientas de teledetección. Como resultado se identificaron 7 clases de cobertura en la que se evidenció un aumento del 16% de cultivos para el año 2023 y una reducción de bosque y páramo en un 4,1% y 0,7% respectivamente. Así mismo, el índice de calidad ambiental determinó que el efecto ambiental tuvo un impacto negativo hacia el bosque y páramo lo que provocó una reducción del 1,17% de la calidad ambiental. En cuanto a la calidad ecosistémica se obtuvo una reducción del 0,97% de bosque siempreverde montano y 1,34% de páramo que fueron sustituidos por cultivos como el plátano (*Musa spp.*) y el maíz (*Zea mays*). Esta reducción trae un desequilibrio a los ecosistemas afectando a la biodiversidad y servicios ecosistémicos que estos brindan.

Palabras clave: calidad ambiental, calidad ecosistémica, cambio de uso de suelo, imágenes satelitales.

ABSTRACT

Land use change (LUC) has shown worrying trends in recent decades. Agricultural expansion and urban sprawl have led to a considerable reduction in vegetation cover. The objective of this study was to evaluate the environmental and ecosystem quality resulting from land use change in the Lita River sub-basin. For this purpose, Landsat 8 and 9 satellite images from 2015 and 2023, respectively, were used to perform a supervised classification that was validated using the *kappa* and global accuracy indexes. For environmental quality, the Saaty matrix was used to later apply the environmental quality index (Evt) and to establish the ecosystemic quality, a confusion matrix was used. Finally, a SWOT analysis was used to propose environmental management and monitoring strategies integrating remote sensing tools. As a result, 7 cover classes were identified, showing a 16% increase in crops by 2023 and a 4.1% and 0.7% reduction in forest and wasteland, respectively. Likewise, the environmental quality index determined that the environmental effect had a negative impact on the forest and wasteland, resulting in a 1.17% reduction in environmental quality. In terms of ecosystem quality, the results showed a reduction of 0.97% of the evergreen montane forest and 1.34% of the wasteland, which were replaced by crops such as bananas and corn. This reduction brings an imbalance to the ecosystems, affecting biodiversity and the ecosystem services they provide.

Keywords: environmental quality, ecosystem quality, land use change, satellite images.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Revisión de antecedentes o estado del arte

La degradación del ambiente a nivel global se debe principalmente a la actividad humana que transforma el uso del suelo (Hernández-Pérez et al., 2022). Esta actividad hace que los sistemas ecológicos se vean afectados negativamente en su estructura, función y dinámica, a distintos niveles de espacio y tiempo, debido a procesos de deforestación y fragmentación (Armenteras et al., 2003). Además, según Dumas et al., (2022) el 21% de las emisiones mundiales de Gases de efecto invernadero (GEI) se originan principalmente por la transformación de la cubierta vegetal.

En América Latina el cambio de uso del suelo (CUS) se debe a que la población crece, el desarrollo económico es bajo y no hay acciones político-institucionales que favorezcan a las comunidades (Escandón Calderón et al., 2018). Los ecosistemas de países como Chile y México han experimentado pérdidas debido al CUS por actividades agrícolas inapropiadas, urbanización, sobre pastoreo y la sobreexplotación de los recursos naturales, afectando principalmente a los bosques (Trucíos et al., 2013). Estas alteraciones causan daños y erosión en el suelo a escala local, lo que cambia el comportamiento del clima y reduce la variedad de especies, mientras que, a escala regional, se altera el funcionamiento normal de las zonas habitadas y los ríos que las atraviesan (Ibarra-Montoya et al., 2011).

Además, América Latina depende de la exportación de recursos naturales y minerales al mundo, una situación que se mantiene desde la colonia hasta nuestros días (Valdez & Cisneros, 2020). En este contexto, la inversión internacional se ha concentrado en los países latinos por su abundante recurso minero desde el inicio del 2000 (Walter et al., 2016). Sin embargo, la

explotación de estos recursos tanto legal como ilegal, ha tenido un impacto significativo en el medio ambiente, respecto a la conformación y los elementos constitutivos de los bosques (Capparelli et al., 2020).

En Ecuador existen estudios que demuestran la disminución de la cobertura vegetal debido a que en las últimas décadas el suelo a estado sujeto a transformaciones debido a un rápido crecimiento urbano, la expansión de las áreas de cultivo y la gestión incorrecta de los recursos naturales y el impacto en general que tiene la actividad humana sobre el territorio (Abad-Aquilla, 2020; Arias et al., 2024). La variabilidad hídrica y la producción de caudales del río Lita se ven afectadas por la deforestación, que implica la pérdida de bosque, así se establece una relación entre las consecuencias ecológicas y la alteración en la destinación de las tierras (Endara, 2020).

En las parroquias de Lita y Buenos Aires se realiza la agricultura, siendo una de las actividades que a lo largo del tiempo han sustituido los bosques por plantaciones de banano, maíz, naranjilla, granadilla, papa y frejol, lo que ha provocado un deterioro gradual del suelo favoreciendo la erosión, aumento de la temperatura, y reducción paulatina del caudal de agua, causando perjuicios irreversibles al ecosistema (Sarmiento & Torres, 2011). Además, la minería aurífera que se realiza ha sido una de las razones fundamentales para la alteración en la clasificación del suelo debido a la intensa minería de pequeña escala y no autorizada que tiene lugar en el área (López Revelo, 2018).

1.2. Problema de Investigación y Justificación

El problema planteado en la presente investigación se asocia al nivel de calidad ambiental ocasionado por el cambio y uso de suelo, provocando impactos que aquejan a la sociedad, la biodiversidad, servicios ecosistémicos, recursos naturales y pérdida de vegetación incluso el incremento de la erosión hídrica (Arias et al., 2023; Pineda, 2011). La contaminación por actividades mineras es otra de las causas que ha generado el deterioro de la calidad del suelo y

sobre algunos cuerpos de agua adyacentes a esta práctica. Según Tarras-Wahlberg et al. (2001) la concentración de cianuro y metales en los ríos exceden en gran porcentaje los criterios de calidad ambiental. La contaminación afecta a la biodiversidad, ya que el cianuro afecta directamente a la salud de especies de flora y fauna que se encuentran cerca de las mineras. Además, los contaminantes metálicos reducen en gran medida la biodiversidad acuática (Bravo, 2007).

La pérdida de la cobertura vegetal repercute directamente en la reducción de hábitats, flora, fauna. También afecta a los aspectos culturales y escénicos, el agotamiento de las reservas boscosas, el incremento de la degradación superficial y la decadencia en la riqueza nutritiva del suelo. La contribución de los gases de efecto invernadero (dióxido de carbono CO₂, óxido nitroso N₂O, metano CH₄) al calentamiento global también es un factor directo en su declive. En realidad, se ha estimado que las modificaciones en la clasificación del suelo contribuyen de manera secundaria a la desertificación, la liberación de CO₂ al aire y las variaciones climáticas (Burbano Orjuela, 2018). Finalmente, los cambios a nivel ecosistémico afectan al rendimiento de los cultivos, ya que existe una transición decadente debido a las necesidades de la población, hasta provocar la erosión del suelo (Encina Rojas & Ibarra, 2003).

Es esencial reconocer y examinar las alteraciones en la utilización del suelo desde una perspectiva ecológica y geográfica para comprender de qué manera, en qué lugares y en qué medida se están agotando los recursos del medio natural. El aumento en el número de habitantes, proyectos de urbanización, el crecimiento de las áreas destinadas a la agricultura y la cría de animales repercuten en la degradación del suelo. Además, la creación de nuevas rutas de transporte y estructuras para la gestión del agua afectan secuencialmente el estado o nivel de degradación del suelo. La pérdida de factores que aportan a los servicios ecosistémicos del suelo hace que se pierda el nivel de sustentabilidad geográfica de la cuenca del río Lita (Sahagún & Reyes, 2018).

Para medir los efectos del cambio de uso del suelo que generan la pérdida y fragmentación de los ecosistemas, es útil usar imágenes satelitales y herramientas de teledetección, ya que permiten evaluar el cambio que han tenido los ecosistemas a través del tiempo y así determinar qué tan amenazados están (Rodríguez-Echeverry et al., 2015). Para evaluar cómo se relacionan el cambio de cobertura vegetal y las distintas actividades productivas, la mayoría de los estudios han usado datos de satelitales (Hengkai et al., 2020).

En este estudio, al enfocarse en determinar la calidad ambiental y ecosistémica debido a un mal manejo de los recursos como lo es la explotación minera, se enmarca en el Objetivo 7 dentro del Plan de Desarrollo para el Nuevo Ecuador 2024-2025, que busca “*Precautelar el uso responsable de los recursos naturales con un entorno ambientalmente sostenible*” (Secretaría Nacional de Planificación, 2024). Los hallazgos de este estudio tendrán utilidad práctica para impulsar nuevos estudios que generen propuestas y estrategias para llevar un control de las actividades que producen el cambio de uso de suelo en la subcuenca del río Lita.

1.3. **Objetivos**

1.3.1. *Objetivo general*

Analizar la calidad ambiental ecosistémica en la subcuenca del río Lita mediante herramientas de teledetección.

1.3.2. *Objetivos específicos*

- Evaluar la calidad ambiental en la subcuenca del río Lita.
- Establecer la calidad ecosistémica en la subcuenca del río Lita.
- Proponer estrategias de manejo y monitoreo ambiental integrando herramientas de teledetección.

1.4. Preguntas directrices

- ¿Cuáles son las superficies de coberturas naturales que han causado la disminución de la calidad ambiental y ecosistémica en la subcuenca del río Lita durante los años 2015 y 2023?
- ¿Cuáles son las estrategias más apropiadas de manejo y monitoreo ambiental que integren herramientas de teledetección?

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico referencial

2.1.1. Cambio de uso del suelo

El cambio de uso del suelo (CUS) es la actividad de remoción total o parcial del área vegetativa para ser remplazada por prácticas no forestales de transición física de corto o largo plazo, con el único fin de solventar las necesidades o intereses socioeconómicos del ser humano en referencia a un territorio determinado (Pineda, 2011). El CUS está influenciado por una variedad de elementos de origen humano que causan cambios globales, resultando en una elevada incidencia de incendios forestales y deterioro ambiental (Narváez, 2022). Este regularmente tiende a ser constante y principalmente surge de eventos de valor demográfico la creación de zonas agrícolas, la eliminación de vegetación, el establecimiento de comunidades y zonas industriales, la edificación de infraestructuras de transporte como aeropuertos y vías, la explotación minera, entre otras acciones (Ramos et al., 2004).

Al mismo tiempo, la cantidad de sedimentos es un problema originado por el cambio de cobertura y uso de suelo. Debido a estos cambios junto a factores como la composición geológica, la forma del terreno, el grado de inclinación del relieve, la cantidad de precipitación, el tipo de vegetación presente y las prácticas de manejo del suelo ocasionan variación en la producción de sedimentos (Idrovo et al., 2021). Vásconez et al. (2019) señalan que la recolección de aguas pluviales puede provocar la erosión del suelo y el transporte de sedimentos, nutrientes y materia orgánica. Recientemente, el cambio de uso del suelo se ha convertido en una preocupación ecológica global, no solo por la deforestación y la pérdida de biodiversidad, sino también por las alteraciones y prácticas en estas áreas, como la expansión agrícola, el crecimiento urbano y el uso inadecuado de los recursos naturales (Curra, 2021).

La situación global del cambio de cobertura y uso del suelo ha mostrado tendencias preocupantes en las últimas décadas. Entre 2000 y 2020, se ha observado una significativa reducción de la cobertura forestal, acompañada de un aumento en las tierras cultivadas y urbanizadas (Potapov et al., 2022). Estos cambios han sido impulsados principalmente por la expansión agrícola y el crecimiento urbano, lo que ha llevado a la pérdida de biodiversidad y la alteración de los ciclos biogeoquímicos (Pongratz et al., 2021). Además, el CUS ha contribuido al aumento de las emisiones de CO₂, exacerbando el cambio climático (Dolman & Verhagen, 2003). En África, por ejemplo, la deforestación y la conversión de tierras para la agricultura han sido las principales actividades, afectando negativamente a los ecosistemas locales (Assede et al., 2023).

En la sierra ecuatoriana, el cambio de cobertura y uso del suelo ha sido significativo en las últimas décadas. La expansión agrícola y el crecimiento urbano desordenado han llevado a una reducción considerable de la cobertura vegetal natural (Pinos Arévalo, 2016). Entre 1991 y 2018, se ha observado un aumento en las áreas cultivadas y una disminución en las áreas forestales y de páramo (Evangelista et al., 2010). Así como también en las parroquias de Lita y Buenos Aires que entre 2015 y 2023, se ha observado el mismo patrón (GAD Imbabura, 2018). Este cambio ha sido impulsado por la agricultura y la urbanización, lo que ha resultado en la pérdida de biodiversidad y la degradación de los ecosistemas (Abad-Auquilla, 2020). Además, la presión sobre el suelo ha llevado a la conversión de tierras agrícolas en áreas urbanas, afectando la función ambiental del suelo (Arias et al., 2024).

Existen varios métodos para evaluar el cambio de uso de suelo, uno de los más comunes es el uso de imágenes satelitales y teledetección, que permiten obtener datos precisos sobre la cobertura del suelo en diferentes momentos (Mehra & Swain, 2024). Estas imágenes se procesan mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) para generar mapas temáticos que muestran los cambios en el uso del suelo (Nelson et al., 2010). Además, se emplean

modelos de simulación como las Redes Neuronales Artificiales y la Automatización Celular para predecir futuros cambios en el uso del suelo (Liu et al., 2014). La precisión de estos modelos se evalúa utilizando índices como el índice *kappa*, que mide la concordancia entre los mapas predichos y los reales (Lam, 2008). Estos métodos combinados proporcionan una visión integral y precisa de cómo y por qué cambian los usos del suelo a lo largo del tiempo.

2.1.2. Calidad ambiental y ecosistémica

Una cuenca hidrográfica es el escenario donde se entrelazan las conexiones entre sus diversos componentes, como la tierra, el clima, los bosques y la variedad de vida. Esta integración forma un sistema cohesivo que permite evaluar el estado ecológico de una cuenca, siendo el agua el eje central de este sistema (Martínez & Villalejo, 2018). La calidad ambiental en una cuenca hidrográfica abarca el entorno natural y físico donde se desarrolla una comunidad urbana, influenciada por la actividad humana. Incluye elementos como el clima, la geología, la atmósfera y el suelo, además de plantas, animales y humanos. Su objetivo es optimizar el desarrollo, minimizando riesgos naturales y problemas ambientales (Narváez, 2022).

La calidad ecosistémica es una medida de la capacidad de un ecosistema para proporcionar servicios ecosistémicos esenciales, como los ciclos biogeoquímicos, la polinización, el control de plagas y la fertilidad del suelo (Mooney, 2005). Estos servicios son importantes para el bienestar humano y la supervivencia a largo plazo de muchas especies. Algunos estudios han demostrado que la biodiversidad de los ecosistemas naturales puede reducir el riesgo de enfermedades transmitidas por vectores como en el caso de la fiebre del Nilo Occidental (Allana et al., 2010), y que los bosques naturales tienen un mayor valor económico a largo plazo que las plantaciones forestales (Watson et al., 2018).

La calidad ecosistémica está amenazada por una serie de factores, tanto naturales como humanos. El cambio climático, por ejemplo, ha tenido un impacto significativo en la calidad ecosistémica, alterando los patrones climáticos y la distribución de especies (Parmesan &

Yohe, 2003). Al igual que la degradación del suelo, ya que reduce la cantidad y la calidad de hábitats disponibles para las especies en un ecosistema (Bouma & Van Beukering, 2015). Así también, la contaminación que proviene de diversas fuentes, como los vertidos de productos químicos en agua y suelo, la emisión de gases contaminantes a la atmósfera y la sobreexplotación de recursos, como la pesca excesiva o la tala masiva de árboles, también amenazan la calidad ecosistémica al disminuir la cantidad de especies en un ecosistema y alterar la estructura y función de este (Polasky et al., 2011).

Existen diferentes métodos empleados para la evaluación ambiental y ecológica como: la evaluación de productividad primaria neta que mide la cantidad de biomasa producida por las plantas, menos la cantidad consumida por la respiración, reflejando la capacidad de un ecosistema para soportar vida (Liu et al., 2014). Las huellas ecológicas evalúan el impacto humano sobre el medio ambiente, midiendo la cantidad de tierra y agua necesarias para sostener una población (Tang et al., 2005). El flujo de energía analiza cómo la energía se transfiere entre los diferentes niveles tróficos de un ecosistema, destacando la eficiencia de estas transferencias (Yu & Ng, 2007). Finalmente, el modelado utiliza herramientas matemáticas y computacionales para simular y predecir cambios en los ecosistemas bajo diferentes escenarios. La calidad ambiental y ecosistémica en Ecuador se ha visto afectada significativamente por el cambio de uso del suelo. La deforestación, impulsada por la expansión agrícola y la minería, ha resultado en la pérdida de grandes áreas de cobertura vegetal natural, especialmente en la Amazonía y también en parroquias como Lita y buenos Aires (Viteri-Salazar & Toledo, 2020). Este cambio ha llevado a la fragmentación de los ecosistemas forestales, afectando la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (Noh et al., 2022). Además, la conversión de tierras para la agricultura y la urbanización ha aumentado la erosión del suelo y la sedimentación en los cuerpos de agua (Espinosa & Rivera, 2016).

2.1.3. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la teledetección para caracterización de cuencas hidrográficas

Los SIG son sistemas que manejan datos con una referencia espacial, esto los hace un recurso valioso en el ámbito de la tecnología de la información, aplicable al análisis y la práctica profesional dentro de las disciplinas geo científicas y ambientales (Burrough et al., 2015). Son una tecnología que facilita la creación, organización y manipulación de datos geográficos de forma simultánea. Además, permiten realizar análisis multicriterio de la información geográfica para obtener datos útiles en la toma de decisiones sobre el espacio geográfico (Aronoff, 1991).

La teledetección examina y observa los cambios de ondas electromagnéticas en el espectro, el espacio y el tiempo, fundamentada en el reconocimiento y la evaluación de sustancias de la superficie del planeta y los acontecimientos que pueden ocurrir en el territorio mediante firmas espectrales (Romero, 2006). Los SIG y la teledetección permiten conocer, examinar y comparar las transformaciones de las superficies del planeta. Además, mediante la clasificación de imágenes han logrado un progreso en la precisión de los tipos de datos espectrales e informativos de una zona específica de investigación (Cárcamo & Rejas, 2015). Pues esta consiste en distinguir las distintas clases de datos de una imagen en forma de matriz, de acuerdo con sus propiedades espectrales y vínculos espaciales, para que el analista pueda elaborar mapas de temas específicos (Liu et al., 2014).

Una imagen capturada por satélite está formada por incontables píxeles, que, durante el proceso de clasificación, a cada píxel se le asigna una categoría basada en su vector, comparándolo con conjuntos ya definidos. Al aplicar este método a la totalidad de los píxeles, se obtiene una imagen categorizada en una o varias clases que representan diferentes tipos de superficie terrestre (Tempfli et al., 2009). Existen varios métodos en las que se puede clasificar una imagen satelital para determinar la cobertura de uso de suelo en un área de estudio determinada,

entre ellas se encuentran la clasificación supervisada y la no supervisada que son uno de los métodos más utilizados por los investigadores (Figura 1).

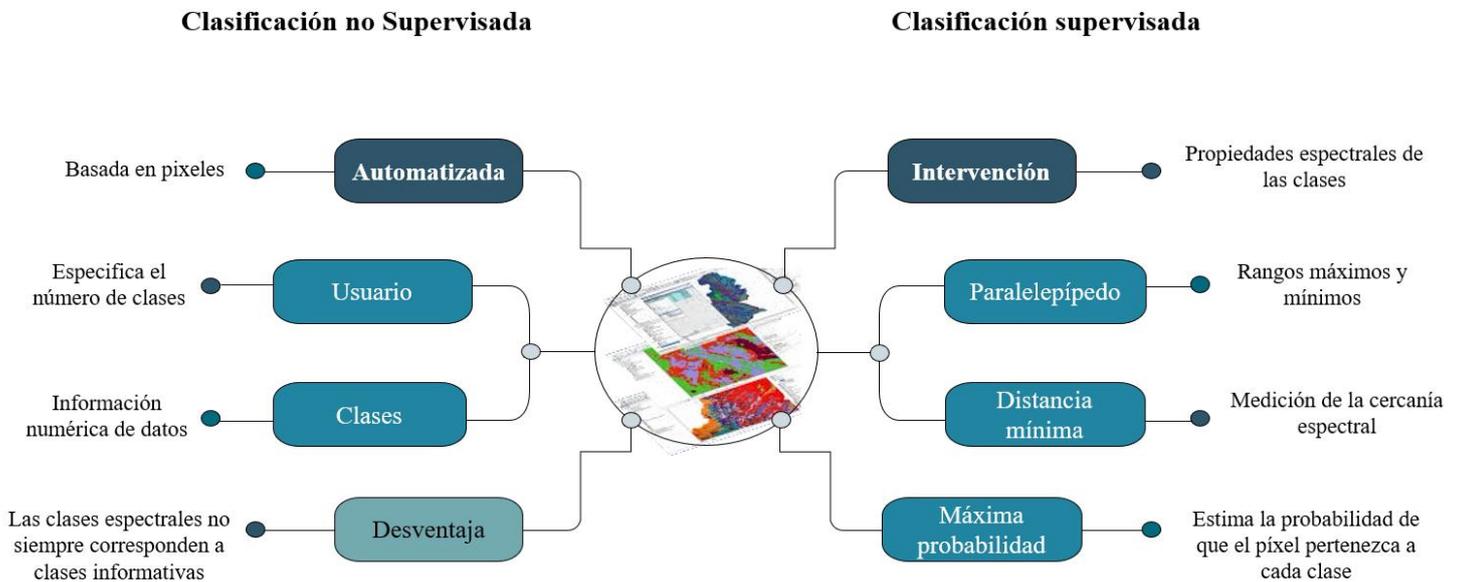


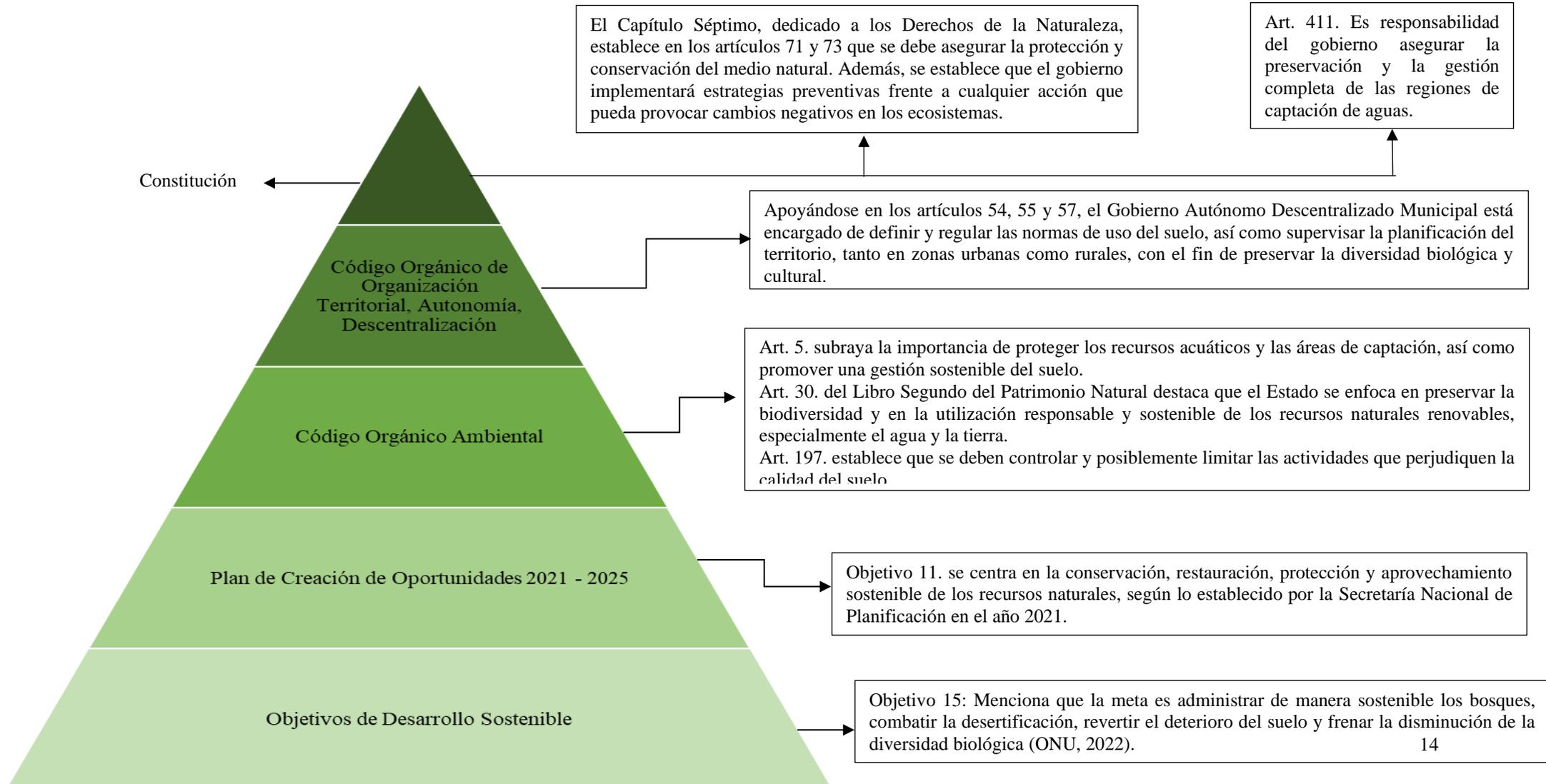
Figura 1. Tipos de clasificaciones de imágenes satelitales.

2.1.4. Validación de clasificación de imágenes

Uno de los métodos más utilizados para validar una clasificación supervisada es el índice *kappa* que por medio de una matriz de confusión evalúa la concordancia entre las clasificaciones del modelo y las observaciones reales. Valores altos de *kappa* indican una fuerte concordancia, mientras que valores cercanos a 0 sugieren una concordancia similar a la esperada por azar. Este enfoque es fundamental para evaluar la calidad de los modelos de clasificación y garantizar su confiabilidad (Poveda-Sotelo et al., 2022). Otra manera de validación es mediante el índice de exactitud global en el que se analiza la exactitud del productor y la exactitud de usuario y determinar el porcentaje de muestras clasificadas acertadamente dentro de una matriz de confusión (Arias et al., 2024).

2.2. Marco legal

A continuación, se presentan las principales leyes y normativas que rigen el marco legal de la presente investigación:



CAPÍTULO III

MÉTODOS

3.1. Descripción del Área de Estudio

La cuenca hidrográfica del río Lita posee una superficie de 63480 ha que de acuerdo con Arias-Muñoz et al. (2024) corresponde a una subcuenca. Esta cubre áreas dentro de las provincias de Imbabura y Esmeraldas, destacando principalmente en las parroquias de La Merced de Buenos Aires en el cantón Urcuquí, y Lita en el cantón Ibarra. Posee un perímetro de 127.5 kilómetros, además, presenta elevaciones que oscilan entre los 480 y los 4390 msnm (Figura 2).

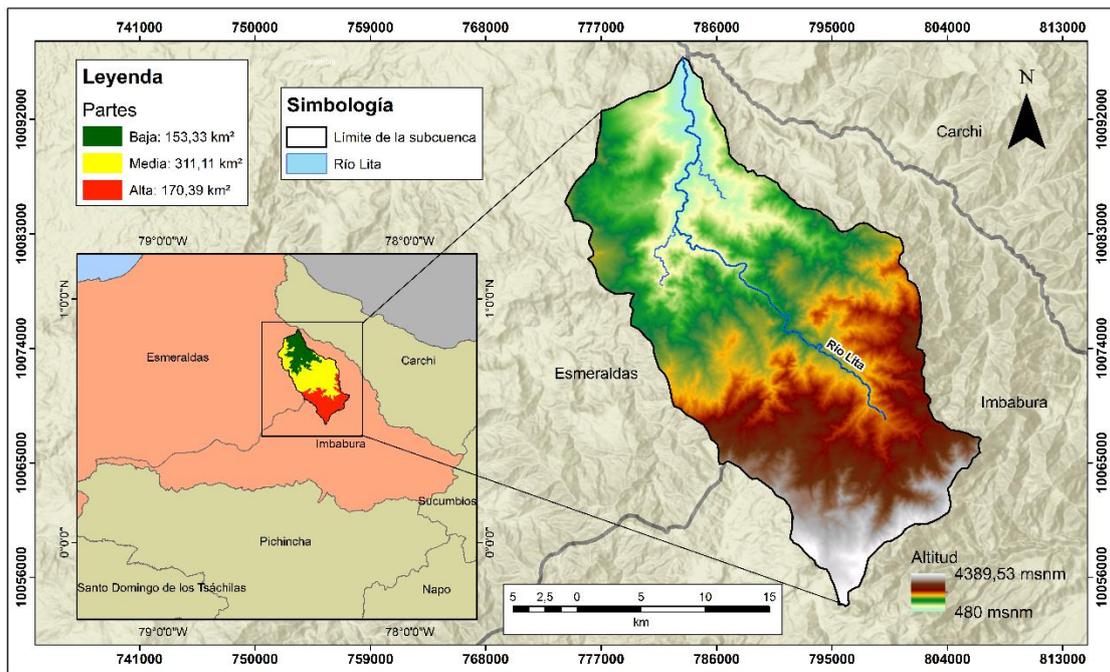


Figura 2. Ubicación de la subcuenca del río Lita

3.1.1. Hidrología

El río Lita se origina en la parroquia Buenos Aires y recorre cerca de 42 km desde el sur hacia el norte antes de confluir con el río Mira. Cuenta con varios ríos tributarios importantes (Figura 3), entre ellos los ríos Rumichaca, Salado, San Francisco, San José, Toctemí y Verde que son las vertientes principales del río Lita (Cevallos, 2015).

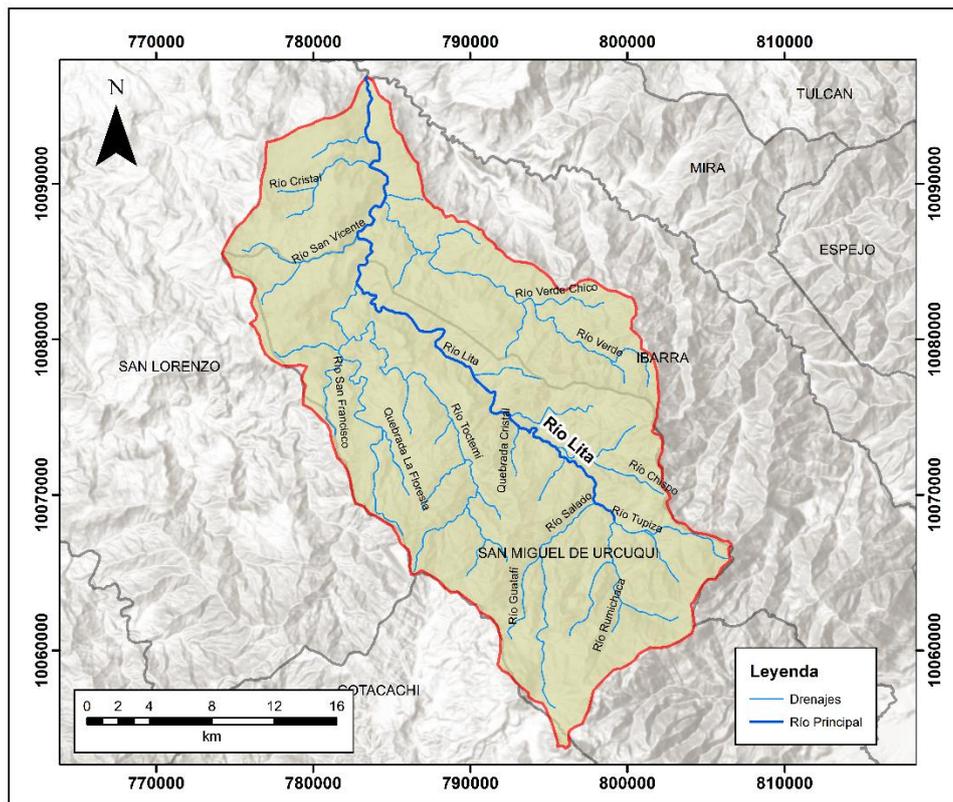


Figura 3. Hidrología de la subcuenca del río Lita

3.1.2. Clima

La zona de estudio está situada en la región interandina y estribaciones occidentales, según la clasificación climática de Pourrut (1983) para Ecuador, se identifican cuatro tipos de climas en la subcuenca, como son el clima lluvioso, megatérmico húmedo, mesotérmico semi-húmedo y muy húmedo (Figura 4). La precipitación media anual varía entre 1735 mm y 4890 mm, con abril y noviembre siendo los meses más lluviosos. Además, la región pertenece a la zona climática subtropical andina cálida, con temperaturas promedio anuales que fluctúan de 5°C a 24°C, una variación que se debe a las diferentes altitudes presentes en la cuenca que varía de 480 a 4390 msnm (Cevallos, 2015).

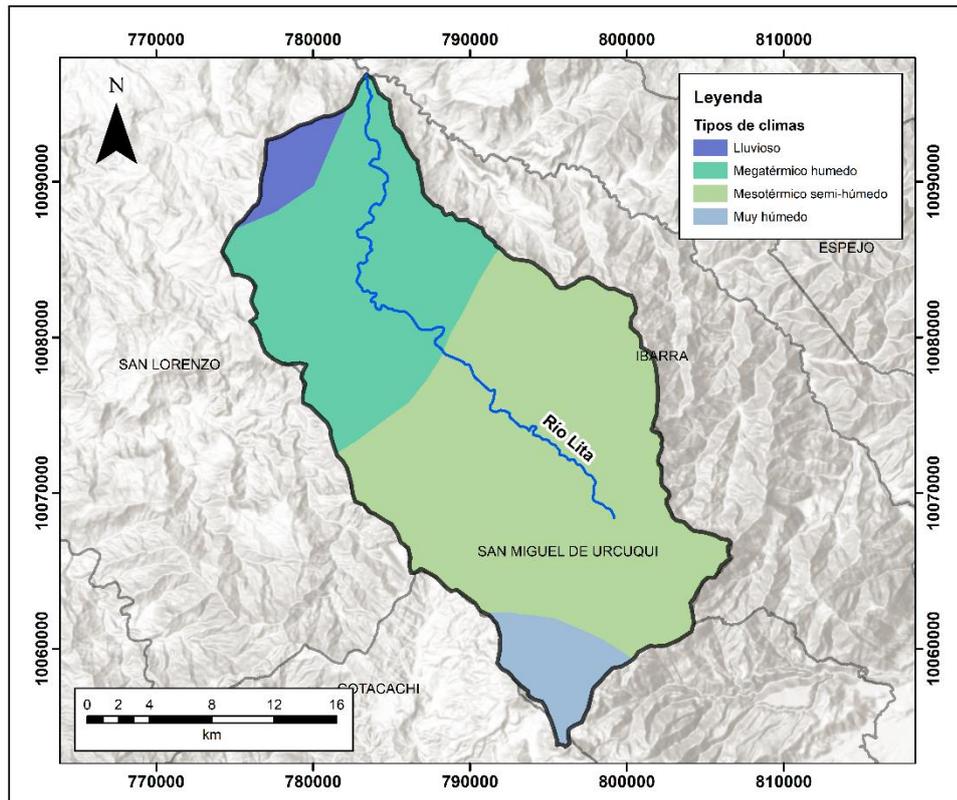


Figura 4. Clima de la subcuenca del río Lita

3.1.3. Cobertura vegetal

Dentro de la subcuenca del río Lita se encuentran 4 ecosistemas pertenecientes a la cordillera occidental de los andes (Figura 5) tales como Arbustal siempreverde, Bosque siempreverde montano, Bosque siempreverde piemontano y Herbazal de páramo (MAATE, 2022). Estos ecosistemas brindan servicios ecosistémicos siendo los más importantes la regulación y rendimiento hídrico, mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y captura de carbono (Pinos-Morocho et al., 2021). Las especies de flora más representativas son: *Sapium* sp. (caucho), *Syaploccos* sp. (motilón blanco), *Benthamiana* sp. (canelo), *Cedrela* sp. (cedro) y *Ceiba* sp. (ceiba) (Lema Pillalaza et al., 2021). Además, una de las especies más representativas de fauna es *Tremarctos Ornatus* (oso de anteojos), siendo una especie paraguas que habita estos ecosistemas andinos (Sandoval-Guillén et al., 2019).

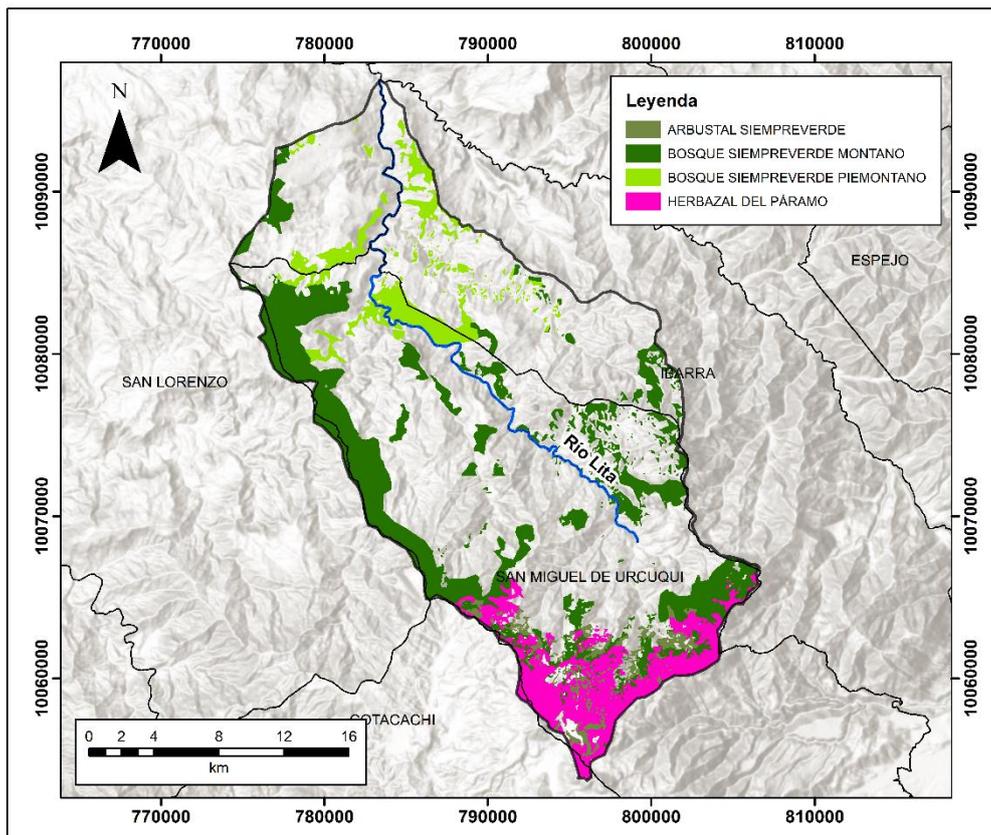


Figura 5. Ecosistemas presentes en la subcuenca del río Lita

3.1.4. Diagnóstico social

En la subcuenca del río Lita, las parroquias de La Merced de Buenos Aires y Lita son las áreas pobladas que comprende la mayor superficie. La parroquia La Merced de Buenos Aires cuenta con una población de 1.893 habitantes, representando el 52% del total a hombres y al 48% a mujeres. Mientras que, La parroquia de Lita tiene una población total de 3.945 personas, con un 53% de hombres y un 47% de mujeres.

Las principales actividades que son la base de la economía de los habitantes de Lita y Buenos Aires están basadas en actividades productivas del sector primario (agricultura, ganadería, forestal y minería), seguidas por el sector secundario (construcción, industrias y manufacturas)

y el sector terciario (comercio, restaurantes, hostales, esparcimiento y servicios turísticos) (GAD LITA, 2019;Cevallos, 2015). Las principales actividades son:

Agricultura: La agricultura es una de las actividades más relevantes debido a los climas, altitudes y suelos que permiten a los pobladores dedicarse a la producción agrícola (Figura 6). En estas regiones se cultivan numerosos productos tropicales y subtropicales, sin embargo, no se comercializan a gran escala debido al difícil acceso a las comunidades cercanas y también debido a los problemas sociales y de seguridad en algunas zonas. Por esta razón, las parroquias de La Merced de Buenos Aires y Lita son consideradas puntos de aprovisionamiento para luego vender sus productos en los mercados de Ibarra y Atuntaqui (Cevallos, 2015;GAD LITA, 2019).



Figura 6. Cultivos. a) cultivo de granadilla. b) cultivo de maíz

Ganadería: El clima y condiciones del suelo son ideales para la ganadería, ya que dentro de la subcuenca se encuentran pastos naturales y cultivados. Los habitantes se han enfocado en el cultivo y mejoramiento de pastos debido al aumento de esta actividad productiva. La mayoría de las familias en este territorio tienen entre 7 y 10 cabezas de ganado de razas criollas y mestizas para la producción de leche y carne (Figura 7). En la parroquia de La Merced de Buenos Aires, existen personas que venden la leche a empresas como Floralp y Nestlé, obteniendo ingresos mensuales bastes significativos (Espinoza & Varela, 2021).



Figura 7. Ganadería

Minería: La minería metálica es una fuente de trabajo y de recursos económicos para las comunidades, ya que lo realizan de manera artesanal o dentro de las concesiones mineras que se dedican a extraer oro y plata (Figura 8). Sin embargo, en la parroquia de la Merced de Buenos Aires se practica una minería ilegal, lo que ha creado un ambiente de riesgo para las poblaciones cercanas (López, 2018). Según los estudios de la empresa de exploración SolGold (2019), en la zona hay varios depósitos de minerales.

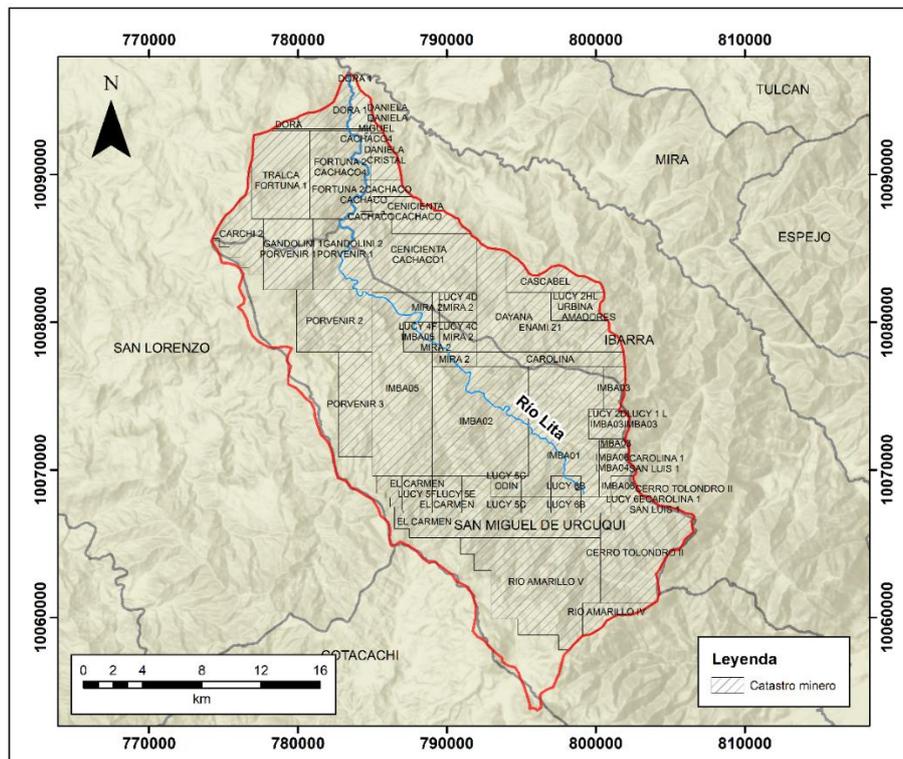


Figura 8. Concesiones mineras ubicadas en la subcuenca del río Lita

3.2. Métodos

El estudio se basó en un enfoque no experimental de carácter longitudinal, y se realizó en diferentes etapas para alcanzar los objetivos planteados.

3.2.1. Etapa 1. *Evaluación de la calidad ambiental en la subcuenca del río Lita*

3.2.1.1. Delimitación de la subcuenca del río Lita

La definición de los límites de la subcuenca se lo realizó automáticamente mediante el uso del software ArcGIS 10.8 de licencia temporal. Los elementos clave utilizados para alcanzar este fin incluyeron las curvas de nivel con el fin de obtener el modelo digital de elevación, la red fluvial y la localización del punto de aforo del río Lita.

3.2.1.2. Obtención de imágenes satelitales

Se adquirieron imágenes satelitales Landsat 9 y 8 del sensor OLI_TIRS para los años 2015 y 2023 respectivamente a través del Geoportal en el sitio web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Para esto se tomó en cuenta que el porcentaje de nubes en la imagen sea menos del 50%. Además, fue necesario asegurarse de que las imágenes incluyeran metadatos necesarios para realizar el pretratamiento correspondiente (Tabla 1).

Tabla 1. Características de las imágenes satelitales obtenidas

Fecha	Imagen	Sensor	WRS Path	WRS Row	Nubes
13/09/2015	Landsat 8	OLI_TIRS	010	060	39,06%
13/07/2023	Landsat 9	OLI_TIRS	010	060	36,16%

3.2.1.3. Tratamiento de imágenes satelitales

Las imágenes satelitales se corrigieron por medio del software ArcGIS 10.8 de licencia temporal, que facilitaron el procesamiento digital de cada una de ellas.

Corrección geométrica: Este proceso implicó la asignación de coordenadas a las imágenes para que se puedan superponer con otras capas de información en formato *shapefile* mediante el software ArcGIS 10.8 de licencia temporal (Sarria, 2006). Se usó el sistema de coordenadas proyectado WGS 1984 UTM zona 17S para este caso.

Corrección radiométrica: El procedimiento se realizó utilizando el software ENVI 5.3 y se centró en corregir líneas o píxeles ausentes, y transformar los valores digitales a valores de reflectancia (Reuter, 2006).

3.2.1.4. Clasificación de imágenes satelitales para determinar el cambio y uso de suelo (CUS) para los años 2015 y 2023

Para la obtención de firmas espectrales se realizó un reconocimiento del área de estudio. En este proceso se tomó datos GPS de diferentes tipos de coberturas presentes en la zona para los años 2015 y 2023 (Tabla 2). Además, con la ayuda de la plataforma de análisis geoespacial *Google Earth Engine* se determinaron coordenadas de las coberturas presentes tanto para el año 2015 como para el 2023 con la finalidad de obtener las firmas espectrales teniendo al final un total de 375 coordenadas para el año 2015 y 364 para el año 2023. Utilizando el programa ArcGIS 10.8 de licencia temporal se realizó una clasificación supervisada que está basada en el método de máxima probabilidad. Esta requirió la intervención directa en la clasificación de la imagen satelital, señalando al software cómo procesar las firmas espectrales, a partir de la determinación de firmas de entrenamiento con un 75% y las firmas de validación con un 25% conociendo previamente la naturaleza de las coberturas existentes en el área de estudio.

Tabla 2. Cobertura y uso de suelo presentes en la subcuenca del río Lita

Valor	Clase
1	Asentamientos poblados
2	Bosque
3	Cuerpo de agua
4	Cultivos
5	Páramo
6	Pastos
7	Vegetación arbustiva

3.2.1.5. Aplicación de índices para evaluar la precisión y exactitud en los resultados de la clasificación supervisada

La confiabilidad de un estudio depende de la concordancia entre el observador y la realidad, de modo que se pueda evaluar el grado de acuerdo entre los observadores en su registro en campo (Chamorro, 2020). Para determinar la confiabilidad de la clasificación supervisada y la concordancia entre coberturas se realizaron dos validaciones que se muestran a continuación:

Índice kappa: Como parte del proceso de la clasificación supervisada, se obtuvo la tabla *pivot* para cada año, obteniendo los valores en los que compara las coberturas establecidas por el usuario con las coberturas que se observan en campo. Esta tabla determinó el coeficiente *kappa* recomendado por autores como Ortega & Arias (2022) y Arias-Muñoz et al. (2024) para validar las clasificaciones de cobertura y uso de suelo. Para Congalton (1991) este índice permite estimar la precisión de un mapa de forma exacta empleando una matriz de confusión en la que se contrasta el mapa con la realidad observada. La fórmula para calcular el índice *kappa* de Cohen (1960) es la ecuación (1).

$$K = \frac{Po - Pe}{(total\ de\ observaciones) - Pe} \quad (1)$$

Donde:

Po: proporción de acuerdos observados y Pe: proporción de acuerdos por azar

El índice de *kappa* establece límites inferiores y superiores, estos se basan en el contenido de las celdas respecto a la matriz de confusión (Arenas et al., 2011). Landis & Koch (1977) muestran una tabla que representa una escala cuantitativa de valores, la cual se emplea para determinar el grado de acuerdo (Tabla 3).

Tabla 3. Valorización del índice *kappa*

Coefficiente	Concordancia
0	Pobre
0,01 – 0,02	Leve
0,21 – 0,40	Aceptable
0,41 – 0,60	Moderada
0,61 – 0,80	Considerable
0,81 – 1,00	Casi perfecta

Fuente: (Landis & Koch, (1977))

Como último paso, se evaluó el nivel de concordancia de acuerdo de las categorizaciones empleando la matriz de confusión, a través de la herramienta en línea *Confusion matrix* (<https://marcovanetti.com/pages/cfmatrix/>).

Índice de exactitud global: Se representó una métrica fundamental que confirma la correcta clasificación del píxel, lo cual es esencial para evaluar la calidad de la clasificación realizada (YiZhan, 2014). En este índice se analizaron:

- **La precisión global de clasificación:** se determinó el porcentaje de muestras clasificadas acertadamente dentro de una matriz de confusión (Rahamtallah, 2018)

$$PG = \frac{\sum_{i=1}^r x_{ii}}{N} \quad (2)$$

Donde:

r: número de filas de la matriz

x_{ii}: numero de observaciones en la fila *i* y columna *i* (diagonal de la matriz)

N: numero total de puntos de muestreo

- **La precisión del productor:** Se calculó el porcentaje de casos reales de una categoría específica que se ha clasificado de manera correcta en el mapa (Shao & Wu, 2008). Para calcular se utilizó la ecuación (3).
- **La precisión del usuario:** se determinó la precisión de comisión en la clasificación, proporcionando datos sobre la frecuencia con la que las observaciones clasificadas corresponden efectivamente a la clase o categoría especificada (Arias et al., 2024). Para calcular se utilizó la ecuación (4).

$$PP = \frac{a_{ii}}{N \sum_{i=1}^n a_i^+} \quad (3)$$

$$PU = \frac{a_{ii}}{N \sum_{i=1}^n a_{+i}} \quad (4)$$

Donde:

a_{ii} : número total de píxeles clasificados correctamente

a_i^+ : columnas totales por clase i

a_{+i} : filas totales por clase i

3.2.1.6. Aplicación de la matriz de Saaty

Para determinar la calidad ambiental se utilizó la matriz Saaty como método cuantitativo para integrar los datos. El proceso consistió en el análisis de las variables que inciden dentro del cambio de uso de suelo derivando los pesos de cada una mediante una categorización que represente su importancia relativa respecto al resto de variables. El orden de la categorización se lo atribuye entorno al aporte de la calidad ambiental presente en la zona de estudio con ayuda de una comparativa relativa y valores en una escala en la que se toma en cuenta datos valores impares de 1 a 9, donde 1 representa igual importancia y 9 dominancia muy alta (Tabla 4).

Además, el investigador es libre de ponderar con valores pares según sea conveniente el análisis. Es importante señalar que en dicha escala se observan también valores fraccionarios contrarios. Esto significa que si una variable específica se califica con dominio absoluto (valor 9), su contraparte tendrá un valor de 1/9 significando una dominancia muy baja (Tabla 5).

Tabla 4. Categorización de uso del suelo

Uso del suelo	Dominancia	Ponderación
Bosque nativo, páramo, matorral, y cuerpos de agua	Muy alta	9
Pastos naturales	Alta	7
Sistemas agroforestales y pastos introducidos	Moderada	5
Cultivos con obras de conservación	Baja	3
Cultivos sin obras de conservación	Muy baja	1
Áreas sin vegetación, Zonas urbanas e industriales	Nula	0

Tabla 5. Relevancia de las clases de coberturas

Clase	Bosque	Páramo	Vegetación Arbustiva	Pastos	Cultivos	Asentamientos humanos	Cuerpo Agua
Bosque	1	1/2	2	3	5	7	1/2
Páramo	2	1	3	3	5	6	2
Vegetación Arbustiva	1/2	1/3	1	2	3	4	1/3
Pastos	1/3	1/3	1/2	1	2	3	1/4
Cultivos	1/5	1/5	1/3	1/2	1	2	1/3
Asentamientos poblados	1/5	1/6	1/4	1/3	1/2	1	1/7
Cuerpo Agua	2	1/2	3	4	3	7	1
Total	6,23	3,03	10,08	13,83	19,50	30,00	4,56

Para la validación del proceso multicriterio se calculó el índice de consistencia mediante la aplicación de las siguientes ecuaciones (5), (6) y (7) recomendadas por (Arias et al., 2024)

$$Ci = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

$$Rci = \frac{1,98 * (n - 2)}{n} \quad (6)$$

$$CR = Ci / Rci \quad (7)$$

Donde:

Ci: Índice de consistencia

λ_{max} : Suma de las ponderaciones de cada variable.

n: número de variables de estudio.

Rci: Índice de consistencia alea

Para determinar el resultado final para la toma de decisiones será necesario estimar si el valor de consistencia (CR) es menor a 0.1, entonces la matriz es consistente, caso contrario la matriz se denomina inconsistente.

3.2.1.7. Cálculo del índice EVt para determinar la calidad ambiental en subcuenca del río Lita

Para calcular la calidad ambiental se efectuó un análisis multicriterio a través del proceso de jerarquía analítica (AHP) de Saaty & Vargas (2006), que combina un análisis de múltiples criterios y atributos. Se realizó una evaluación colectiva de los criterios de relevancia de las clases de coberturas y las preferencias en su selección. Se consideran las áreas de cada cobertura, el ponderado (*EV_i*) y el área de la subcuenca (Tabla 6) se implementó el Índice de Calidad Ambiental.

Tabla 6. Valores ponderados (EV_i) de las clases de coberturas

Clases	EV_i
Asentamientos poblados	0,03
Bosque	0,19
Cuerpo de agua	0,24
Cultivos	0,05
Páramo	0,29
Pastos	0,08
Vegetación arbustiva	0,11

Inicialmente, se efectuó la selección y clasificación de las variedades de cobertura vegetal para el análisis. Posteriormente, se empleó una matriz de error para contrastar la clasificación obtenida de las imágenes satelitales con los patrones de uso del suelo identificados en la región a través de una supervisión detallada. Adicionalmente, se redujo la posibilidad de errores en la categorización de la cobertura vegetal y los usos del suelo, para finalmente evaluar el impacto ambiental utilizando la fórmula (8) recomendada por Córdova & Gómez (2021).

$$EV_t = \sum_{i=1}^n LUA_i \times EV_i / TA \quad (8)$$

Donde:

EV_t : Índice de calidad ambiental de una determinada región durante un período dado.

LUA_i : Área del tipo de uso del suelo en el período en kilómetros cuadrados.

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

TA : Área total del área de estudio.

3.2.2. Etapa 2. Establecimiento de la calidad ecosistémica de la subcuenca del río Lita

Inicialmente se estableció la calidad ecosistémica, para esto se utilizó el archivo geoespacial de la clasificación de ecosistemas desarrollada por el Ministerio del Ambiente y Transición Ecológica (MAATE, 2022), con la finalidad de intersecar las coberturas vegetales analizadas

en la clasificación supervisada e identificar a que ecosistemas pertenece la cobertura de bosque, páramo y vegetación arbustiva. Esto se lo realizó para los años analizados 2015 y 2023.

Después se calculó las superficies realizando una segunda intersección de los ecosistemas antes determinados para los dos años (Tabla 7) utilizando el software ArcGIS 10.8 de licencia temporal. Posteriormente se utilizó la herramienta de calculadora geométrica para determinar las superficies de los ecosistemas en kilómetros cuadrados y sus porcentajes.

Tabla 7. Ecosistemas identificados para el año 2015 y 2023

Ecosistemas años 2015 y 2023
Asentamientos poblados
Bosque siempreverde montano
Bosque siempre verde piemontano
Cuerpo de agua
Cultivos
Páramo
Pastos
Zona perturbada

Fuente: MAATE, (2022)

Finalmente, para evaluar la calidad ecosistémica se determinó el cambio neto de los ecosistemas con la finalidad de determinar cuál fue el porcentaje de pérdida y ganancia de cada uno de ellos utilizando una matriz de transición. Esta matriz analizó los porcentajes de las áreas en kilómetros cuadrados de cada ecosistema tanto para el año 2015 como 2023, para después sumarlos y determinar cuál es el cambio que ha existido y la disminución de área en porcentaje del 2015 al 2023. El cambio neto absoluto se lo determina restando la ganancia menos la pérdida.

3.2.2. Etapa 3. *Proponer estrategias de manejo y monitoreo ambiental integrando herramientas de teledetección*

Para determinar que estrategias se pueden proponer con base a la calidad ambiental, ecosistémica y cobertura y uso de suelo se realizó un análisis FODA. Se evaluó las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas, con el objetivo de entender la situación actual, identificar áreas de mejora y sirva como guía para desarrollar un plan estratégico que permita el buen uso de los recursos naturales y una buena gestión del suelo.

En el análisis FODA, los espacios donde se intersecan los elementos son fundamentales para la creación de estrategias que aborden los desafíos surgidos de la combinación FA, FO, DO, DA (Ordóñez & Ortiz, 2018)

- Fortalezas y Amenazas
- Fortalezas y Oportunidades
- Debilidades y Oportunidades
- Debilidades y Amenazas

Las soluciones o estrategias presentadas en la matriz FODA se interconectan para formar los conjuntos más lógicos y consistentes, y cada uno de estos conjuntos se convertirá en una opción viable (Quishpe & Guanolusia, 2016) .

De acuerdo con Nikulin & Becker (2015) es fundamental determinar de antemano los factores internos, como las fortalezas y debilidades, y los factores externos, como las oportunidades y amenazas para tal fin, siguiendo los siguientes criterios (Tabla 8).

Tabla 8. Factores internos y externos

Factores internos	
Debilidades	Actividades que resulten en una rentabilidad reducida, beneficios inciertos o de duración limitada para la comunidad.
Fortalezas	Metas del proyecto definidas y factibles, junto con sistemas de producción eficientes que generen un mínimo impacto ambiental y una elevada eficacia productiva.
Factores externos	
Oportunidades	Iniciativas de concienciación social constructiva previas a la ejecución de las actividades.
Amenazas	Iniciativas que, de alguna forma, tengan un impacto en la comunidad.

Fuente: Nikulin & Becker, (2015)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este capítulo describe los hallazgos alcanzados para cada uno de los objetivos específicos propuestos, tras implementar las metodologías correspondientes.

4.1. Clasificación de imágenes para determinar el cambio y uso de suelo para los años 2015 y 2023

La disminución de bosques, junto con el incremento de cultivos en la subcuenca del río Lita durante el periodo 2015 al 2023, está vinculada a la tendencia de experimentar diversos cambios en su cobertura vegetal autóctona, resultando principalmente en la pérdida significativa de una gran extensión de bosques nativos y páramos (Salazar, 2015). Este escenario ocurre principalmente debido al uso excesivo del suelo por actividades humanas y la alta demanda de productos, lo que conduce a un crecimiento económico a nivel local y regional que fomenta la alteración en el uso del suelo.

En la Figura 9 se observa un aumento de cultivos hacia la parte media y alta de la subcuenca para el año 2023, remplazando al bosque, vegetación arbustiva e incluso pastos que se encontraba presente en el año 2015. Además, se observa una disminución significativa de páramo debido a la expansión agrícola. Esta tendencia concuerda con el estudio realizado por Espinoza & Varela (2021) en el que demostraron que desde el año 1996 al 2017 las áreas destinadas a zonas agrícolas aumentaron significativamente dando como resultado una reducción considerable de bosque nativo.

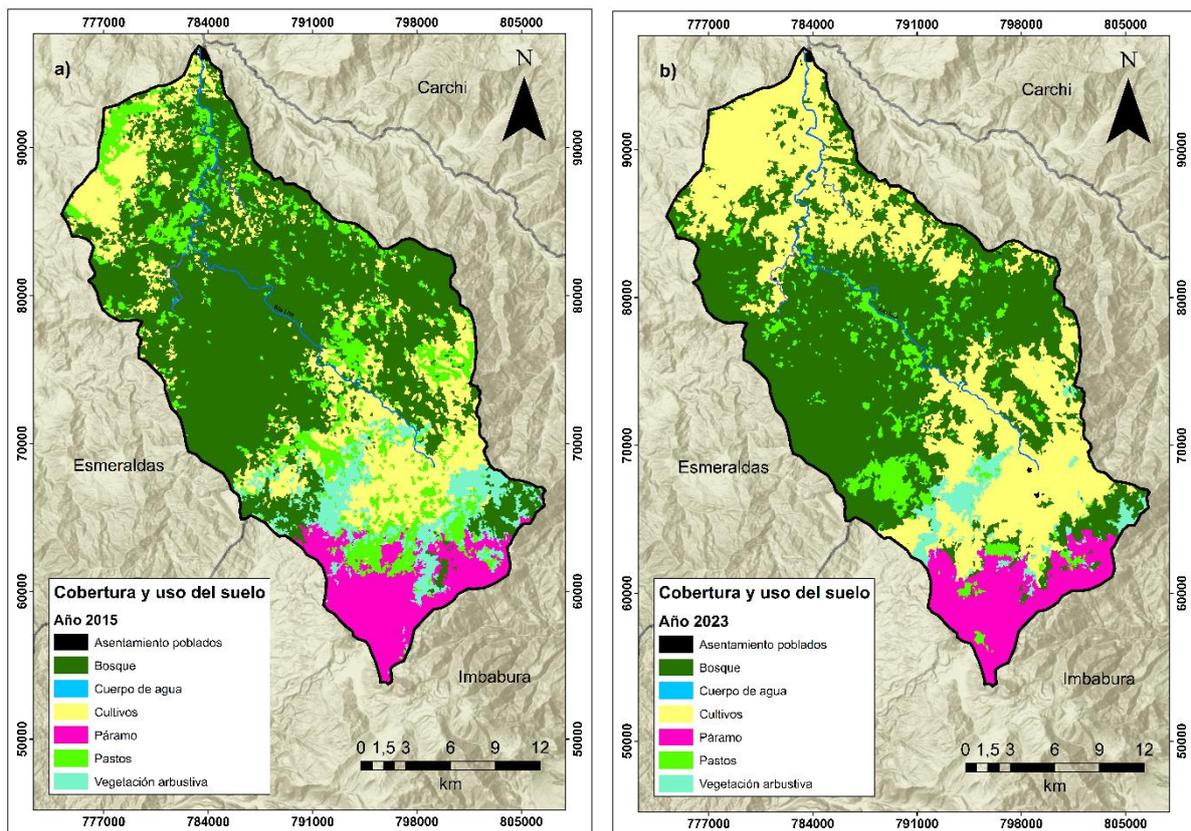


Figura 9. Cobertura y uso del suelo. a) CUS para el año 2015. b) CUS para el año 2023

En cuanto al cambio de cobertura y uso del suelo se evidenció que para el año 2023 hubo un aumento del 16% de cultivos, representando aproximadamente un área de 99 km² utilizada para la agricultura, esto debido a que la agricultura es una de sus principales fuentes de ingreso económico en la zona. Este aumento provocó una reducción de 46 km² aproximadamente de pastos que fueron reemplazados por cultivos. Además, se presenció asentamientos poblados en la parte media – alta de la subcuenta del río Lita. Esto posiblemente debido a las actividades de extracción minera que se realizan en esta zona. Estos aumentos de cobertura provocaron la reducción de bosque y páramo en un 4,1% y 0,7% respectivamente, representando una reducción de 25,97 km² de bosque y 4,7 km² de páramo (Figura 10).

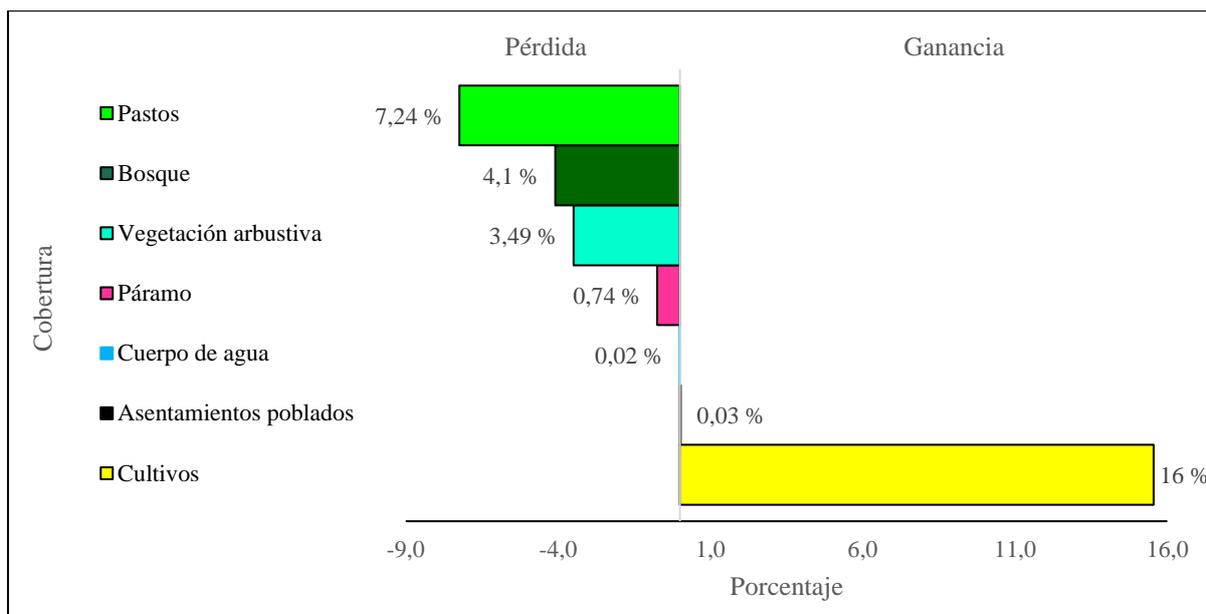


Figura 10. Cambio de uso del suelo para el año 2023

4.1.2. Aplicación de índices para evaluar la precisión y exactitud en los resultados de la clasificación supervisada

Índice *kappa*: El análisis índice *kappa* y la matriz de confusión, verificó que la concordancia de la clasificación supervisadas para el año 2015 y 2023 es casi perfecta, con un coeficiente *kappa* de 0,89 y 0,93 respectivamente tomando en cuenta la validación propuesta por Landis & Koch (1977). Estos valores son significativos representando que las coberturas analizadas en las imágenes satelitales coinciden con las coberturas tomadas en campo.

Índice de exactitud global: El análisis demostró que la precisión general de la clasificación supervisada basada en la tabla pivot para el año 2015 y 2023 es de 91,5 y 94,7 respectivamente. Además, al analizar la exactitud del productor y del usuario se tuvo porcentajes significativos. Pues para todas las coberturas se obtuvo un porcentaje mayor al 80% como se muestra en la Tabla 9. Lo cual representa una concordancia casi perfecta. Concordando con el resultado de la validación con la índice *kappa*.

Tabla 9. Exactitud del productor y usuario para los años 2015 y 2023

Clase	Exactitud del productor (%)		Exactitud del usuario (%)	
	Año 2015	Año 2023	Año 2015	Año 2023
Asentamientos poblados	100	100	77,78	100
Bosque	94,12	80	94,12	100
Cuerpo de agua	75	95	85,71	90,48
Cultivos	100	100	87,50	100
Páramo	94,44	100	100	94,74
Pastos	83,33	80	95,24	88,89
Vegetación arbustiva	100	100	87,50	95,83

4.2. Evaluación de la calidad ambiental

Utilizando el índice de calidad ambiental, se estableció que en 2015 el efecto ambiental predominante afectaba a las coberturas de bosque y páramo, con el bosque experimentando el mayor impacto negativo con un 0,09% y el páramo con 0,03% de incidencia ambiental. Los asentamientos humanos tuvieron la menor incidencia ambiental a comparación de las demás coberturas (Tabla 10). Así también, en 2023 se observa un efecto ambiental negativo en los bosques con un 0,09% y también se registra un impacto en cultivos y páramos. Además, nuevamente los asentamientos humanos son los que poseen la menor muestra un impacto ambiental. Estos resultados concuerdan con la investigación realizada por Arias et al. (2024) demostrando que en la cuenca del río Mira también ubicada en zona andina del Ecuador el bosque, páramo y vegetación arbustiva tuvieron mayor impacto negativo para los dos años analizados (1996 y 2018), mientras que la zona urbana y las áreas sin vegetación tuvieron un menor impacto ambiental.

Tabla 10. Incidencias ambientales para los años 2015 y 2023

Cobertura	2015			2023		
	<i>Evi</i>	TA	LUA	<i>Evt</i>	LUA	<i>Evt</i>
Poblados	0,03	634,8	0,41	2,10307E-05	0,58	2,95272E-05
Bosque	0,19	634,8	328,22	0,098966668	302,25	0,091134776
Cuerpo de agua	0,24	634,8	0,42	0,000159046	0,32	0,000120898
Cultivos	0,05	634,8	123,80	0,00998149	222,53	0,017941546
Páramo	0,29	634,8	55,41	0,02568653	50,71	0,02350743
Pastos	0,08	634,8	85,08	0,010389112	39,14	0,004779485
Vegetación arbustiva	0,11	634,8	41,47	0,007411374	19,29	0,003447323
Total			634,8	0,152615253	634,8	0,140960984

La evaluación del índice de calidad ambiental mostró que, en 2015, la calidad ambiental era del 15,26%, y para 2023, esta disminuyó al 14,09%, lo que indica que, durante el periodo estudiado, la calidad ambiental en la zona de estudio se redujo en un 1,17%. Los elementos que motivan el cambio en el uso del suelo, tales como la expansión de la frontera agrícola, la minería ilegal y artesanal, la deficiente planificación territorial y la reducción de bosques y páramos, resultan en una calidad de vida disminuida para la población y, por ende, en una limitación y reducción de los recursos naturales.

Varios estudios a lo largo de los años han demostrado que la calidad ambiental ha reducido debido a factores antropogénicos, no solamente en Latinoamérica sino también en otros continentes. Así lo demuestran (Liu et al., 2014), pues en su estudio realizado en China en la ciudad de Guiyang el análisis reveló que entre 1996 y 2010, la calidad ambiental del área disminuyó debido al incremento de tierras agrícolas y áreas sin cobertura vegetal, así como a la reducción de pastizales. Además, entre 2006 y 2010, se observa una disminución en las tierras sin uso, zonas de agricultura y pastizales, lo que indica que la calidad del área se vio impactada en este lapso por el desarrollo urbano y aumento de la frontera agrícola.

También en la investigación realizada por Córdova & Gómez (2021) demostraron que en la cuenca del río Mira para el año 1996 el bosque, páramo y vegetación arbustiva tuvieron un impacto negativo en cuanto a la calidad ambiental mientras que para el 2018 el impacto negativo lo obtuvieron los bosques y el páramo que, al igual a los resultados obtenidos en este estudio debido al avance de la frontera agrícola y actividades como las agro-ganaderas y aumento de infraestructura se ha observado que a lo largo de los años la calidad ambiental ha ido disminuyendo constantemente.

4.3. Evaluación de la calidad ecosistémica

La deforestación, la alteración en el uso del suelo, las prácticas de cultivo depredadoras, la sobreexplotación, el pastoreo y el arado intensivos son actividades determinantes en la degradación del suelo, las cuales son factores que inciden en el empeoramiento del estado ambiental y repercuten adversamente en la calidad del ecosistema (GAD LITA, 2019). Los resultados obtenidos en esta etapa demuestran la pérdida de ecosistemas dentro de la subcuenca del río Lita ya que para el año 2023, ecosistemas como: bosque siempreverde montano, bosque siempreverde piemontano y páramo se han reducido en un 0,97%, 0,37% y 1,34% respectivamente. Esto debido al aumento del 3,59% de las zonas para agricultura (Figura 11). Cultivos como el plátano (*Musa spp.*), maíz (*Zea Mays*), naranjilla (*Solanum quitoense*), caña (*Saccharum officinarum*), tomate de árbol (*Solanun betaceum*) y granadilla (*Passiflora ligularis*) han remplazado al bosque siempreverde montano y piemontano (GAD Imbabura, 2018). Además, cultivos como la papa (*Solanum tuberosum*) para uso comercial y también para consumo local han remplazado al páramo. A pesar de que estos cultivos son de importancia local y contribuyen a la seguridad alimentaria de las comunidades, su expansión también implica la deforestación de áreas boscosas y de páramo.

La reducción de estos ecosistemas por la actividad agropecuaria coincide con el estudio realizado por Luzón (2020) en el que determinaron que la cobertura vegetal del bosque siempreverde montano se redujo en un 8,59% en el periodo de 1990 al 2018.

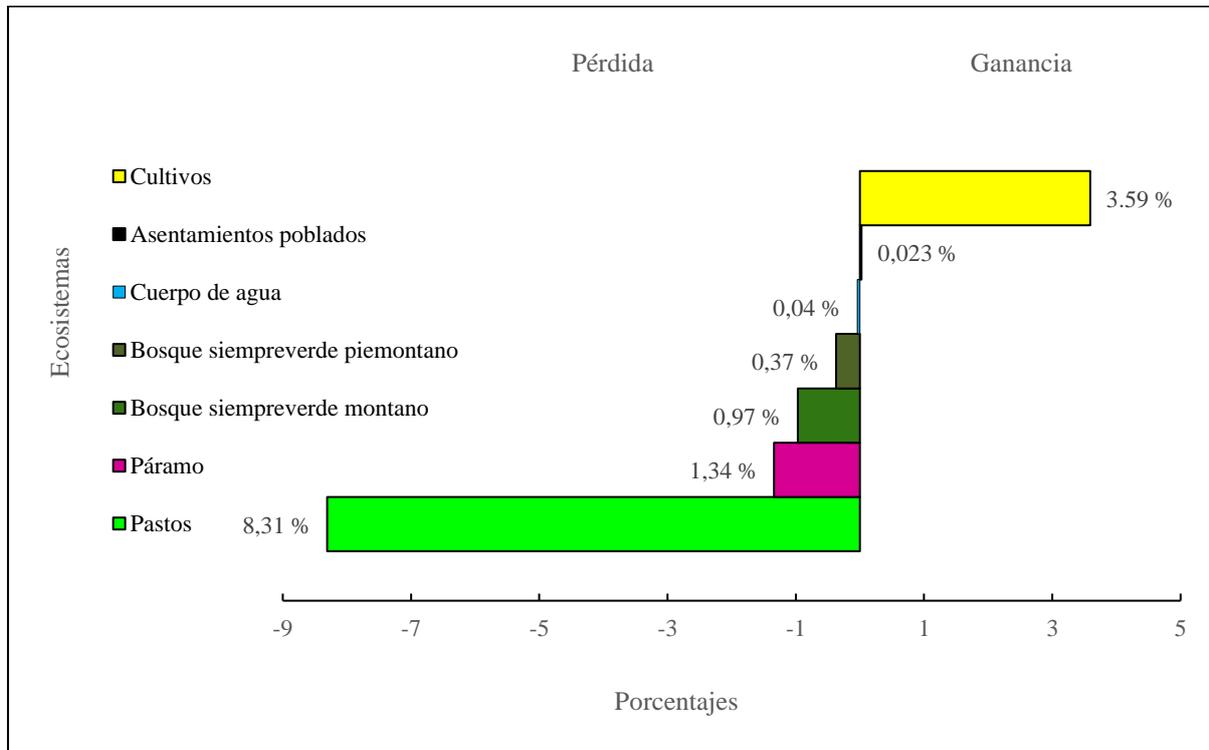


Figura 11. Cambio neto absoluto de los ecosistemas en la subcuenca del río Lita

La reducción de estos ecosistemas ha tenido un impacto significativo en la pérdida de servicios ecosistémicos esenciales. Entre los más afectados se encuentran la regulación hídrica, la protección del suelo, la captura de carbono y la conservación de la biodiversidad (Jaime et al., 2017). La disminución de la cobertura forestal ha llevado a una menor capacidad de los ecosistemas para regular el ciclo del agua, lo que resulta en sequías más frecuentes y severas (Cervantes et al., 2021). Además, la biodiversidad también se ha visto gravemente afectada, ya que los bosques andinos son hábitats para especies de flora importantes como *Cedrela* sp. (Cedro) y *Ceiba* sp. (Ceiba) y especies de fauna como *Tremarctos Ornatus* (oso de anteojos) que se encuentran vulnerables debido al cambio y uso de suelo (Cuenca Rodríguez et al., 2021).

La captura y almacenamiento de carbono, es otro servicio ecosistémico fundamental. Los bosques siempreverde montano y piemontano, así como los páramos, actúan como sumideros de carbono al almacenar grandes cantidades de este gas en su biomasa y suelos (Cargua et al., 2014). La pérdida de estos ecosistemas podría resultar en la liberación de grandes cantidades de carbono a la atmósfera. La restauración de estos bosques es crucial para recuperar estos servicios.

4.4. Propuesta de estrategias de manejo y monitoreo ambiental integrando herramientas de teledetección

Aplicando un análisis FODA se vinculó estrategias internas en referencia a la fortaleza de la superficie que se mantiene como bosque, dando oportunidad a presentar un declaratoria de bosque de protección a esta zona, producto de aquello se planteó integrar una estrategia enmarcada en la designación del área como bosque protector para preservar el remanente forestal en la subcuenca del río Lita. Esta medida busca no solo conservar la biodiversidad única y los servicios ecosistémicos cruciales, sino también establecer un marco que promueva la investigación, la educación ambiental y la participación comunitaria en la gestión sostenible de este valioso ecosistema.

Se establecieron estrategias internas para aprovechar la robustez del páramo frente a los impactos ambientales del 2023, que destacaron la rápida expansión de la frontera agrícola como la principal amenaza. Como respuesta clave, se propone implementar una estrategia ambiental proactiva que establezca el páramo como una zona de conservación crucial. Esta medida pretende frenar y prevenir la expansión agrícola más allá de límites sostenibles. Además de proteger la biodiversidad y los ecosistemas únicos del páramo, se busca salvaguardar la calidad del agua y fomentar prácticas agrícolas sostenibles en la subcuenca.

Para fortalecer la estrategia de conservación del páramo en la cuenca del río Lita en Ecuador, es fundamental adoptar un enfoque integrado que incluya la participación de las comunidades

locales, los gobiernos municipales y las organizaciones ambientales. Se propone establecer acuerdos de conservación que involucren a los agricultores y ganaderos, promoviendo prácticas agrícolas que respeten los límites ecológicos del páramo. Además, se deben implementar programas educativos para aumentar la conciencia sobre la importancia de estos ecosistemas y su conexión con la provisión de servicios ecosistémicos como el agua y la regulación climática. Estas acciones colaborativas no solo protegerán el páramo a corto plazo, sino que también garantizarán su sostenibilidad a largo plazo, beneficiando tanto a la naturaleza como a las comunidades locales dependientes de sus recursos.

Tabla 11. Estrategias internas

Fortaleza	Amenaza	Estrategia
Se mantiene una superficie de 4,7 km ² de páramo.	Fragmentación del páramo por expansión agrícola y urbana	Generación de una política ambiental que defina al páramo como una zona de conservación.
Áreas sin vegetación arbustiva con bajo impacto ambiental	Asentamientos poblados en expansión y escasa planificación territorial	Integración planes de forestación y proyectos ambientales autosustentables para la subcuenca.
Fortaleza	Oportunidad	Estrategia
Se mantiene una superficie de 25,97 km ² de bosque.	Declaración de bosque protector.	Declaración de bosque protector para mantener el relicto de bosque para el ecosistema siempre verde montano y montano respectivamente.

Se implementaron estrategias externas enfocadas en abordar las vulnerabilidades identificadas en la subcuenca del río Lita según los hallazgos obtenidos. La principal vulnerabilidad identificada es la proliferación de malas prácticas agrícolas, que están causando erosión severa del suelo manifestada en cárcavas y surcos. Como medida estratégica, se propuso la promoción de la educación ambiental como una herramienta clave en esta región. El objetivo es difundir conocimientos sobre prácticas agrícolas sostenibles que preserven la cobertura vegetal y

mitiguen los impactos negativos en el ecosistema fluvial. Este enfoque busca no solo evitar la degradación ambiental, sino también fomentar la adopción consciente de métodos agrícolas que aseguren la integridad del suelo y promuevan la coexistencia equilibrada entre la actividad agrícola y la conservación ambiental.

Para abordar efectivamente las malas prácticas agrícolas que amenazan el suelo de la cuenca del río Lita en Ecuador, es esencial desarrollar e implementar un programa integral de capacitación dirigido a los agricultores locales. Este programa debe incluir talleres prácticos y sesiones educativas que enseñen técnicas de conservación del suelo, como la rotación de cultivos, el manejo integrado de plagas y el uso sostenible de los recursos hídricos. Además, se debe establecer un sistema de monitoreo para evaluar el impacto de estas prácticas y ajustarlas según sea necesario. Al mismo tiempo, es crucial establecer incentivos económicos y políticas de apoyo que promuevan la adopción voluntaria de prácticas agrícolas sostenibles entre los agricultores locales. Esta combinación de educación, monitoreo y apoyo institucional será fundamental para mitigar la degradación del suelo y asegurar la salud a largo plazo del ecosistema en la cuenca del río Lita.

En el análisis FODA de la cuenca del río Lita en Ecuador, se identifica como debilidad significativa la disminución de las tierras sin uso y pastizales, atribuible en gran medida al avance del desarrollo urbano en el área durante los últimos años. Este proceso ha provocado una pérdida gradual de la calidad del hábitat, afectando la funcionalidad ecológica de los pastizales y áreas de descanso para la fauna silvestre. Esta tendencia representa un riesgo para la biodiversidad local y la capacidad de los ecosistemas para proporcionar servicios ecosistémicos clave como la regulación hídrica y la mitigación del cambio climático.

No obstante, esta situación también presenta una oportunidad estratégica para implementar medidas de conservación y restauración ambiental. Se propone desarrollar un programa integral de manejo de tierras que incluya la identificación y protección de áreas críticas de

pastizales y tierras sin uso dentro de la cuenca. Esta estrategia debería estar respaldada por políticas de ordenamiento territorial que limiten el desarrollo urbano descontrolado y promuevan prácticas agrícolas sostenibles. Además, se deberían establecer incentivos para los propietarios de tierras que participen en programas de conservación, como pagos por servicios ambientales y acceso a financiamiento para la restauración ecológica. De esta manera, se podría revertir la tendencia de disminución de las tierras sin uso y pastizales, asegurando la integridad del paisaje y fortaleciendo la resiliencia de los ecosistemas frente a los impactos del cambio climático y la urbanización creciente en la cuenca del río Lita.

Tabla 12. Estrategias externas

Debilidad	Amenazas	Estrategia
Se realizan malas prácticas agrícolas.	Generación de surcos y cárcavas en el suelo.	Capacitación en prácticas agrícolas sostenibles para mitigar la degradación de la cobertura vegetal mediante educación ambiental.
Debilidad	Oportunidad	Estrategia
Avance de la frontera agrícola	Utilización de herramientas de teledetección.	Seguimiento continuo del cambio de uso del suelo mediante el uso de tecnología de sensores remotos.

4.4.1 Estrategia 1: Generación de una política ambiental que defina al páramo como una zona de conservación

Los páramos son reservorios de agua cruciales para las comunidades locales y regionales, además de ser hábitats de especies endémicas y nativas de alta biodiversidad en Lita. La expansión agrícola y otros usos no sostenibles amenazan la integridad ecológica de estos paisajes de alta montaña, exacerbando la pérdida de biodiversidad y afectando negativamente los servicios ecosistémicos como la regulación hídrica y la captura de carbono.

Objetivo General

Establecer una política ambiental efectiva que designe al páramo de la subcuenca del río Lita como zona de conservación, garantizando la protección a largo plazo de sus recursos naturales y biodiversidad.

Meta

Implementar regulaciones y medidas de manejo que restrinjan cualquier forma de expansión más allá de los límites establecidos del páramo, asegurando su conservación integral y su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos clave a las comunidades locales y al ambiente en general.

Tabla 13. Propuesta de una política ambiental

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Realización de estudios y diagnósticos detallados sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos del páramo.	Informe de diagnóstico ambiental	Informes técnicos y listado de especies.	Establecimiento de criterios científicos y técnicos para delimitar los límites de conservación del páramo.	-GAD parroquial - Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica
Consulta con expertos, comunidades locales y actores clave para definir los límites de conservación.	Número de consultas realizadas	Actas de reuniones, registros de participación	Desarrollo un plan de gestión que incluya medidas específicas para la protección y uso sostenible del páramo.	- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica - GAD parroquial - Juntas parroquiales
Publicación oficial de la política ambiental y sus regulaciones en boletines gubernamentales y medios locales.	Anuncio de la política ambiental	Copias de publicaciones oficiales, registros de comunicación pública	Desarrollo estrategias de comunicación para informar y educar a las comunidades locales sobre las regulaciones establecidas.	- GAD parroquial - Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica

4.4.2 Estrategia 2: Integración de planes de forestación y proyectos ambientales autosustentables para la subcuenca.

Justificación

La integración de planes de forestación y proyectos ambientales autosustentables en la subcuenca del río Lita es fundamental para mitigar la pérdida de cobertura vegetal y restaurar los ecosistemas degradados. Esta estrategia busca enfrentar la deforestación y la degradación ambiental, problemas urgentes que afectan la biodiversidad local y los servicios ecosistémicos vitales para las comunidades. Al incentivar la participación comunitaria en la restauración ambiental y la implementación de prácticas sostenibles, se promueve además el desarrollo económico local y la resiliencia frente al cambio climático.

Objetivo General

Integrar efectivamente planes de forestación en áreas sin vegetación dentro del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de Lita, así como fomentar la creación de proyectos ambientales autosustentables en la subcuenca del río Lita para promover la recuperación y conservación de los recursos naturales.

Meta

Para el año 2030, implementar proyectos de forestación en al menos el 50% de las áreas identificadas como sin vegetación en el PDOT de Lita, utilizando especies nativas adecuadas al ecosistema local. Además, establecer y apoyar la ejecución de proyectos ambientales autosustentables impulsados por comunidades locales, enfocados en la gestión sostenible de recursos naturales y la mejora de la calidad ambiental en la subcuenca del río Lita.

Tabla 14. Programa de forestación

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Realización de actividades de siembra y plantación en las áreas identificadas, involucrando a la comunidad.	Número de árboles plantados	Registros de plantación y fotografías antes y después	Ejecución de prácticas de manejo de tierras que aseguren la supervivencia y el crecimiento de los árboles plantados.	- GAD parroquial - Juntas parroquiales
Capacitación a los habitantes locales en técnicas de plantación y cuidado de árboles.	Número de sesiones de capacitación	Evaluaciones de aprendizaje y retroalimentación	Implementación activa de las actividades de forestación y proyectos ambientales con la comunidad.	GAD parroquial
Desarrollo de un plan de forestación que incluya especies nativas adecuadas y técnicas de plantación.	Plan de forestación aprobado	Documento del plan de forestación con cronograma y presupuesto	Definición de estrategias y métodos de plantación adaptados a las condiciones locales y al PDOT de Lita.	- GAD parroquial - Juntas parroquiales.

4.4.3 Estrategia 3: Declaración de bosque protector para mantener el relicto de bosque para el ecosistema siempre verde montano y piemontano respectivamente.

Justificación

La declaración de bosque protector en la subcuenca del río Lita para los ecosistemas siempre verde montano y piemontano es crucial debido a su alta biodiversidad y los servicios ecosistémicos que proporcionan. Estos bosques son vitales para la regulación hídrica, la conservación del suelo y la mitigación del cambio climático, además de albergar especies endémicas y ser hábitat de fauna silvestre. La protección legal como bosque protector garantizará la preservación a largo plazo de estos ecosistemas frente a las presiones de la deforestación y la expansión agrícola, promoviendo así la sostenibilidad ambiental y el bienestar de las comunidades locales.

Objetivo General

Declarar áreas específicas de los ecosistemas siempre verde montano y piemontano en la subcuenca del río Lita como bosques protectores, asegurando su conservación integral y la protección de su biodiversidad única.

Meta

Para el año 2025, completar el proceso legal y administrativo para la declaración de al menos el 50% de las áreas identificadas como relicto de bosque siempre verde montano y piemontano en la subcuenca del río Lita como bosques protectores, con regulaciones efectivas para su gestión y conservación a largo plazo.

Tabla 15. Declaración de bosque protector

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Creación de medidas de gestión y manejo para las áreas declaradas como bosques protectores.	Plan de manejo implementado	Documento de plan de manejo con estrategias y acciones especificadas	Implementación de prácticas y políticas que aseguren la conservación efectiva y sostenible de los bosques protectores.	Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica
Monitoreo regular del estado de conservación y el cumplimiento de las regulaciones establecidas.	Informes de monitoreo y evaluación	Informes técnicos de monitoreo con datos de cumplimiento de regulaciones	Efectividad y cumplimiento de las normativas establecidas para la protección de los bosques declarados.	Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica
Evaluación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos proporcionados por estos bosques.	Evaluación de biodiversidad	Informe técnico de evaluación con datos de especies y servicios ecosistémicos	Determinación del valor ecológico y la importancia de conservación de cada área identificada como relicto de bosque.	Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica

4.4.4 Estrategia 4: Capacitación en prácticas agrícolas sostenibles para mitigar la degradación de la cobertura vegetal mediante educación ambiental.

Justificación

La implementación de capacitaciones en prácticas agrícolas sostenibles en la subcuenca del río Lita es fundamental para mitigar la degradación de la cobertura vegetal. Con el crecimiento de la población y la expansión de la agricultura, se ha intensificado la presión sobre los recursos naturales y la biodiversidad de la región. La educación ambiental enfocada en técnicas agrícolas sostenibles no solo promoverá el uso responsable de la tierra y los recursos hídricos, sino que también reducirá la deforestación y la pérdida de biodiversidad. Al empoderar a los agricultores locales con conocimientos y habilidades adecuadas, se fomentará una gestión más eficiente y equilibrada de los recursos naturales, contribuyendo así a la conservación a largo plazo del ecosistema de la subcuenca del río Lita.

Objetivo General

Implementar un programa integral de capacitación en prácticas agrícolas sostenibles mediante educación ambiental en la subcuenca del río Lita, dirigido a comunidades agrícolas y actores locales.

Meta

Para el año 2023, capacitar al menos al 80% de los agricultores y habitantes locales de la subcuenca del río Lita en prácticas agrícolas sostenibles, con el objetivo de reducir en un 30% la presión sobre la cobertura vegetal y los recursos naturales debido a prácticas agrícolas mejoradas y sostenibles.

Tabla 16. Capacitación de prácticas agrícolas sostenibles

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Identificación de necesidades y preferencias de capacitación entre las comunidades agrícolas locales.	Informe de necesidades identificadas	Encuestas o entrevistas con agricultores para determinar necesidades y preferencias de capacitación	Adaptación del programa de capacitación según las necesidades específicas y la receptividad de los agricultores locales.	Juntas parroquiales
Diseño de un plan de capacitación en prácticas agrícolas sostenibles, incluyendo módulos educativos y metodologías participativas.	Plan de capacitación aprobado	Documento de plan de capacitación con contenido educativo y metodologías de enseñanza	Elaboración de un programa estructurado y efectivo que abarque desde técnicas agrícolas hasta conceptos de sostenibilidad ambiental.	- GAD parroquial - Juntas parroquiales
Creación de alianzas con instituciones educativas, ONGs y expertos en agricultura sostenible.	Número de alianzas establecidas	Registro de acuerdos y colaboraciones con instituciones y expertos	Fortalecimiento de un programa agrícola a través de colaboraciones estratégicas que amplíen el alcance y la efectividad de la capacitación.	GAD provincial

4.4.5 Estrategia 5: Seguimiento continuo del cambio de uso del suelo mediante el uso de tecnología de sensores remotos.

Justificación

La implementación de un seguimiento continuo del cambio de uso del suelo mediante tecnología de sensores remotos en la subcuenca del río Lita es crucial para la gestión efectiva de los recursos naturales y la conservación ambiental. Esta estrategia permitirá obtener datos precisos y actualizados sobre la dinámica del uso del suelo, identificando áreas de deforestación, cambios en la cobertura vegetal y expansión agrícola. Con esta información, será posible tomar decisiones informadas para mitigar los impactos negativos sobre los

ecosistemas locales, promover prácticas sostenibles y planificar el uso del suelo de manera más eficiente. Además, el monitoreo continuo facilitará la evaluación periódica de políticas ambientales y la implementación de medidas correctivas oportunas para conservar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en la subcuenca del río Lita.

Objetivo General

Establecer un sistema de seguimiento continuo del cambio de uso del suelo mediante tecnología de sensores remotos en la subcuenca del río Lita para mejorar la gestión ambiental y la conservación de los recursos naturales.

Meta

Para el año 2025, implementar un sistema de monitoreo remoto que permita identificar y analizar al menos el 80% de los cambios de uso del suelo en la subcuenca del río Lita, con el fin de reducir en un 50% la tasa de deforestación y promover prácticas de uso del suelo más sostenibles y conservacionistas.

Tabla 17. Seguimiento del cambio y uso del suelo

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Monitoreo regular de la cobertura vegetal y los cambios en el uso del suelo con imágenes satelitales.	Informes de monitoreo regular	Reportes de análisis de imágenes satelitales y comparativos	Establecimiento de un sistema operativo de monitoreo continuo para la detección y evaluación de cambios en el uso del suelo a lo largo del tiempo.	Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica
Instauración de una red de estaciones de monitoreo con sensores remotos para cobertura extensiva.	Número de estaciones de monitoreo instaladas	Documentación de instalación y funcionamiento de las estaciones	Desarrollo de una red de monitoreo que cubra áreas clave y proporcione datos continuos sobre cambios de uso del suelo.	- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica - Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE)

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se evaluó la calidad ambiental ecosistémica de la subcuenca del río Lita entre 2015 y 2023, el cual demostró la disminución de bosques y el aumento de cultivos en la subcuenca las cuales están directamente relacionados con la intensificación del uso del suelo para la agricultura. Este cambio significativo responde a la presión derivada de la alta demanda de productos agrícolas, impulsada por el crecimiento económico a nivel local y regional. Se observó un cambio de la cobertura original de bosques, vegetación arbustiva y pastizales por cultivos, lo que refleja los efectos ecosistémicos-ambientales del cambio de uso del suelo. La reducción de bosques y páramos ha llevado a la pérdida de biodiversidad, degradación del suelo y disminución de servicios ecosistémicos esenciales como la regulación hídrica y la captura de carbono.

La evaluación del índice de calidad ambiental mostró una disminución del 15.26% en 2015 al 14.09% en 2023, indicando una reducción del 1.17% durante el periodo estudiado en la subcuenca del río Lita. Este deterioro ambiental se atribuye principalmente a la expansión de la frontera agrícola, la minería ilegal y artesanal, la falta de planificación territorial adecuada y la pérdida significativa de bosques y páramos. Estos factores no solo impactan negativamente en la calidad de vida de la población local, sino que también limitan y reducen los recursos naturales disponibles en la zona.

Se registró una disminución en las superficies de los ecosistemas: bosque siempreverde montano, bosque siempreverde piemontano y páramo, que se han reducido en un 0.97%, 0.91% y 1.77% respectivamente entre los años 2015-2023. Este cambio coincide con un aumento del 8.87% en las áreas destinadas a la agricultura, lo cual ha impactado negativamente la calidad ambiental y ecosistémica de la subcuenca hidrográfica del río Lita, provocando la pérdida de biodiversidad, la degradación del suelo, la disminución de la calidad del agua y la alteración

de los ciclos naturales, afectando tanto a los ecosistemas como a las comunidades locales que dependen de estos recursos.

La transformación del uso del suelo no solo afecta la biodiversidad y la estabilidad de los ecosistemas, sino que también tiene repercusiones en los servicios ecosistémicos esenciales para la comunidad. La pérdida de áreas boscosas y páramos compromete la regulación del ciclo hidrológico, la estabilidad del suelo y la captura de carbono, exacerbando problemas como la erosión, la sedimentación de cuerpos de agua y la emisión de gases de efecto invernadero. Además, la reducción de estos ecosistemas afecta la resiliencia de la subcuenca frente a eventos climáticos extremos, aumentando la vulnerabilidad de las comunidades locales.

Las estrategias identificadas resaltan la necesidad de implementar medidas efectivas de conservación y gestión sostenible para lo cual se incluye, la designación del páramo como zona de conservación, la promoción de proyectos ambientales autosustentables, el establecimiento de bosques protectores dentro de los ecosistemas montano y de piemontano, la educación en prácticas agrícolas sostenibles y el monitoreo del cambio de cobertura y uso del suelo mediante tecnología de sensores remotos. Estas acciones son esenciales para conservar los recursos naturales y asegurar la resiliencia ambiental a largo plazo en la subcuenca del río Lita.

Recomendaciones

La presencia de conflictos sociales en la subcuenca del río Lita denota la necesidad de realizar investigaciones para evaluar los impactos ambientales. Este contexto ofrece una oportunidad de plantear de iniciativas que no solo aborden las problemáticas ambientales, sino también los factores socioeconómicos que contribuyen a estos conflictos. Las futuras investigaciones podrían enfocarse en la identificación de soluciones integrales, tales como la implementación de prácticas agrícolas sostenibles adaptadas a las condiciones locales, el desarrollo de políticas efectivas de gestión territorial que promuevan un uso adecuado de los recursos naturales, y la implementación de programas educativos diseñados para elevar la conciencia ambiental y fomentar la resolución pacífica de los desafíos sociales en la subcuenca del río Lita.

Un estudio sobre la afectación ambiental y ecosistémica provocada por la minería en la subcuenca del río Lita aportaría con datos que realcen el desgaste obtenido en el presente análisis de la zona. Este tipo de investigación permitirá evaluar los impactos negativos que las actividades mineras pueden tener en este ecosistema frágil y vital. La minería puede resultar en la pérdida de hábitats de páramo, la contaminación de cuerpos de agua y suelos, así como la alteración de los ciclos naturales del agua y la biodiversidad local. Además, será fundamental para sensibilizar a la comunidad y a las autoridades sobre la importancia de proteger los recursos naturales de la subcuenca del río Lita.

La integración de esta investigación en las políticas de planificación territorial, a través de la incorporación de los resultados en los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOTs) de las parroquias Lita y La Merced de Buenos Aires, será crucial para desarrollar estrategias que fomenten la sostenibilidad ambiental, equilibrando el desarrollo con la conservación y promoviendo mejoras significativas en la calidad de vida de las comunidades locales. Este enfoque asegurará la toma de decisiones informada y la implementación efectiva de medidas para una gestión territorial adecuada.

BIBLIOGRAFÍA

- Abad-Auquilla, A. (2020). El cambio de uso de suelo y la utilidad del paisaje periurbano de la cuenca del río Guayllabamba en Ecuador. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(2), 68–91. <https://doi.org/10.15359/rca.54-2.4>
- Allana, B. F., Dutra, H. P., Goessling, L. S., Barnett, K., Chaisea, J. M., Marquis, R. J., Pang, G., Storch, G. A., Thach, R. E., & Orrock, J. L. (2010). Invasive honeysuckle eradication reduces tick-borne disease risk by altering host dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(43), 18523–18527. https://doi.org/10.1073/PNAS.1008362107/SUPPL_FILE/PNAS.201008362SI.PDF
- Arenas, S., Fernandez, J., & Barbudo, D. (2011). *Aplicación de técnicas de teledetección y SIG sobre imágenes Quickbird para identificar y mapear individuos de peral silvestre (Pyrus bourgeana) en bosque esclerófilo mediterráneo.*
- Arias, P., Saz, M., & Escolano, S. (2023). (PDF) *EFFECTS OF LAND USE CHANGE ON SOIL EROSION IN THE UPPER-MIDDLE BASIN OF MIRA RIVER IN ANDEAN-ECUADOR.* https://www.researchgate.net/publication/372367819_EFFECTS_OF_LAND_USE_CHANGE_ON_SOIL_EROSION_IN_THE_UPPER-MIDDLE_BASIN_OF_MIRA_RIVER_IN_ANDEAN-ECUADOR
- Arias, P., Saz, M., & Escolano, S. (2024). *Tendencias de cambio de usos y coberturas de suelo en la cuenca hidrográfica media-alta del río Mira en Ecuador.*
- Arias-Muñoz, P., Jiménez-Illapa, P., Oquendo-Andino, R., & Cabrera-García, S. (2024). *REPORTE DE SALUD AMBIENTAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO AMBI-ECUADOR.*
- Armenteras, D., Gast, F., & Villareal, H. (2003). Andean forest fragmentation and the representativeness of protected natural areas in the eastern Andes, Colombia. *Biological Conservation*, 113(2), 245–256. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00359-2](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00359-2)
- Aronoff, S. (1991). *Stan Aronoff - Geographic Information Systems - A Management Perspective-Wdl Pubns (1991) PDF | PDF | Teaching Mathematics.* <https://es.scribd.com/document/456236960/Stan-Aronoff-Geographic-Information-Systems-A-Management-Perspective-Wdl-Pubns-1991-pdf>
- Assede, E. S. P., Orou, H., Biauou, S. S. H., Geldenhuys, C. J., Ahononga, F. C., & Chirwa, P. W. (2023). Understanding Drivers of Land Use and Land Cover Change in Africa: A Review. *Current Landscape Ecology Reports* 2023 8:2, 8(2), 62–72. <https://doi.org/10.1007/S40823-023-00087-W>
- Bouma, J. A., & Van Beukering, P. J. H. (2015). Ecosystem services: From concept to practice. *Ecosystem Services: From Concept to Practice*, 1–267. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107477612>
- Bravo, E. (2007). *LOS IMPACTOS DE LA EXPLOTACION PETROLERA EN ECOSISTEMAS TROPICALES Y LA BIODIVERSIDAD.*
- Burbano Orjuela, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 82–96. <https://doi.org/10.22267/RCIA.183501.85>
- Burrough, McDonnell, & Lloyd. (2015). *Principles of Geographical Information Systems - Paperback - The late Professor Peter A. Burrough, Rachael A. McDonnell, Christopher D. Lloyd - Oxford University Press.* <https://global.oup.com/ukhe/product/principles-of-geographical-information-systems-9780198742845?cc=ec&lang=en&>
- Capparelli, M. V., Moulatlet, G. M., Abessa, D. M. de S., Lucas-Solis, O., Rosero, B., Galarza, E., Tuba, D., Carpintero, N., Ochoa-Herrera, V., & Cipriani-Avila, I. (2020). An integrative approach to identify the impacts of multiple metal contamination sources

- on the Eastern Andean foothills of the Ecuadorian Amazonia. *Science of The Total Environment*, 709, 136088. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.136088>
- Cárcamo, A., & Rejas, J. (2015). Análisis multitemporal mediante teledetección espacial y SIG del cambio de cobertura del suelo en el municipio de Danlí, El Paraíso, en los años 1987 -2011. *Ciencias Espaciales*, 8(2), 259–271. <https://doi.org/10.5377/CE.V8I2.2081>
- Cargua, F. E., Rodríguez, M. V., Recalde, C. G., & Vinueza, L. M. (2014). Cuantificación del Contenido de Carbono en una Plantación de Pino Insigne (*Pinus radiata*) y en Estrato de Páramo de Ozogoche Bajo, Parque Nacional Sangay, Ecuador. *Información Tecnológica*, 25(3), 83–92. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000300011>
- Cervantes, R., Sánchez, J. M., Alegre, J., Rendón, E., Baiker, J. R., Locatelli, B., Bonnesoeur, V., Cervantes, R., Sánchez, J. M., Alegre, J., Rendón, E., Baiker, J. R., Locatelli, B., & Bonnesoeur, V. (2021). Contribución de los ecosistemas altoandinos en la provisión del servicio ecosistémico de regulación hídrica. *Ecología Aplicada*, 20(2), 137–146. <https://doi.org/10.21704/REA.V20I2.1804>
- Cevallos, M. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia Buenos Aires*.
- Chamorro. (2020). *Análisis multitemporal de los patrones espaciales del paisaje en el cantón Pimampiro, provincia de Imbabura*. [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio de tesis de la Universidad Técnica del Norte. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9981>
- Cohen, J. (1960). *A coefficient of agreement for nominal scales*.
- 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)
- Córdova, D., & Gómez, J. (2021). *EVALUACIÓN DE LAS CAUSAS SOCIALES Y EFECTOS AMBIENTALES DEL CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO MIRA* [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio de tesis de la Universidad Técnica del Norte. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10845>
- Cuenca Rodríguez, M., Vanesa, A., & Lozano, G. (2021). *Identificación de áreas prioritarias para la conservación de la calidad del servicio ecosistémico hábitat en la cuenca Río Frío, Cundinamarca* [Tesis de grado, Universidad El Bosque]. Repositorio de tesis de la Universidad El Bosque. <https://hdl.handle.net/20.500.12495/7352>
- Curra, E. (2021, November 10). *Estudio revela que cambios en el uso de suelo de cuencas hidrográficas genera consecuencias negativas en zona costera*. Codexverde.
- Dolman, A. J., & Verhagen, A. (2003). Land Use and Global Environmental Change. *Global Environmental Change and Land Use*, 3–13. https://doi.org/10.1007/978-94-017-0335-2_1
- Dumas, P., Wirsenius, S., Searchinger, T., Andrieu, N., & Vogt-Schilb, A. (2022). *Opciones de la agricultura y los cambios del uso del suelo para alcanzar cero emisiones netas en América Latina y el Caribe*. <https://doi.org/10.18235/0004427>
- Encina Rojas, A., & Ibarra, J. (2003). La degradación del suelo y sus efectos sobre la población. *Población y Desarrollo, ISSN-e 2076-054X, ISSN 2076-0531, N.º. 25, 2003, Págs. 5-10, 25, 5–10*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5654360&info=resumen&idioma=SPA>
- Endara, R. (2020). *EFECTOS DE LA DEFORESTACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE CAUDALES EN LA CUENCA MEDIA ALTA DEL RÍO MIRA PARA EL PERÍODO 2000-2014* [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio de tesis de la Universidad Técnica del Norte. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8459>

- Escandón Calderón, J., Ordóñez Díaz, J. A. B., Nieto de Pascual Pola, M. C. del C., Ordóñez Díaz, M. de J., Escandón Calderón, J., Ordóñez Díaz, J. A. B., Nieto de Pascual Pola, M. C. del C., & Ordóñez Díaz, M. de J. (2018). Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo del 2000 al 2009 en Morelos, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(46), 27–53. <https://doi.org/10.29298/RMCF.V9I46.135>
- Espinosa, J., & Rivera, D. (2016). Variations in water resources availability at the Ecuadorian páramo due to land-use changes. *Environmental Earth Sciences*, 75(16), 1–15. <https://doi.org/10.1007/S12665-016-5962-1/METRICS>
- Espinoza, V., & Varela, J. (2021). *ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES CAUSADOS POR EL CAMBIO DE USO DEL SUELO EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LITA* [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio de tesis de la Universidad Técnica del Norte. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11871>
- Evangelista, V., López Blanco, J., Caballero Nieto, J., & Martínez Alfaro, M. Á. (2010). Patrones espaciales de cambio de cobertura y uso del suelo en el área cafetalera de la sierra norte de Puebla. *Investigaciones Geográficas, ISSN 0188-4611, ISSN-e 2448-7279, N.º. 72, 2010, 72, 951*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8748306&info=resumen&idioma=EN>
G
- GAD Imbabura. (2018). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PROVINCIA DE IMBABURA 2015-2035*.
- GAD LITA. (2019). *ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL “PDyOT.”* <https://lita.gob.ec/wp-content/uploads/2023/09/PDyOTGADPRLITA2019-2023.pdf>
- Hengkai, L., Feng, X., & Qin, L. (2020). Remote sensing monitoring of land damage and restoration in rare earth mining areas in 6 counties in southern Jiangxi based on multisource sequential images. *Journal of Environmental Management*, 267, 110653. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2020.110653>
- Hernández-Pérez, E., García-Franco, J. G., Vázquez, G., Cantellano de Rosas, E., Hernández-Pérez, E., García-Franco, J. G., Vázquez, G., & Cantellano de Rosas, E. (2022). Cambio de uso de suelo y fragmentación del paisaje en el centro de Veracruz, México (1989 - 2015). *Madera y Bosques*, 28(1). <https://doi.org/10.21829/MYB.2022.2812294>
- Ibarra-Montoya, J. L., Román, R., Gutiérrez, K., Jacobo Gaxiola, J., Arias, V., & Bautista, M. (2011). Cambio en la cobertura y uso de suelo en el norte de Jalisco, México: Un análisis del futuro, en un contexto de cambio climático. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 6(2), 111–128. <https://doi.org/10.4136/AMBI-AGUA.189>
- Idrovo, B., González, I., & Guerrero, O. (2021). EFECTO DEL CAMBIO DEL USO DEL SUELO EN LA PRODUCCIÓN Y RETENCIÓN DE SEDIMENTOS: CASO DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA DE MONTAÑA. *Revista GEOESPACIAL*, 18(1), 49–61.
- Jaime, G., Zuluaga, C., Luis, J., Muñoz, V., Natalia, I., Zuluaga, M., De, A., & Research Article, I. /. (2017). MODELO DE CONECTIVIDAD ECOLÓGICA DE FRAGMENTOS DE BOSQUE ANDINO EN SANTA ELENA (MEDELLÍN, COLOMBIA). *Acta Biológica Colombiana*, 22(3), 379–393. <https://doi.org/10.15446/ABC.V22N3.63013>
- Lam, N. S. N. (2008). Methodologies for Mapping Land Cover/Land Use and its Change. *Advances in Land Remote Sensing: System, Modeling, Inversion and Application*, 341–367. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6450-0_13
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). *An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers*.

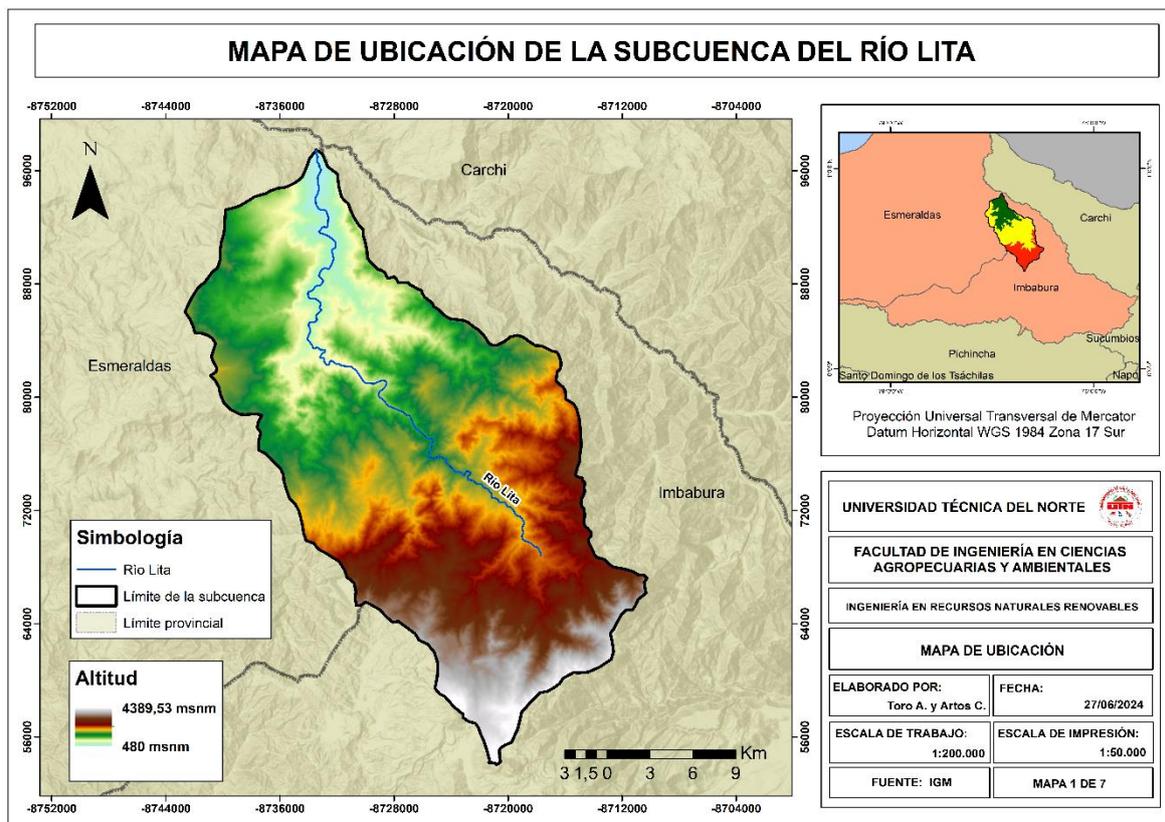
- Lema Pillalaza, J. R., Guerrero Tipantuña, M. R., Porras Atiaja, A. F., & Chaluisa Chaluisa, M. A. (2021). Estructura y composición florística en el bosque siempreverde montano de la Cordillera Occidental de los Andes en el sector La Esperanza, parroquia El Tingo, cantón Pujilí provincia de Cotopaxi a los 2000 msnm. *Dominio de Las Ciencias, ISSN-e 2477-8818, Vol. 7, N° 3, 2021 (Ejemplar Dedicado a: JULIO-SEPTIEMBRE)*, Págs. 398-418, 7(3), 398–418. <https://doi.org/10.23857/dc.v7i3.2000>
- Liu, Y., Huang, X., Yang, H., & Zhong, T. (2014a). Environmental effects of land-use/cover change caused by urbanization and policies in Southwest China Karst area – A case study of Guiyang. *Habitat International, 44*, 339–348. <https://doi.org/10.1016/J.HABITATINT.2014.07.009>
- Liu, Y., Huang, X., Yang, H., & Zhong, T. (2014b). Environmental effects of land-use/cover change caused by urbanization and policies in Southwest China Karst area – A case study of Guiyang. *Habitat International, 44*, 339–348. <https://doi.org/10.1016/J.HABITATINT.2014.07.009>
- Liu, Y., Huang, X., Yang, H., & Zhong, T. (2014c). Environmental effects of land-use/cover change caused by urbanization and policies in Southwest China Karst area – A case study of Guiyang. *Habitat International, 44*, 339–348. <https://doi.org/10.1016/J.HABITATINT.2014.07.009>
- López, M. (2018). *Análisis de impactos paisajísticos y vulnerabilidad física derivados de la actividad minera en la parroquia La Merced de Buenos Aires, cantón Urcuquí.*
- López Revelo, M. G. (2018). *Análisis de impactos paisajísticos y vulnerabilidad física derivados de la actividad minera en la parroquia La Merced de Buenos Aires, cantón Urcuquí.* <http://repositorio.puce.edu.ec:80/handle/22000/15482>
- MAATE. (2022). *Mapa Interactivo.*
- Martínez, Y., & Villalejo, V. (2018). La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos. *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL.*
- Mehra, N., & Swain, J. B. (2024). Assessment of land use land cover change and its effects using artificial neural network-based cellular automation. *Journal of Engineering and Applied Science 2024 71:1, 71(1)*, 1–17. <https://doi.org/10.1186/S44147-024-00402-0>
- Mooney, H. A. (2005). *Panel de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio 1.*
- Narváez, C. (2022). *DETERMINACIÓN TEMPORAL DE LA INFLUENCIA DEL CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA CALIDAD AMBIENTAL DE LAS ZONAS ALTA, MEDIA Y BAJA DE LA MICROCUENCA DEL RIO CULEBRILLASDELA PROVINCIA DELAZUAY PARA EL PERIODO 2000 -2020.* <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21715/1/UPS-CT009535.pdf>
- Nelson, E., Sander, H., Hawthorne, P., Conte, M., Ennaanay, D., Wolny, S., Manson, S., & Polasky, S. (2010). Projecting Global Land-Use Change and Its Effect on Ecosystem Service Provision and Biodiversity with Simple Models. *PLOS ONE, 5(12)*, e14327. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0014327>
- Nikulin, C., & Becker, G. (2015). Una metodología Sistémica y creativa para la gestión estratégica: Caso de Estudio Región de Atacama-Chile. *Journal of Technology Management & Innovation, 10(2)*, 127–144. <https://doi.org/10.4067/S0718-27242015000200009>
- Noh, J. K., Echeverria, C., Gaona, G., Kleemann, J., Koo, H., Fürst, C., & Cuenca, P. (2022). Article Forest Ecosystem Fragmentation in Ecuador: Challenges for Sustainable Land Use in the Tropical Andean. *Land, 11(2)*, 287. <https://doi.org/10.3390/LAND11020287/S1>
- ONU. (2022). *Objetivos de desarrollo sostenible.*
- Ordóñez, V., & Ortiz, E. (2018). *ESTRATEGIAS DE GESTIÓN HÍDRICA: UN ENFOQUE DESDE LA SEGURIDAD HÍDRICA EN LA MICROCUENCA PALACARA* [Tesis de

- grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio de tesis de la Universidad Técnica del Norte. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8407>
- Ortega, J. U., & Arias, D. P. (2022). Análisis de los efectos del cambio de uso de suelo en el paisaje del bosque húmedo: una visión al año 2022 en la cuenca del río Cayapas-Ecuador. *SATHIRI*, 17(1), 288–311. <https://doi.org/10.32645/13906925.1116>
- Parmesan, C., & Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421(6918), 37–42. <https://doi.org/10.1038/NATURE01286>
- Pineda, O. (2011). ANÁLISIS DE CAMBIO DE USO DE SUELO MEDIANTE PERCEPCIÓN REMOTA EN EL MUNICIPIO DE VALLE DE SANTIAGO. In *ANÁLISIS DE CAMBIO DE USO DE SUELO MEDIANTE PERCEPCIÓN REMOTA EN EL MUNICIPIO DE VALLE DE SANTIAGO* [Tesis de grado, Centro de Investigación en Geografía y Geomática]. Repositorio de tesis del Centro de Investigación en Geografía y Geomática. <https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/41/1/21-2011-Tesis-Pineda%20Pastrana%2C%20Oliva-Maestra%20en%20Geom%C3%A1tica.pdf>
- Pinos Arévalo, N. J. (2016). Prospectiva del uso de suelo y cobertura vegetal en el ordenamiento territorial - Caso cantón Cuenca. *Estoa. Revista de La Facultad de Arquitectura y Urbanismo de La Universidad de Cuenca*, 5(9), 1–21. <https://doi.org/10.18537/EST.V005.N009.02>
- Pinos-Morocho, D., Morales-Matute, O., Durán-López, M. E., Pinos-Morocho, D., Morales-Matute, O., & Durán-López, M. E. (2021). Suelos de páramo: Análisis de percepciones de los servicios ecosistémicos y valoración económica del contenido de carbono en la sierra sureste del Ecuador. *Revista de Ciencias Ambientales*, 55(2), 151–173. <https://doi.org/10.15359/RCA.55-2.8>
- Polasky, S., Nelson, E., Pennington, D., & Johnson, K. A. (2011). The impact of land-use change on ecosystem services, biodiversity and returns to landowners: A case study in the state of Minnesota. *Environmental and Resource Economics*, 48(2), 219–242. <https://doi.org/10.1007/S10640-010-9407-0/METRICS>
- Pongratz, J., Schwingshackl, C., Bultan, S., Obermeier, W., Havermann, F., & Guo, S. (2021). Land Use Effects on Climate: Current State, Recent Progress, and Emerging Topics. *Current Climate Change Reports* 7:4, 7(4), 99–120. <https://doi.org/10.1007/S40641-021-00178-Y>
- Potapov, P., Hansen, M. C., Pickens, A., Hernandez-Serna, A., Tyukavina, A., Turubanova, S., Zalles, V., Li, X., Khan, A., Stolle, F., Harris, N., Song, X. P., Baggett, A., Kommareddy, I., & Kommareddy, A. (2022). The Global 2000-2020 Land Cover and Land Use Change Dataset Derived From the Landsat Archive: First Results. *Frontiers in Remote Sensing*, 3, 856903. <https://doi.org/10.3389/FRSEN.2022.856903/BIBTEX>
- Pourrut, P. (1983). *Los climas del Ecuador: Fundamentos explicativos*.
- Poveda-Sotelo, Y., Bermúdez-Cella, M. A., Gil-Leguizamón, P., Poveda-Sotelo, Y., Bermúdez-Cella, M. A., & Gil-Leguizamón, P. (2022). Evaluación de métodos de clasificación supervisada para la estimación de cambios espacio-temporales de cobertura en los páramos de Merchán y Telecom, Cordillera Oriental de Colombia. *Boletín de Geología*, 44(2), 51–72. <https://doi.org/10.18273/REVBOL.V44N2-2022002>
- Quishpe, M., & Guanolusia, M. (2016). *PROPUESTA DE PLAN ESTRATÉGICO PARA LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO CUCUPURO DE LA PARROQUIA DE EL QUINCHE, CANTÓN QUITO, PROVINCIA DE PICHINCHA, 2016-2020* [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio de tesis de la Universidad Central del Ecuador.

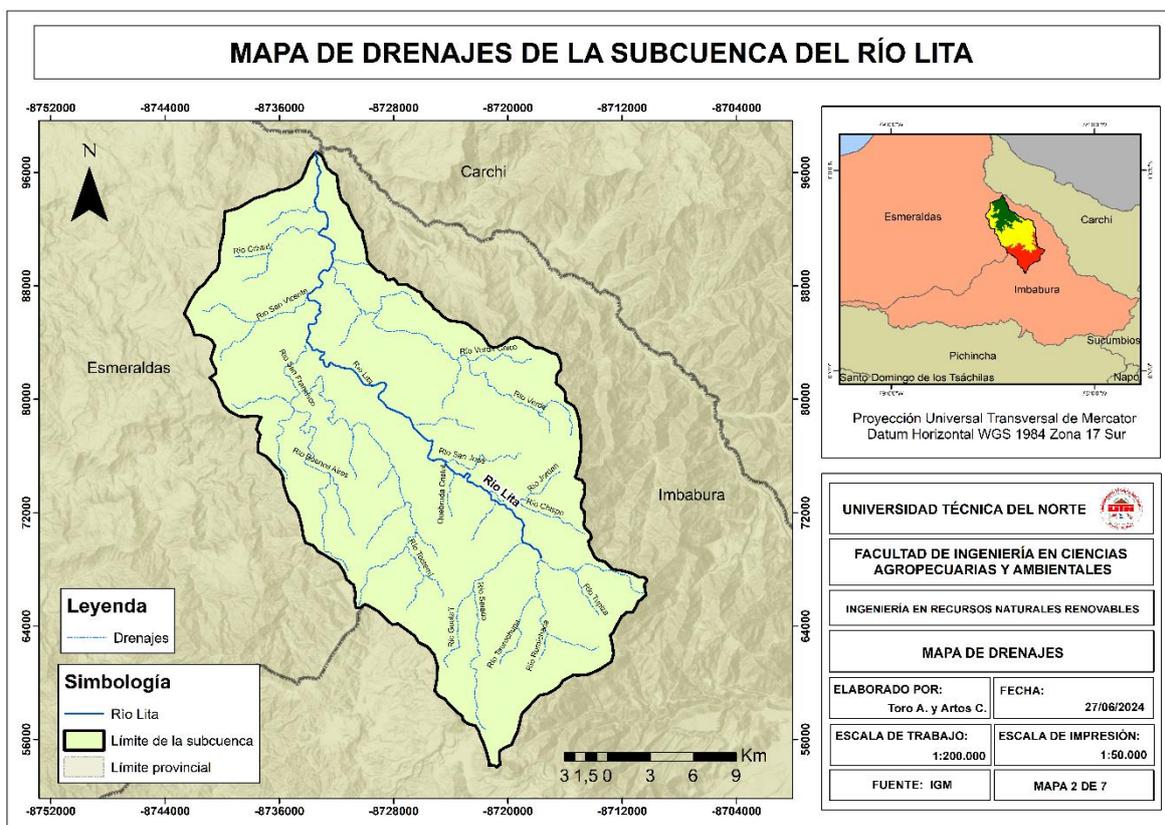
- <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/bb17e31f-4f01-459c-96e6-af17a93996ce>
- Rahamtallah. (2018). *Accuracy Assessment of Land Use Land Cover in Umabdalla Natural Reserved Forest, South Kordofan, Sudan | Request PDF*.
https://www.researchgate.net/publication/323560863_Accuracy_Assessment_of_Land_Use_Land_Cover_in_Umabdalla_Natural_Reserved_Forest_South_Kordofan_Sudan
- Ramos, R., Palma, D., Ortiz- Solorio, C., Ortiz- García, C., & Díaz, G. (2004). Change of Land Use by Means of Geographical Information Systems in a Cacao Region. *Terra Latinoamericana*, 22(3), 267–278.
- Reuter, A. (2006). *NOCIONES DE CARTOGRAFÍA, PROYECCIONES, SISTEMAS DE REFERENCIA Y COORDENADAS EN ARGENTINA* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Santiago del Estero]. Repositorio de tesis de la Universidad Nacional de Santiago del Estero. <http://www.vialidad.gba.gov.ar/documentos/archivos/70-Publicaciones%20y%20Biblioteca/202403111143350.SD-29-Nociones-cartografia-REUTER.pdf>
- Rodríguez-Echeverry, J., Echeverría, C., & Nahuelhual, L. (2015). Impacts of anthropogenic land-use change on populations of the Endangered Patagonian cypress *Fitzroya cupressoides* in southern Chile: Implications for its conservation. *ORYX*, 49(3), 447–452. <https://doi.org/10.1017/S0030605314000945>
- Romero, F. S. (2006). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Revista AquaTIC*, N^o, 24, 13–41.
<http://www.revistaaquatic.com/aquatic/art.asp?t=p&c=196>
- Saaty, T., & Vargas, L. (2006). *Decision making with the analytic network process. Economic, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks*.
- Sahagún, & Reyes. (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
- Salazar, J. (2015). *Factores del cambio de uso de suelo (1986-2010) en la Cooperativa Pío Jaramillo Alvarado, cantón Nangaritza, provincia de Zamora Chinchipe: aportes para la gestión ambiental en regiones de alta biodiversidad*.
- Sandoval-Guillén, P., Yáñez-Moreta, P., Sandoval-Guillén, P., & Yáñez-Moreta, P. (2019). Aspectos biológicos y ecológicos del oso de anteojos (*Tremarctos Ornatus*, Ursidae) en la zona andina de Ecuador y perspectivas para su conservación bajo el enfoque de especies paisaje. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de La Vida*, 30(2), 19–27.
<https://doi.org/10.17163/LGR.N30.2019.02>
- Sarmiento, A., & Torres, L. (2011). *PROPUESTA PARTICIPATIVA PARA REPOBLACION FORESTAL EN EL CANTON URCUQUI* [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio de tesis de la Universidad Técnica del Norte.
<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1998/1/03%20FOR%20199%20TESIS%20.pdf>
- Sarria. (2006). *Sistemas de Información Geográfica*.
- Secretaría Nacional de Planificación. (2024). *Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 – Secretaría Nacional de Planificación*. <https://www.planificacion.gob.ec/plan-de-creacion-de-oportunidades-2021-2025/>
- Shao, G., & Wu, J. (2008). On the accuracy of landscape pattern analysis using remote sensing data. *Landscape Ecology*, 23(5), 505–511. <https://doi.org/10.1007/S10980-008-9215-X>
- SolGold. (2019). *Annual Report For the year ended 30 June 2019*.

- Tang, Z., Engel, B. A., Pijanowski, B. C., & Lim, K. J. (2005). Forecasting land use change and its environmental impact at a watershed scale. *Journal of Environmental Management*, 76(1), 35–45. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2005.01.006>
- Tarras-Wahlberg, N. H., Flachier, A., Lane, S. N., & Sangfors, O. (2001). Environmental impacts and metal exposure of aquatic ecosystems in rivers contaminated by small scale gold mining: The Puyango River basin, southern Ecuador. *Science of the Total Environment*, 278(1–3), 239–261. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)00655-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)00655-6)
- Tempfli, K., Huurneman, G. C., Bakker, W., & Janssen, L. L. F. (2009). (PDF) *Principles of remote sensing : an introductory textbook*. https://www.researchgate.net/publication/233793398_Principles_of_remote_sensing_an_introduitory_textbook
- Trucíos, R., Rivera, M., Delgado, G., Estrada, J., & Cerano, J. (2013). *Análisis sobre cambio de uso de suelo en dos escalas de trabajo*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792013000500339
- Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., & Ortiz, L. (2019). *Cuencas Hidrográficas*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Viteri-Salazar, O., & Toledo, L. (2020). The expansion of the agricultural frontier in the northern Amazon region of Ecuador, 2000–2011: Process, causes, and impact. *Land Use Policy*, 99. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104986>
- Walter, M., Latorre Tomás, S., Munda, G., & Larrea, C. (2016). A social multi-criteria evaluation approach to assess extractive and non-extractive scenarios in Ecuador: Intag case study. *Land Use Policy*, 57, 444–458. <https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2016.05.030>
- Watson, J. E. M., Evans, T., Venter, O., Williams, B., Tulloch, A., Stewart, C., Thompson, I., Ray, J. C., Murray, K., Salazar, A., McAlpine, C., Potapov, P., Walston, J., Robinson, J. G., Painter, M., Wilkie, D., Filardi, C., Laurance, W. F., Houghton, R. A., ... Lindenmayer, D. (2018). The exceptional value of intact forest ecosystems. *Nature Ecology and Evolution*, 2(4), 599–610. <https://doi.org/10.1038/S41559-018-0490-X>
- Yu, X. J., & Ng, C. N. (2007). Spatial and temporal dynamics of urban sprawl along two urban–rural transects: A case study of Guangzhou, China. *Landscape and Urban Planning*, 79(1), 96–109. <https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2006.03.008>

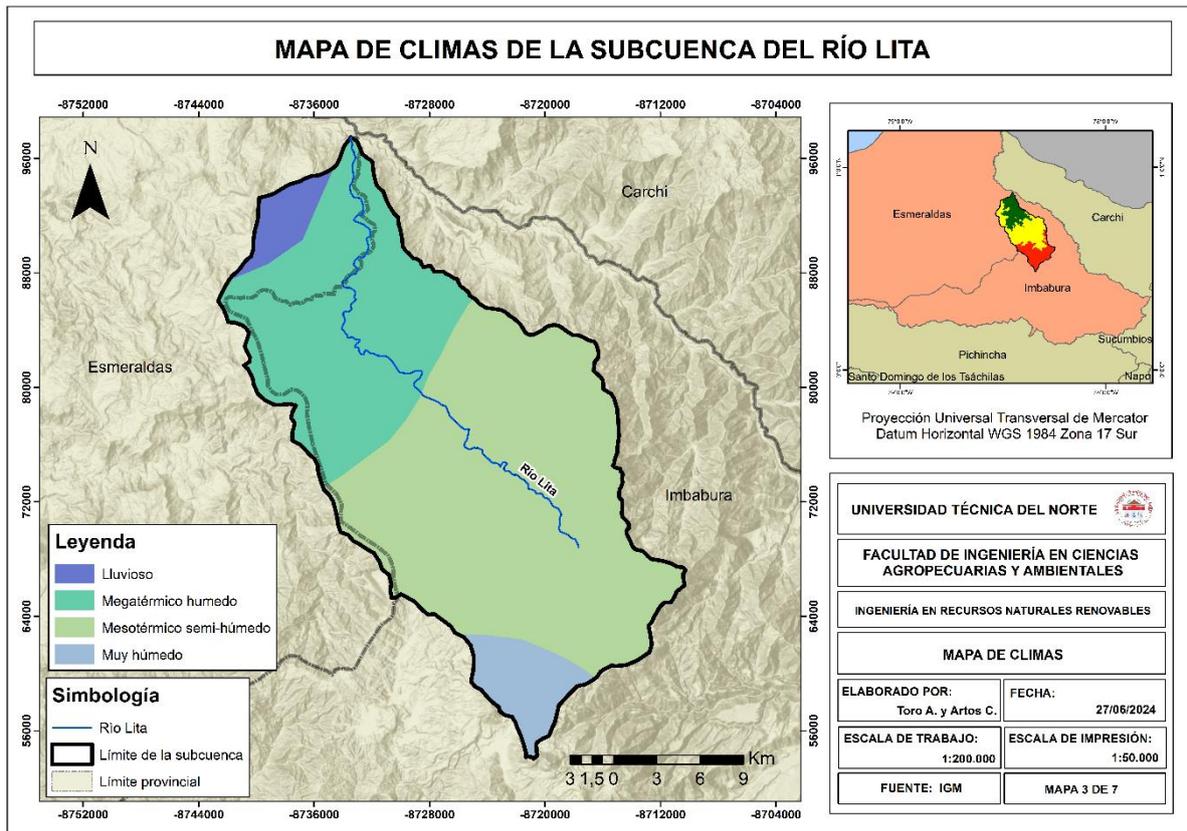
ANEXOS



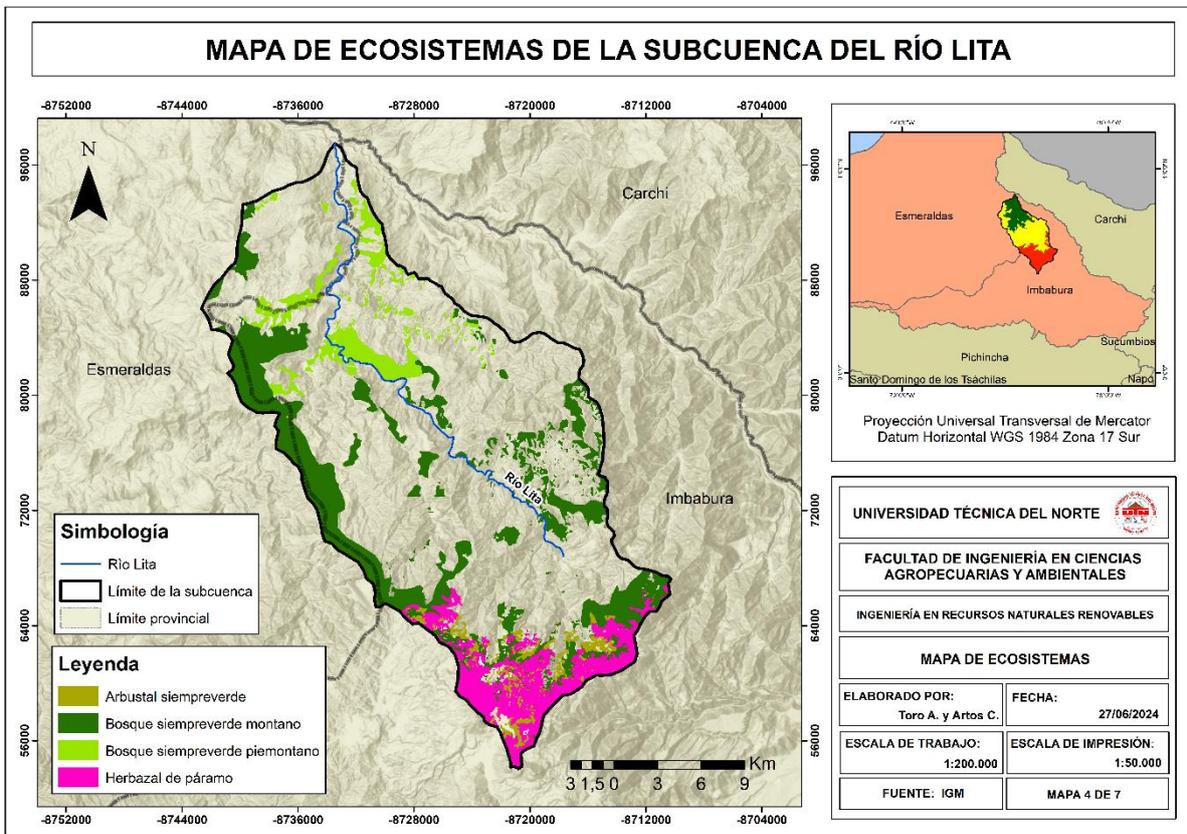
Anexo 1. Mapa de ubicación de la subcuenca del río Lita



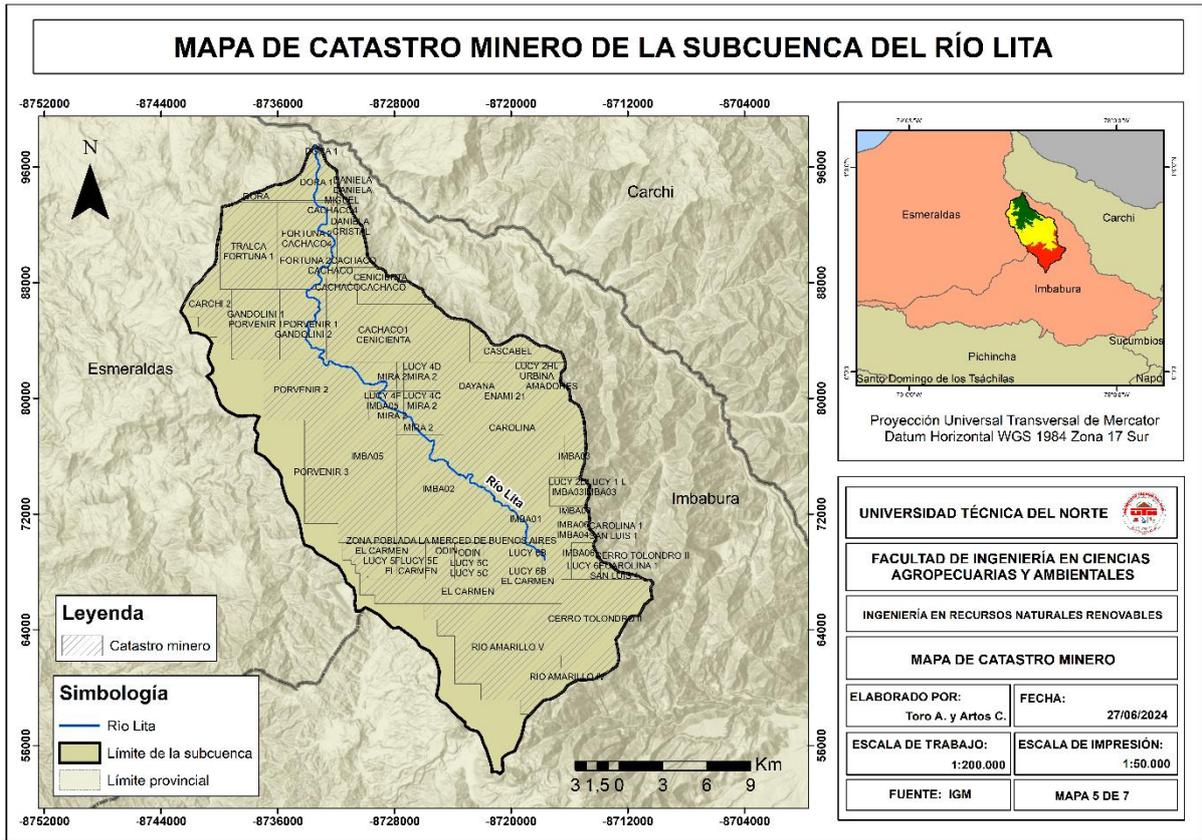
Anexo 2. Mapa de drenajes de la subcuenca del río Lita



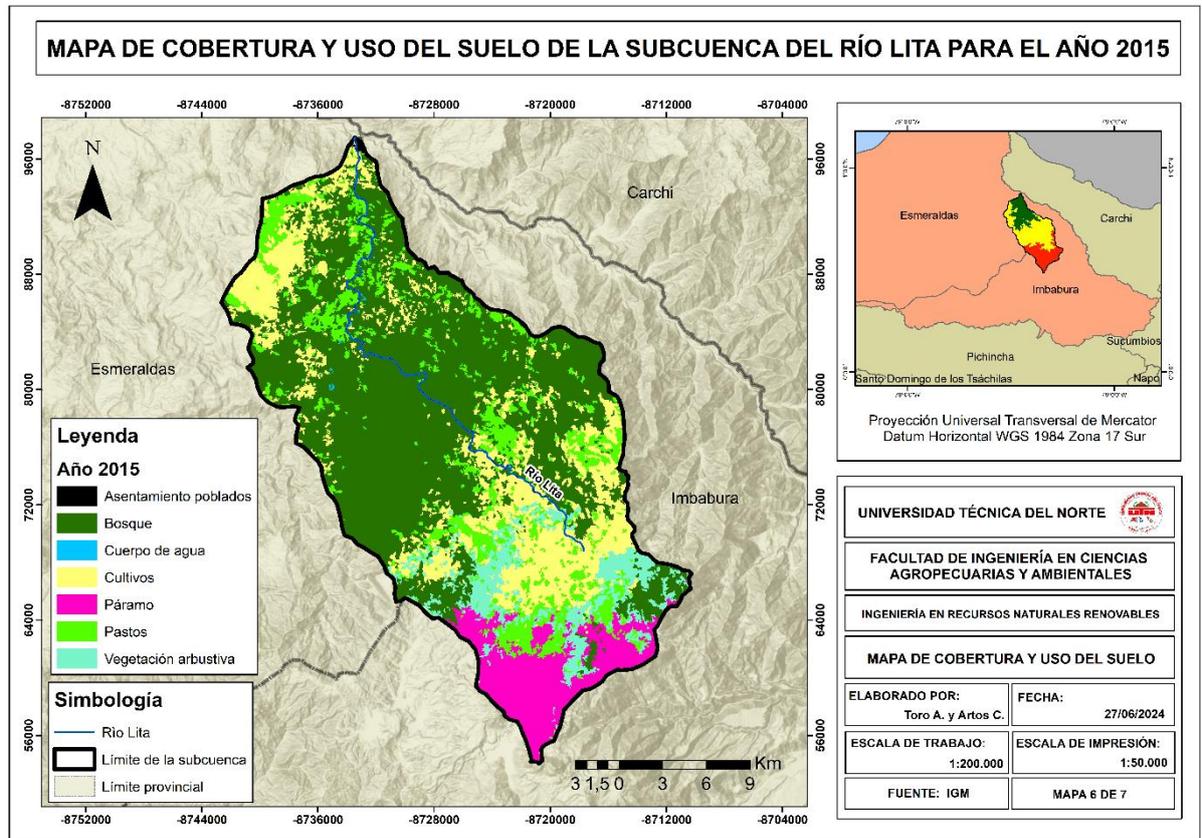
Anexo 3. Mapa de climas de la subcuenca del río Lita



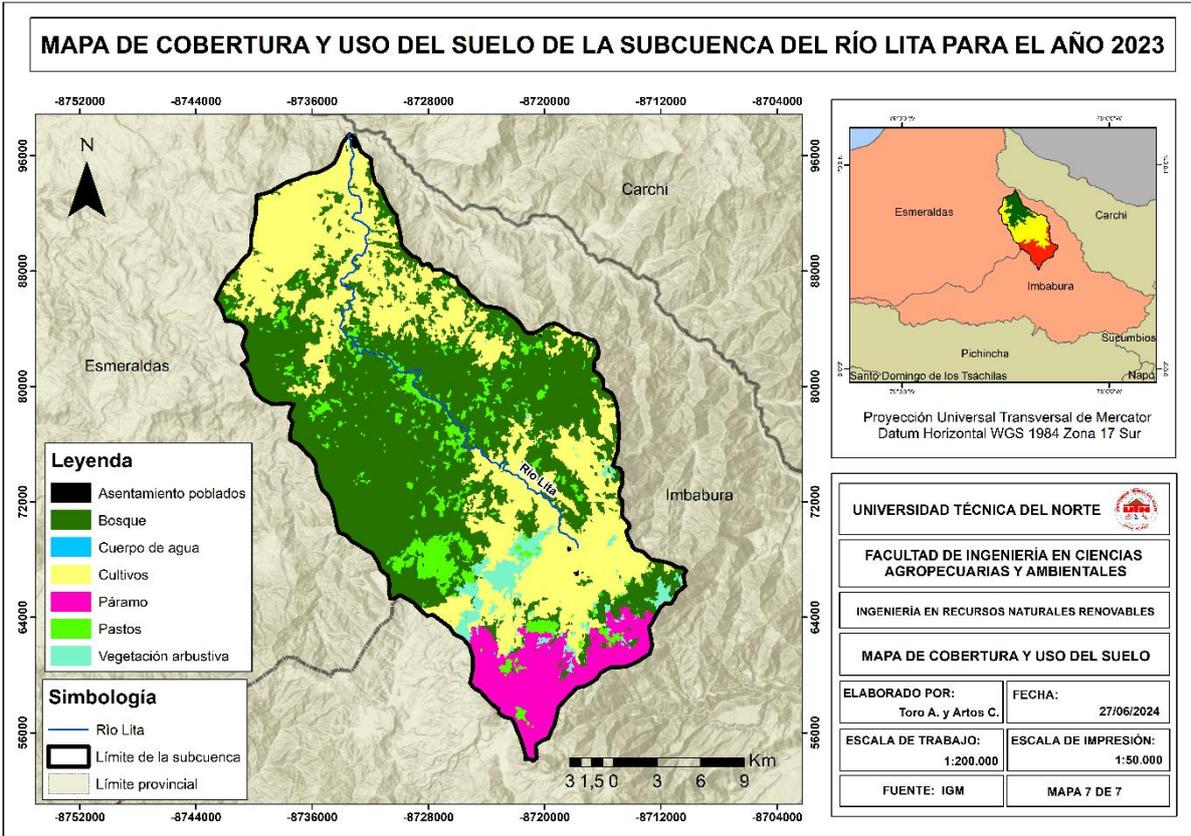
Anexo 4. Mapa de ecosistemas de la subcuenca del río Lita



Anexo 5. Mapa de concesiones mineras presentes en la subcuenca del río Lita



Anexo 6. Mapa de cobertura y uso de suelo de la subcuenca del río Lita para el año 2015



Anexo 7. Mapa de cobertura y uso de suelo de la subcuenca del río Lita para el año 2023