UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

"EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO AMBI, IMBABURA"

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables

Línea de investigación: Biotecnología, energía y recursos naturales renovables

AUTOR:

Andrew Stefano Ruiz Esparza

DIRECTOR:

MSc. Oscar Armando Rosales Enríquez

Ibarra – Ecuador 2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Ruiz Esparza Andrew Stefano

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO AMBI, IMBABURA"
AUTOR (ES):	Ruiz Esparza Andrew Stefano
FECHA:	21/07/2026
PROGRAMA:	☒ PREGRADO ☐ POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR	MSc. Oscar Armando Rosales Enríquez
ASESOR	MSc. Jairo Santiago Cabrera García

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 21 días del mes de julio de 2026

EL AUTOR:



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
ANDREW STEFANO RUIZ ESPARZA

……

Andrew Stefano Ruiz Esparza

100507462-8

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente que el presente trabajo fue desarrollado por el señor Ruiz Esparza Andrew Stefano, con cédula de identidad Nro. 100507462-8, bajo mi supervisión en calidad de director.



MSc. Oscar Armando Rosales Enríquez
DIRECTOR

AGRADECIMIENTO

A Dios, por bendecirme en cada etapa de mi vida, darme fortaleza en los momentos más difíciles y concederme la sabiduría, perseverancia y salud necesaria para culminar esta investigación.

A la Virgencita del Cisne la guía de mi camino, brindarme protección y renovar mi esperanza cuando las dificultades parecían superar mis fuerzas.

A mi madre por ser mi motor en los momentos más difíciles, siempre brindándome su confianza a pesar de todo siempre fue la que me impulso a seguir avanzando y nunca me dejo solo, dispuesta ayudarme en lo que necesitaba y jamás soltarme la mano cuando más la necesite y siempre con la seguridad que lo lograría.

A mi director MSc. Oscar Rosales que brindándome su tiempo y su conocimiento siempre estuvo dispuesto ayudarme cundo lo necesitaba desde los inicios de proyectos hasta el final. De igual manera a mi asesor MSc. Santiago Cabrera por compartir su conocimiento y su apoyo en cada momento de la carrera y cuando más lo necesite siempre estuvo para darme consejos para seguir avanzando en cada proyecto.

Quiero extender mis agradecimientos a unas de las personas más importantes en mi formación universitaria al PhD. Paúl Arias quien fue clave en toda esta investigación, a través de su orientación brindada fue importante para poder completar este logro y por lo excelente docente que con sus clases siempre fueron de gran ayuda para comprender mejor todo lo que con lleva la carrera de Recursos Naturales Renovables.

A la ingeniera Fernanda Herrera quien fue un apoyo siempre en la carrera acogiéndome en el laboratorio de Geomática las tardes de incertidumbre en los proyectos, siempre dispuesta a colaborarme en la elaboración de mapas y que salieran de la mejor manera.

Finalmente, agradezco a la Universidad Técnica del Norte y a todos sus docentes, quienes contribuyeron con mi formación, valores y conocimientos al desarrollo de mi carrera profesional. Cada experiencia vivida en esta institución fue esencial para alcanzar este importante logro.

Andrew Stefano Ruiz Esparza

DEDICATORIA

A Dios quien fue el principal en guiarme y darme la sabiduría en toda mi formación universitaria y quien me lleno de bendiciones para que esta etapa culmine de la mejor manera.

A la Virgencita del Cisne la guía de mi camino, la que renovó mis esperanzas cuando las dificultades parecían superar mis fuerzas, a través de su bendición que todo saldría mejor.

A mi mamá Mayra quien fue la que me apoyo desde el primer momento confió en mí que lo iba a lograr, siendo mi pilar fundamental cuando todo se veía oscuro a través de sus consejos, me enseñó a ser la persona que soy hoy en día este logro es para ti mamita querida, porque siempre dijiste que iba a ser un Ingeniero y lo logre gracias a ti que nunca me soltaste la mano incluso cuando yo ya no veía otras opciones, te quedaste y me ayudaste te amo mucha mamita.

A mi Abuelita Blanquita mi compañera de toda la vida me sobra las palabras para agradecerte como eres conmigo, mi segunda mamá te amo mucho, te quiero decir que tu nieto lo logró, siéntete orgullosa abuelita que este logro es por ti, la que desde niño me motivo a ser un profesional y nunca dejar atrás los estudios.

A mis tíos (Edith E., Franklin, Alvaro, Edith R.) y primos (Dany, Alex, Omar, Dylan) que nunca me dejaron y siempre me motivaron a que siga cumpliendo mi sueño a pesar de todo, siempre me acompañaron.

A mi Karencita que siempre estuvo a pesar de mis enojos, tristezas me acompañaba en esas noches de incertidumbre cuando se veía difícil siempre estuvo para mí, en las salidas de campo siendo mi fotógrafa nunca se negó en ayudarme en todo este proceso siempre te llevo en mi corazón.

A mis amigos de toda la vida Erick, Juan Pablo, Mateo, Diana, mis hermanos que siempre estuvieron cuando los necesite, esto es parte de ustedes cuando ya no veía salida sabia que podía confiar en ustedes y nunca me defraudarían, les agradezco por cada consejo que les pedía sin importar la hora ustedes estaban ahí a pesar de todo siempre serán mis reales.

A mis muchachos (+) Anthony, Jhoan, fueron los responsables que la Universidad se convierta en un espacio de risas, compañerismo y familia, son los mejores. (+)Anthony mi hermanito te puedo decir que lo logré, pero sé que desde el cielo estas orgulloso de que lo que tanto lo pensamos se hizo realidad, un abrazo hasta el cielo hermanito te

quiero demasiado, me haces mucha falta, pero sé que en todo este trayecto te tuve cerca y siempre apoyándome te llevo siempre en mi corazón

Jhoan mi hermano, esta tesis también fue tuya a pesar de todo siempre estuviste cuando más te necesite, al que le pedía un favor y nunca me negó, me apoyaste hasta en los peores momentos cuando se veía gris, me ayudabas a buscar la salida para que todo saliera de la mejor manera, y los sigues haciendo gracias hermanito

A mis compañeros de inglés (Vale, David, Daniel). Gracias por brindarme su amistad y darme un poco de su tiempo para conocerlos mejor esto también es de ustedes y siempre los llevare en mi corazón.

Al resto de amigos que hice en la Universidad les agradezco por siempre sacarme una sonrisa, gracias por compartir conmigo esta etapa llena de aprendizaje y experiencias inolvidables, siempre los llevare conmigo.

A la Universidad Técnica del Norte por abrirme las puertas y brindarme una formación académica de calidad, basada en el conocimiento, ética y valores.

Andrew Stefano Ruiz Esparza

ÍNDICE DE CONTENIDO

ABSTRACT vii

1. INTRODUCCIÓN 1

1.1. Revisión de antecedentes 3

1.2. Problema de investigación y justificación 9

1.3. Objetivos 11

1.3.1. Objetivo general 11

1.3.2. Objetivos específicos 11

1.4. Pregunta directriz de la investigación 12

1.5. Hipótesis 12

2. MARCO TEÓRICO 13

2.1. Cuenca hidrográfica 13

2.2. Suelo 13

2.3. Erosión o pérdida del suelo 14

2.3.1. Erosión hídrica 15

2.4. Factores que intervienen en el proceso de erosión hídrica 17

2.5. Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE) 18

2.6. Marco legal 18

3. MARCO METODOLÓGICO 20

3.1. Área de estudio 20

3.2. Morfometría de la cuenca hidrográfica del río Ambi 21

3.3. Metodología..... 22

3.3.1. Método de la investigación 22

3.3.2. Nivel de investigación..... 23

3.3.3. Caracterización de las principales variables biofísicas, climática (E1)……..24

3.3.4. Cuantificación la erosión hídrica en la cuenca del río Ambi (E2) 24

3.3.4.1. Factor de erosividad de la precipitación (R) 25

3.3.4.2. Factor de erodabilidad del suelo (K)..... 26

3.3.5. Simulación de la erosión hídrica aplicando el modelo RUSLE 30

3.3.7. Planteamiento de estrategias de manejo de recurso suelo(E3)..... 33

3.4. Materiales y equipos..... 34

4. RESULTADOS 35

4.1. Caracterización biofísica y climática de la cuenca del río Ambi 35

4.3. Erosión hídrica..... 38

4.4. Validación de la erosión hídrica mediante sedimentos en suspensión 39

4.5. Conflictos de uso del suelo..... 42

4.6. Clases agrológicas de la cuenca del río Ambi 43

4.7. Uso potencial del suelo en la cuenca del río Ambi..... 44

4.8. Cuantificación de los factores que predominan en el fenómeno de la erosión hídrica del río Ambi 45

4.8.1. Planteamiento de las estrategias 46

5. DISCUSIÓN 50

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 52

Bibliografía 54

Anexos 62

Anexo 1.-Análisis de las muestras de agua 62

Anexo 2.-Recolección de las muestras de suelo 62

Anexo 3.- Matriz de confusión y coeficiente Kappa 63

Anexo 4.- Mapa de isotermas del río Ambi 64

Anexo 5.- Mapa de texturas del río Ambi 64

Anexo 6.- Mapa de pendientes del río Ambi 65

Anexo 7.- Distribución espacial del Factor R 65

Anexo 8.- Distribución espacial del Factor K 66

Anexo 9.- Distribución espacial del Factor LS 66

Anexo 10.- Distribución espacial del Factor C 67

Anexo 11.- Distribución espacial de la erosión hídrica 68

Anexo 12.- Distribución de las clases agrológicas de la microcuenca 68

Anexo 13.- Distribución espacial de conflictos del río Ambi 69

Anexo 14.- Estrategias de conservación para la zona moderada 70

Anexo 15.- Estrategias de conservación para la zona alta 70

Anexo 16.- Resultados del Laboratorio LABONORT 71

Índice de Tablas

Tabla 1. Tipos de erosión hídrica y sus principales características….....17

Tabla 2. Factores que intervienen en el proceso de erosión hídrica.....17

Tabla 3. Fundamentación legal de la investigación.....18

Tabla 4. Parámetros morfométricos del río Ambi.....21

Tabla 5. Parámetros del relieve.....,,,,.....22

Tabla 6. Parámetros del hidrológicos.....22

Tabla 7. Factores del modelo RUSLE.....25

Tabla 8. Materiales y equipos.....33

Tabla 9. Comparación entre el rendimiento de sedimentos observado y simulado para la cuenca del río Ambi 40

Tabla 10. Comparación entre los sedimento observados y simulados de las microcuencas del río Ambi.....40

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca del río Ambi 20

Figura 2. Delimitación de la cuecna del río Ambi y sus microcuencas.....31

Figura 3. Mapa de variables climáticas del río Ambi..... 35

Figura 4. Mapa de factores R, K, L, S, y C del río Ambi..... 38

Figura 5. Mapa de erosión hídrica..... 39

Figura 6. Mapa de conflictos del río Ambi..... 43

Figura 7. Mapa de clases agrologicas del río Ambi 44

Figura 8. Mapa de uso potencial del río Ambi 45

Figura 9. Estrategias para la zona de erosión moderada….....45

Figura 10. Estrategias para la zona de erosión alta …….....46

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Ambi, provincia de Imbabura, mediante la aplicación del modelo de pérdida de suelo revisado universal (RUSLE) integrado con herramientas de sistemas de información geográfica. Para la estimación se consideraron los factores asociados a la erosividad de la lluvia (R), erodabilidad del suelo (K), longitud e inclinación de la pendiente (LS), cobertura vegetal (C) y prácticas de manejo (P), generando una representación espacial de la distribución del proceso erosivo. Los resultados permitieron identificar una mutabilidad espacial de las tasas de pérdida de suelo, especialmente en zonas localizadas con pendientes elevadas, menor cobertura vegetal y la existencia de actividades agropecuarias. La pérdida de suelo por erosión hídrica en promedio de 4,93 ton/ha/año refleja una condición de erosión moderada en la cuenca, no obstante, cabe mencionar que existieron zonas con mayor susceptibilidad, la validación presento un porcentaje de un sesgo mediante el (PBIAS) de –24,81% lo que indica que hay una tendencia a sobreestimar los datos, lo que demuestra una del modelo en donde la degradación del recurso edáfico puede alterar la sostenibilidad ambiental y productiva. La composición de un modelo RUSLE con información geoespacial pudo establecer zonas prioritarias para la implementación de estrategias de conservación para disminuir la pérdida de suelo y fortificar la planificación territorial dentro de las zonas que tienen mayor susceptibilidad a una erosión.

Palabras clave: Cuenca hidrográfica, Erosión hídrica; pérdida de suelo; modelo RUSLE.

ABSTRACT

The objective of this study was to assess soil loss due to water erosion in the Ambi River watershed, Imbabura Province, by applying the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) model integrated with geographic information system (GIS) tools. The estimation took into account factors associated with rainfall erosivity, soil erodibility, slope length and steepness, vegetation cover, and land management practices, generating a spatial representation of the distribution of the erosion process. The results revealed spatial variability in soil loss rates, particularly in localized areas with steep slopes, lower vegetation cover, and agricultural and livestock activities. The observed loss values indicate moderate erosion in the watershed; however, it is worth noting that there were areas with higher susceptibility, the validation showed a bias percentage (PBIAS) of -24,81%, indicating a tendency to overestimate the data, where soil degradation could compromise environmental and productive sustainability. The development of a RUSLE model using geospatial data made it possible to identify priority areas for implementing conservation strategies to reduce soil loss and strengthen land-use planning.

Keywords: Watershed, Water erosion; soil loss; RUSLE model.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La degradación del suelo por efecto de la erosión hídrica responde fundamentalmente a la acción de las gotas que provienen de la lluvia sobre espacios descubiertos de vegetación, lo que ocasiona uno de los impactos que más inciden en la declinación de los suelos, hecho que se produce en grandes dimensiones. Diversos autores indican que, para obtener una mejor apreciación de la segregación de suelo por erosión hídrica, se han formulado mejoras en el diseño; por lo general, la ecuación validada a nivel mundial de pérdida de suelo USLE, modificada y adaptada para conseguir un modelo empírico y aceptado por más de 30 años (Perales, 2019).

La erosión hídrica, del mismo modo, se considera uno de los principales procesos de degradación del suelo a nivel mundial y representa una de las amenazas más significativas para la sostenibilidad de los ecosistemas, la productividad agrícola y la seguridad alimentaria. Ante ello, se considera que la erosión es un fenómeno que ocurre cuando las partículas del suelo son desprendidas, transportadas y depositadas por la acción del impacto, ya sea de los recursos hídricos o de la acción eólica (Quinton y Fiener, 2024).

La erosión hídrica es considerada un proceso en el que se genera la liberación, desplazamiento y acumulación de sedimentos y partículas del suelo por efecto de factores con potencial erosivo como la energía que se genera por el movimiento de las gotas de lluvia, el agua que escurre por acción de la gravedad; ocasionando la degeneración de los suelos porque desaparece el suelo en su superficie en ocasiones hasta desproteger la roca madre, lo que origina en su totalidad una de las maneras más impactantes de degradar los

suelos porque conlleva la pérdida de las condiciones físicas, químicas y biológicas de este recurso (Jaya, 2023). Las principales razones de la pérdida del suelo a escala mundial se deben a la erosión hídrica en un 56 %, seguida de la erosión eólica con el 26 % (Berrocal, 2024).

Este tipo de erosión comprende varias fases como la disgregación, conducción y acopio de partículas o fragmentos del suelo por efecto de la lluvia y el agua que escurre de forma superficial. Para realizar la estimación de la erosión se realiza una serie de métodos que pueden establecer una proyección, que son empleadas como estrategias que admiten la valoración a través de un parámetro cuantitativo el gradiente de erosión que se esté desarrollando y las probabilidades de manejo para mitigar su acción (Molina et al., (2021).

La aceleración de los procesos erosivos se encuentra relacionada con las actividades antrópicas tales como la deforestación, la expansión de los campos hacia las actividades agrícolas, sobrepastoreo y los cambios inadecuados en el uso del suelo (Lal, 2020). Las cuales generan una vulnerabilidad de las superficies terrestres frente a la acción erosiva del agua, generando pérdidas de los nutrientes del suelo, de la materia orgánica y de su capacidad de producir alimentos (FAO, 2024).

A escala mundial, se entiende que la erosión hídrica es uno de los desafíos ambientales de mayor interés en la actualidad, su gestión debe ser sostenible para su recuperación y utilización. En diversos estudios se ha mostrado que los cambios climáticos podrían aumentar entre un 30 % y un 66 % las tasas de erosión por agua debido a la intensificación de los eventos de precipitación extrema y a las modificaciones en el uso del suelo (Sartori et al., 2024).

En investigaciones se han realizado diferentes métodos para valorar la pérdida de suelo, entre ellos métodos físicos y empíricos; uno de los más conocidos es la ecuación

universal revisada de pérdida del suelo, conocida como RUSLE (Borrelli et al., 2021). La que se ha consolidado como una de las herramientas más utilizadas a nivel internacional para estimar la erosión de un determinado sector; con la combinación de los sistemas de información geográfica y técnicas de teledetección se ha permitido mejorar la precisión espacial de los estudios sobre la erosión, facilitando la detección de las zonas críticas y con ello la planificación y estrategias de manejo sostenible del territorio (Ghosh et al., 2023).

Ante lo mencionado, la evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Ambi, resulta fundamental para la comprensión de la dinámica espacial del fenómeno y con ello generar información técnica que contribuya a la conservación de los recursos naturales. De igual forma, la identificación de las áreas con mayor susceptibilidad erosiva permitirá orientar acciones de manejo y conservación del suelo favoreciendo la sostenibilidad ambiental.

1.1. Revisión de antecedentes

Según Castro-Villarreal et al. (2025), en su estudio tuvieron como objetivo determinar la pérdida de suelo por erosión hídrica en la subcuenca del río Estibaná (Panamá) por medio de la ejecución de parcelas de erosión. La metodología empleada consistió en parcelas de erosión, con un DBCA, en el cual se diseñaron 3 tratamientos, con 3 repeticiones, donde se estableció el escurrimiento total y el volumen de sedimentos movilizados, se desarrolló un análisis de varianza. Los resultados obtenidos evidenciaron que la erosión fue afectada por la pendiente, la cubierta vegetal del suelo y la precipitación. En conclusión, las principales causas de la erosión del suelo dentro de la subcuenca del río Estibaná (Panamá) se generaron por la variación de periodicidad, ímpetu y permanencia de las precipitaciones. Es importante resaltar que las tareas de

conservación del suelo pueden disminuir considerablemente los impactos erosivos de la escorrentía superficial.

De la misma manera, Montesinos y Villena (2024) en su investigación tuvieron como propósito valorar la pérdida de suelo debido a la erosión hídrica en la subcuenca del río Ocros, en la región Áncash, Perú. La metodología empleada fue a través del modelo RUSLE y de la información de los portales GEO GPS PERÚ, en los cuales se dispuso de 7 estaciones meteorológicas donde se compilaron los datos de precipitación mensual desde 1981 hasta 2023, generados por SENAMHI HSR PISCO. El enfoque fue cuantitativo, con técnicas descriptivas y correlacionales donde se analizaron la erosividad, erodabilidad y algunos elementos que inciden en el desarrollo de la erosión. Los resultados obtenidos indicaron que la erosión hídrica alcanzó valores que oscilaron entre 6,65 y 183 (ton/ha/año), calificada como erosión alta; de igual manera, se afirmó que solo el 3,13 % del área de influencia presentó erosión fuerte.

De acuerdo con Berrocal (2024) en su investigación tuvo el propósito de estimar la pérdida de suelo anual en la cuenca del río Aguaquirí (Perú). La metodología empleada fue por medio de RUSLE, utilizando SIG de la zonal e imágenes satelitales, acompañada del software QGIS 3.22, SAGA-GIS y RStudio, identificando las zonas prioritarias en la cuenca más deterioradas por la erosión hídrica. Los resultados obtenidos indicaron que la superficie de la cuenca está abarcada en su mayoría por suelos impactados por erosión alta, extendiéndose a 4885,49 ha, lo que representa el 53,68 % del área de estudio. En conclusión, se plantean estrategias de uso y manejo de los suelos destacando las áreas más vulnerables con el propósito de mitigar los márgenes de erosión en la cuenca.

Calderón Cárdenas, Vizcarra Soto y Román Arce (2024) realizaron un estudio que tuvo como propósito modelar la pérdida de suelo en la cuenca del río Caplina (Perú). Se usó la metodología del Ecuación USLE integrada con herramientas de SIG, considerando

elementos como erosión, intensidad de lluvias, vulnerabilidad del suelo, inclinación de la superficie, tipo de vegetación y prácticas agrícolas en la zona. Los mismos permitieron obtener hallazgos reales, mismos que revelaron que más del 50 % del área de estudio presenta niveles bajos de deterioro, sin embargo, las áreas con pendientes y con poca vegetación muestran los niveles más críticos en términos de pérdida de suelo. La conclusión obtenida de esta investigación enfatiza la importancia de implementar sistemas de monitoreo constantes y técnicas de preservación del suelo que contribuyan a la disminución de la pérdida del suelo y de esta manera, aseguren la gestión adecuada del recurso.

Rodríguez y Carvajal (2024) desarrollaron la investigación cuyo propósito fue analizar el riesgo de erosión hídrica en la cuenca del río Ambi. Mediante la implementación de un modelo hidrológico y geomorfológico, el cual permitiera plantear acciones concretas para la gestión sostenible del suelo, se recopilaron valores relacionados con la precipitación, la pendiente del terreno, el uso del suelo, su textura y estructura. Con esas variables se aplicó el modelo RUSLE. Los resultados proporcionados por el modelo fueron un valor promedio de erosión de 29 ton/ha/año, lo que sitúa a la cuenca dentro de la categoría de erosión media según los criterios establecidos por la FAO, con estos resultados se plantearon estrategias orientadas a la protección del recurso suelo, tales como la reforestación, el manejo adecuado del uso del suelo y programas de formación en el área ambiental, orientado a los cantones que integran la cuenca del río Ambi.

De acuerdo con Arias-Muñoz et al. (2023) tuvieron como objetivo cuantificar y conocer la distribución espacial de la erosión hídrica en las diferentes coberturas de suelo en la cuenca media-alta del río Mira en Ecuador. La metodología empleada fue el modelo RUSLE en el entorno de SIG. Los resultados obtenidos indicaron que la erosión fluctúa

entre 0 y 812,30 ton/ha/año y su erosión promedio es 32,79 ton/ha/año; las áreas con cubierta vegetal boscoso y de páramo registraron menor incidencia de la erosión. En conclusión, los espacios sin cubierta vegetal fueron más vulnerables a las altas tasas de erosión, por ende, se sugiere el desarrollo de métodos para el manejo del uso de suelos en la cuenca hidrográfica.

En otro estudio, Filchev y Kolev (2023) analizaron a detalle los enfoques y modelos utilizados para estimar el peligro de desgaste del suelo, destacando la importancia de las ciencias geoespaciales y la teledetección en este campo. El estudio exploró los SIG que han contribuido a la aplicación de modelos reconocidos, entre ellos la USLE, su versión revisada, RUSLE. Se concluye que el avance en el uso de tecnologías geoespaciales ha permitido una evaluación más precisa y eficiente del riesgo de erosión, facilitando una mejor comprensión del fenómeno y contribuyendo a la creación de estrategias que aporten a la conservación del suelo.

Casanova, Delgado y Panchana, (2023) realizaron una investigación cuyo objetivo fue valorar la masa de sedimentos presentes en las cuencas hidrográficas de la provincia de Manabí. La metodología usada fue a través de la aplicación del modelo RUSLE, en donde se consideraron valores empíricos de densidad aparente, se usó una metodología integral que permitiera analizar varias cuencas mediante el uso de imágenes satelitales durante los años 2001 y 2020. Los resultados obtenidos de esta investigación proporcionaron los siguientes datos: erosión con valores de 0,10 a 3200 ton/ha por año, implicando la generación de sedimentos de 0,06 a 690 m^3/año. Estos resultados aportan una base sólida, que contribuye a la conformación de medidas de acción proyectadas a la mitigación de la erosión del suelo.

Jaya (2023), en su investigación, analizó los niveles de erosión hídrica en una microcuenca tropical, calculados mediante el modelo USLE y con el apoyo de

herramientas de SIG. Se realizó una evaluación de los márgenes de pérdida en la microcuenca del río Muchacho (Ecuador). Con ello, los resultados mostraron que a pérdida promedio de los suelos fue de 74,4 ton/ha/año, indicando una erosión alta; mientras que las áreas ubicadas en la parte alta de la microcuenca presentaron valores de 25 ton/ha/año. De esta manera se comprendió que la mejor manera es la dinámica erosiva de la microcuenca y reforzar los requerimientos para la prevención de la pérdida de recursos edáficos.

Asimismo, Condori et al. (2022), en su estudio, tuvieron como propósito determinar la erosión hídrica en la subcuenca Cairani-Camilaca del río Locumba (Perú). La metodología empleada fue por medio del modelo EUPS, ecuación universal de pérdida de suelos, vinculado con el sistema de información geográfica. Los resultados obtenidos evidenciaron la tasa de erosión moderada en el 68,56 % del área de estudio y el estudio e identificación de los espacios vulnerables están representados en información cartográfica de los procesos erosivos.

Troya y Villareal (2021) el estudio se centró en analizar la variación de la erosión hídrica en la parte media y alta de la cuenca del río Mira entre 1996 y 2018, utilizando el modelo SWAT, para el progreso de este se usó fotografías espaciales de tres años distintos, con el fin de identificar modificaciones en la vegetación y el uso del suelo. La estimación de la erosión, complementada con una regresión geográficamente ponderada, reflejó el impacto del esparcimiento agrícola y ganadero. Los resultados mostraron una disminución de áreas naturales como bosque, vegetación arbustiva y páramo. En cambio, en otras zonas se desarrollaron las superficies agrícolas y sin vegetación. Con resultado cuantitativo se presenció una pérdida media de suelo de 34,18 ton/ha/año, con una producción de sedimentos en total de 17 millones en la subcuenca del río Rumichaca.

Delgado (2020), en su investigación, tuvo como objetivo diagnosticar y estimar

la erosión hídrica en la cuenca del río Chillón, por medio de la aplicación del modelo matemático de USLE. La metodología empleada fue a través del SIG, del registro de precipitaciones de 14 estaciones meteorológicas, de datos topográficos del satélite ASTER GDEM, de cobertura vegetal y uso actual de suelos y de la interpretación de imágenes satelitales. Los resultados obtenidos generaron información espacial para realizar las superposiciones de los factores de erosión y del comportamiento de la erosión

Perales (2019) desarrolló una investigación que tuvo como objetivo estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica, aplicando la metodología de la ecuación RUSLE. El método utilizado fue, primeramente, la recolección de las muestras de suelo para calcular el Factor K. Para el Factor C, se estimó por medio de una imagen satelital Sentinel-2 empleando software SIG. El Factor R se generó a través de la información de la precipitación de estaciones meteorológicas del área de influencia. Finalmente, el Factor LS se estableció por medio del modelo de elevación. Los resultados obtenidos evidenciaron que la erosión potencial, sin considerar la cubierta vegetal, en la cuenca presentó el mayor porcentaje con el 61,67 %. En lo que se refiere al método de clavos de erosión, presentó mayor pérdida el pasto de 9718,80 ton/ha/año, considerado como catastrófico. En conclusión, para mitigar el impacto generado por la erosión hídrica se requiere desarrollar un proyecto de reforestación con especies forestales.

Teku y Workie (2025), en un estudio realizado en la cuenca del lago Ziway, Etiopía, tuvieron como objetivo analizar la dinámica espacial y temporal de la erosión hídrica y sus implicaciones para la sostenibilidad agrícola. La metodología usada en el estudio fue el modelo RUSLE mezclado con los sistemas de información geográfica e imágenes satelitales. Con ello, los resultados manifestaron que las áreas agrícolas y pendientes llegan a tener mayores niveles de erosión en comparación con las zonas con cobertura vegetal. Se concluyó que la planificación geográfico y ejecución de prácticas

ayudan a reducir los procesos erosivos de las regiones.

Vega et al. (2025), plantearon como objetivo evaluar la pérdida de suelo por erosión hídrica en las cuencas hidrográficas del Ecuador durante el período 2001-2020. En donde la metodología disponible radicó en la aplicación del modelo RUSLE a través de sistemas de información geográfica y datos satelitales de alta resolución. Los resultados expusieron que la erosividad de la lluvia fue el factor con mayor incidencia para la erosión del suelo. En conclusión, se mostró que la combinación de información geoespacial y modelos predictivos constituye una herramienta eficiente para el monitoreo de los recursos edáficos.

Los antecedentes muestran que los modelos como el USLE, RUSLE y SWAT, más los sistemas de información geográfica sirven para evaluar la erosión hídrica de las cuencas. Los estudios destacan la importancia de identificar áreas críticas y vulnerables a sufrir los efectos de la erosión hídrica y plantear alternativas de optimización del suelo, especialmente en cuencas hidrográficas con características similares a la del río Ambi, Imbabura. La investigación actual puede beneficiarse de estas metodologías y hallazgos para desarrollar un modelo que permita mitigar la erosión hídrica adaptado bajo condiciones específicas de la cuenca del río Ambi, contribuyendo así a la conservación del suelo y la gestión integral de la cuenca.

1.2.Problema de investigación y justificación

La pérdida del suelo simboliza uno de los riesgos más complejos para el bienestar de los ecosistemas, lo que se convierte en un inconveniente social y económico en varios países a nivel mundial; porque modifica el arrastre de sedimentos a condiciones extremas, lo que conlleva a la destrucción de los ecosistemas y la dinámica ecológica de las regiones (Andrade-Carreño et al., (2025).

La erosión del suelo se refiere al menoscabo evolutivo de la superficie del suelo, como producto de los factores ambientales, que se reconoce como un proceso natural; sin embargo, incide negativamente sobre las actividades humanas que no generan sostenibilidad. En los Andes, el efecto del arrastre de sedimentos es un fenómeno que produce especial preocupación, porque está perjudicando aceleradamente la dinámica de las cuencas hidrográficas, en las cuales se origina la pérdida de suelo con propiedades fértiles, reducción del uso agrícola de los suelos, depósito de sedimentos transportados por los ríos, transformación de la calidad del agua y de sus áreas circundantes (Vanacker et al., 2022).

En la cuenca hidrográfica del río Ambi, ubicada en la provincia de Imbabura, se han identificado evidencias crecientes de pérdidas de este recurso por la acción del agua, tales como cárcavas, sedimentación en el río, y disminución de la cobertura vegetal. Estas condiciones se han incrementado de manera significativa debido a las prácticas inadecuadas de uso del suelo, actividades agrícolas no planificadas y urbanización descontrolada en zonas aledañas a la cuenca (Patiño, 2024).

La cuenca hidrográfica del río Ambi, cuenta con diversos bienes y servicios ambientales que generan beneficios a las comunidades; no obstante, los procesos de erosión hídrica y el transporte de sedimentos constituyen una problemática ambiental (Garzón & Garzón, 2024). Los niveles de contaminación que existen y el arrastre de sedimentos tan significativo, ameritan una evaluación de la degradación del suelo por la erosión hídrica del río Ambi, ubicado en la provincia de Imbabura; que permita diseñar estrategias en función de la protección del suelo (Arias et al., 2023).

Es importante mencionar que existen pocos estudios técnicos que puedan cuantificar la dimensión de la erosión hídrica en este río, de tal manera que identifiquen las zonas más propensas a ser erosionadas. Es así que la mayoría de las investigaciones

desarrolladas en el área se han orientado a la valoración de los recursos hídricos y servicios ecosistémicos (Rodríguez & Carvajal, 2024). Ante esta situación, se hace el necesario requerimiento de plantear la siguiente interrogante

¿Cuál es la magnitud de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Ambi, Imbabura?

El propósito de realizar el presente estudio se debe a la necesidad de valorar los niveles de pérdida de suelo por la erosión hídrica en el río Ambi, Imbabura, mediante el uso de modelos matemáticos y tecnología geoespacial que permitan tener datos reales sobre la situación actual de la cuenca.

Ya que, como se mencionó, la degradación de este recurso incide directamente sobre la estabilidad ecológica del río Ambi y también afecta el bienestar de las comunidades existentes en su entorno, que dependen del recurso hídrico para el desarrollo de sus actividades cotidianas (agrícolas, turísticas y domésticas).

A través de los resultados que se obtuvieron, se cuantificaron e identificaron las zonas que requieren intervención inmediata para recuperar la calidad del suelo. Esto facilitará la toma de decisiones por parte de gobiernos locales, instituciones ambientales y organizaciones comunitarias.

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la pérdida del suelo por erosión hídrica en la cuenca hidrográfica del río Ambi, Imbabura.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar las principales variables biofísicas, climáticas que inciden

directamente en la erosión hídrica en la cuenca del río Ambi.

- Cuantificar la erosión hídrica en la cuenca del río Ambi.
- Plantear medidas de conservación ambiental que mejoren las condiciones de los suelos generadas por la erosión y la escorrentía.

1.4.Pregunta directriz de la investigación

¿Cuál es la pérdida de suelo causada por la erosión hídrica en la cuenca del río Ambi?

1.5.Hipótesis

Ho: Los sedimentos simulados por la erosión hídrica son similares a los sedimentos observados en el río Ambi, Imbabura.

Ha: Los sedimentos simulados por erosión hídrica no son similares a los sedimentos observados en el río Ambi, Imbabura.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Cuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica se define como una unidad territorial delimitada por un conjunto de corrientes de agua denominadas ríos, arroyos, entre otros; cada flujo tiene de forma clara definido su curso por donde se desplaza su caudal (Rojas, 2026). De la misma forma, las cuencas están delimitadas por planos o curvas de nivel con trazos imaginarios que permiten fraccionar las cuencas adyacentes para poder identificar el escurrimiento que ocasiona la precipitación, tomando en consideración el estudio de cada cuenca hidrográfica por separado para la generación de la red fluvial (Del Castillo, 2023).

Una cuenca hidrográfica es considerada un territorio definido geográficamente en el cual el agua que precipita y los flujos de escorrentía confluyen hacia un mismo punto de salida, esta dinámica es fundamental para comprender los procesos del ciclo hidrológico y los recursos hídricos disponibles (Calderón & Vizcarra, 2024).

Es la variable que relaciona un determinado territorio con el agua, donde se genera la escorrentía en un área específica, en la cual el agua precipita y desarrolla cauces definidos que van conformando los ríos, lagunas, lagos, acuíferos, entre otros. El análisis espacial de una cuenca proporciona el estudio y el conocimiento de la dinámica de los recursos hídricos para proyectar la disponibilidad de agua en estos espacios (Dávalos, 2021).

2.2.Suelo

El suelo constituye las variables edáficas que influyen en el crecimiento de la vegetación. Como término pedagógico, es considerado un cuerpo natural producto de la

meteorización, con particularidades establecidas en un sistema de clasificación de suelos a nivel internacional, en el que se vinculan procedimientos pedogenéticos que se identifican en los niveles de producción del suelo. Proviene de procesos formadores y por arrastre de sedimentos, que tienen la capacidad de dar origen al crecimiento de plantas, proporcionándoles la disponibilidad de agua y nutrientes; con el paso del tiempo va adquiriendo su morfología, posterior a un largo proceso de evolución, y consigue el equilibrio ecológico con las particularidades ambientales de la zona (Cáceres & Guzmán, 2023).

El suelo atraviesa diversos procesos de transformación en los que la vegetación es parte indispensable de este recurso para su conservación. Cuando se remueve su cubierta vegetal con deforestaciones y degradaciones de bosques, se da lugar al deterioro y la degradación del suelo, y esto se traduce en pérdida de ecosistemas y hábitats en los que se desarrolla la biodiversidad de algunas especies. La modificación de la cubierta vegetal es la principal causa del desgaste ambiental de este recurso. En diversas ocasiones, las actividades generadas por el hombre son el origen de este tipo de alteraciones a los ecosistemas terrestres (Chano & Martínez, 2023).

El suelo se define como un cuerpo que se origina de elementos naturales de forma horizontal; los materiales que lo conforman son generados por la meteorización, materia orgánica, aire y agua; en el cual se relacionan varios factores como el clima, el relieve, los organismos vivos como las especies vegetales y animales con los materiales parentales (Solís, 2020).

2.3.Erosión o pérdida del suelo

La pérdida del suelo está directamente vinculada a diversos elementos, uno de los más complejos es la erosión hídrica, proceso físico que se refiere a la degradación,

transporte y depósito de los sedimentos y partículas del suelo, por acción del agua, fundamentalmente en respuesta a la energía cinética que genera la gota de la lluvia, el agua por escorrentía con su movimiento y la gravedad (Rodríguez et al., (2022).

Es considerado un evento de la naturaleza que es generado por la combinación de elementos naturales y el desgaste ocasionado por la humanidad en el recurso suelo. El cambio climático ha modificado el régimen de precipitaciones y el comportamiento del clima como tal, lo que permite que se desarrollen lluvias extremas y condiciones climáticas inesperadas y con elevados márgenes de severidad y con mayor frecuencia. Por esta razón y la ocurrencia de estas precipitaciones desarrollan el desgaste y menoscabo de las propiedades y características del suelo en sus condiciones físicas y afectan los niveles de rendimiento de este. De igual manera, el crecimiento poblacional también ha incidido negativamente en la degradación de los suelos en magnitudes mundiales (Andrade-Carreño et al., (2025).

La erosión de suelos representa un riesgo para la seguridad alimentaria, fundamentalmente porque este recurso confiere limitaciones por las dimensiones agrícolas. En la actualidad, el 40 % de la tierra para uso agrícola se encuentra con serios inconvenientes de fertilidad; por ende, afecta sus niveles de rendimiento y productividad, como resulta del deterioro de los suelos. Se refiere al proceso de desgaste en función de sus características físicas, químicas y biológicas, relacionado con el deterioro y pérdida de nutrientes, lo que aumenta los costos de inversión; esto pone en riesgo la autosuficiencia y la seguridad alimentaria, perjudicando a los productores agrícolas que dependen de estas labores para subsistir (Corona & Galeana-Pizaña, 2020).

2.3.1. Erosión hídrica

Es una manera de pérdida de las estructuras físicas de la superficie de la litósfera,

esta acción de deterioro es ejecutada por el agua en varias formas de deslizamientos y movimientos; desarrollada básicamente por un proceso natural que ha sido apresurado por el efecto antrópico como la extracción de material forestal y el uso inadecuado de las tierras con destino agrícola convirtiéndolas en improductivas y acrecentando las posibilidades de que ocurra la erosión hídrica, lo que genera la pérdida de materia orgánica, de nutrientes ocasionando consecuencias económicas graves (Zaragoza, 2021).

Uno de los impactos irreversibles que causa la erosión hídrica es la vulnerabilidad de los suelos, por esta razón estos muestran una disminución importante de su fertilidad natural y niveles de productividad biológica, reduciendo el espesor de materia orgánica incidiendo en los perfiles del suelo lo que afecta su estructura física del suelo y su degradación; cuando los suelos pasan por estos procesos pierden considerablemente sus propiedades fértiles dejando desprovistas las particularidades físicas y químicas de este recurso (Saturnino et al., (2022).

Considerada básicamente como un proceso de liberación y separación vinculado con el transporte de sedimentos que inicialmente formaron parte de los suelos y que por efecto o dinámica del agua son desplazados. El goteo de la lluvia genera la descomposición física del suelo y el agua que escurre lleva a cabo el desplazamiento de partículas. Se refiere a un proceso que se desarrolla por la dinámica natural del medio ambiente; sin embargo, ha sido precipitado por la acción nociva antrópica sobre los recursos naturales (Agama, 2022).

Este fenómeno en proporciones excesivas se convierte en una amenaza para las actividades agrícolas y pecuarias; la erosión de igual manera incide en la estructura de transporte, acopio de agua y favorece la contaminación de la superficie terrestre, generalmente la erosión se desarrolla en los espacios circundantes de los riachuelos, barrancos, quebradas, áreas forestales, entre otros (Rivera & Iparraguirre, 2024). Existen

diferentes tipos de erosión hídrica, como se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1

Tipos de erosión hídrica y sus principales características

Tipo de erosión	Descripción	Características principales
Laminar	Consiste en la pérdida uniforme de una capa superficial del suelo debido al impacto de las gotas de lluvia y al escurrimiento superficial.	Ocurre principalmente en terrenos con escasa cobertura vegetal; provoca pérdida de materia orgánica y nutrientes; es difícil de detectar en sus etapas iniciales.
Por surcos	Se produce cuando la escorrentía superficial se concentra en pequeños canales o surcos sobre la superficie del terreno.	Se visualizan pequeños canales y en ellos se transporta sedimentos
Por cárcavas	Pertenece a una etapa avanzada de erosión, los surcos tienden a aumentar su profundidad y tamaño.	Produce grandes pérdidas de suelo; entorpece el uso agrícola del terreno

Nota. Tomado de Agama (2022); Rivera e Iparraguirre (2024).

2.4. Factores que intervienen en el proceso de erosión hídrica

La erosión hídrica es el resultado de la interacción de diversos factores naturales y antrópicos que principalmente influyen en el desprendimiento, transporte y deposición de las partículas del suelo. Los factores que intervienen se encuentran ligados a la precipitación, la pendiente, las características del suelo, la cobertura vegetal y las prácticas de manejo. En la Tabla 2 se presentan los elementos que se encuentran asociados a la erosión hídrica y sus características.

Tabla 2

Factores que intervienen en el proceso de erosión hídrica

Factor	Descripción	Influencia en la erosión hídrica
Precipitación	Comprende la cantidad, intensidad y duración de las lluvias que inciden sobre la superficie terrestre.	Incrementa el desprendimiento y transporte de partículas del suelo mediante el impacto de las gotas de lluvia y la generación de escorrentía superficial.
Pendiente	Es el grado de inclinación del terreno.	Beneficia la velocidad del escurrimiento superficial, aumenta la capacidad erosiva por el arrastre.
Suelo	Se considera la textura, estructura, permeabilidad y la cantidad de materia orgánica.	Determina la susceptibilidad del suelo
Cobertura vegetal	Son las especies vegetales presentes en el suelo.	Reduce el impacto directo de las gotas de lluvia.
Manejo del suelo	Corresponde a las prácticas desarrolladas por el ser humano sobre el territorio.	Las prácticas adecuadas disminuyen la erosión, mientras que el uso inadecuado del suelo incrementa su degradación y pérdida.

Nota. Adaptado de Oralia (2021) y Rivera e Iparraguirre (2024).

2.5. Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE)

La ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) es la respuesta a múltiples esfuerzos teóricos, prácticos y de campo impulsados por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) durante la segunda mitad del siglo XX, con el fin de estimar la pérdida de suelo ocasionada por la erosión hídrica (Wischmeier & Smith, 1978). Las investigaciones y hallazgos fueron obtenidos por Walter Wischmeier y Dwight Smith, quienes dieron origen al modelo elaborado de USLE en 1954; posteriormente, en 1978 desarrollaron la fórmula del modelo que predice la pérdida de suelo. Dichas investigaciones se fundamentaron en la necesidad de generar un esfuerzo mayor sobre las desventajas fracasadas en momentos anteriores en circunstancias regionales y locales (Agama, 2022).

2.6. Marco legal

Tabla 3

Fundamentación legal de la investigación

Ley	Artículo	Descripción
Constitución del Ecuador (2008)	Artículo 57. Numeral 6	Participar en la utilización, utilidad, gerencia y preservación de los recursos naturales renovables disponibles en sus territorios (Presidencia de la República, 2008).
	Artículo 262	Los gobiernos regionales tienen las idoneidades exclusivas en la planificación del ordenamiento territorial, gestión del ordenamiento de las cuencas hidrográficas (Presidencia de la República, 2008).
	Artículo 409	Es de bienestar común y se considera como primacía nacional la preservación del suelo y su capacidad fértil, en la cual se establecerán los mecanismos para su protección y para prevenir su deterioro (Presidencia de la República, 2008).
Tratados Internacionales	Objetivos de ODS 15	Cuidar, acondicionar e impulsar la utilización y el aprovechamiento sostenibles de los recursos naturales, gestionando de manera sostenible los

		bosques, invertir en la degradación de los suelos y minimizar la pérdida de diversidad biológica (Nárvaez & Holguín, 2023).
Código Orgánico del Ambiente (COA)	Artículo 5. Numeral 5	Establece la evolución del desarrollo sustentable y redistribución equitativa de los recursos y la protección del patrimonio natural, fomentando en derecho a vivir en un ambiente sano. La conservación y el uso sostenible del suelo con el fin de disminuir y prevenir su degradación (Presidencia de la República, 2017).
	Artículo 197	Con fines regulatorios, toda actividad que degrade la calidad del suelo, la estabilidad o genere procesos erosivos debe ser normada (Presidencia de la República, 2017).
Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial Uso y Gestión del Suelo	Artículo 16	El suelo es considerado el soporte físico de las actividades desarrolladas por los seres humanos y se debe buscar el desarrollo integral sostenible (República del Ecuador Asamblea Nacional, 2016).
	Artículos 28 y 29	Dispone que los planes de ordenamiento territorial del plan de uso y gestión del suelo asegurarán la mejor utilización de acuerdo a las potencialidades del territorio en función de un desarrollo sustentable y sostenible (República del Ecuador Asamblea Nacional, 2016).
Plan de Desarrollo para el Nuevo Ecuador	Política 7,4. Objetivo 7	Preservar y restaurar los recursos naturales renovables terrestres y marinos, incentivando el desarrollo sostenible; promoviendo estrategias para su protección, uso y aprovechamiento del patrimonio natural del país (Consejo Nacional de Planificación, 2024).

CAPÍTULO III

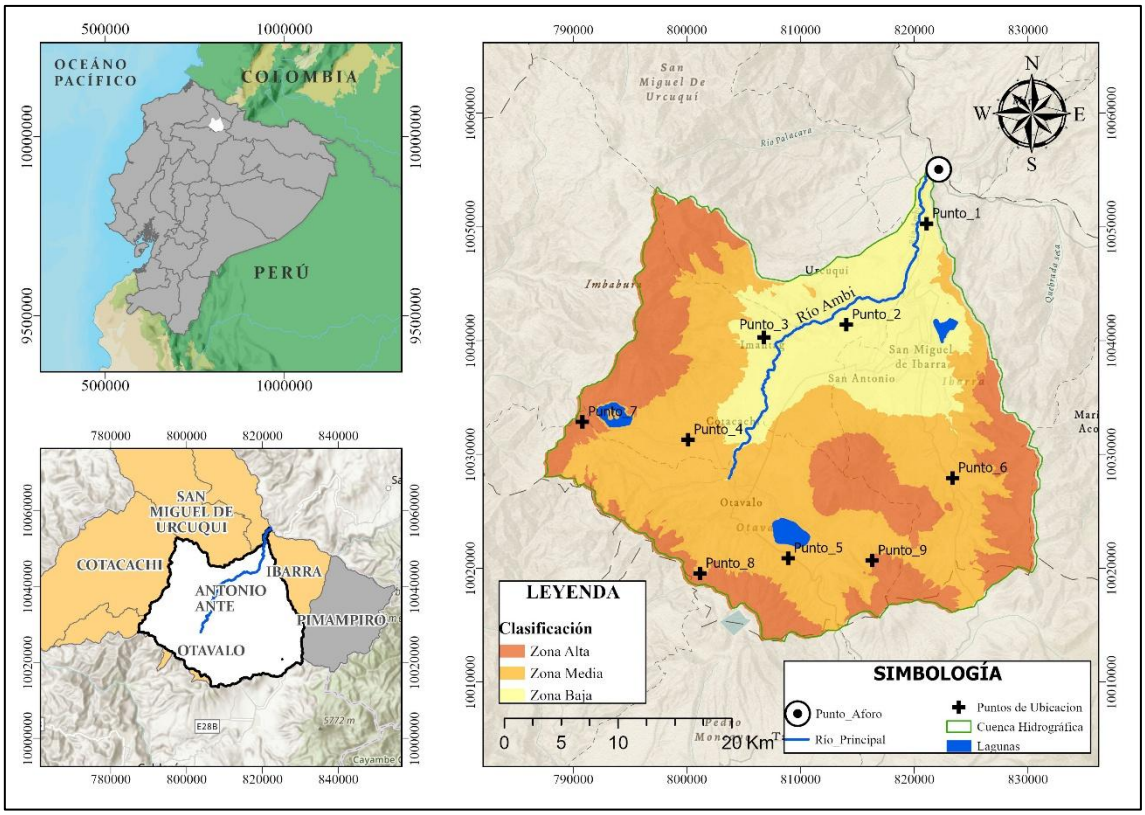
3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Área de estudio

La cuenca del río Ambi está situada en la provincia de Imbabura, en el norte de Ecuador. Caracterizada básicamente por la cuenca transfronteriza del río Mira, cuenta con una superficie de 115.520 hectáreas, conformada por sistemas lacustres como el Lago San Pablo, la laguna de Yahuarcocha y Cuicocha (Figura 1).

Figura 1

Ubicación geográfica de la Cuenca del río Ambi



El río Ambi está situado en los cantones Antonio Ante, Cotacachi, Ibarra, Otavalo y Urcuquí; a una altitud en su punto más elevado de 4880 msnm y su punto más bajo de 1520 msnm; con un relieve de montaña del 24 % y el 19 % de relieve ondulado. Los

ecosistemas más predominantes son páramo de pajonal, herbazal de páramo, arbustal siempreverde, bosque siempreverde montano. La cuenca del río Ambi dispone de 13 grandes grupos taxonómicos, 13 tipos de suelos. El estrés hídrico se ha hecho evidente con el 57,26 %, lo que indicó que la presión sobre los recursos hídricos ha avanzado por las actividades agrícolas y pecuarias desarrolladas (Carvajal & Rodriguez, 2024).

La hidrología de la cuenca del río Ambi está representada por un relieve de montaña, con un caudal medido en el año 2024 con el método del flotador reflejó un valor de 1,16 m^3/s (Carvajal & Rodriguez , 2024).

El clima característico de la cuenca del río Ambi, según la clasificación de Köppen, fue alpino tropical, subalpino subhúmedo y templado húmedo, característico de las zonas altas; sin embargo, en las zonas más bajas, clima tropical amazónico y clima ecuatorial de montaña. Reporta temperaturas mínimas de 5 °C, máximas de 23 °C y precipitación media anual de 1246,3 mm (Arias-Muñoz et al., (2023).

3.2.Morfometría de la cuenca hidrográfica del río Ambi

Tabla 4

Parámetros morfométricos del río Ambi

Parámetros Morfométricos	**Valor**	**Interpretación**
Area (A)	163.09 km	Se considera como cuenca hidrográfica
Perímetro (P)	1120 km^2	Se considera como perímetro grande
Longitud Axial (L)	43.76 km	Es la distancia desde el punto de salida hacia la parte más lejana de la cuenca
Ancho de la cuenca (B)	25.6 km	Representa la medida entre el área y la longitud
Índice de Compacidad (Kc)	1.36	Se clasifica como oval redonda, oval-oblonga
Altitud mínima	1514 msnm	Es la cota que está en el punto de salida
Altitud máxima	4927 msnm	Es la cota que está en el punto más alto de la cuenca

Factor Forma de Horton	0,58	Es la cota que está en el punto más alto de la cuenca
Coeficiente de Compacidad	1,38	La cuenca es amplia o ensanchada

.

Tabla 5

Parámetros del relieve

Parámetros Relieve	Valor	Interpretación
Desnivel	3.413 m	Tiene pendientes pronunciadas y la presencia de relieves montañosos
Pendiente media	30%	Presenta un relieve montañoso debido a la presencia de montañas

Fuente: (Carvajal & Rodriguez , 2024).

Tabla 6

Parámetros del hidrológicos

Parámetros Relieve	Valor	Interpretación
Longitud del cauce principal	Lc = 47,41 km	Presenta longitud mediana
Longitud del cauce principal del cauce	Jc = 0,2m/m	Tiene un relieve montañoso
Ordenes de los cauces Tiempo de concentración	Tc = 215,88 min	Según Kirpich es de 215,88 min (4 h) equivale a lo que es la escorrentía superficial del punto de aforo

Fuente: (Carvajal & Rodriguez , 2024).

3.3.Metodología

3.3.1. Método de la investigación

La presente investigación se fundamentó en el método analítico y sintético; este permitió descomponer el objeto de estudio en sus diferentes componentes, facilitando con ello el análisis individual de los factores biofísicos y climáticos que intervienen en los

procesos de erosión hídrica dentro de la cuenca del río Ambi. El método sintético permitió integrar dichos elementos para comprender el comportamiento del sistema en su conjunto, estableciendo relaciones entre las variables del estudio y su influencia en la dinámica de la erosión del suelo.

Se aplicó el método descriptivo de corte transversal, con lo que se pudieron caracterizar las condiciones del área de estudio en un periodo determinado de tiempo, sin manipulación de las variables. Con este enfoque se facilitó la descripción de los factores físicos, climáticos y ambientales de la cuenca, así como la evaluación de la erosión hídrica a partir de la información espacial.

3.3.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación fue descriptivo, ya que se orientó a caracterizar y analizar el fenómeno de la erosión hídrica en la cuenca del río Ambi. Este enfoque permitió identificar y describir las principales características biofísicas, climáticas y geomorfológicas del área de estudio, considerando las modificaciones en las condiciones del suelo y su relación con los procesos de degradación. La información fue organizada en función de las variables específicas, las cuales fueron integradas al análisis investigativo.

El tipo de investigación fue aplicada, debido a que se enfocó en el estudio de un problema ambiental conocido y específico relacionado con la pérdida del suelo por erosión hídrica, con el propósito de generar información útil para la comprensión del fenómeno y la formulación de las alternativas de manejo y conservación del recurso suelo en la cuenca.

El diseño de la investigación fue de tipo no experimental, debido a que no se manipularon las variables del estudio, sino que se examinaron los fenómenos en su entorno natural.

La investigación se desarrolló con la ejecución de la aplicación del modelo RUSLE,

propuesto por Wischmeier y Smith (1978), el cual pudo estimar la pérdida de con factores como la erosividad de la lluvia, erodabilidad del suelo, longitud y pendiente de ladera, cobertura y manejo del suelo, y prácticas de conservación. Datos que fueron procesados a partir de la información espacial y bases de datos climáticas, a través de sistemas de información geográfica para obtener la estimación final de la erosión en la cuenca del río Ambi.

La presente investigación se dividió en tres etapas metodológicas: a) Caracterización de las principales variables biofísicas, climáticas, b) Cuantificación la erosión hídrica en la cuenca del río Ambi, c) Planteamiento medidas de conservación ambiental que mejoren las condiciones

3.3.3. Caracterización de las principales variables biofísicas, climáticas (E1)

Se realizó el análisis de la cobertura y uso del suelo, la precipitación, la temperatura y la pendiente. La cobertura y uso del suelo se obtuvieron a partir de la cartografía temática del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) y fueron procesados en un entorno de sistemas de información geográfica (SIG) ARCGIS para identificar las diferentes categorías presentes en la cuenca. La precipitación y temperatura fueron obtenidas de la base de datos climática Worldclim versión 2.1 (https://www.worldclim.org/), utilizando los promedios climáticos del área de estudio. La pendiente se calculó a partir de un modelo digital de elevación obtenido de la misión de Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) con resolución espacial de 30 m (https://opentopography.org/).

3.3.4. Cuantificación la erosión hídrica en la cuenca del río Ambi (E2)

El modelo matemático RUSLE fue empleado en la presente investigación, para el cálculo de la pérdida de suelo por efecto de la erosión hídrica. Este modelo utiliza factores

de erosión (Tabla 7**)** para determinar la erosión hídrica del suelo, los cuales son integrados a través de la Ecuación (1).

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \qquad \textit{Ecuación 1}$$

Tabla 7
Factores del modelo RUSLE

Indicador	Descripción	Unidad de Medida
A	Pérdida de suelo por erosión hídrica	ton/ha/año
R	Erosividad de la lluvia	MJ·mm·ha/año
K	Erodabilidad del suelo	ton·ha·h/ha·MJ·mm
L	Factor de longitud del terreno	Adimensional
S	Factor de pendiente del terreno	Adimensional
C	Cobertura y manejo de la vegetación	Adimensional
P	Prácticas de conservación	Adimensional

3.3.4.1.Factor de erosividad de la precipitación (R)

La erosividad de la lluvia conlleva una valoración cuantificable de la ocurrencia de las lluvias, la cual permitió una descripción de la capacidad de erosionar suelo en un espacio descubierto de vegetación. Este factor depende de las propiedades del suelo, como la textura, estructura, permeabilidad y contenido de materia orgánica (Renard et al., 1997). El potencial erosivo que tienen las lluvias no fue vinculado con la proporción de lluvia, la intensidad en los acontecimientos, la trayectoria climática y las características de la zona. Siendo así la interrelación de los efectos y su relación con diversas variables influyeron de forma significativa en el proceso erosivo (Ramos & Sánchez, 2023).

$$Factor\ R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 * 10^{(1.5log10\left(\frac{pi^2}{P}\right)-0.08188)} \qquad \textit{Ecuación 2}$$

Donde:

R (x, y) es el Factor R (MJ·mm·ha/año) en el tamaño de celda (x, y),

pi = precipitación mensual (mm)

p = precipitación anual (mm).

3.3.4.2. Factor de erodabilidad del suelo (K)

La erodabilidad del suelo se consideró una medida de la vulnerabilidad del suelo a la fractura y al arrastre de los fragmentos, que estuvieron relacionados con múltiples características físicas, de las cuales Wischmeier y Smith (1960) reflejaron la distribución espacial de los fragmentos primarios por su porcentaje presente de materia orgánica (MO). La estructura del suelo y su permeabilidad son los más significativos (Zaragoza, 2021). El factor K se calculó mediante la siguiente serie de ecuaciones.

$$K_{USLE} = f_{sand} \cdot f_{cl-si} \cdot f_{orgc} \cdot f_{hisand} \qquad \textit{Ecuación 3}$$

Donde:

K_{USLE}: erodabilidad del suelo modelo USLE;

fsand: factor de contenido de arena;

fcl-si: factor de contenido de arcilla y limo;

forgc: factor de contenido de carbono orgánico;

fhisand: factor de altos contenidos de arena.

Para poder adaptar la ecuación original del Factor K al modelo RUSLE, fue necesario aplicar un factor de conversión de 0,1317.

$$K_{RUSLE} = K \cdot 0{,}1317 \qquad \textit{Ecuación 4}$$

Donde KRUSLE corresponde a la erodabilidad del suelo en ton· ha· h/ ha·MJ·mm compatible con el modelo RUSLE y K corresponde a la erodabilidad del suelo del modelo USLE.

Las ecuaciones para estimar los factores en base a las propiedades físicas y químicas del suelo se detallan a continuación:

$$f_{csand} = \left\{0{,}2 + 0{,}3\ x\ exp\left[-0{,}256\ x\ m_s x\left(1 - \frac{m_{slit}}{100}\right)\right]\right\} \qquad \textit{Ecuación 5}$$

$$f_{cl\text{-}si} = \left(\frac{m_{slit}}{m_c + m_{slit}}\right)^{0{,}3} \qquad \textit{Ecuación 6}$$

$$f_{orgc} = \left\{1 - \frac{0{,}25\ x\ orgC}{orgC + exp(3.75 - 2.95\ x\ orgC)}\right\} \qquad \textit{Ecuación 7}$$

$$f_{hisand} = \left\{1 - \frac{0{,}7\ x\left(1 - \frac{m_S}{100}\right)}{\left(1 - \frac{m_S}{100}\right) + exp\left[-5{,}51 + 22.9\ x\left(1 - \frac{m_S}{100}\right)\right]}\right\} \qquad \textit{Ecuación 8}$$

Donde:

ms: porcentaje de arena;

msilt: porcentaje de limo;

mc: porcentaje de arcilla y;

orgC: porcentaje de SOC.

3.3.4.3.Factor LS (longitud e inclinación de la pendiente)

La unión de la longitud de pendiente L y su grado de inclinación S considera las

características físicas de la superficie terrestre y las consecuencias que pueden tener en los procesos erosivos. El entendimiento del paisaje permitió resaltar las rutas de los flujos de agua y la variabilidad espacial de las características del suelo.

$$\lambda = \left(\frac{^{A}\text{acum.tif}}{3.1416} \right)^{0.5} \qquad \textit{Ecuación 9}$$

Donde:

λ: Longitud de la pendiente

Área acumulada: ráster del flujo de acumulación de la cuenca

π: Constante pi, adimensional

$$F = \frac{\frac{\text{Sen}\beta}{0{,}0896}}{3*(\text{sen}\beta)^{0.8}+0.56} \qquad \textit{Ecuación 10}$$

Donde:

F: Factor F o factor de corrección, adimensional

Slope_grados: Pendiente de la cuenca en grados

$\frac{\pi}{180}$**:** Conversión de grados a radianes

Sin (β): Función seno

$$m = \frac{F}{1+F} \qquad \textit{Ecuación 11}$$

Donde:

m: Exponente de la longitud, adimensional

F: Factor F calculado anteriormente

$$S = 10.8 \sin\theta + 0.3; para\ S < 9\% \qquad \textit{Ecuación 12}$$

$$S = 16.8 * \sin\theta - 0.5; para\ S \geq 9\%$$

Donde:

S: Factor de la pendiente

β: Ángulo de la pendiente en grados

$\boldsymbol{Sin(\beta \times \frac{\pi}{180})}$**:** Seno del ángulo en radianes

$$\mathrm{LS} = \left(\frac{\lambda}{22{,}13}\right)^{\mathrm{m}} * \mathrm{s} \qquad \textit{Ecuación 13}$$

Donde:

LS: Factor topográfico de longitud y pendiente

λ: Longitud de la pendiente

22.13: Longitud de referencia

m: Exponente m calculado en la Ecuación 12

S: Factor de pendiente calculado en la Ecuación 13

3.3.4.4. Factor C cobertura vegetal del terreno

El Factor C representa el efecto de la cobertura vegetal y el uso del suelo sobre la erosión hídrica, permitiendo de esa forma evaluar la capacidad de protección que ejerce la vegetación frente al impacto de las gotas de lluvia y la escorrentía superficial. Sus valores oscilan entre 0 y 1; los valores cercanos a 0 indican una mayor protección del suelo, mientras que los valores próximos a 1 representan una menor cobertura vegetal, siendo más susceptibles a la erosión (Zaragoza, 2021).

Para determinar el Factor C se utilizó una imagen satelital Landsat 9, correspondiente a la zona de estudio, a partir de la cual se identificaron las zonas,

clasificándolas por su cubierta vegetal a través de puntos con 75% para la validación y el 25% para el modelo. Posteriormente, para la validación del modelo se utilizó el índice Kappa con un resultado del 0,96%, considerando una validación excelente del modelo.

3.3.4.5.Factor P prácticas de manejo y conservación

El Factor P representa el efecto de las prácticas de conservación implementadas para reducir la erosión hídrica, tales como cultivos en contorno, terrazas, barreras vivas, destinadas a disminuir la velocidad de escorrentía y favorecer la infiltración del agua. El factor adimensional y sus valores varían entre 0 y 1, donde los valores cercanos a 0 indican una mayor eficiencia de las prácticas de conservación, mientras que el valor 1 representa la ausencia de las medidas de manejo para reducir la pérdida del suelo (Zaragoza, 2021). El mapa resultante fue incorporado al análisis espacial para la estimación de la erosión hídrica potencial.

3.3.5. Simulación de la erosión hídrica aplicando el modelo RUSLE

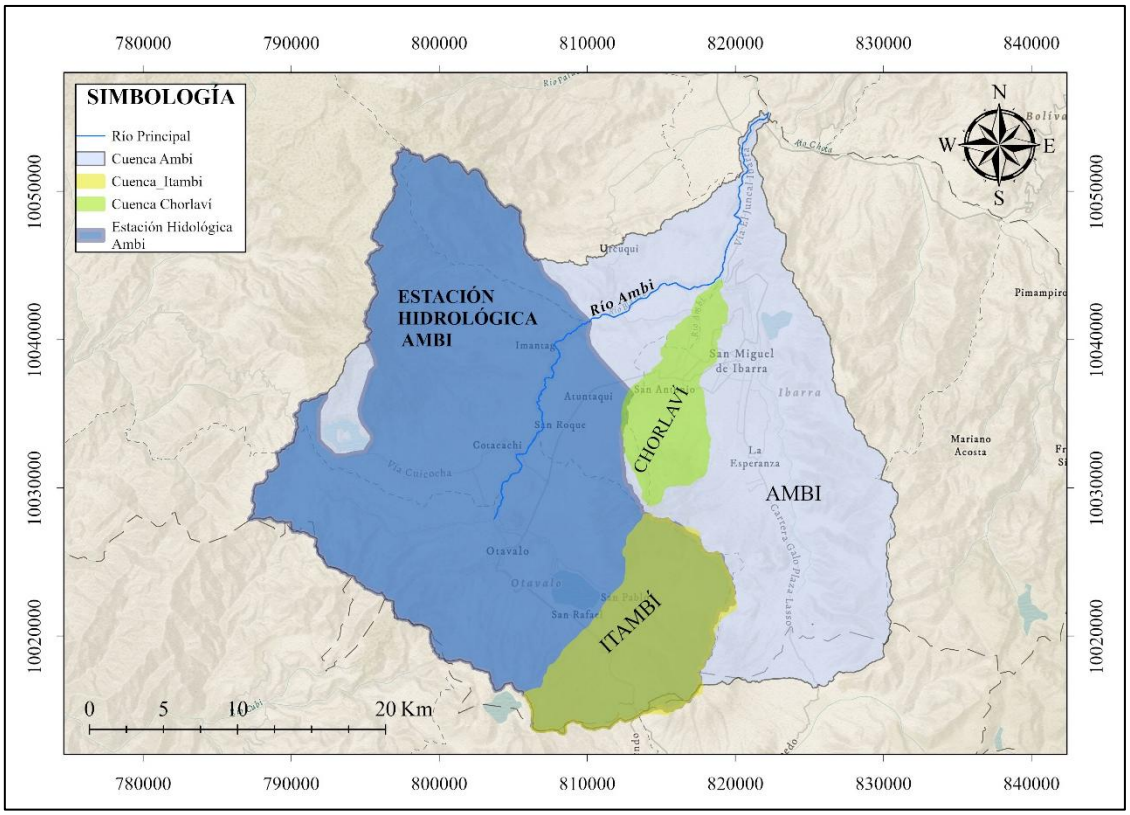
Este modelo fue aplicado posteriormente a la proyección individual de los factores que son parte de la ecuación, empleando los factores descritos en la Tabla 3. Después de haber analizado cada uno de los factores por separado, apegados a la metodología establecida, se permitió definir y determinar las características específicas de la cuenca del río Ambi. Seguidamente se procedió a desarrollar la multiplicación de estos factores, para generar un mapa direccional en función de la distribución espacial de la tasa de erosión hídrica, expresada en t/ha/año para la cuenca.

*3.3.6. **Validación del modelo hidrográfico RUSLE***

En la Figura 2 se observa la delimitación de las microcuencas que contiene del río Ambi.

Figura 2

Delimitación de la cuenca del río Ambi y las microcuencas



La validación de los resultados obtenidos a través del modelo RUSLE se realizó con la comparación entre el rendimiento de sedimentos estimado y los valores observados en las microcuencas dentro de la cuenca del río Ambi que son: 1) Itambí, 2) Chorlaví, 3) Estación Hidrológica Ambi y 4) Ambi. Para ello, se realizó un monitoreo de sólidos suspendidos totales, en los diferentes eventos hidrológicos, Según la Ecuación 14. es la producción de las cantidades de sedimentos que se tiene al final y los caudales correspondientes.

$$SY = A \; x \; SDR \qquad \textit{Ecuación 14}$$

Donde:

S_y = producción total de sedimentos (mm)

A= pérdida anual del suelo (mm)

SDR = cantidad estimada de suelo erosionado (mm)

El valor de SY se comparó entre los datos obtenidos en campo y la simulación de los valores con el modelo RUSLE, se estimó el valor de SY con el cálculo de concentración de sólidos suspendidos (CSS). Para analizar la concentración, se recolectó 12 muestras de agua del río Ambi, con tres repeticiones para tener una mejor precisión en lo que es la concentración de sólidos. Se obtuvo el total de los sedimentos expresado en toneladas por hectárea por año (ton/ha/año). Estos valores fueron comparados con el beneficio de sedimentos considerado a través de la aplicación del modelo RUSLE con la Ecuación 15, para evaluar la capacidad predictiva del modelo en la cuenca del río Ambi (Tsegaye & Rishikesh, 2021)

$$SDR = 0{,}5656 \cdot S^{-0.11} \qquad \textit{Ecuación 15}$$

Donde:

0,5656 = constante adimensional

S= Superficie de la microcuenca

-0,11= exponente que expresa la relación inversa entre el tamaño de la cuenca y el SDR

Para finalizar los valores simulados y los observados en campo, con las 12 muestras de agua, se aplicaron los análisis PBias y RMSE, acorde a las Ecuaciones 16 y 17 para poder evaluar la precisión del modelo (Moriasi et al. 2015). El PBias cuando los valores son positivos representa una subestimación del modelo y los valores negativos se puede determinar una sobreestimación del modelo y el valor de RMSE que son cercanos a cero establece un buen ajuste entre los valores observados y los simulados.

$$PBias = \frac{SY_{ob} - SY_{cal}}{SY_{ob}} \qquad \textit{Ecuación 16}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum SY_{sf} - SY_{rg}}{n}} \qquad \textit{Ecuación 17}$$

Donde

SY_{cal} = sedimentos calculados en ton/ha/año

SY_{ob} = sedimentos observados en ton/ha/año

SY_{sf} = sedimentos calculados por el modelo (ton/ha/año)

SY_{rg} = sedimentos observados o registrados (ton/ha/año)

n = número total de observaciones utilizadas en comparación

$\sum(SY_{sf} - SY_{rg})$ = suma de los cuadros de las diferencias entre valores calculados y observados

3.3.7. Planteamiento de estrategias de manejo de recurso suelo (E3)

El modelo establecido como Presión-Estado-Respuesta (PER) es implementado consecutivamente para evaluar y gestionar los recursos ambientales, incluso el suelo, lo que permitió discernir las interrelaciones que existen entre las acciones antrópicas y el medio ambiente y categorizarlas en tres características: presión, estado y respuesta.

En el área de análisis de zonas vulnerables a la erosión en la cuenca del río Ambi, se empleó la metodología PSR que permitió establecer las alternativas y estrategias de manejo sostenible del suelo, tomando en cuenta el efecto antrópico y la presión que ha ejercido en el ecosistema, perjudicando la calidad y la disponibilidad de los recursos naturales. La eficacia de este modelo PSR está condicionada en mayor parte por los indicadores adecuados, como la densidad de la población, intensidad de uso de la tierra y prácticas agrícolas desarrolladas, calidad del suelo, tasas de erosión y cobertura vegetal (Andrade-Carreño et al., (2025).

3.4.Materiales y equipos

En la Tabla 8 se describen los materiales y equipos utilizados para el desarrollo del presente estudio.

Tabla 8

Materiales y Equipos

Materiales	**Equipos**	**Insumos**	**Software**
Flexómetro de 30 m	Balanza analítica	Filtro de fibra de vidrio	Google Earth Pro Versión 7.3
Decámetro	Bomba de vacío	Papel aluminio	ArcGIS PRO Versión 3.4
Cilindro metálico	Horno de secado (105 °C)		GPS - UTM Geo Map Versión 4.2.5
Flotador	Desecador		
Martillo de goma			
Matraz Kitazato			
Cápsulas de porcelana			
GPS			

CAPÍTULO IV

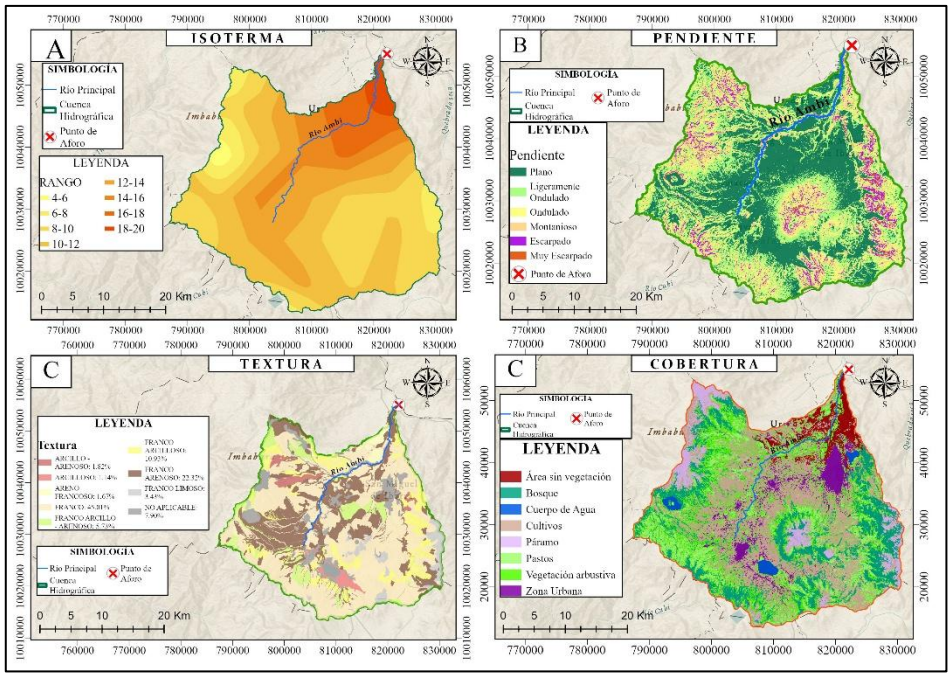
4. RESULTADOS

4.1. Caracterización biofísica y climática de la cuenca del río Ambi

La Figura 3 corresponde a la caracterización biofísica y climática de la cuenca del río Ambi donde la Figura 3A muestra el mapa de isotermas. En la Figura 3A, presenta la caracterización biofísica y climática de la cuenca del río Ambi, en donde se evidencia una importante variabilidad espacial de las condiciones ambientales. En cuanto a la temperatura, el mapa de isotermas muestra rangos que se encuentran comprendidos entre 4 y 20 °C. Las temperaturas más bajas están de 4 - 6 °C y 6 - 8 °C, localizándose en zonas de mayor altitud, mientras que las más elevadas son de 16 - 18 °C y 18 - 20 °C, en sectores de menor elevación. Esta distribución confirma la influencia del gradiente altitudinal en el comportamiento térmico de la cuenca.

Figura 3

Variables climáticas del río Ambi



Con respecto a la pendiente (ver Figura 3B), se distribuye en seis categorías geomorfológicas, siendo: plano, ligeramente ondulado, ondulado, montañoso, empinado y muy empinado. La presencia de pendientes pronunciadas en gran parte del territorio indica una topografía que favorece los procesos de escorrentía superficial y, con ello, aumenta su susceptibilidad a la erosión.

En la textura del suelo (ver Figura 3C), se muestra que predominan los suelos francos que se concentran en el 45,01% de la superficie de la cuenca. De igual forma, se encuentran seguidos por los suelos franco-arenosos con el 22,32 %, franco-arcillosos con el 10,93 % y franco-arcillo-arenosos con el 5,72 %. En menor proporción se encuentran los suelos franco-limosos con un porcentaje de 3,43 %, no aplicables con el 2,90 %, arcillo-arenosos con el 1,82 %, areno-francosos con el 1,67 % y arcillosos con el 1,14 %. Estas cifras muestran que existe una predominancia de texturas, las cuales favorecen las condiciones moderadas de infiltración y la retención de la humedad.

En la Figura 3D, la cobertura y uso del suelo están conformados por los cuerpos de agua, bosques, páramos, pastizales, cultivos, vegetación, zonas urbanas y áreas sin vegetación. La presencia de páramos y bosques en zonas altas se considera un elemento fundamental para la regulación hídrica de la cuenca; en cambio, las áreas agrícolas y urbanas reflejan la influencia de las actividades antrópicas que ocurren en la zona.

4.2.Cuantificación de la erosión hídrica

Los cinco factores de erosión hídrica que intervienen en la ecuación RUSLE, como se muestra en la Figura 3, son el factor de la erosividad de la lluvia R (Figura 4A). Presenta una distribución espacial heterogénea dentro de la cuenca del río Ambi, observándose los valores más altos en las zonas orientales y surorientales. Este patrón refleja la distribución e influencia de las condiciones climáticas y orográficas, siendo un factor susceptible a los procesos erosivos.

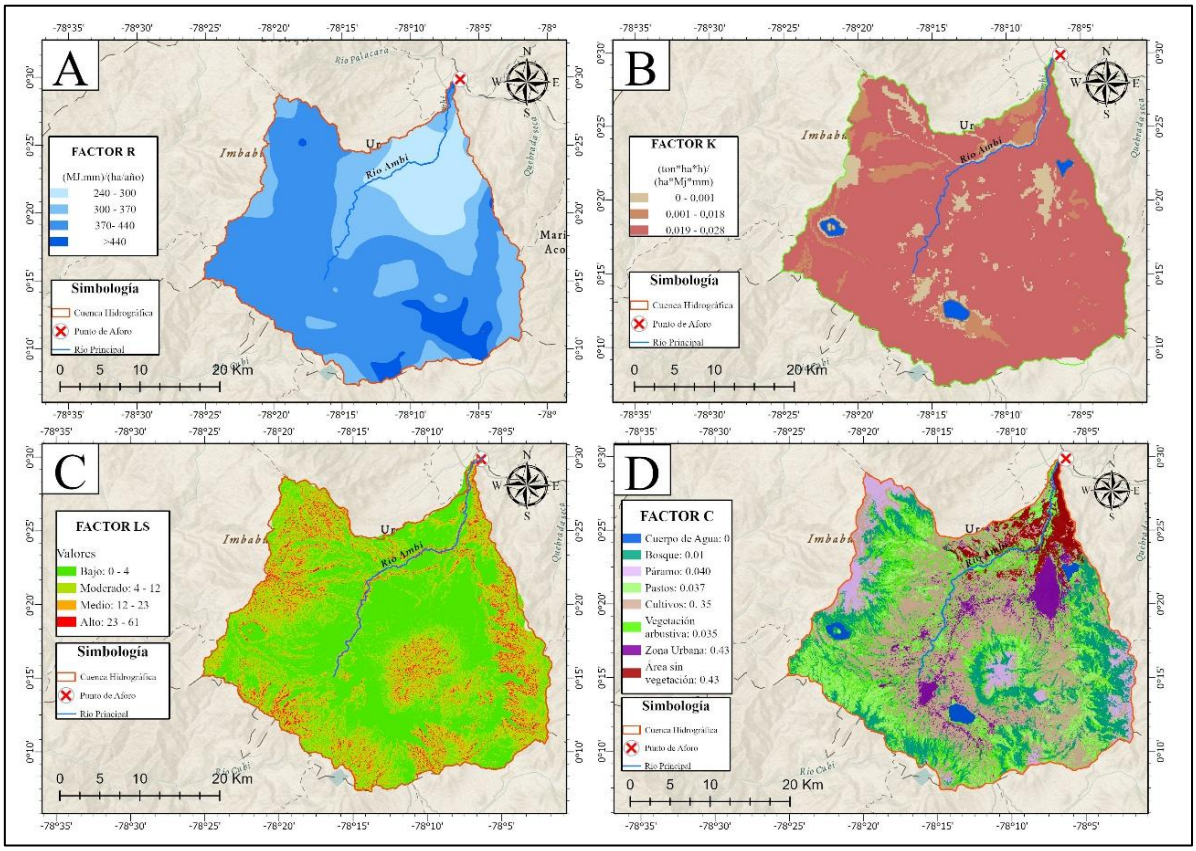
El factor de erodabilidad del suelo K, en la Figura 4B, muestra un predominio de la susceptibilidad media, lo cual indica que gran parte de los suelos de la cuenca poseen una resistencia moderada al desprendimiento y transporte de las partículas. Las variaciones observadas se encuentran relacionadas con las propiedades físicas del suelo, en cuanto a su textura, contenido de materia orgánica.

El factor topográfico de LS, en la Figura 4C, evidencia una marcada influencia del relieve sobre la erosión hídrica. Los valores más elevados se localizaron en las áreas montañosas con pendientes pronunciadas y laderas extensas, donde el incremento de la velocidad del escurrimiento superficial favorece el transporte de los sedimentos y al desarrollo de los procesos erosivos más intensos del área.

el factor de cobertura y manejo del suelo C, en la Figura 4D registra los valores más bajos en áreas con cobertura natural como bosques y páramos, mientras que los valores más altos corresponden a áreas agrícolas, zonas intervenidas y sectores urbanos. Esta distribución evidencia el efecto protector de la cobertura vegetal, al disminuir el impacto de las gotas de lluvia y reducir la escorrentía superficial.

Figura 4

Mapa de factores R,K,L,S,C del río Ambi



Nota. La Figura 4 presenta la distribución espacial de los factores de erosión hídrica de la cuenca del río Ambi, donde la Figura 4A corresponde al factor de erosividad de la lluvia (R), la Figura 4B al factor de erodabilidad del suelo (K), la Figura 3C al factor topográfico (LS), la Figura 4D al factor de cobertura y manejo del suelo (C) y la Figura 4E al factor de prácticas de conservación (P). Elaboración propia, 2026.

4.3.Erosión hídrica

En la Figura 5 se presenta la distribución espacial de la erosión hídrica en la cuenca del río Ambi. La pérdida potencial de suelo varía entre 0,001 y 148,32 ton/ha/año, clasificándose en cinco categorías de intensidad.

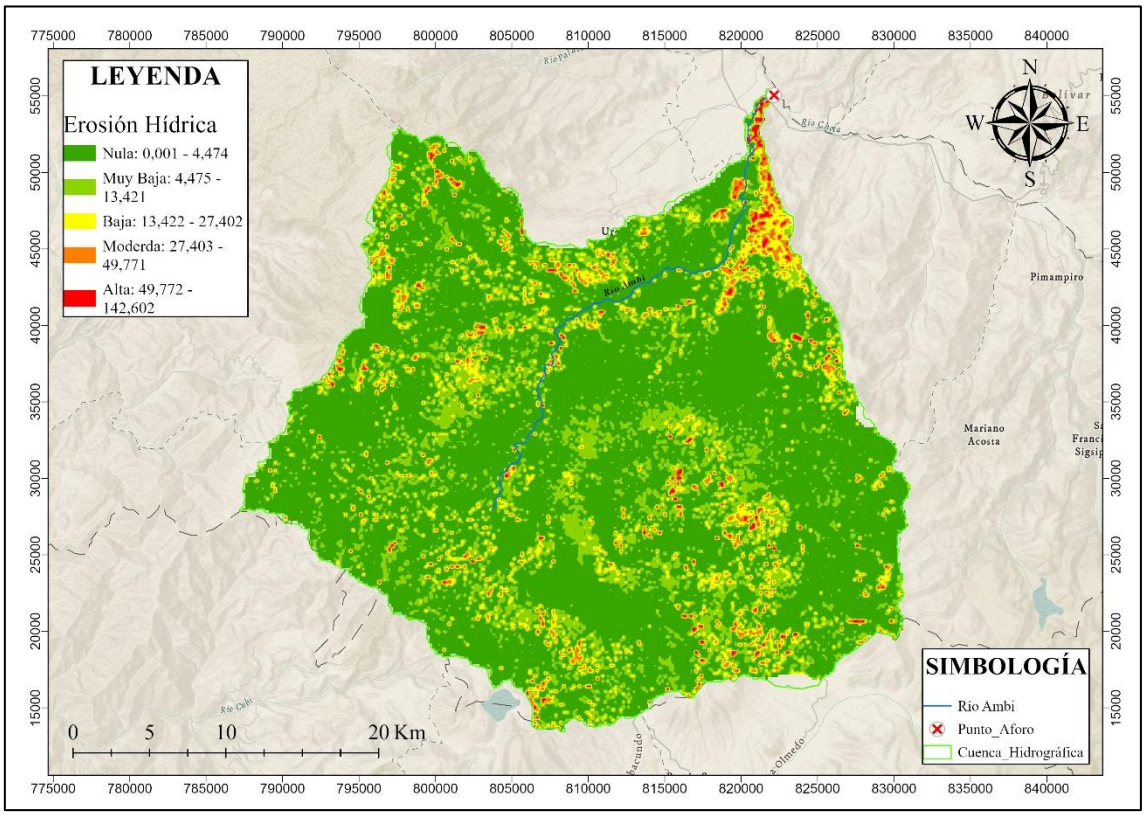
La mayor parte de la cuenca se encuentra representada por la categoría de erosión baja, con valores comprendidos entre 0,001 y 5,23 ton/ha/año. Esta amplia distribución evidencia que gran parte del territorio presenta las condiciones favorables para la conservación del suelo. Las categorías de erosión 5,23–16,86 ton/ha/año y

moderadamente alta 16,87–35,48 ton/ha/año se distribuyen de forma dispersa en varios sectores de la cuenca, es decir, que presenta zonas con pendientes y erosividad por lluvia, lo cual favorece la pérdida del suelo.

Las categorías de erosión alta y muy alta, con valores de 35,48–63,98 ton/ha/año y alta, 63,98–148,32 ton/ha/año, respectivamente, ocupan una mayor extensión territorial y se concentran en los sectores con pendientes pronunciadas, escasa cobertura vegetal y elevada influencia de los factores topográficos. Representando zonas de mayor susceptibilidad a la degradación del suelo y a la pérdida de su capacidad productiva.

Figura 5

Mapa de Erosión Hídrica



4.4.Validación de la erosión hídrica mediante sedimentos en suspensión

La Tabla 9 presenta la comparación entre los sedimentos en suspensión

registrados en la estación hidrológica Ambi y los valores estimados a través del modelo RUSLE. Se analizaron las concentraciones de sólidos suspendidos y la producción de sedimentos registradas en la estación hidrológica Ambi. Las concentraciones de sólidos suspendidos presentan una variabilidad importante entre los diferentes eventos de muestreo, registrándose valores mínimos de 5 mg/L y máximos de 100 mg/L.

Los valores altos se observan en la muestra M3R2, donde se registra una concentración de 100 mg/L, donde se evidencia una respuesta directa de la cuenca a las precipitaciones de mayor intensidad, donde se observa un incremento en la erosión superficial y en el transporte de sedimentos. Los cuales muestran valores entre 0,026 y 0,52 kg/s. El valor máximo se registra en la muestra M3R2 con una producción equivalente a 16398,72 ton/año o 1,47 ton/ha/año, mientras que los valores mínimos correspondieron a eventos donde las concentraciones de sólidos suspendidos fueron menores.

El análisis temporal evidencia que los meses de abril y mayo presentan una mayor movilización de sedimentos en comparación con enero, situación que puede relacionarse con la ocurrencia de precipitaciones más intensas y una mayor generación de escorrentía superficial.

Asimismo, se observa que existen valores entre 0,46 y 1,29 ton/ha/año, mientras que los datos simulados se sitúan entre 0,91 y 1,00 ton/ha/año. El mayor beneficio observado se registra durante abril de 2026, coincidiendo con los eventos que presentan las mayores concentraciones de sólidos suspendidos.

Tabla 9

Comparación entre el rendimiento de sedimentos observados y simulados para la cuenca del río Ambi (ton/ha/año).

Número de Muestra	SY Observado	SY Simulado
Muestra 1	0,46	0,91
Muestra 2	0,85	0,91
Muestra 3	1,29	0,91
Muestra 4	0,47	0,91
Muestra 5	1,12	0,91
Muestra 6	0,50	0,91
Muestra 7	0,58	0,91

Los resultados exponen que existen una estimación aceptable entre las calculadas mediante RUSLE y los datos observados en campo. El valor de PBIAS obtenido fue de -24,82 %, indicando una ligera tendencia del modelo a sobreestimar la producción real de sedimentos. Ante lo observado, se considera que el comportamiento es aceptable para cuencas simulares, permitiendo validar la aplicación del modelo para estimar la erosión hídrica.

Tabla 10

Comparación entre el rendimiento de sedimentos observados y simulados de las microcuencas del río Ambi (ton/ha/año).

Microcuencas	SY Observado	SY Simulado
Ambi	0,75	0,85
Chorlaví	0,23	1,1
Itambí	0,22	1,17
Estación Hidrográfica Ambi	2,37	0,84

Para una mejor estimación de la erosión hídrica se tomó en cuenta las microcuencas del río Ambi que son: 1) Itambí, 2) Chorlaví, 3) Estación Hidrográfica Ambi, 4) Ambi, para determinar una erosión más precisa de la cuenca principal. El valor del PBIAS es de -8,12 con tendencia a sobreestimar la producción de sedimentos, con tendencia a bueno, concediendo la validación del modelo con respecto a la erosión hídrica

de la cuenca del río Ambi.

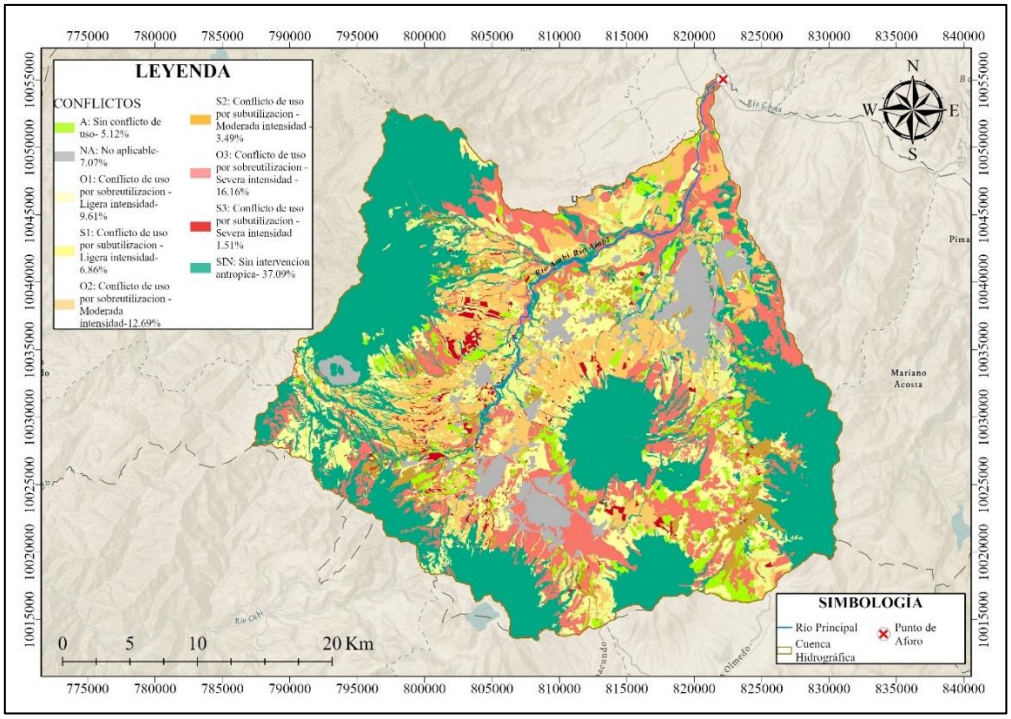
4.5.Conflictos de uso del suelo

El mapa de conflictos de uso que se evidencia en la Figura 6 permitió identificar una importante intervención antrópica dentro de la cuenca del río Ambi; se observó una presencia de las áreas bajo condiciones de sobreutilización, especialmente en categorías moderadas y severas, lo que evidencia que diversas actividades productivas se desarrollan sobre terrenos que presentan limitaciones naturales para su aprovechamiento intensivo.

La sobreutilización del suelo genera una disminución progresiva de la cobertura vegetal, favorece la compactación superficial y reduce la capacidad de infiltración; por ende, aumenta la escorrentía superficial y se incrementa la susceptibilidad frente a la erosión hídrica. Entonces los resultados indican que los factores antrópicos tienen una influencia en la degradación del suelo dentro de la cuenca, especialmente en zonas donde predominan las actividades agrícolas y pecuarias.

Figura 6

Conflictos del río Ambi



4.6.Clases agrológicas de la cuenca del río Ambi

El mapa de clases agrológicas en la Figura 7, evidencia una marcada variabilidad espacial de la capacidad productiva de los suelos dentro de la cuenca del río Ambi. Se identifican las clases II, III, IV, V, VI, VII y VIII, las cuales representan distintos grados de limitación para el desarrollo de actividades agrícolas, pecuarias y forestales.

Visualmente predominan las clases VI y VIII, distribuidas principalmente en la periferia de la cuenca, especialmente en las zonas montañosas ubicadas al norte, oeste y sur; en donde predominan pendientes pronunciadas; por lo que las actividades agrícolas resultan poco factibles en estas áreas. La clase VIII, entendidas como áreas de conservación ocupan grandes superficies especialmente en las zonas altas de la cuenca.

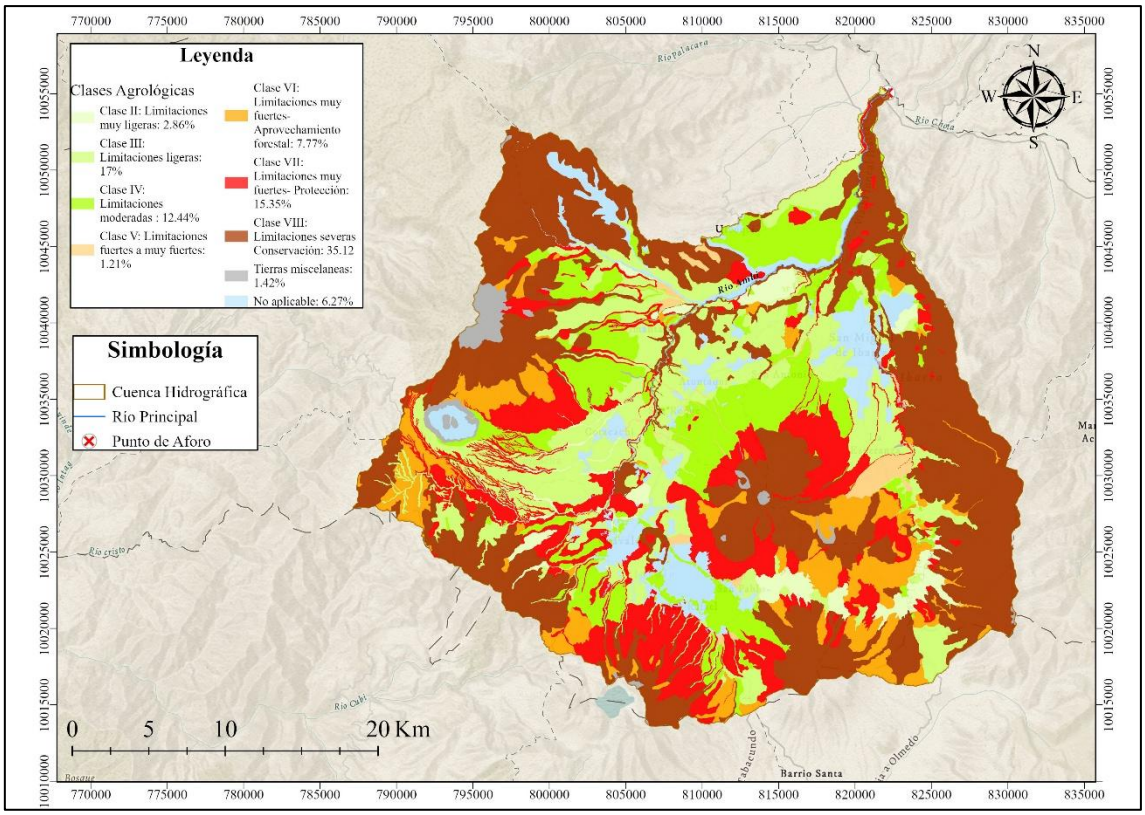
Las clases VI y VII, en la figura se muestran en varias extensiones de la zona entre las laderas altas y medias, siendo adecuadas para su aprovechamiento ambiental y

protección de las áreas. Las clases II, III y IV, se encuentran en las conas centrales de la cuenca y en los valles fluviales, en donde se permite el desarrollo de las actividades agrícolas por medio de prácticas de manejo y conservación del suelo.

Este mapa permite visualizar que gran parte de la cuenca presenta limitaciones naturales, entendiendo que las clases como VI, VII y VIII se consideran vulnerables a procesos erosivos; no obstante, también constituyen de factores importantes para la implementación de medidas de conservación ambiental.

Figura 7

Clases agrológicas del río Ambi



4.7.Uso potencial del suelo en la cuenca del río Ambi

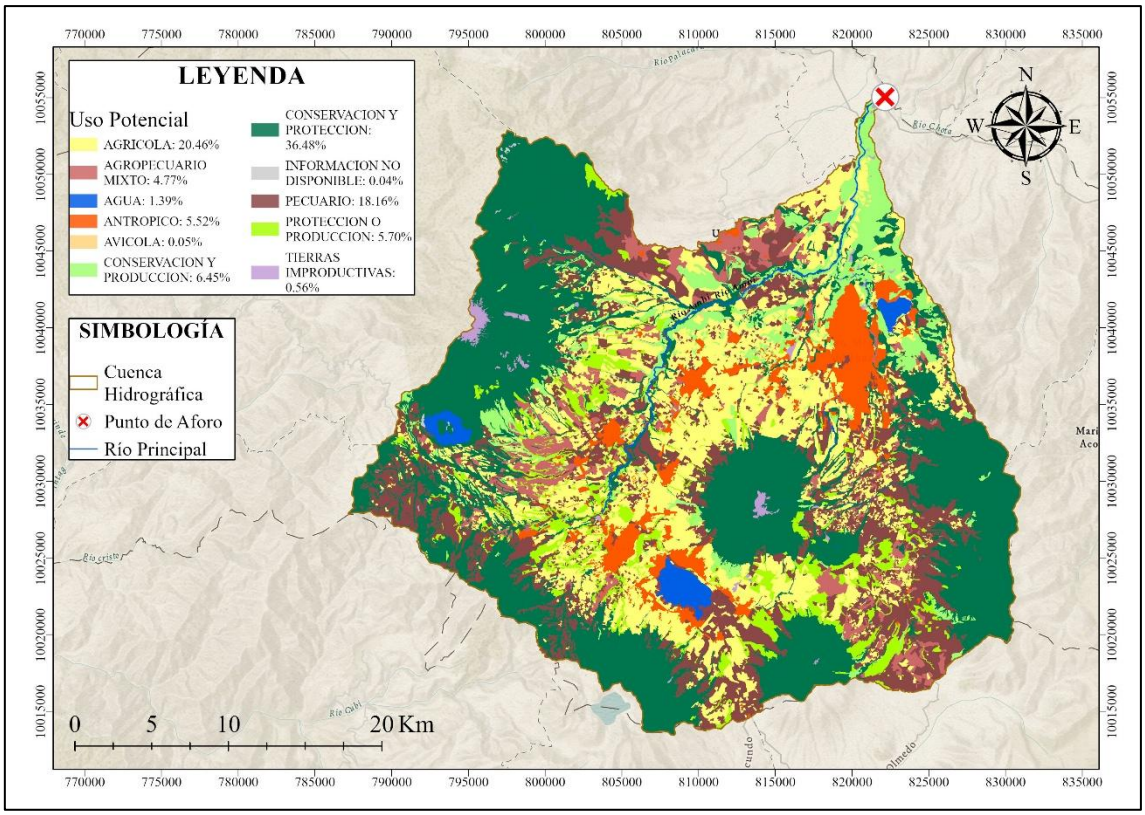
El mapa de uso potencial del suelo en la Figura 8, refleja la aptitud natural del territorio para diferentes actividades productivas y de conservación. Los resultados exponen que la categoría con mayor representación espacial corresponde a las tierras de

conservación y protección, las cuales ocupan aproximadamente el 36,48 % de la superficie de la cuenca. Las demás áreas se distribuyen por el resto del mapa y son consideradas las zonas con mayor potencial para las actividades agrícolas.

En la Figura 6, en el mapa se muestra que más de la mitad de la cuenca posee restricciones para las acciones agropecuarias de manera intensiva; lo que esta situación puede ser aprovechable para fortalecer las condiciones naturales del territorio y protección del ambiente.

Figura 8

Uso potencial del río Ambi



4.8.Cuantificación de los factores que predominan en el fenómeno de la erosión hídrica del río Ambi

La integración espacial de los factores R, K, LS, C y P mediante la aplicación de

la ecuación RUSLE estima la pérdida potencial de suelo en la cuenca hidrográfica del río Ambi. Los resultados obtenidos muestran una distribución espacial heterogénea de la erosión hídrica, observándose una predominancia de áreas con erosión baja y sectores localizados con niveles moderados, altos y muy altos de pérdida de suelo. Las zonas clasificadas con erosión baja se encuentran cubiertas por cobertura vegetal, páramos y zonas boscosas.

Las categorías con zonas moderadas, altas o muy altas se concentran en las laderas, y zonas intervenidas por actividades agropecuarias. La coincidencia espacial entre elevados valores del factor LS y altos valores del factor C evidencia que la combinación entre pendiente y uso inadecuado del suelo constituye el principal mecanismo responsable de las pérdidas de suelo observadas. Los resultados demuestran que la erosión hídrica en la cuenca del río Ambi no depende exclusivamente de la intensidad de las precipitaciones, sino de la interacción simultánea entre factores climáticos, topográficos, edáficos y antrópicos.

4.8.1. Planteamiento de las estrategias

Con los resultados obtenidos a través de la aplicación del modelo RUSLE y la identificación de las áreas que presentaron una mayor susceptibilidad a la erosión hídrica, con lo cual se formularon estrategias orientadas a la conservación y manejo sostenible del suelo en la cuenca del río Ambi. Se formularon estrategias orientadas a la conservación y manejo sostenible del suelo.

4.9.Identificación de las áreas prioritarias de intervención

La identificación de las áreas prioritarias se realiza según los resultados contenidos en el mapa de erosión hídrica, donde se determinaron los sectores con diferentes niveles de susceptibilidad a la pérdida del suelo. Es así que las zonas

clasificadas como erosión alta y muy alta se consideran áreas críticas de intervención debido a la combinación de las pendientes pronunciadas, escasa cobertura vegetal y una elevada influencia de los factores topográficos.

Es así que estas áreas requieren acciones inmediatas para la conservación y así evitar la degradación progresiva del suelo, y la disminución de su capacidad productiva y el incremento de la sedimentación de los cuerpos de agua. De igual forma, la erosión moderada demanda medidas preventivas que permitan con ello evitar la evolución hacia estados más severos.

Estrategias de conservación para las zonas con erosión moderada. En la Figura 9, las áreas identificadas se recomienda la implementación de prácticas de conservación orientadas a la mantención de la estabilidad del suelo y reducir la generación de la escorrentía superficial. Por ende, se propone que como medida se encuentran la siembra en curva de nivel, la rotación de cultivos, el estabelecimiento de barreras vivas y el mantenimiento de la cobertura vegetal como se muestra en la Tabla 10.

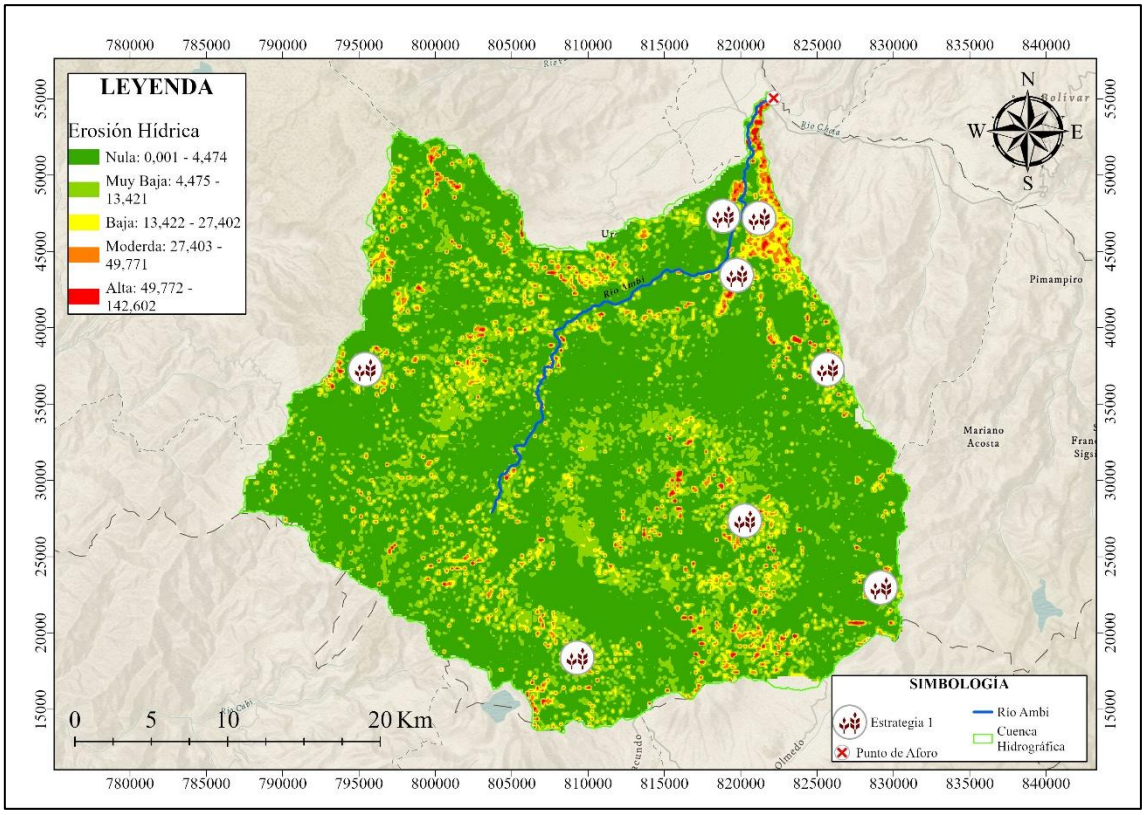
Tabla 10

Estrategias de conservación para zonas con erosión moderada en la cuenca del río Ambi

Problema identificado	Estrategia propuesta	Objetivo
Incremento de la escorrentía superficial en terrenos agrícolas	Implementación de siembra en curvas de nivel	Reducir la velocidad del flujo superficial y minimizar la pérdida de suelo
Disminución de la cobertura vegetal	Establecimiento de barreras vivas y cercas vegetales	Incrementar la protección del suelo frente al impacto de las precipitaciones
Degradación gradual de la estructura del suelo	Rotación de cultivos y uso de cultivos de cobertura	Mejorar las propiedades físicas y biológicas del suelo
Compactación y pérdida de infiltración	Incorporación de materia orgánica	Favorecer la infiltración y aumentar la capacidad de retención de humedad
Manejo inadecuado de áreas agrícolas	Capacitación en prácticas de conservación de suelos	Promover sistemas productivos sostenibles

Figura 9

Estrategias para la zona de erosión moderada



4.10. Estrategias de conservación para zonas con erosión alta y muy alta.

Las áreas con erosión alta y muy altas requieren de una aplicación de medidas de conservación de carácter riguroso, esto se debe al elevado riesgo que existe en la zona de pérdida del suelo Figura 10. Es así que se propone la construcción de las terrazas de formación lenta, zanjas de infiltración, diques para el control de la escorrentía y sistemas agroforestales, como se muestra en la Tabla 11.

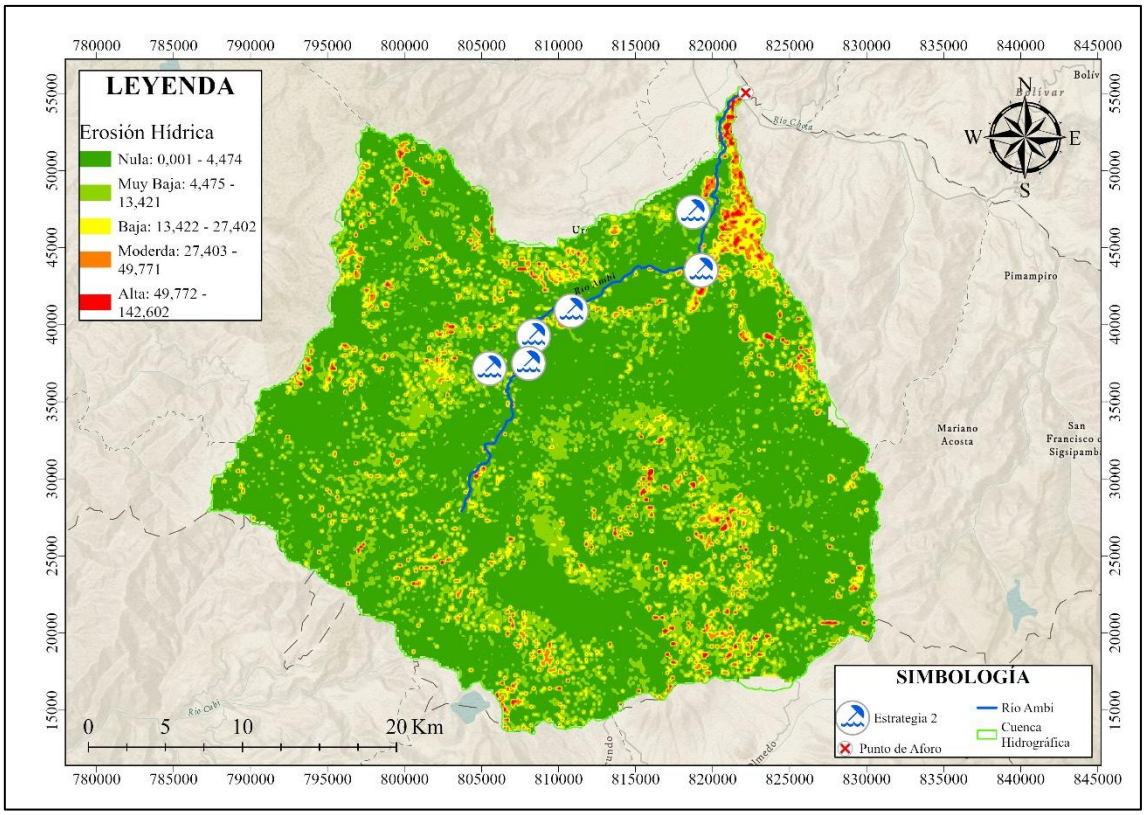
Tabla 11

Estrategias de conservación para zonas con erosión alta y muy alta en la cuenca del río Ambi

Problema identificado	Estrategia propuesta	Objetivo
Pérdida acelerada de suelo en laderas	Construcción de terrazas de formación lenta	Reducir la erosión y estabilizar las pendientes
Elevada escorrentía superficial	Implementación de zanjas de infiltración	Favorecer la infiltración y disminuir el transporte de sedimentos
Ausencia de cobertura vegetal protectora	Reforestación con especies nativas	Recuperar áreas degradadas y proteger el suelo
Sedimentación de cauces y drenajes	Construcción de diques de retención de sedimentos	Disminuir el arrastre de material hacia los cuerpos de agua
Uso intensivo de áreas con pendientes pronunciadas	Restricción y regulación de actividades agropecuarias	Reducir la presión sobre áreas vulnerables
Degradación continua del suelo	Implementación de sistemas agroforestales	Mejorar la estabilidad del suelo y diversificar la producción

Figura 10

Estrategias para la erosión alta y muy alta



CAPÍTULO V

5. DISCUSIÓN

Los resultados de la caracterización biofísica y climática muestran que la cuenca del río Ambi presenta una marcada heterogeneidad espacial, determinada por la gradiente altitudinal. La distribución de las temperaturas se encuentra entre 4 y 20 °C, lo que refleja la influencia de la elevación sobre las condiciones climáticas locales, el comportamiento característico de las cuencas andinas donde la temperatura disminuye conforme aumenta la altitud y condiciona tanto los procesos hidrológicos como la dinámica de la erosión. Lo que coindice con investigaciones como el de Delgado et al. (2025) en donde la variabilidad altitudinal controla la distribución de la precipitación, humedad del suelo y el desarrollo de la cobertura vegetal.

La distribución de las pendientes observadas en la cuenca, se observan que tiene predominio de terrenos montañosos, empinados y muy empinados, lo que resulta en condiciones geomorfológicos para la pérdida del suelo. Estos resultados son consistentes con estudios desarrollados en cuencas montañosas, donde la topografía representa uno de los factores físicos más determinantes en la generación de los procesos erosivos (Zhang et al., 2023).

Con respecto a la textura del suelo, se presenta un predominio de los suelos franco y franco-arenosos, lo que sugiere una condición intermedia entre la infiltración y retención de humedad. Donde estas texturas presentan una susceptibilidad moderada al desprendimiento de las partículas. Este comportamiento ha sido documentado ya que se indica que la textura por sí sola no determina la magnitud de la erosión, sino que actúa de forma integrada con las variables topográficas, climáticas y de manejo del suelo (Chand et al., 2023).

La estimación de los factores R, K, LS, C y P permitió identificar los elementos físicos y antrópicos que controlan la distribución espacial de la erosión hídrica en la cuenca del río Ambi. Lo que indica esta variabilidad observada entre los diferentes factores confirma que la pérdida de suelo constituye un proceso multifactorial. Sta interpretación coincide que el modelo RUSLE continúa siendo una de las metodologías más robustas para estimar la erosión hídrica en las cuencas hidrográficas (Kumar et al., 2022).

El factor de erosividad de la lluvia (R) mostró valores más elevados en los sectores oriental y suroriental de la cuenca, indicando una mayor capacidad de las precipitaciones para generar desprendimiento y transporte de partículas. De igual forma, el factor de erodabilidad del suelo (K), indica que los suelos de la cuenca presentan una resistencia moderada al desprendimiento. Estos valores encontrados destacan que el efecto de la lluvia únicamente se intensifica cuando coincide con pendientes elevadas y coberturas vegetales insuficientes (Delgado et al., 2025).

En comparación con otras investigaciones realizadas en la provincia de Imbabura, los resultados obtenidos evidencian que la erosión hídrica constituye una problemática recurrente en las cuencas altoandinas, principalmente asociada al cambio de uso del suelo y la presión sobre áreas con limitada capacidad de recuperación. Estudios realizados en cuencas cercanas, como los ríos Itambí y Palacara, han confirmado que la combinación de variables climáticas, topográficas, edáficas y de cobertura vegetal permite establecer patrones espaciales de erosión y definir zonas prioritarias para intervención.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.Conclusiones

La aplicación del modelo RUSLE integrado con herramientas de Sistemas de Información Geográfica permitió estimar y representar espacialmente la distribución de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Ambi, evidenciando que este proceso responde a la interacción entre las condiciones climáticas, características edáficas, relieve, cobertura vegetal y prácticas de manejo del territorio.

La pérdida del suelo estimada para la cuenca del río Ambi muestra una condición de erosión moderada existente en la zona; no obstante, la variación espacial mostró la existencia de áreas críticas que se encuentran asociadas a las zonas con pendientes pronunciadas, menor cobertura vegetal con actividades agropecuarias intensivas. Esto demuestra que el valor promedio de la cuenca no representa completamente la dinámica erosiva local, debido a que existen sectores donde la degradación del suelo puede comprometer la productividad agrícola y la estabilidad ambiental.

El cambio en la cobertura y uso del suelo constituye uno de los factores determinantes en la intensificación de los procesos erosivos dentro de la cuenca. Las áreas con cobertura natural presentaron una mayor capacidad de protección del suelo debido a la interceptación de la lluvia, incremento de la infiltración y reducción del escurrimiento superficial, mientras que los sectores con intervención agrícola evidenciaron mayor vulnerabilidad por la exposición directa del suelo a la acción erosiva de las precipitaciones.

El suelo mostró una influencia existente en la distribución de la erosión hídrica en la cuenca, por la presencia de zonas con mayor pendiente y extensión de laderas q ue

favorecen el aumento de la velocidad del flujo superficial y, una mayor capacidad de desprendimiento y transporte de partículas del suelo. Estas condiciones demuestran la necesidad de considerar las características geomorfológicas.

6.2.Recomendaciones

Implementar programas de conservación de suelos dirigidos prioritariamente hacia las zonas identificadas con mayor pérdida potencial de suelo, considerando medidas adaptadas a las condiciones locales como cobertura vegetal permanente, incorporación de materia orgánica, barreras vivas, terrazas agrícolas y sistemas agroforestales.

Fortalecer los procesos de ordenamiento territorial en la cuenca del río Ambi mediante la incorporación de mapas de susceptibilidad erosiva como herramientas de apoyo para la planificación del uso del suelo, evitando la expansión de actividades agrícolas intensivas en áreas con alta fragilidad ambiental.

Se recomienda orientar prácticas de manejo agrícola que reduzcan la exposición del suelo durante períodos críticos de precipitación, así como incentivos de técnicas como, por ejemplo, la labranza, cultivos de cobertura y manejo adecuado de residuos vegetales.

Asimismo, se debe considerar ejecutar campañas de monitoreo de erosión en parcelas experimentales, medición de sedimentos y seguimiento temporal de cambios de cobertura vegetal, con el fin de mejorar las evaluaciones obtenidas a través del modelo RUSLE.

Bibliografía

Agama, M. (2022). *Estimación de los factores que influyen en la pérdida de los suelos mediante la USLE en la microcuenca San Alberto del distrito Oxapampa.* Tesis , Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Oxapampa, Perú. Recuperado el 12 de junio de 2025, de http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2457/1/T026_71220537_T.pdf

Andrade-Carreño, I., Delgado, D., & Guillén-Vivas, M. (2025). Evaluación de la vulnerabilidad del suelo por erosión hídrica en la provincia de Manabí (Ecuador) mediante la aplicación de un modelo geoespacial. *Investigaciones Geográficas, 83*, 109-128. doi:https://doi.org/10.14198/INGEO.27414

Arias-Muñoz, P., Díaz-Chapués, D., Cabrera-García, S., & Jácome-Aguirre, G. (2023). Índice de Escasez Hídrica en la cuenca del río Ambi - Ecuador. *Instituto Mexicano de Tecnologías y Ciencias del Agua, 16*, 1-39. doi:DOI: 10.24850/j-tyca-16-1-2

Arias-Muñoz, P., Saz, M., & Escalona, S. (Enero-Junio de 2023). Estimación de la erosión del suelo mediante el modelo RUSLE. Caso de Estudio: cuenca media alta del río Mira en los Andes de Ecuador. *Investigaciones Geográficas, 79*, 207-230. Recuperado el 12 de julio de 2025, de https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/129663/6/Investigaciones-Geograficas_Spain_79_10.pdf

Berrocal, J. (2024). *Cuantificación de la erosión hídrica en la cuenca del río Aguaquirí aplicando la ecuación universal de pérdida de suelo revisada.* Tesis , Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. Recuperado el 11 de julio de 2025, de https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/d25c3eb8-b5e9-41ad-bfc3-439319475a1b/content

Cáceres, D., & Guzmán, G. (2023). *Evaluación de las condiciones en que se encuentra los suelos de la finca experimental El Plantel con fines de confrontación de uso según la metodología de la USDA, Managua, 2022-2023.* Trabajo de Tesis, Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. Recuperado el 15 de julio de 2025, de https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnp33c118.pdf

Calderón , J., Vizcarra , S., & Román , C. (2024). Modelado de la erosión hidrica del suelo mediante metodologia USLE en la cuenca del río Caplina al sur de Perú. *Ingeniera Investiga* .

Calderón, J., & Vizcarra, S. (2024). *Evaluación de la erosión hídrica en la subcuenca del río caplina utilizando el modelo USLE mediante el sistema de información geográfico, Tacna-2023.* Tesis, Universidad Privada de Tacna, Tacna, Perú. Recuperado el 13 de julio de 2025, de https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/3551/Calderon-Cardenas-Vizcarra-Soto.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Carvajal , M., & Rodriguez , A. (2024). *MODELAMIENTO DE LA EROSÍON HÍDRICA EN LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL RIO AMBI.* TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, Ibarra, Ecuador. Recuperado el 14 de julio de 2025, de https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/16666#:~:text=El%20objetivo%20de%20esta%20investigaci%C3%B3n%20fue%20evaluar%20el,de%20proponer%20estrategias%20de%20manejo%20del%20recurso%20suelo.

Cassanova , G., Delgado, D., & Panchana , R. (2023). Estimación de volúmenes de sedimentos por erosión hídrica empleando el modelo RUSLE en cuencas de la provincia de Manabí, Ecuador. *Revista de Teledetección* .

Castro-Villarreal, J., Villarreal-Núñez, J., & Cabrera-Rodriguez, J. (2025). Pérdida de

suelo por erosión hídrica en la subcuenca río Estibaná, Panamá. *Universidad de Costa Rica, 36*(59684), 1-16. doi:https://doi.org/10.15517/am.2024.59684

Chano, N., & Martínez, J. (2023). *Análisis del cambio de uso de suelo y proyección futura para el cantón Ibarra.* Trabajo de Titulación, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. Recuperado el 15 de julio de 2025, de https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/14663/2/03%20RNR%20467%20TESIS.pdf

Condori, F., Pino, E., & Tacora, P. (2022). Pérdida de suelos por erosión hídrica en laderas semiáridas de la subcuenca Cairani-Camilaca. *Idesia (Arica), 40*(2). doi:http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292022000200007

Consejo Nacional de Planificación. (16 de febrero de 2024). *https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/2024/02/PND2024-2025.pdf.* Recuperado el 13 de junio de 2025, de https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/2024/02/PND2024-2025.pdf: https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/2024/02/PND2024-2025.pdf

Corona, J., & Galeana-Pizaña, J. (02 de octubre de 2020). Erosión de los suelos y carencia alimentaria en México: una primera aproximación. *Investigaciones Geográficas, 101*. Recuperado el 11 de junio de 2025, de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112020000100103

Dávalos, L. (2021). *Estrés hídrico en las cuencas de la región del valle de México, las cuencas hidrográficas como unidad de gestión territorial sosteible.* Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Ciudad de México, México. Recuperado el 16 de julio de 2025, de

https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000816340/3/0816340.pdf

Del Castillo, J. (2023). *Evaluación de la pérdida del suelo por erosión hídrica utilizando metodología RUSLE con SIG en la cuenca del río Sacanche-San Martín.* Tesis, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú. Recuperado el 13 de julio de 2025, de https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b5648acd-6abd-407f-9c23-635af4c716f1/content

Delgado, J. (2020). Estimación de la pérdida de suelos utilizando el modelo USLE y herramientas SIG, en la cuenca del río Chillón, Lima, Perú. *South Sustainability, 1*(1), 1-11. doi:DOI: 10.21142/SS-0101-2020-007

Filchev, L., & Kolev, V. (2023). "Assessing of Soil Erosion Risk Through Geoinformation Sciences and Remote Sensin a Review".

Jaya, J. (2023). Altos niveles de erosión hídrica en una microcuenca tropical calculado mediante el modelo USLE . *Investigación y desarrollo FIGEMPA*.

Molina, A., Vanacker, V., Rosas, M., Bonnesoeur, V., Róman, F., Ochoa-Tocachi, B., & Buytaert, W. (2021). *Infraestructura natural para la gestión de riesgos de erosión e inundaciones en los Andes: ¿Qué sabemos?* Informe, Universidad de Cuenca, Pontificia Universidad Católica del Perú, Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), Canadá. Recuperado el 11 de julio de 2025, de https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2021/06/Resumen-IN-para-la-gestion-de-riesgos-de-erosion-e-inundaciones-en-los-Andes-1.pdf

Montesinos, F., & Villena, J. (2024). *Estimación de la pérdida del suelo por erosión hídrica mediante el modelo RUSLE wn la Subcuenca del río Ocros Región ANCASH 2024.* Tesis de Maestría, Universidad Católica de Trujillo Benedicto

XVI, Trujillo, Perú. Recuperado el 12 de julio de 2025, de https://repositorio.uct.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b9027c62-37d2-4c9a-b609-c0c55f44a716/content

Moriasi, D., N., Gitau , M. W., Pai, N., & Daggupati, P. (2015). . Hydrologic and Water Quality Models: Performance Mesures and Evaluation Criteria. *Transactions of the ASABE 58(6)*, 1763-1785. doi:https://doi.org/10.13031/TRANS.58.10715

Nárvaez, H., & Holguín, F. (2023). *Fechac y los ODS, Informe de inversión social para el desarrollo sostenible 2022-2023.* Informe de Inversión, Fundación del Empresariado Chihuahuense, A. C, Chile. Recuperado el 13 de junio de 2025, de https://fechac.org.mx/app_fechac/_files/_img/_documents/012821-160142_rf-1-03compromisodefechacconlosodsrev1.pdf?gad_source=1&gad_campaignid=20014956691&gbraid=0AAAAABsloXpny8v03a3LJ_ipyoZOTgA00&gclid=Cj0KCQjwmK_CBhCEARIsAMKwcD6JMfnud7LcJGPa2Jfk1cQ1kyM7qD

Oralia, R. (2021). *Estimación de la erosión hídrica mediante la ecuación universal de la pérdida del suelo (USLE) en dos microcuencas agrícolas.* Trabajo de Titulación, Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador. Recuperado el 12 de junio de 2025, de https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ROSADO%20MAC%C3%8DAS%20ORALIA%20PAMELA.pdf

Patiño, E. (2024). Restrospectiva critica del estado ambiental y social de la laguna de Yaguarcochoa, periodo 1920-2022, cantón Ibarra, provincia de imbabura. 75-76.

Perales, A. (2019). *Pérdida de suelo or erosión hídrica aplicando el modelo RUSLE en la cuenca del río Supte Grande, Provincia de Leoncio Prado-Huánaco.* Tesis, Unviersidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú. Recuperado el 11 de julio de 2025, de

https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/895f26e4-0e3c-4c61-b624-4cb22225673c/content

Presidencia de la República. (20 de octubre de 2008). *Constitución del Ecuador.* Recuperado el 13 de junio de 2025, de https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf: https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf

Presidencia de la República. (12 de abril de 2017). *Código Orgánico del Ambiente.* Recuperado el 13 de junio de 2025, de https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf: https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf

Ramos, B., & Sánchez, E. (2023). *Estimación de la pérdida de suelo utilizando el modelo USLE y herramientas SIG, en la microcuenca del Puela, cantón Penipe.* Trabajo de Titulación , Universidad Nacional del Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Recuperado el 13 de junio de 2025, de http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/10459/1/Ramos%20A.%20Bryan%20A%3B%20S%C3%A1nchez%20P.%20Estefan%C3%ADa%20S.%2C%282023%29_%20Estimaci%C3%B3n%20de%20la%20p%C3%A9rdida%20de%20suelo%20utilizando%20el%20modelo%20USLE.pdf

República del Ecuador Asamblea Nacional. (30 de junio de 2016). *Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo.* Recuperado el 13 de junio de 2025, de https://www.gobiernoelectronico.gob.ec/wp-content/uploads/2020/08/Ley-Organica-de-Ordenamiento-Territorial-Uso-y-Gestion-de-Suelo1.pdf: https://www.gobiernoelectronico.gob.ec/wp-content/uploads/2020/08/Ley-Organica-de-Ordenamiento-Territorial-Uso-y-

Gestion-de-Suelo1.pdf

Rivera, J., & Iparraguirre, K. (2024). *Determinación de la erosión hídrica en la cabecera de cuenca del río Tulumayo, provincia de Concepción, departamento Junín.* Tesis, Universidad Continental, Huancayo, Perú. Recuperado el 16 de julio de 2025, de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/15749/1/IV_FIN_107_TE_Rivera_Iparraguirre_2024.pdf

Rodríguez, R., Rodríguez, A., López, D., & F, E. (30 de junio de 2022). Evaluación de la pérdida de suelo por factores hídricos . *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan, 10*(1), 84-90. Recuperado el 13 de julio de 2025, de https://www.researchgate.net/publication/362047368_Evaluacion_de_la_Perdida_de_Suelo_por_factores_hidricos

Saturnino, A., Álcazar, M., Cermeño, F., & Barbero, F. (11 de septiembre de 2022). Erosión y manejo del suelo. Importancia del laboreo ante los procesos erosivos naturales y antrópicos. *Agricultura Ecológica en Secano, 7*(1), 13-38. Recuperado el 11 de junio de 2025, de https://core.ac.uk/download/pdf/36082896.pdf

Solís, A. (2020). *Calidad del suelo y servicios ecosistémicos en la Región Terrestre Prioritaria 105.* Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Puebla, México. Recuperado el 15 de julio de 2025, de https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/0e1ea026-0c2f-4c0f-b252-d84a2e4a858b/content

Troya , N., & Villareal , D. (2021). ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA POR EFECTOS DE CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA CUENCA MEDIA ALTA DEL RIO MIRA .

Tsegaye, L., & Rishikesh, B. (2021). Soil erosion and sediment yield assessment using

RUSLE and GIS-based approach in Anjeb watershed, Northwest Ethiopia. *SN Applied Sciences*, 1-19. doi:https://doi.org/10.1007/S42452-021-04564-X/TABLES/10

Zaragoza, E. (2021). *Análisis multitemporal de la cobertura del terreno y su asociación en las tasas de erosión hídrica en Acoculco, Puebla.* Tesis de Maestría en Ciencias, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Ensenada, Baja California, México. Recuperado el 11 de junio de 2025, de https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/3597/1/tesis_Edgar%20Daniel%20Zaragoza%20Pulido_23%20ago%202021.pdf

Anexos

Anexo 1.-Análisis de las muestras de agua en el Laboratorio de Química de la Universidad Técnica del Norte







Anexo 2.-Recolección de muestras de suelo en la cuenca hidrográfica







Anexo 3.- Matriz de confusión y coeficiente Kappa

Confusion matrix online calculator

Home page

Draw confusion matrix for 8 classes.

		Truth data									
		Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5	Class 6	Class 7	Class 8	Classification overall	User's accuracy (Precision)
Classifier results	Class 1	25	0	0	0	0	0	0	0	25	100%
	Class 2	0	25	1	0	0	0	0	0	26	96.154%
	Class 3	0	0	24	0	0	0	0	0	24	100%
	Class 4	0	0	0	25	0	0	0	0	25	100%
	Class 5	0	1	0	0	25	1	0	1	28	89.286%
	Class 6	0	0	0	1	0	24	0	0	25	96%
	Class 7	0	0	0	0	1	0	28	0	29	96.552%
	Class 8	0	0	0	0	0	0	1	17	18	94.444%
	Truth overall	25	26	25	26	26	25	29	18	200	
	Producer's accuracy (Recall)	100%	96.154%	96%	96.154%	96.154%	96%	96.552%	94.444%		

Overall accuracy (OA): 96.5%

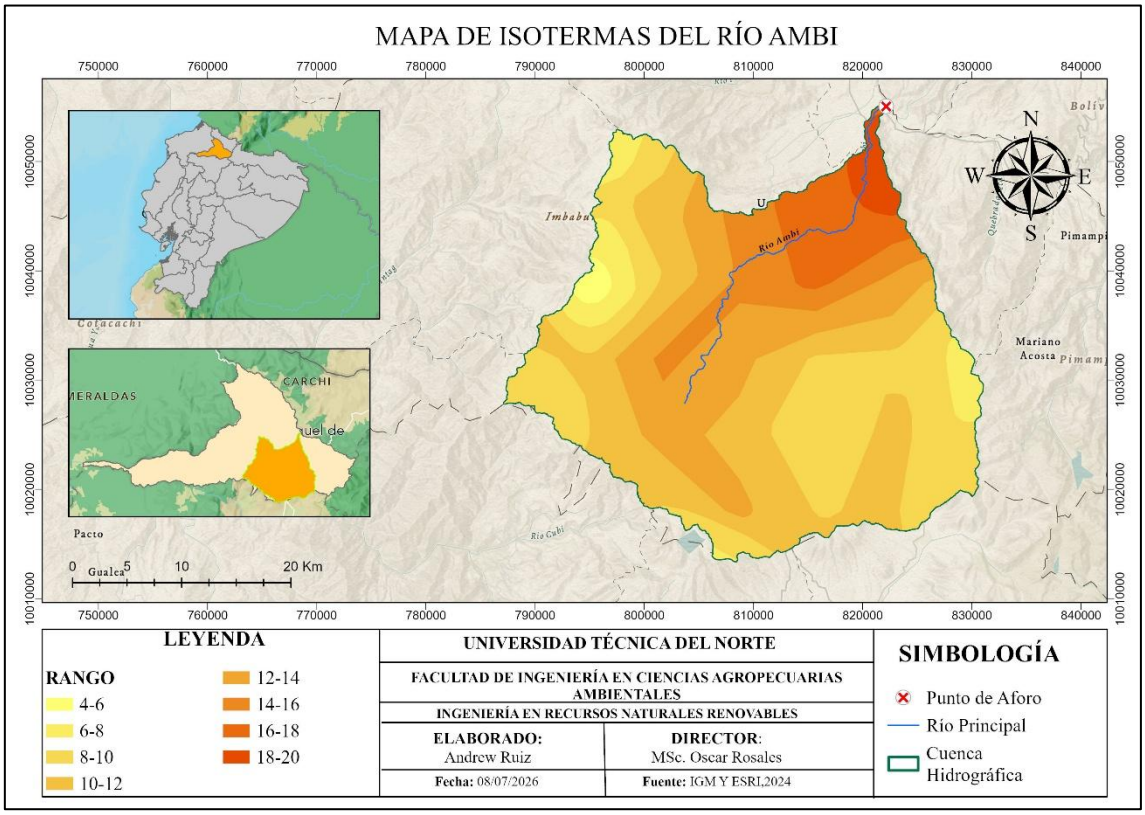
Kappa[1]: 0.96

> Calculate confusion matrix <

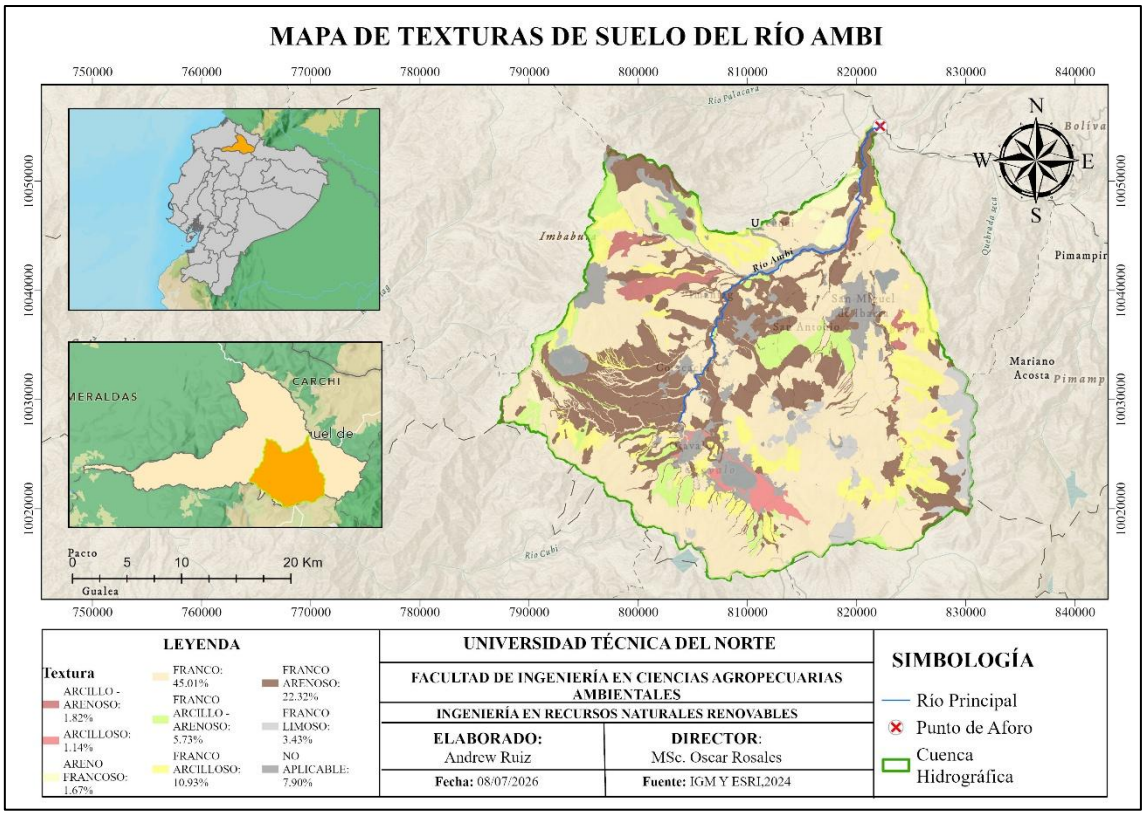
2007 by Marco Vanetti

[1]See: J. Richard Landis and Gary G. Koch - *The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data*, Biometrics, Vol. 33, No. 1 (Mar., 1977), pp. 159-174.

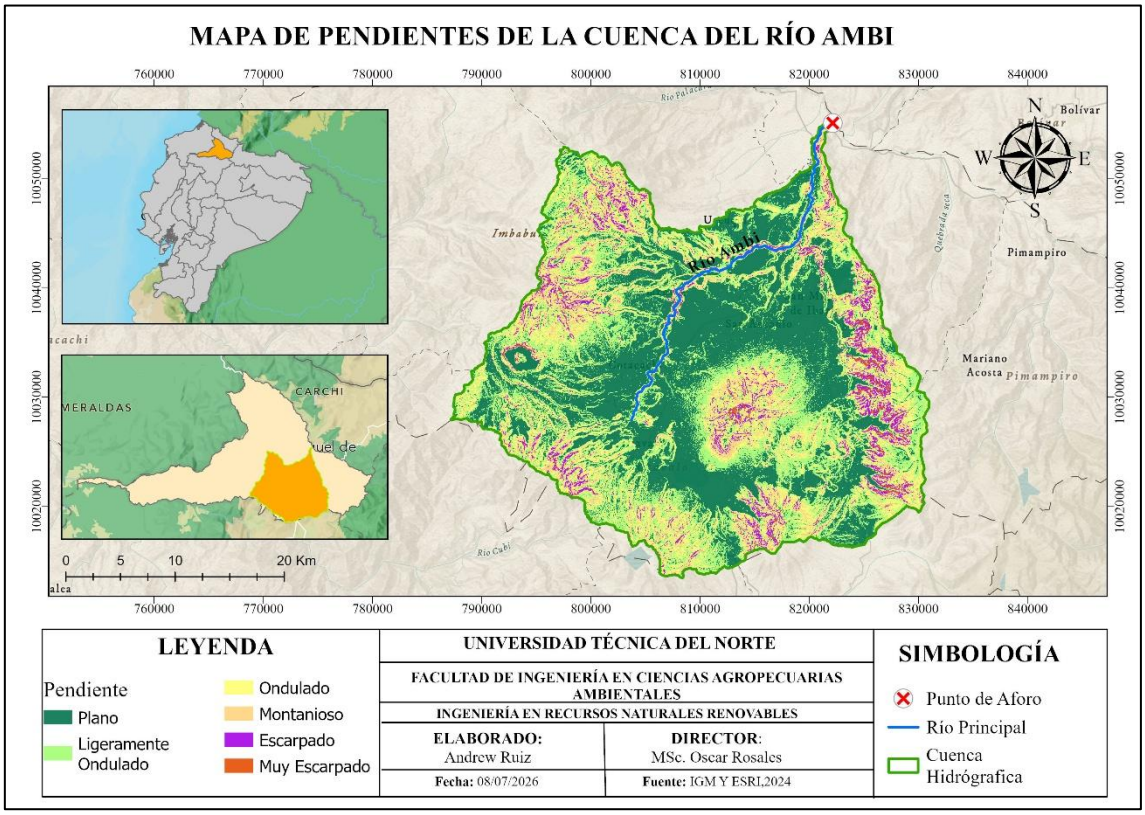
Anexo 4.- Mapa de isotermas medias anuales de la cuenca del río Ambi



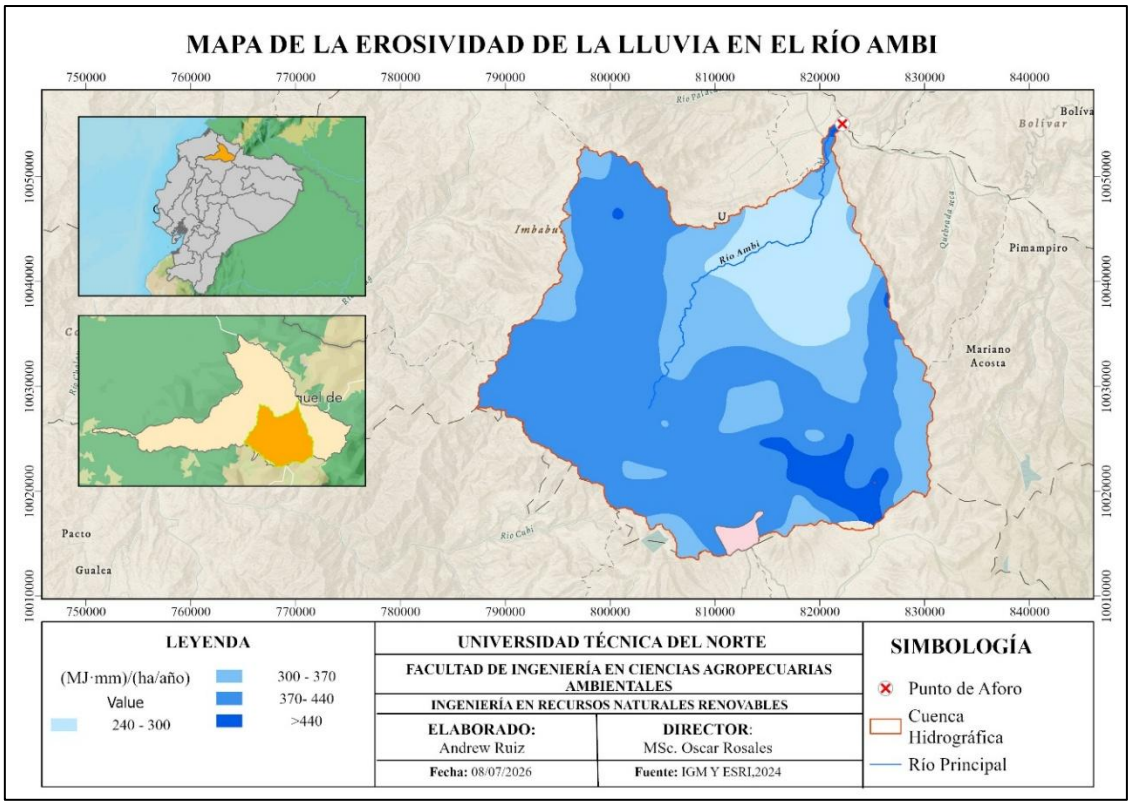
Anexo 5.- Mapa de texturas de la cuenca del río Ambi



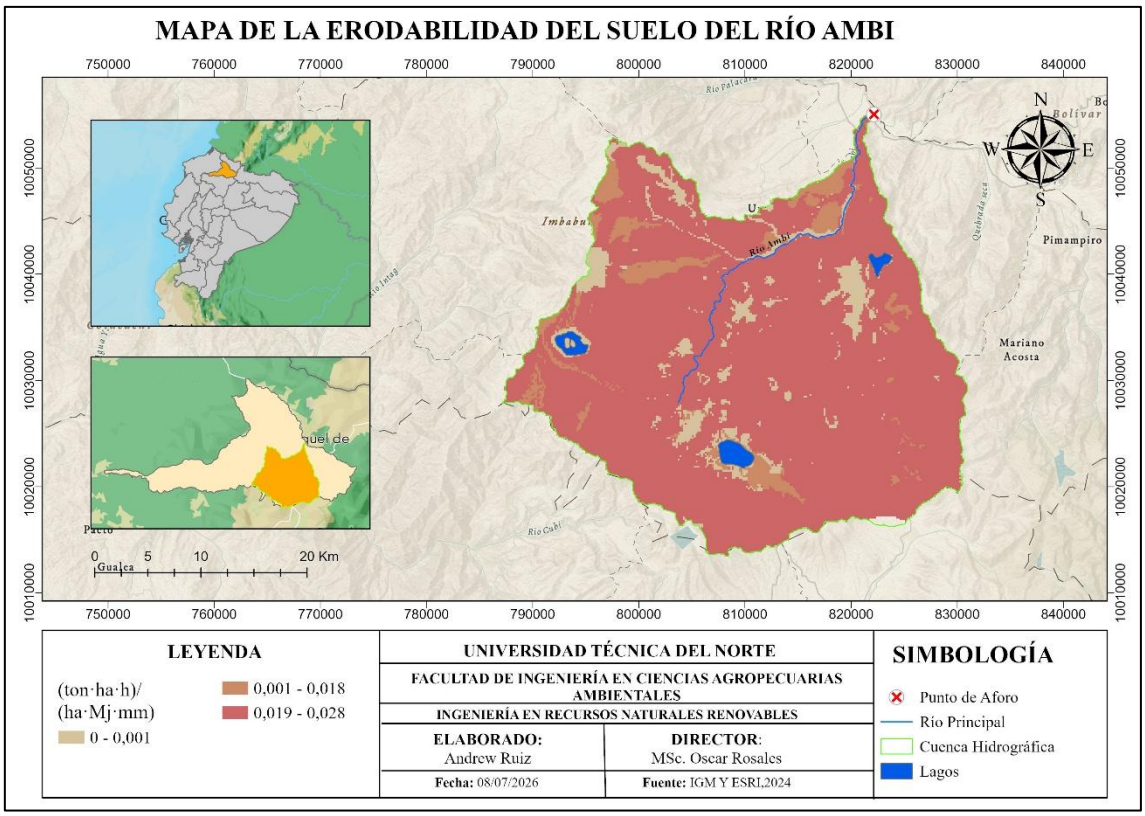
Anexo 6.- Mapa de pendientes de la cuenca del río Ambi



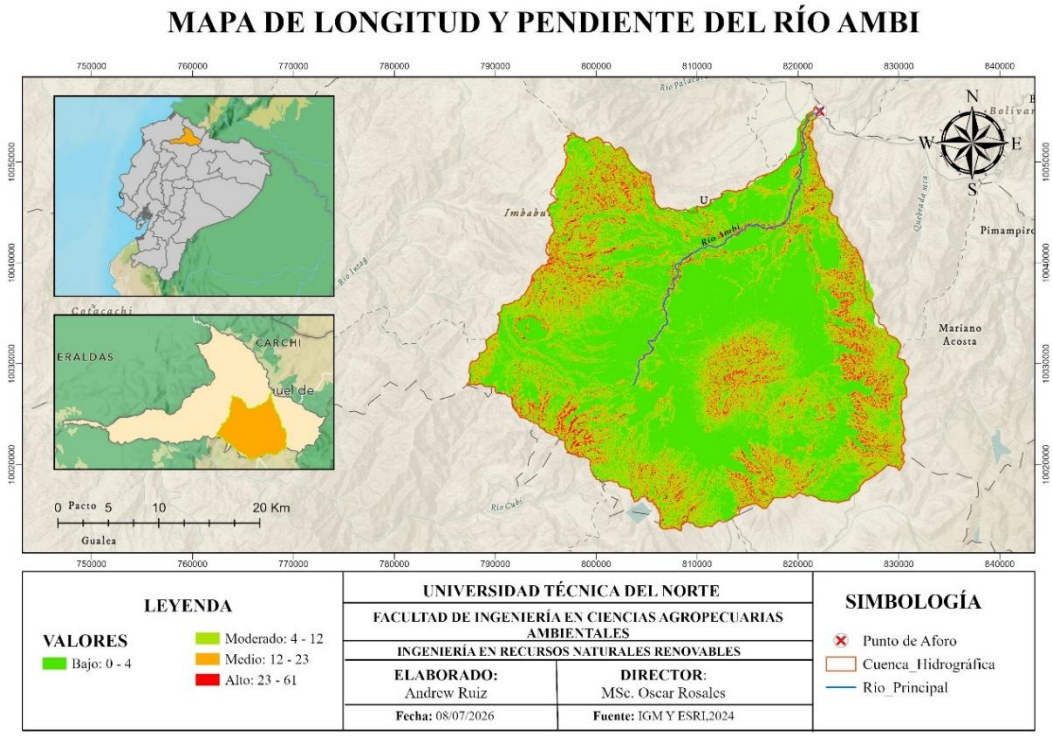
Anexo 7.- Distribución espacial del Factor R



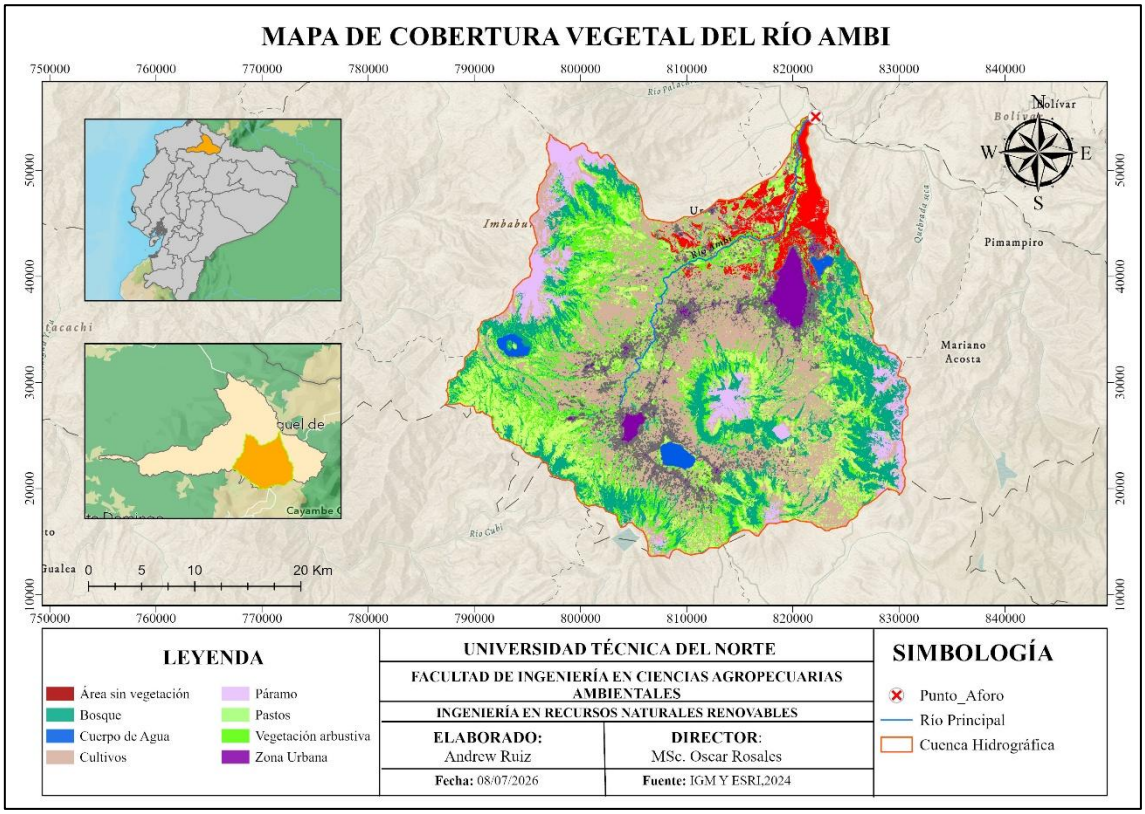
Anexo 8.- Distribución espacial del Factor K



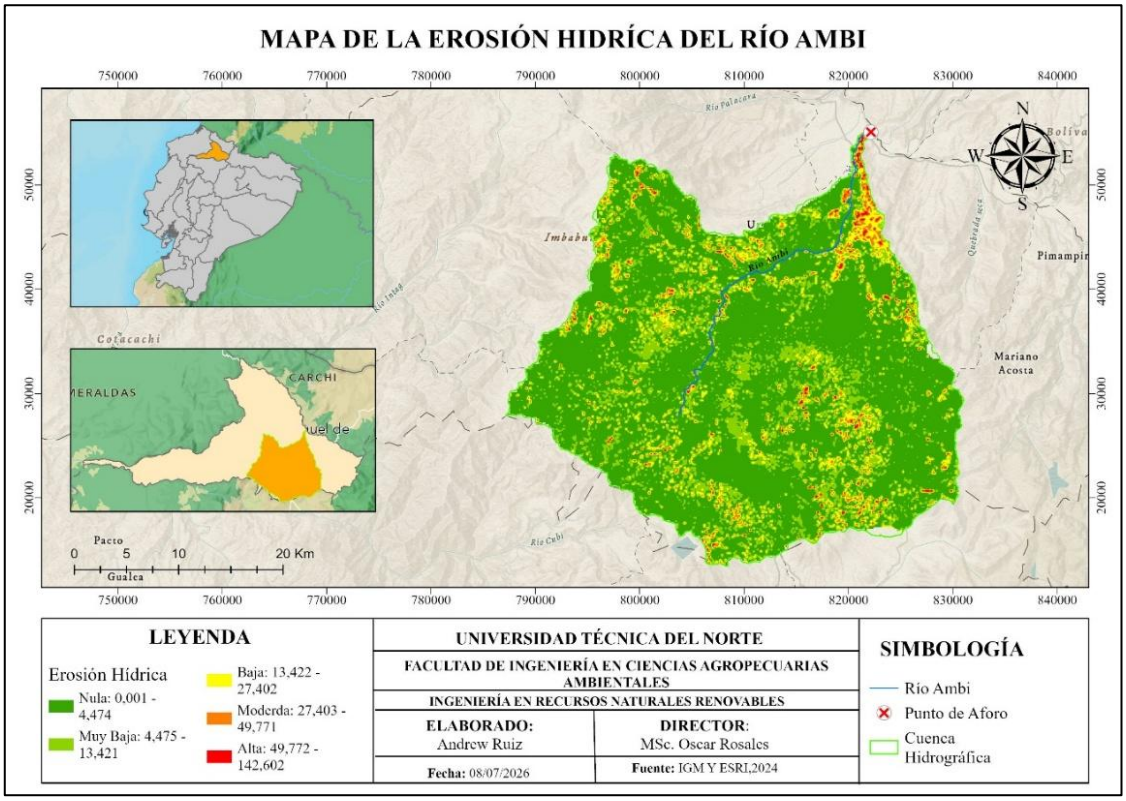
Anexo 9.- Distribución espacial del Factor LS



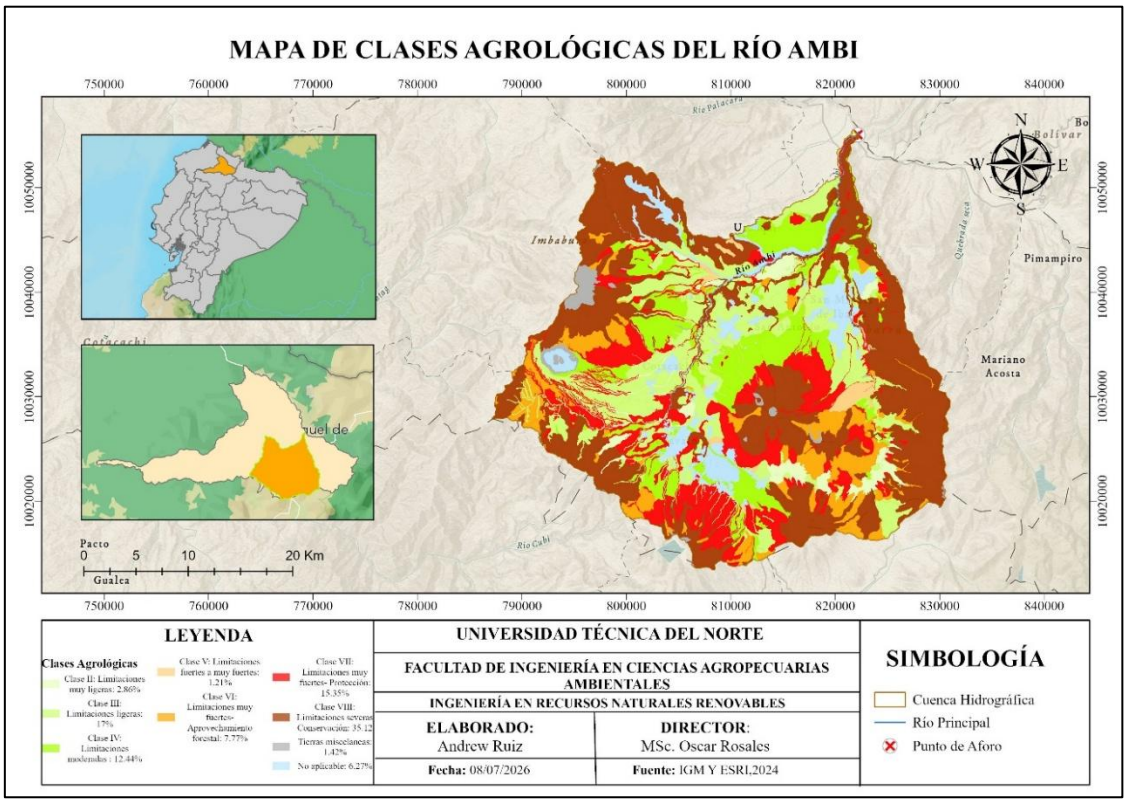
Anexo 10.- Distribución espacial del Factor C



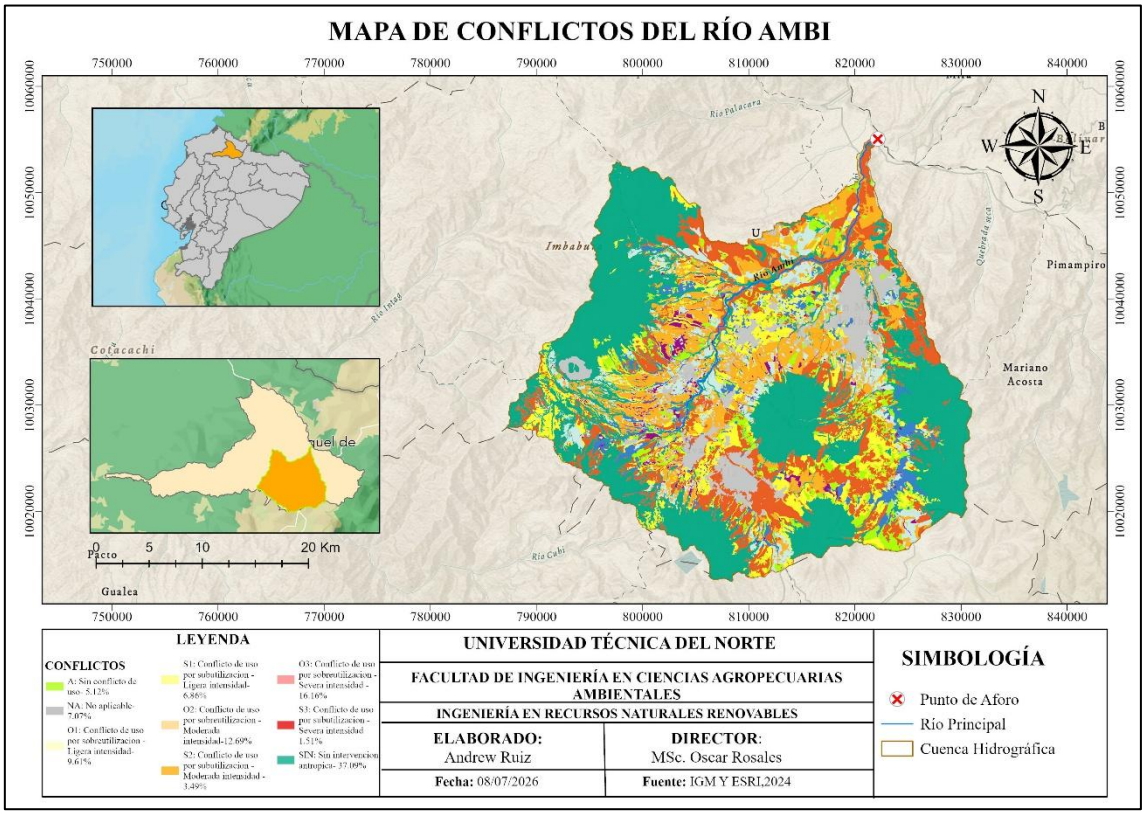
Anexo 11.- Distribución espacial de la erosión hídrica



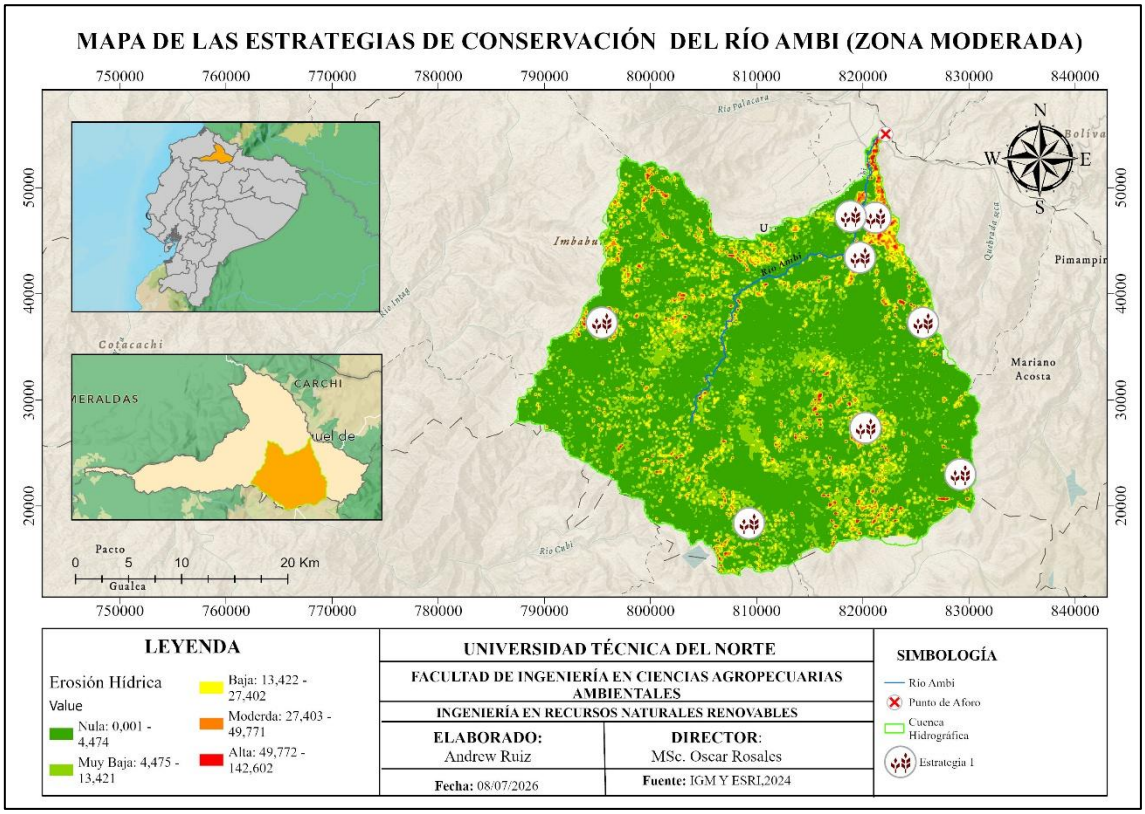
Anexo 12.- Distribución de las clases agrológicas de la microcuenca



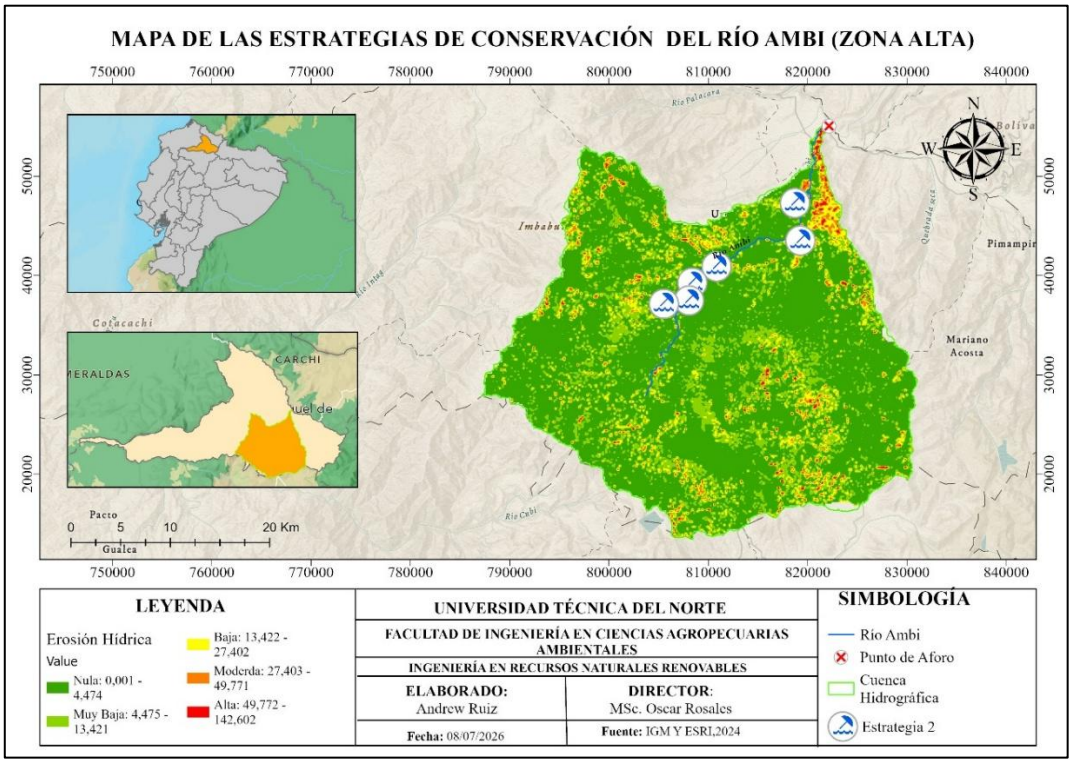
Anexo 13.- Distribución espacial de conflictos del río Ambi



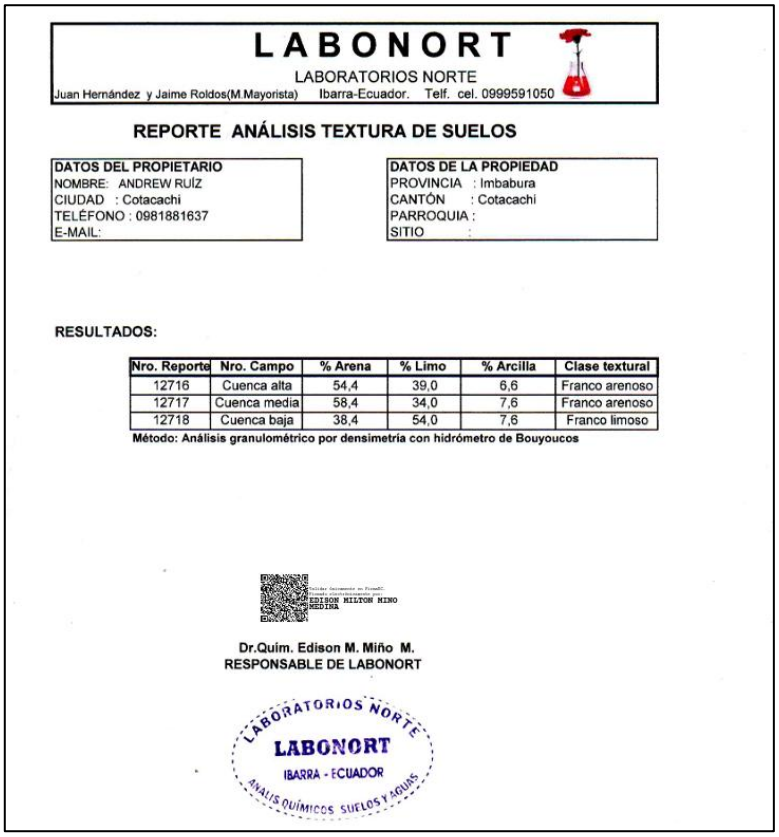
Anexo 14.- Estrategias de conservación para la zona moderada



Anexo 15.- Estrategias de conservación para la zona alta



Anexo 16.- Resultados del Laboratorio LABONORT



LABONORT

LABORATORIOS NORTE

Juan Hernández y Jaime Roldos(M.Mayorista) Ibarra-Ecuador. Telf. cel. 0999591050

REPORTE ANÁLISIS TEXTURA DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO	DATOS DE LA PROPIEDAD
NOMBRE: ANDREW RUÍZ	PROVINCIA : Imbabura
CIUDAD : Cotacachi	CANTÓN : Cotacachi
TELÉFONO : 0981881637	PARROQUIA :
E-MAIL:	SITIO :

RESULTADOS:

Nro. Reporte	Nro. Campo	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase textural
12716	Cuenca alta	54,4	39,0	6,6	Franco arenoso
12717	Cuenca media	58,4	34,0	7,6	Franco arenoso
12718	Cuenca baja	38,4	54,0	7,6	Franco limoso

Método: Análisis granulométrico por densimetría con hidrómetro de Bouyoucos

EDISON MILTON MIÑO MEDINA

Dr.Quím. Edison M. Miño M.
RESPONSABLE DE LABONORT

LABORATORIOS NORTE
LABONORT
IBARRA - ECUADOR
ANALISIS QUÍMICOS SUELOS Y AGUAS