



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

MODELAMIENTO DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA
HIDROGRÁFICA DEL RÍO AMBI

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

AUTORAS: MILAGROS MISHELL CARVAJAL CALUGUILLIN
AMBAR MASSIEL RODRÍGUEZ TITUAÑA

DIRECTOR:
ING. OSCAR ARMANDO ROSALES ENRIQUEZ, MSc.

NOVIEMBRE, 2024

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPERCUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

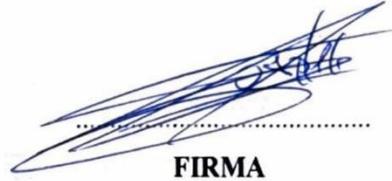
"MODELAMIENTO DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA
HIDROGRÁFICA DEL RÍO AMBI"

Trabajo de titulación revisada por el Comité Asesor, previa a la obtención
del Título de:

INGENIERAS EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADO:

MSc. Oscar Rosales
DIRECTOR


.....
FIRMA

PhD. Paul Arias
ASESOR


.....
FIRMA

IBARRA- ECUADOR
NOVIEMBRE , 2024

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
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, hacemos la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual ponemos a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	1727462507	
APELLIDOS Y NOMBRES	Carvajal Caluguillin Milagros Mishell	
DIRECCIÓN:	Cayambe-Pichincha	
EMAIL:	mmcarvajalc@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0967319922

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	1005008378	
APELLIDOS Y NOMBRES	Rodríguez Tituaña Ambar Massiel	
DIRECCIÓN:	Otavalo - Imbabura	
EMAIL:	amrodriguezr@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0988725052

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	MODELAMIENTO DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO AMBI
AUTORAS:	Carvajal Caluguillin Milagros Mishell Rodríguez Tituaña Ambar Massiel
FECHA:	12 de noviembre de 2024
PROGRAMA:	PREGRADO

TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	Ing. Oscar Rosales

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 12 días del mes de noviembre de 2024

LAS AUTORAS:



.....
Carvajal Caluguillin Milagros Mishell

CI: 1727462507



.....
Rodríguez Tituaña Ambar Massiel

CI: 1005008378

REGISTRO BIBLIOGRAFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: 12 de Noviembre de 2024

MILAGROS MISHELL CARVAJAL CALUGUILLIN

AMBAR MASSIEL RODRÍGUEZ TITUAÑA

**MODELAMIENTO DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA
HIDROGRÁFICA DEL RÍO AMBI**

TRABAJO DE GRADO

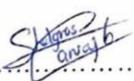
Ingenieras en Recursos Naturales Renovables, Universidad Técnica del Norte.
Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, Ibarra, noviembre de
2024.

DIRECTOR: MSc. Oscar Armando Rosales Enríquez Ing.

El objetivo de esta investigación evaluó el riesgo de erosión hídrica en la cuenca
hidrográfica del río Ambi mediante la aplicación del modelo hidrológico y
geomorfológico, con el fin de proponer estrategias de manejo del recurso suelo.

Ibarra, octubre de 2024

AUTORAS

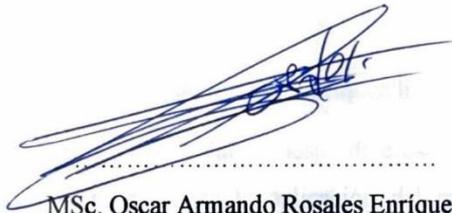

.....
Carvajal Caluguillin Milagros Mishell
CI: 1727462507


.....
Rodríguez Tituaña Ambar Massiel
CI: 1005008378


.....
DIRECTOR
MSc. Oscar Armando Rosales Enríquez
CI: 0400933529

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por las señoritas MILAGROS MISHELL CARVAJAL CALUGUILLIN, con cédula de identidad Nro. 1727462507 y AMBAR MASSIEL RODRÍGUEZ TITUAÑA, con cédula de identidad Nro. 1005008378, bajo mi supervisión en calidad de director



MSc. Oscar Armando Rosales Enriquez

DIRECTOR

Ibarra, a los 12 del mes de noviembre del 2024.

AGRADECIMIENTO

A Dios por todo su amor y bondad, siempre llenando de bendiciones de todos nuestros logros y ser nuestro guía, por brindarnos sabiduría en momentos difíciles.

A nuestros padres por ser una pieza muy importante en nuestras vidas, por su paciencia, amor, apoyo y sobre todo confianza en nuestra formación.

A la honorable Universidad Técnica del Norte por ser una institución acogida para poder realizar nuestra educación y formar grandes profesionales.

A nuestro director Msc. Óscar Rosales, por siempre brindarnos todo su tiempo, paciencia y apoyo incondicional desde los inicios del proyecto hasta el fin. De igual manera a nuestro asesor PhD. Paúl Arias, por compartir su conocimiento y contribuir en cada momento para salir adelante en la culminación del trabajo de titulación.

Finalmente, queremos expresar nuestro agradecimiento y gratitud a todos aquellos que nos asesoraron, en especial a nuestros familiares y amigos quienes apoyaron día a día a sobre salir ante toda adversidad, siempre lo llevaremos en nuestro corazón.

Milagros Mishell Carvajal Caluguillin

Ambar Massiel Rodríguez Tituaña

DEDICATORIA

Agradezco a Dios, quien me ha dado la sabiduría y la fortaleza para superar los obstáculos y alcanzar mis metas. A mis padres Segundo Carvajal y Anita Caluguillin, gracias por su amor incondicional, su apoyo y su motivación constante. Ustedes son mi ejemplo para seguir y siempre estaré agradecida por todo lo que han hecho por mí. A mis hermanos Elizabeth, Yadira, Ariel y Alexis por su amor y por creer en mí. De igual manera agradezco a Mamisol y a Deylan quienes, me han apoyado durante este proceso. Este logro es un tributo a su amor y dedicación, y espero que este trabajo de titulación inspire a otros a alcanzar sus metas y perseguir sus sueños con pasión y determinación.

Milagros Mishell Carvajal Caluguillin

DEDICATORIA

Agradezco primero a Dios por todo su amor incondicional, quién fue el principal motor en todo el proceso y poder brindarme sabiduría y fortaleza para poder culminar esta meta y etapa de mi vida. A mi madre Cristina a la mujer amorosa, valiente, y guerrera, que me dio la vida, y me hizo una mujer con principios, valores, pero sobre todo que me ha inculcado el amor a Dios desde su vientre, un amor incondicional. Por ser mi amiga, mi compañera y mi todo, por estar dispuesta en todas las noches de estudio, por cada consejo y cada palabra de aliento que me ha dado, siempre con una sonrisa en su rostro. No tengo palabras para expresar todo mi amor inmenso y toda la gratitud que tengo ante una mujer maravillosa y el mejor regalo que Dios me pudo dar, siempre será mi motivación en cada paso de mi vida. Te amo mamá.

A mi hermana Denis que a pesar de la distancia siempre ha estado confiando y nunca dejándome caer, aún que los kilómetros nos separen, tu amor son mi impulso en cada paso. Mi pequeña Paty pese a su corta edad siempre ha estado para mí y diciéndome tu puedes, eres valiente y eres mi ejemplo. Gracias por toda su confianza que me brindaron mis hermanas.

A mí abuelita Rosa por siempre ayudarme a salir adelante y ser un apoyo incondicional, llenándome de sus mensajes para motivarme y mi tía Paola porque nunca me ha dejado sola.

A la persona que siempre estuvo apoyándome en cada parte y proceso de mi carrera, siempre brindándome un fuerte abrazo y creer en mí, incluso en los momentos en que yo dudaba. Gracias Mateo.

A mi querida amiga de cuatro patas, mi Akira que con su amor y lealtad llenó mi vida de amor incondicional, siempre me esperaba que llegara a casa y ser mi refugio silencioso.

A mis queridas amigas, Antonela, Anahí y María Fernanda que estuvieron apoyándome y alentándome en todos los momentos que he necesitado, fueron mis consejeras y apoyo.

Este logro no es mío, es de cada uno de ustedes que va dedicado con todo mi amor y por creer en mí. Gracias infinitamente

Ambar Massiel Rodríguez Tituaña

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	XV
ABSTRACT	XVI
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Revisión del Antecedente.....	1
1.2 Problema de Investigación y Justificación.....	1
1.3 Objetivos	3
1.3.1 <i>Objetivo General</i>	3
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	3
1.4 Pregunta Directriz de la Investigación.....	3
1.5 Hipótesis.....	3
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Marco Teórico Referencial	4
2.1.1 <i>Uso del Suelo en Cuencas Hidrográficas relacionado a la Erosión Hídrica</i>	4
2.1.2 <i>Erosiones Hídricas en Cuencas Hidrográficas</i>	4
2.2.3 <i>Factores Climáticos y Geomorfológicos que Influyen en los Procesos de la Erosión Hídrica</i>	5
2.2.4 <i>Modelo RUSLE</i>	6
2.2.5 <i>Estudios de Cuencas Hidrográficas con el Modelo RUSLE</i>	7
2.2.6 <i>Simulaciones de Escorrentía y Erosión Hídrica en Cuencas Hidrográficas</i>	8
2.2.7 <i>Prácticas de Conservación del Suelo en Cuencas Hidrográficas</i>	8
2.2 Marco Legal	9
2.2.1 <i>Constitución de la República del Ecuador</i>	9
2.2.2 <i>Convenios Internacionales</i>	10
2.2.3 <i>Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD)</i>	10

2.2.4 Código Orgánico del Ambiente (COA).....	11
2.2.5 Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025.....	11
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	12
3.1 Descripción del Área de Estudio	12
3.1.1 Morfometría de la Cuenca del Río Ambi	13
3.1.2 Hidrología.....	14
3.1.3 Clima	14
3.1.4 Uso del Suelo	15
3.1.5 Actividades Económicas	15
3.2 Metodología	15
3.2.1 <i>Determinación de los Factores Climáticos y Biofísicos</i>	15
3.2.1.1 Modelo Matemático RUSLE.....	16
3.2.1.1 Factor de Erosividad de la Precipitación (R).....	17
3.2.1.2 Factor de Erodabilidad del Suelo (K).....	18
3.2.1.3 Factor Topográfico (LS).....	19
3.2.1.4 Factor Cobertura del Suelo (C)	19
3.2.1.8 Factor Prácticas de Conservación (P).....	20
3.2.2 <i>Simulación la Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Ambi mediante la Aplicación del Modelo Hidrológico RUSLE</i>	20
3.2.2.1 Validación del Modelo Hidrográfico RUSLE.....	20
3.2.3 <i>Estrategias de Manejo del Recurso Suelo</i>	22
3.3 Materiales y Equipos.....	23
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1 Determinación de los Factores Climáticos y Biofísicos que influyen en los procesos de la Erosión Hídrica	24
4.2 Simulación de la Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Ambi mediante la Aplicación del Modelo Hidrológico RUSLE	29

4.2.1 Validación del Modelo <i>RUSLE</i> mediante datos de Producción de Sedimentos <i>SY</i>	30
4.3 Estrategias de Manejo del Recurso Suelo para reducir Zonas en Riesgo de Erosión Hídrica	32
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	46
5.1 Conclusiones	46
5.2 Recomendaciones.....	46
REFERENCIAS	48
Anexo 1. Mapas Temáticos	58
Anexo 2. Resultados de los análisis de laboratorio de muestras de suelo	61
Anexo 3. Resultados de los análisis de laboratorio de muestras de agua	62
Anexo 4. Fotografías de salidas de campo	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores climáticos y geomorfológicos que influyen en los procesos de la erosión hídrica	6
Tabla 2. Características físicas de la cuenca del río Ambi.....	13
Tabla 3. Caudal promedio anual del río Ambi del período 2000 a 2001	14
Tabla 4. Estaciones meteorológicas y pluviométricas período 2010-2021.....	18
Tabla 5. Valores del factor de cobertura vegetal para cuencas hidrográficas tropicales	20
Tabla 6. Materiales y equipos	23
Tabla 7. Factor K en función de los grandes grupos de suelo y su textura.....	25
Tabla 8. Categorías de erosión y sus principales características.....	30
Tabla 9. Valor del gasto sólidos de INAMHI	31
Tabla 10. Valores de sedimentos obtenidos en las muestras mensuales.....	32
Tabla 11. Clases agrológicas de la cuenca del río Ambi	34
Tabla 12. Programa de implementación de prácticas adecuadas de conservación	37
Tabla 13. Programa de sistema de cultivo en las áreas susceptibles a la erosión	39
Tabla 14. Programa de prácticas de manejo sostenible del recurso suelo	41
Tabla 15. Programa de educación ambiental de restauración y conservación de los ecosistemas naturales y calidad del suelo	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Ambi.....	12
Figura 2. Esquema metodológico de la ecuación RUSLE.....	17
Figura 3. Esquema metodológico de la segunda fase del modelo RUSLE.....	22
Figura 4. Esquema de la marca de referencia Presión-Estado- Respuesta (PER).	23
Figura 5. Distribución del factor R en la cuenca del río Ambi.....	24
Figura 6. Distribución del factor K en la cuenca del río Ambi.....	26
Figura 7. Distribución del factor LS en la cuenca del río Ambi.....	27
Figura 8. Distribución del factor C en la cuenca del río Ambi.....	28
Figura 9. Erosion Hídrica en área de estudio	29
Figura 10. Esquema de estrategias del manejo del recurso suelo.....	33
Figura 11. Clases agrológicas de la cuenca del río Ambi.....	35
Figura 12. Ubicación geográfica de la estrategia 1: Programa de implementación de prácticas adecuadas de conservación	38
Figura 13. Ubicación geográfica de la estrategia 2: Programa de sistema de cultivos en las áreas susceptibles a la erosión	40
Figura 14. Ubicación geográfica de la estrategia 3: Programa de prácticas de manejo sostenible del recurso suelo	42
Figura 15. Ubicación geográfica de la estrategia 4: Programa de educacion ambiental de restauración y conservación de los ecosistemas naturales y calidad del suelo	45

RESUMEN

La erosión hídrica en Ecuador es una problemática ambiental que se ha intensificado por acciones antrópicas como la deforestación, incendios forestales, cultivos en pendientes y el cambio de uso del suelo. El objetivo de esta investigación fue evaluar el riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica del río Ambi mediante la aplicación del modelo hidrológico y geomorfológico, con el fin de proponer estrategias de manejo del recurso suelo. Se obtuvo información de precipitación, pendientes, uso, textura y estructura del suelo para determinar el nivel de erosión hídrica mediante la aplicación del modelo matemático RUSLE. La cuenca del río Ambi presenta una erosión promedio de 29 t/ha/año, que corresponde a una categoría de erosión media es decir que en la cuenca existen zonas que son poco tolerables a la pérdida del suelo de acuerdo con la FAO. La validación del modelo presenta sobreestimación al aplicar el indicador de sesgo Pbias, ya que el modelo RUSLE tiende a sobreestimar la erosión hídrica cuantificada. Además, se proponen estrategias de manejo como el uso adecuado del recurso suelo, la reforestación y educación ambiental, dirigidos a los cantones que conforman la cuenca del río Ambi, para mitigar la problemática ambiental de la erosión hídrica.

Palabras claves: Cuenca hidrográfica, Erosión hídrica, modelo RUSLE, Pbias, Sedimentos.

ABSTRACT

Hydric erosion in Ecuador is an environmental issue that has intensified due to anthropogenic actions such as deforestation, forest fires, cultivation on slopes, and changes in land use. The objective of this research was to assess the risk of hydric erosion in the Ambi River watershed through the application of hydrological and geomorphological models, with the aim of proposing soil resource management strategies. Data on precipitation, slopes, land use, soil texture, and structure were collected to determine the level of hydric erosion through the application of the RUSLE mathematical model. The Ambi River watershed shows an average erosion rate of 29 tons/ha/year, which corresponds to a medium erosion category, meaning that certain areas in the Ambi River watershed are not very tolerant to soil loss according to FAO standards. The model validation shows overestimation when applying the Pbias bias indicator, as the RUSLE model tends to overestimate the quantified hydric erosion. Additionally, management strategies were developed, such as proper use of soil resources, reforestation, and environmental education, aimed at the municipalities within the Ambi River watershed to mitigate the environmental problem of hydric erosion.

Keywords: Watershed, Water erosion, RUSLE model, Pbias, Sediments.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Revisión del Antecedente

De acuerdo con estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) se afirma que el 33% de los suelos del planeta presentan cierto nivel de degradación, lo que representa una pérdida anual de 0,3 % en el rendimiento productivo promedio global (Pennock Dan et al., 2016). En el Ecuador, la erosión es la causa principal del deterioro de los suelos (De Noni & Trujillo, 1986), en las cuencas hidrográficas cuando el suelo está en mal estado tiene un efecto directo en la fertilidad, la capacidad de resiliencia y calidad del agua, siendo el mayor problema el aumento de la producción de sedimentos (Tsegaye & Bharti, 2021).

Ecuador y varios países del mundo han realizado estudios para cuantificar la erosión hídrica de las cuencas hidrográficas, mediante la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (RUSLE), los Sistemas de Información Geográficos (SIG) y la Teledetección (Ramos, 2016). El uso de estas herramientas ha permitido la creación de mapas de erosión que indican tanto la erosión actual en una región específica como la erosión que podría ocurrir en caso de no implementar estrategias de minimización (Castro, 2013).

El modelo RUSLE requiere de datos de elevación del terreno, meteorológicos y edáficos para obtener información sobre la pérdida de suelo en toneladas por hectáreas al año, esto permite tomar decisiones eficaces entorno a la funcionalidad y complejidad de las cuencas hidrográficas (Ebrahimzadeh et al., 2018). Así lo demuestra el estudio realizado por Jaya-Santillán (2023), donde se detalla que la microcuenca hidrográfica del río Muchacho de la provincia de Manabí, registró niveles de erosión en la categoría grave de 50-100 t/ha/año. Por este motivo, es necesario realizar el estudio de erosión hídrica en la cuenca del río Ambi para obtener datos actualizados e implementar estrategias de manejo del recurso suelo.

1.2 Problema de Investigación y Justificación

La erosión hídrica del suelo está relacionada con las precipitaciones, ya que las gotas de lluvia adquieren energía cinética, la cual depende de la masa y velocidad,

al caer impactan con el suelo y generan cambios en la estructura y compacidad, esto afecta a la formación de la capa superficial (Huerta & Figueroa, 2014). Además, disminuye la producción agrícola ya que nutrientes como el limo y la arcilla son arrastrados lo que ocasiona la pérdida de la capacidad de infiltración (Pennock Dan et al., 2016).

Las cuencas hidrográficas son sistemas naturales integrales delimitados de forma cualitativa por una línea divisoria que se establece a partir de las elevaciones como montañas o colinas (Meléndez de la Cruz, 2019). La erosión en cuencas hidrográficas es un problema inminente que se intensifica por el manejo inadecuado del suelo y las malas prácticas agrícolas como: cultivos en pendientes pronunciadas, sobrepastoreo, deforestación e incendios forestales (Quiñonez, 2022). Estas actividades amenazan la soberanía alimentaria, alteran los ecosistemas y comprometen la sostenibilidad ambiental (Suhail Ahmad et al., 2024).

La evaluación de la erosión en la microcuenca hidrográfica del río Muchacho indica niveles de erosión severos, donde este problema se agrava en zonas con poca o nula cobertura vegetal y lluvias intensa (Huerta Fernández & Figueroa, 2014). El estudio realizado en la cuenca del río Mira afirma que las zonas con mayores tasas de erosión están vinculadas al cambio en la cobertura vegetal debido a actividades como la agricultura, la ganadería, la deforestación y la expansión urbana (Arias et al., 2023). Este análisis es relevante para la cuenca del río Ambi, ya que, al estar geográficamente conectadas, puede presentar patrones de erosión similares a los observados en la cuenca del río Mira.

La cuenca hidrográfica del río Ambi dispone de bienes y servicios ambientales que benefician a la sociedad, pero el incremento actividad antrópica en el área han generado un impacto negativo (Arias et al., 2023). Por lo que la cuenca presenta una contaminación alta por residuos, materia orgánica y bacterias que son depositados en los cuerpos de agua, esto es una amenaza para la salud de la población local (Carrera et al., 2015). Evaluar y conocer el estado actual de erosión hídrica en toneladas de hectáreas al año en la cuenca del río Ambi permitirá tomar decisiones mediano y largo plazo para la protección del suelo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar el riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica del río Ambi mediante la aplicación del modelo hidrológico y geomorfológico, con el fin de proponer estrategias de manejo del recurso suelo.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar los factores climáticos y biofísicos que influyen en los procesos de la erosión hídrica.
- Simular la erosión hídrica en la cuenca del río Ambi mediante la aplicación del modelo hidrológico RUSLE.
- Proponer estrategias de manejo de recurso suelo para reducir zonas en riesgo de erosión hídrica en la cuenca del río Ambi.

1.4 Pregunta Directriz de la Investigación

¿Cuáles son los niveles de riesgo de erosión hídrica del suelo obtenidos mediante el modelamiento de la erosión en la cuenca del río Ambi?

1.5 Hipótesis

Existen grados de erosión hídrica en niveles severos y críticos (t/ ha/ año) en la cuenca del río Ambi.

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Marco Teórico Referencial

2.1.1 Uso del Suelo en Cuencas Hidrográficas relacionado a la Erosión Hídrica

El uso del suelo está relacionado con el enfoque, propósito y las clasificaciones edáficas, las actividades desarrolladas en el suelo, condicionan la funcionalidad del recurso, ya que se busca que satisfagan las necesidades del ser humano, como la agricultura (Nacimba, 2022). El propósito hace referencia a la variación de territorios reales como los planes turísticos, programas agrícolas o agropecuarios, mientras que la clasificación de los usos reconoce la variedad en cuanto a la desagregación de categorías (Bozzano et al., 2008).

La comprensión de estos términos permite establecer que existe una relación directa entre el uso del suelo y la erosión hídrica en una cuenca hidrográfica y la mala gestión del recurso edáfico puede causar pobreza, hambre y contaminación del agua (Enrique et al., 2021). La mayor pérdida de suelo en cuencas hidrográficas está relacionada con la producción agrícola, la gestión inadecuada del recurso suelo ya que no se consideró la topografía del paisaje como una condicionante para los asentamientos y usos de suelo (Zanchin et al., 2021).

2.1.2 Erosiones Hídricas en Cuencas Hidrográficas

La erosión del suelo es una problemática a nivel mundial, la renovación de 2 a 3 cm de suelo puede tardar entre 1.000 años (FAO, 2015). La erosión hídrica del suelo se relaciona de manera directa con la fisiología del terreno, pendientes, la presencia o ausencia de vegetación, la precipitación y el manejo del suelo (Organización de los Estados Americanos [OEA], 1974). La contaminación de las cuencas hidrográficas incrementa los problemas medioambientales como, el deterioro del suelo, la contaminación del aire y agua, pérdida de la biodiversidad (Solís & López, 2003). Los cuales son descritos a continuación con ejemplos de cuencas hidrográficas que presentan erosión hídrica.

La cuenca hidrográfica del río Nilo, tiene una superficie superior a 3.000.000 km², presenta diversos problemas que afectan el equilibrio y la estabilidad

ecosistémica, debido a que es una cuenca transfronteriza que involucra a once países (Santos, 2019). El manejo y consumo del recurso hídrico lo realiza cada país como considera en Abu Quir, Egipto, la construcción inadecuada de la presa Asuán ha impulsado la erosión costera, las industrias compromete la calidad del agua por efluentes con altas concentraciones de mercurio, cadmio y cobre (Molinet, 2006). Por otra parte, se han firmado convenios como el Tratado Anglo-Etíope 1902 para el uso sostenible de los recursos ecosistémicos, pero la cuenca del río Nilo está en decadencia (Narváez, 2010).

La cuenca del río Orinoco, ubicada entre los países de Venezuela y Colombia presenta conflictos socioambientales debido a la riqueza biológica, hidrológica y cultural (World Wildlife Fund (WWF), 2016). La deforestación en el Alto Guaviare y la minería ilegal en el departamento de Guainía, la expansión de la agroindustria, la explotación de petróleo y gas, el crecimiento poblacional, la ganadería intensiva y el cambio del uso del suelo, donde más de mil hectáreas de cobertura vegetal se ha convertido en pastizales y plantaciones que permitan la obtención de aceite de palma, estas actividades limitan la recuperación de los ecosistemas (Burbano, 2018).

En Ecuador, la cuenca hidrográfica del río Coca, ubicada al nororiente del país, tiene un área de 5 288,74 km² y presenta un proceso de erosión regresiva que se da a un ritmo acelerado (Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC), 2023). Los efectos en la cuenca del río Coca son la variación del paisaje, socavamiento del cauce del río, erosión de las orillas y deslaves (Meneses, 2022). Esta situación amenaza con la producción de electricidad en la hidroeléctrica Coca Codo Sinclair y afecta directamente en movilidad vial de las provincias que se sitúan en el lugar, por lo que el Gobierno del Ecuador ha planteado revisar alternativas técnicas y asesorías para dar soluciones a corto y largo plazo (Gobierno del Ecuador, 2021).

2.2.3 Factores Climáticos y Geomorfológicos que Influyen en los Procesos de la Erosión Hídrica

Existen diferentes factores que inciden en la erosión hídrica de una cuenca hidrográfica, en este apartado se presenta una definición de los factores más importantes en este proceso (Tabla 1).

Tabla 1

Factores climáticos y geomorfológicos que influyen en los procesos de la erosión hídrica

Clima	Desempeña un rol muy importante en el equilibrio de las cuencas hidrográficas, pero la erosión es un proceso natural que se presenta en todas las condiciones climáticas y se intensifica por las actividades antrópicas insostenibles, actualmente el calentamiento global está infiriendo en el clima ocasionando variaciones drásticas (FAO, 2023).
Precipitación	La intensidad, duración y frecuencia de la precipitación influyen en la generación de la erosión ya que pueden acelerarla o reducirla. Las gotas de lluvia al caer generan un impacto de disgregación en el suelo y el efecto es aún mayor cuando interactúan otras variables como la topografía, las pendientes escarpadas y la ausencia de cobertura vegetal, entre otras. Actualmente el efecto de las precipitaciones se presenta como consecuencia a la variación climática del planeta (Echavarría et al., 2020).
Viento	Interviene en la erosión del suelo ya que remueve pequeñas partículas de tierra seca que a largo plazo puede ocasionar la desertificación, debido la pérdida de nutrientes que puede agravarse ocasionando la pérdida de infiltración del agua, bajando la fertilidad del suelo y la producción agrícola (Pineda, 2019).
Pendiente del terreno	La cuenca hidrográfica del río Ambi tiene un relieve montañoso lo cual es susceptible a la erosión que se va incrementando a medida que aumenta la pendiente del terreno, ya que esto conlleva a la cantidad y la energía de la escorrentía superficial (Hernández, 2011). Sin embargo, en superficies con pendientes las partículas toman dirección hacia arriba y recorren menos distancia a causa de su trayectoria parabólica. El aumento de la pendiente y su longitud ocasiona el incremento de la pérdida del suelo, debido al aumento en la velocidad y volumen de la escorrentía superficial, y sus efectos que son más notorios en las zonas inferiores de las laderas (Bascuñán, 2010).

2.2.4 Modelo *RUSLE*

Existen métodos directos para estimar la erosión hídrica, que consiste en adquirir datos en el campo, mediante parcelas y los clavos de erosión, mientras los métodos indirectos son modelos físicos, matemáticos y conceptuales donde son utilizados para estimar la erosión mediante variables meteorológicas (Cueva, 2021). El modelo empírico más empleado es la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo, conocido como modelo matemático USLE por sus siglas en inglés (Wischmeier,

1978) y posteriormente USLE modificado (MUSLE) (Williams & Berndt, 1977), o USLE-RUSLE propuesto por Renard et al. (1997).

El modelo RUSLE es un método de análisis de factores para estimar la erosión media anual de una pendiente, se utiliza solo para calcular la pérdida por erosión laminar y erosión por surcos, no para erosión con cárcavas (Almoza et al., 2008). La pérdida del suelo es medida en toneladas hectáreas año, lo que requiere del análisis y evaluación de seis factores que son: precipitación (R), textura del suelo (K), longitud de inclinación del terreno (LS), cobertura vegetal (C) y prácticas de manejo y conservación (P) (Renard et al., 1997).

2.2.5 Estudios de Cuencas Hidrográficas con el Modelo RUSLE

A nivel mundial, la erosión hídrica es uno de los peligros más graves a la degradación del suelo, lo que representa una amenaza para la sociedad y el ambiente (Saha, 2003). El suelo de los países mediterráneos enfrentan una amenaza constante de erosión, por la fragilidad y la interacción de factores como la precipitación irregular y temperaturas elevadas (Diodato, 2004). En Marruecos, la erosión hídrica es la principal amenaza de degradación del suelo (El Jazouli et al., 2017). El estudio de erosión hídrica en canteras abandonadas en una zona semiárida Marroquí, permitió distinguir dos clases de tasas de pérdida de suelo con un valor mínimo de 0,574 t/ha/año y un valor de 7,495 t/ha/año (Aouichaty et al., 2022).

De igual forma, las cuencas hidrográficas de Perú presentan graves amenazas, por la remoción de la cobertura vegetal y el impacto del cambio climático, donde la afectación directa es a las comunidades ribereñas, biodiversidad y los ecosistemas (Morante & Gonzales, 2019). Mediante el análisis de la erosión hídrica con la aplicación del modelo RUSLE, bajo escenarios de cambio climático en la subcuenca Inchoche del río Mayo, se determinó la pérdida de suelo en un escenario de RCP 8.5 al 2050 variando de 0 a 156,32 t/ha/año, siendo la pérdida de suelo de la subcuenca al año 2021 de 0 a 96,23 t/ha/año, lo que presenta una categoría alta en los suelos (Talaverano et al., 2023).

El principal problema del deterioro del suelo en Ecuador es la erosión (De Noni & Trujillo 1986) y aproximadamente 52.046,62 km² de la superficie del país se destina a uso agropecuario (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2022). La

cuenca del río Mira, ubicada al norte del Ecuador y al sur de Colombia, presenta amenazas de deslizamientos, inundaciones y erosión (Gómez et al., 2017). Bajo estos antecedentes se estimó la tasa media de erosión del suelo con la aplicación del modelo RUSLE, obteniendo un valor de 32 t/ha/año para la cuenca media-alta del Mira y puede alcanzar un valor máximo de 812 t/ha/año, donde este umbral se encontraría en una posición notablemente alta a nivel global (Arias et al., 2023).

2.2.6 Simulaciones de Escorrentía y Erosión Hídrica en Cuencas Hidrográficas

La evaluación de la incidencia de factores que causan la degradación del suelo por erosión hídrica superficial puede ser cuantificada a nivel de cuenca hidrográfica (Gaspari et al., 2009). La erosión, con su periodicidad temporal, espacial e influencias directas en las cuencas hidrográficas, causa la degradación de la cobertura vegetal, dejando el suelo desprotegido y expuesto a los efectos directos de los fenómenos atmosféricos (Gaspari, 2007).

A través de un estudio en la Cuenca Serrana Bonaerense en Argentina, se determinó que factores como el cambio en la cubierta vegetal y la pendiente influyen en la erosión del suelo causada por el agua (Gaspari et al., 2009). Además, mediante la simulación en un espacio temporal se estableció que la conservación y el manejo adecuado de la vegetación son factores fundamentales en el análisis de los suelos degradados (Manoj et al., 2010). Ya que un adecuado uso y manejo edáfico plantea la importancia de planificación de diversas actividades productivas tanto a nivel local como regional (Onelia et al., 2002).

2.2.7 Prácticas de Conservación del Suelo en Cuencas Hidrográficas

La erosión del suelo es un proceso altamente complejo y dinámico que afecta a las características geomorfológicas de un terreno y tiene un impacto considerable en la fertilidad del suelo y su capacidad productiva (Blanco, 2019). Por lo tanto, para minimizar la degradación del suelo es necesario aplicar prácticas de manejo conservación que fomenten la utilización de coberturas vegetales (sobre todo nativas) para un óptimo desempeño biológico, químico y físico (Alvarado, 2021). Algunas técnicas de conservación de suelo son abonos verdes, cultivos de cobertura, revegetación y prácticas de labranza (Hudson, 1982).

Un estudio realizado por IDEAM & UDCA (2015) muestra que el 40% de los suelos colombianos, entre superficie continental e insular, presentan algún nivel de erosión. La investigación realizada en el río Chiquito ubicado en Colombia implementó un sistema de parcelas divididas de manera aleatoria en un área de pendiente uniforme del 22%, donde se estableció cuatro enfoques de conservación: barreras vivas, barreras muertas, zanjas de infiltración y terrazas, finalmente se demostró que las zanjas de infiltración son las prácticas de conservación más efectiva ante la erosión (Cortés & Osorio, 2019).

2.2 Marco Legal

El presente estudio se encuentra enmarcada en los artículos de la Constitución de la República del Ecuador -2008, Acuerdos Internacionales (Agenda 2030), Código Orgánico de Organización Territorial, Autónomo y Descentralizado (COOTAD), Código Orgánico del Ambiente (COA) y al Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025.

2.2.1 Constitución de la República del Ecuador

De acuerdo con la Constitución de la República del Ecuador (2008), la conservación del suelo radica en función del interés público y la prioridad nacional, donde se implementará un marco normativo dirigido a salvaguardar y gestionar de manera sostenible el suelo, para prevenir su deterioro y especialmente aquel causado por la contaminación, la desertificación y la erosión como se menciona en el Artículo 409. Además, el Artículo 410 enfatiza la responsabilidad del Estado de ofrecer a los agricultores y a las comunidades rurales apoyo para la conservación y restauración de los suelos, reconociendo la importancia de mantener la calidad y la salud de este recurso, del mismo modo que se refiere al respaldo para el desarrollo de prácticas agrícolas que los protejan y promuevan a fortalecer la soberanía alimentaria para producir sus propios alimentos.

Con base a la determinación de recargas hídricas, confiere a el agua como un derecho humano importante e irrenunciable, que constituye un patrimonio nacional de empleo propio. Considerando la importancia del agua en el Artículo 411 se expresa que es necesario regular las actividades que puedan provocar

contaminación en zonas de recarga, con el objetivo de preservar la calidad del recurso. La gestión del agua refleja el compromiso que debe darse en un marco de enfoque que ayude en preservar la integridad del agua, con la finalidad de garantizar la sostenibilidad ambiental y satisfaciendo las necesidades de la población.

2.2.2 Convenios Internacionales

La Agenda 2030 sobre el Plan de Acción para el Desarrollo Sostenible, promueve el fortalecimiento de la libertad, la paz universal en favor de las personas y respetar el medio ambiente. El convenio se desarrolla con el trabajo conjunto de distintos Estados, mediante lo cual se establecen acciones y políticas que ha adoptado Ecuador donde se compromete con la implementación de ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) y un referente obligatorio para su trabajo y desempeño.

Según el Objetivo 11 y 15 buscan alcanzar un desarrollo que permita la participación de todos los ciudadanos, garantizando la seguridad y la capacidad de adaptación para crear entornos urbanos que mejoren la calidad de vida, con la finalidad de proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, para buscar una gestión sostenible y el establecimiento de buenas prácticas con el objetivo de impulsar la conservación del ambiente.

2.2.3 Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD)

El Artículo 136 plantea la responsabilidad de los gobiernos autónomos descentralizados provinciales de ordenar y disponer una gestión ambiental a favor de la protección de la naturaleza, considerando la corresponsabilidad de la ciudadanía. Promueve la creación de sistemas de gestión integral de desechos, programas o proyectos de manejo sustentable de los recursos naturales, la prevención y recuperación de suelos degradados por erosión.

El Artículo 297 establece los objetivos de ordenamiento territorial, los cuales impulsan estrategias territoriales de uso, ocupación y manejo del suelo relacionándolos con los objetivos económicos, sociales y ambientales. La implementación de instrumentos de gestión que permitan un manejo integral y la creación de proyectos.

2.2.4 Código Orgánico del Ambiente (COA)

De acuerdo con el Código Orgánico del Ambiente (COA) reconoce al suelo como un recurso ambiental. Mediante, el Artículo 197 hace énfasis las actividades que pueden afectar a la calidad del suelo, estableciendo las necesidades de regular y en el caso de ser requerido, serán sometidas a restricciones, dando prioridad a la preservación en ecosistemas con elevadas pendientes y cuerpos de agua.

2.2.5 Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025

A nivel nacional se planteó mediante la creación de los Objetivos del Eje Transición Ecológica la Protección y Conservación de los Ecosistemas y su Biodiversidad, para fomentar la capacidad de recuperación de los recursos naturales renovables y minimizar la deforestación mediante un uso sostenible. Estos objetivos se los pretende cumplir mediante la aplicación de políticas que regulen los asentamientos urbanos y el planteando de una gestión integral.

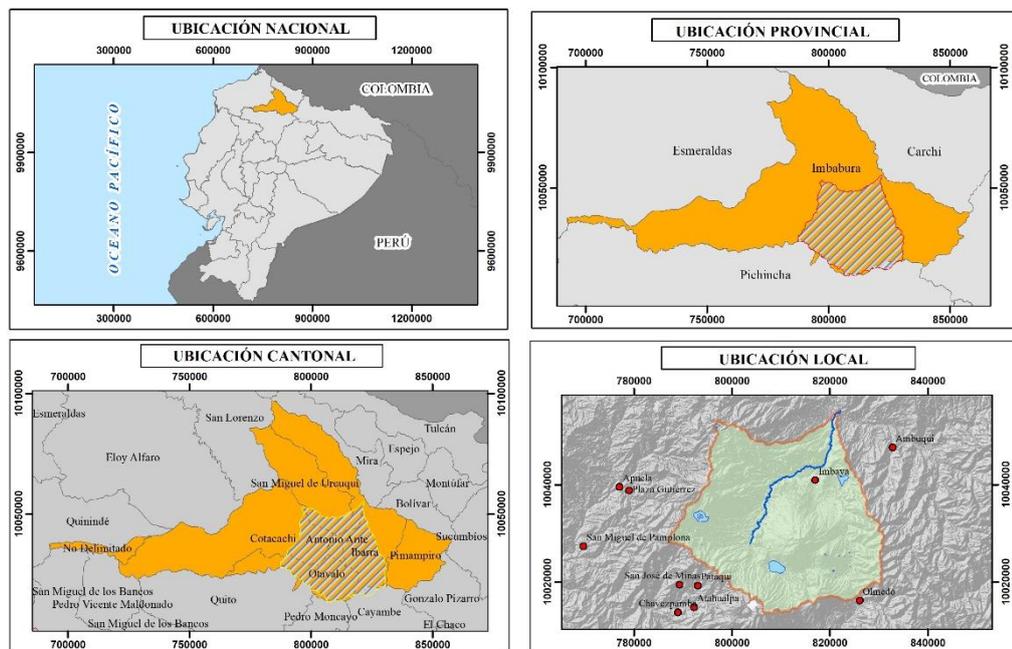
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Descripción del Área de Estudio

La cuenca del río Ambi está ubicada al norte del Ecuador en la provincia de Imbabura y forma parte de la cuenca transfronteriza del río Mira, tiene una superficie de 115.520 hectáreas, está constituida por tres importantes sistemas lacustres como el Lago San Pablo, las lagunas de Yahuarcocha y Cuicocha como se observa en la Figura 1.

Figura 1

Ubicación de la cuenca del río Ambi



En la cuenca hidrográfica del río Ambi se encuentran los cantones Antonio Ante, Cotacachi, Ibarra, Otavalo y Urcuquí (Carrera et al., 2015). El desnivel altitudinal es de 3.360 msnm, siendo el punto más alto 4.880 msnm y el punto más bajo ubicado a 1.520 msnm. El 24% de la superficie de la subcuenca se encuentra en relieve montañoso y el 19% corresponde al relieve ondulado (Anexo 1).

Los ecosistemas que conforman esta cuenca son, el páramo de pajonal, herbazal de páramo, arbustal siempreverde, bosque siempre verde montano y bosque arbustal semideciduo y presenta dos tipos de suelo que son Inceptisol y Mollisol (SIGTIERRAS, 2023). La cuenca de río Ambi tiene 13 grandes grupos taxonómicos

de suelos (Anexo 2), de acuerdo con la clasificación de USDA [United States Department of Agriculture], (1999). La escasez hídrica es evidente ya que Arias-Muñoz, et al., (2023), identificaron que desde el período de 1990-1996 hasta 2007-2018 el valor de escasez hídrica se triplicó de 57,26% a 183,57%, lo que demuestra que ha aumentado la presión de demanda sobre los recursos hídricos, por actividades como la agricultura.

3.1.1 Morfometría de la Cuenca del Río Ambi

Los parámetros morfométricos permiten analizar las características físicas de una cuenca mediante el estudio de la forma, relieve y el drenaje. Las características físicas de la subcuenca del río Ambi se encuentran en la Tabla 2.

Tabla 2

Características físicas de la cuenca del río Ambi

Parámetros iniciales			
Parámetro	Simbología	Cálculo	Interpretación
Área	(A)	A=1.120 km ²	Se clasifica como subcuenca hidrográfica
Perímetro	(P)	P= 163,09 km	Es una cuenca grande.
Longitud Axial	(L)	L= 43,76 km	Es la longitud de una línea recta que va desde el lugar de confluencia, hasta el punto más alejado de la red.
Ancho de la cuenca	(B)	$B = \frac{A}{L}$ B= 25,6 km	Es la relación entre el área y la longitud de la cuenca.
Índice de compacidad	(Kc)	$Kc = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$ Kc= 1,36	Es una cuenca de clase II de forma Oval Redonda a oval oblonga.
Factor de forma de Horton	(Kf)	$Kf = \frac{A}{L^2}$ Kf= 0,58	Es una cuenca moderadamente achatada.
Parámetros de relieve			
Cota mayor	(CM)	CM= 4 880 m	Es la mayor altura donde está la divisoria.
Cota menor	(Cm)	Cm= 1520 m	Es la cota sobre la cual la cuenca entrega sus aguas al cauce superior.
Diferencia de nivel	(Dn)	$Dn = CM - Cm$ Dn= 3.336 m	Presenta un desnivel muy alto debido a la presencia de cerros y lomeríos.
Pendiente media de la cuenca	(J)	$J = 100 * \frac{(\sum Li)(E)}{A}$ J= 29,21%	De acuerdo con el valor calculado tiene: Relieve montañoso.
Parámetros hidrológicos			
Longitud del cauce principal	(Lc)	Lc = 47,41 km	Presenta una longitud mediana.
Pendiente media del cauce	(Jc)	$Jc = \frac{(CMc)-(Cmc)}{Lc}$ Jc = 0,2 m/m	Presenta un relieve propio de ríos y montañas.
Ordenes de los cauces	-	Método de Horton Strahler	La subcuenca del río Ambi se encontró 4 órdenes.
Tiempo de concentración	(Tc)	$Tc = 0,000323 * \left(\frac{L^{0,77}}{S^{0,385}}\right)$ Tc = 0,01	El tiempo de concentración de la subcuenca según Kirpich es de 0,1 min lo que equivale al tiempo que tarda en llegar la escorrentía superficial.

3.1.2 Hidrología

El río Ambi presenta una longitud mediana con un relieve montañoso, su caudal promedio anual es de 4,32 m³/s, este valor se obtuvo mediante tras el análisis de los valores históricos de caudales en el periodo de 2000 - 2021 (Tabla 3).

Tabla 3

Caudal promedio anual del río Ambi del período 2000 - 2021

Mes	Promedio Mensual
Enero	4,60 m ³ /s
Febrero	4,42 m ³ /s
Marzo	5,48 m ³ /s
Abril	5,32 m ³ /s
Mayo	5,50 m ³ /s
Junio	4,13 m ³ /s
Julio	3,25 m ³ /s
Agosto	2,80 m ³ /s
Septiembre	2,79 m ³ /s
Octubre	3,34 m ³ /s
Noviembre	4,98 m ³ /s
Diciembre	5,21 m ³ /s
Promedio Anual	4,32 m³/s

Nota: (INAMHI, 2019)

Además, se realizó la medición del caudal con el método del flotador obteniendo un valor de 1,16 m³/s para el mes de agosto del 2024.

3.1.3 Clima

La cuenca hidrográfica del río Ambi presenta varios tipos de clima de acuerdo con la clasificación climática de Köppen: alpino tropical, subalpino subhúmedo y templado húmedo lo que se presenta en las zonas alta, mientras que en las zonas medias y bajas se encuentran climas como: clima tropical amazónico y clima ecuatorial de montaña (Arias et al., 2023). De acuerdo con los datos de los anuarios meteorológicos del INAMHI, el clima presenta una temperatura mínima de 5°C, una temperatura máxima de 23°C y una precipitación media anual de 1.246,3 mm (Arias-Muñoz, et al., 2023).

3.1.4 Uso del Suelo

En la cuenca del río Ambi el uso que se utiliza para el suelo es para el cultivo de plantas de ciclo corto como la caña de azúcar, pastos y vegetación arbustiva (Fondo Mundial para la Naturaleza, 2019). En el área predomina el suelo de tipo franco arenoso lo que limita la retención de nutrientes esenciales necesarios para las plantas. Además, en términos de suministro de agua, la ubicación geológica de la zona impacta en la disponibilidad de recursos hídricos (Chamorro, 2021).

3.1.5 Actividades Económicas

Más del 40% de la cuenca hidrográfica está dedicada a las actividades agrícolas lo que impulsa el desarrollo de diversos cultivos, por lo que la agricultura y el comercio es una de las principales actividades económicas de la población local. Entre las especies más comunes que se encuentran en la cuenca del río Ambi están: fréjol (*Phaseolus vulgaris*), habas (*Vicia Faba*), trigo (*Triticum sp.*), cebada (*Hordeum vulgare*), col (*Brassica oleracea*), pimiento (*Capsicum annum*), maíz (*Zea mays*) y tomate (*Lycopersicon esculentum*) (Arias et al., 2023).

3.2 Metodología

Los métodos de esta investigación se realizaron de acuerdo con los objetivos específicos planteados descritos a continuación.

3.2.1 Determinación de los Factores Climáticos y Biofísicos

Se realizó la caracterización de la cuenca hidrográfica del río Ambi donde se evaluó el área, el tamaño, forma, tipo de drenaje y la importancia ecológica del ecosistema. Posterior a esto, se implementó el análisis del impacto de la erosión hídrica en el área, mediante la aplicación de la ecuación RUSLE, se utilizaron los datos de la estación hidrológica H-023 AMBI DJ CARIYACU. Se implementaron los Sistemas de Información Geográfica (SIG), en los cuales se crearon entidades geográficas para posteriormente obtener resultados representados en mapas e identificar las zonas de riesgo por erosión hídrica en el área de estudio.

Se recopiló y evaluó datos bibliográficos relacionados con la erosión hídrica, se analizó información sobre parámetros de cobertura, fuentes edafológicas,

topografía, clima, uso del suelo, entre otros. Esta información se encuentra disponible en entidades gubernamentales como: Instituto Geográfico Militar (<https://www.gob.ec/igm>); Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (<https://www.inamhi.gob.ec/>); y páginas web como: World Clim (<https://www.worldclim.org/data/index.html>) Instituto Espacial Ecuatoriano (<https://www.gob.ec/iee>); Earth explore (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

3.2.1.1 Modelo Matemático RUSLE.

Para la determinación de los factores de riesgo por la erosión hídrica se utilizó el modelo matemático RUSLE (Ecuación 1) propuesta por Wischmeier (1978), la cual fue útil para simular la escorrentía y la erosión hídrica de la subcuenca del río Ambi, mediante la siguiente ecuación:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1)$$

Donde:

A= Pérdida de suelo por erosión hídrica en (t/ ha/ año)

R= Erosividad de la lluvia (Mj·mm)/(ha/año)

K= Erodabilidad del suelo (tn·ha·h)/(ha·Mj·mm)

L= Factor de longitud del terreno (adimensional)

S= Factor pendiente del terreno (adimensional)

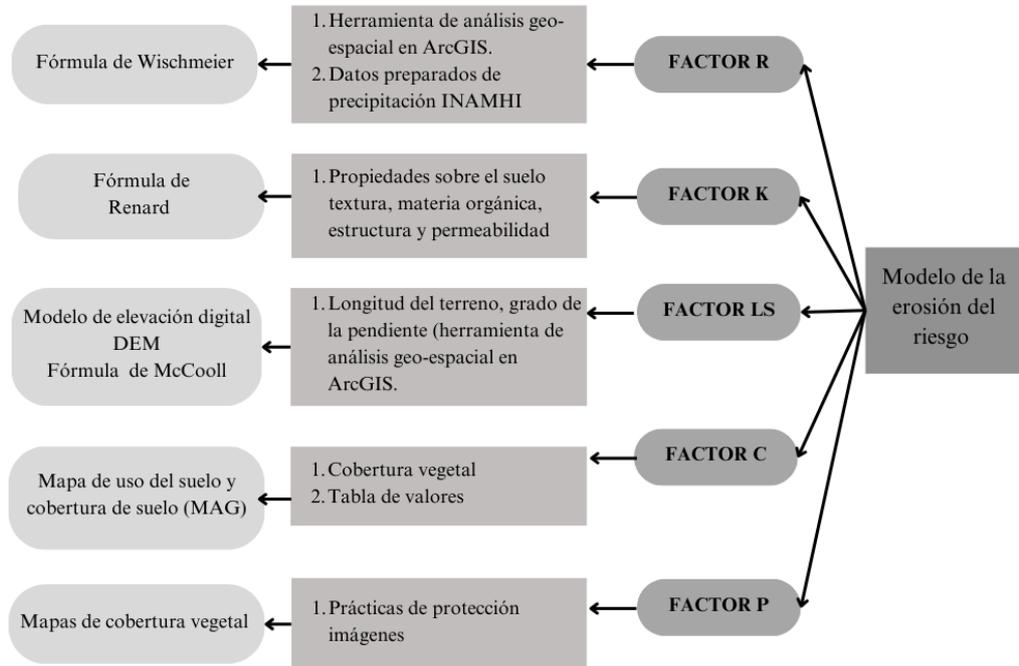
C= Cobertura y manejo de la vegetación (adimensional)

P= Prácticas de conservación (adimensional)

De acuerdo con los factores descritos para el cálculo de la erosión hídrica a continuación, se presenta en la Figura 2, los instrumentos y herramientas que intervienen en los procedimientos de cada factor y las ecuaciones correspondientes.

Figura 2

Esquema metodológico de la Ecuación RUSLE



3.2.1.1 Factor de Erosividad de la Precipitación (R)

El índice de erosividad de lluvia desempeña un rol muy importante en la pérdida del suelo, debido que la erosión es más fuerte a medida que se incrementa la fuerza de precipitación (Rosales, 2020).

El factor R de erosión, evalúa el impacto de intensidad de la lluvia en la erosión del suelo, donde requiere de un periodo de datos de aproximadamente de 20 a 25 años (De Santos Loureiro & De Azevedo Coutinho, 2001). Para realizar el cálculo, se empleó la Ecuación 2 propuesta por (Wischmeier, 1978).

$$\text{Factor R} = \sum_{i=1}^{12} 1,735 * 10^{(1,5 \log_{10}(\frac{p_i^2}{p}) - 0,08188)} \quad (2)$$

Donde R (x, y) es el factor R (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ yr⁻¹) en el tamaño de celda (x, y), p_i = precipitación mensual (mm) y p = precipitación anual (mm).

Para el cálculo de este factor se utilizará los valores de precipitación de 38 estaciones meteorológicas del periodo de 2010 a 2021, detallados en la Tabla 4.

Tabla 4*Estaciones meteorológicas y pluviométricas período 2010-2021*

Nombre	Código	Tipo	Nombre	Código	Tipo
Buenos Aires Imbabura	M693	PG	Hda. La María-Anexas	M328	PV
Inguincho	M001	CO	San José De Minas	M337	PV
Atuntaqui	M021	PV	Cangahua	M344	PV
Ibarra Aeropuerto	M053	AR	Calacalí INAMHI	M358	PV
El Ángel	M102	CO	Nono	M361	PV
San Gabriel	M103	CP	San Antonio	M115	CO
Otavalo	M105	CP	Bolívar-Carchi INAMHI	M303	PV
Malchinguá INAMHI	M111	CP	Gruta La Paz	M307	PV
Carchi	M301	PV	Zuleta	M316	PV
Mariano Acosta	M310	PV	San Rafael Del Lago	M319	PV
Pablo Arenas	M312	PV	Cambugan	M322	PV
Ambuquí	M314	PV	Achupallas-Imbabura	M323	PV
Pimampiro	M315	PV	Guayllabamba	M341	CO
Cotacachi	M317	PV	Olmedo-Pichincha	M023	CO
Apuela-Intag	M318	PV	Mira-Fao Granja La Portada	M104	CO
Topo Imbabura (Angla)	M321	PV	Perucho INECEL	M214	CP
San Francisco	M324	PV	Cayambe	M359	PV
García Moreno	M325	PV	Cajas-Mojanda	M526	PV
Selva Alegre-Imbabura	M326	PV	Gualsaquí	M909	PV

PV: Estación Climatológica Principal**CO:** Estación Climatológica Ordinaria**CP:** Estación Climatológica Principal**AR:** Estación Aeropuerto

3.2.1.2 Factor de Erodabilidad del Suelo (K)

El factor K indica la susceptibilidad de la erodabilidad del suelo (Wischmeier, 1978). Se calcula mediante la información sobre las características edáficas del suelo, textura, materia orgánica, estructura y permeabilidad (Renard et al., 1997). Se aplicó el mapa de tipos de suelo de la cuenca hidrográfica y se colectarán 13 muestras de suelo, cada una representando los tipos de suelo a nivel de Gran Grupo, posteriormente se realizará el análisis en el laboratorio LABONORT para la determinación de contenido de limo, arena, arcilla y materia orgánica. Finalmente se aplicará la Ecuación 3.

$$K = 27,66 * m^{1,14} * 10^{-8} * (12 - a) + 0,0043 * (b - 2) + 0,0033 * (c - 3) \quad (3)$$

Donde:

$m = \text{limo (\%)} + \text{arena muy fina (\%)} * (100 - \text{arcilla (\%)})$

$a = \text{materia orgánica (\%)}$

$b = \text{código de estructura}$

$c = \text{código de permeabilidad}$

3.2.1.3 Factor Topográfico (LS)

El factor topográfico LS representa la inclinación de la pendiente (S) y la longitud de la pendiente (L) en las pérdidas del suelo (Wilson, 1992). Según Maetens, (2012) el aumento en la inclinación y la longitud de la pendiente inciden al incremento de la erosión hídrica. Para el cálculo de este factor se obtuvo un modelo digital de elevación con resolución de 30 metros, obtenido en el Portal web de Earth Explore, donde se utilizó la Ecuación 4 establecida por McCool *et. al*, (1997).

$$LS: \left(\frac{\text{Flow accumulation} * \text{cell size}}{22,13} \right)^{0,4} \left(\frac{\text{Sin Slope}}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (4)$$

Donde:

LS: Longitud de la pendiente y pendiente inclinada

Flow accumulation: Número de celdas que contribuyen al flujo de una celda dada

Cell size: Tamaño de las celdas (30 m)

22,13: Constante de la longitud

Sin Slope: Es el seno de la pendiente en radianes.

3.2.1.4 Factor Cobertura del Suelo (C)

El factor C corresponde a la interacción entre la pérdida de los suelos y los diversos tipos de vegetación (Wischmeier, 1978). Para la identificación del uso y cobertura del suelo en la cuenca del río Ambi, se realizará comprobaciones de campo, donde se identificarán 7 tipos de cobertura vegetal y se georreferenciará mediante 175 puntos de muestro con coordenadas UTM, se asignarán valores a los tipos de cobertura de acuerdo con la Tabla 5, propuestos por Arias *et al.*, (2023), para estandarizar cada tipo de cobertura (Anexo 3).

Tabla 5

Valores del factor de cobertura vegetal para cuencas hidrográficas tropicales

Cobertura	Valores obtenidos del Factor C
Bosque natural	0,01
Matorral	0,035
Páramo	0,040
Pastos (completos naturales hasta pastoreados)	0,037
Cultivos (permanentes no densos)	0,35

Nota: (Arias et al., 2023)

3.2.1.8 Factor Prácticas de Conservación (P)

Es el factor de prácticas de apoyo de conservación (Rosales, 2020). Los valores del factor (P) varían entre 0 y 1, donde el valor cero (0) indica las prácticas de conservación efectivas, mientras que el valor uno (1) señala ausencia de prácticas de conservación (Vijith et al., 2018).

3.2.2 Simulación la Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Ambi mediante la Aplicación del Modelo Hidrológico RUSLE

La aplicación del modelo RUSLE se realizó después de obtener los resultados de los factores que conforman la ecuación, para esto se multiplicó cada factor y como resultado se obtuvo un mapa vectorial que determina la cantidad de erosión hídrica en t/ha/año para la cuenca hidrográfica del río Ambi.

3.2.2.1 Validación del Modelo Hidrográfico RUSLE

Se realizará la validación del modelo RUSLE, mediante la aplicación de la fórmula planteada en el estudio de Somayeh et al. (2018), Producción de Sedimentos (Ecuación 5), que es la cantidad de sedimentos que se encuentran en el punto final de la pendiente o en la salida de las cuencas hidrográficas donde se acumulan los sedimentos.

$$SY = A * SDR \quad (5)$$

Donde:

SY= Producción total de sedimentos (t/ha/año)

A= Pérdida anual del suelo (t/ha/año)

SDR= Cantidad estimada de suelo erosionado (ha)

Para obtener el valor de la Producción de Sedimentos (SY), es importante aplicar la Ecuación 6, para conocer la cantidad de suelo erosionado con respecto a la longitud de la pendiente (Tsegaye et al, 2021).

$$SDR = 0,627 * SLP^{0.403} \quad (6)$$

Donde:

0,627 es constante

SLP = Pendiente del río (%)

0,403 es el exponente de la pendiente

El valor obtenido de SY se comparó con los datos históricos registrados por el INAMHI (2019), con la aplicación de la fórmula del Indicador PBias (Ecuación 7) para evaluar el índice de sesgo (Moriasi et al., 2015). Los valores negativos indican sobreestimación, mientras que los valores positivos detallan subestimación de modelo.

$$PBias = \frac{SY_{ob} - SY_{cal}}{SY_{ob}} \quad (7)$$

Donde:

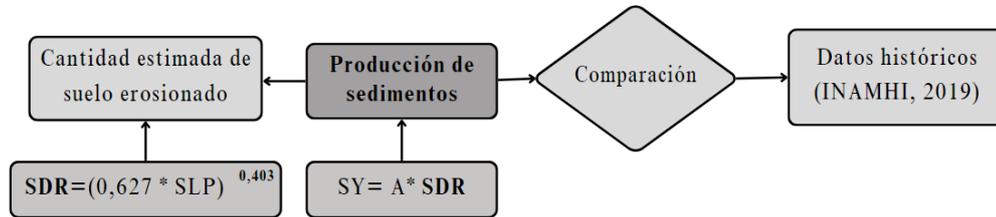
SY_{cal} son los sedimentos calculados (t/ha/año)

SY_{ob} son los sedimentos observados

Finalmente, se llevaron a cabo nueve muestreos de agua en el cauce del río Ambi, en los cuales se evaluaron los sólidos disueltos totales y los sólidos en suspensión, para relacionarlos con la erosión que presenta la cuenca del río Ambi (Figura 3).

Figura 3

Esquema metodológico de la validación del modelo RUSLE



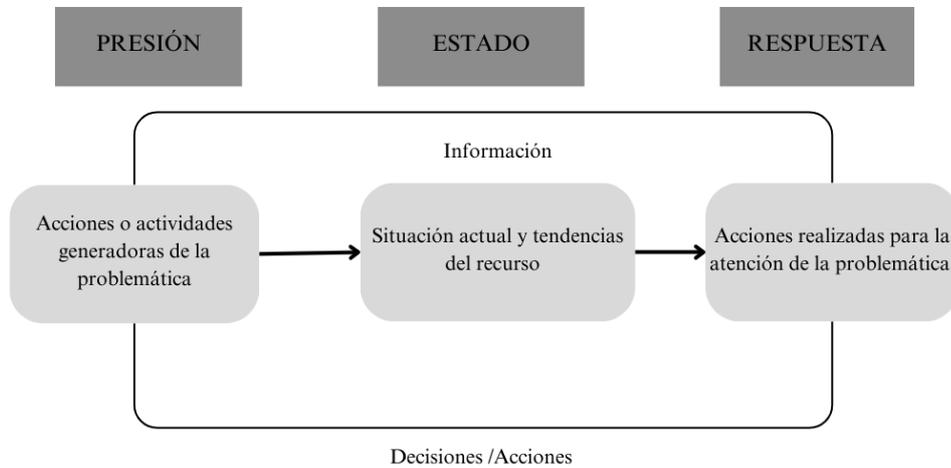
3.2.3 Estrategias de Manejo del Recurso Suelo

Con base en los datos obtenidos de las áreas susceptibles a la erosión en la cuenca del río Ambi, se realizó un análisis de los resultados a través de la metodología de Presión, Estado y Respuesta (PER), para establecer la propuesta de estrategias de manejo del recurso suelo, optimizando el uso y prácticas sostenibles a largo plazo (Gómez, 2017). El esquema PER (Figura 4) está basado en una lógica de causalidad, es decir mediante las actividades humanas que generan (Presión), sobre el ambiente y afecta la calidad y cantidad de los recursos naturales (Estado), en la cual la sociedad responde a los cambios a través de la implementación de políticas ambientales, económicas y sectoriales (Respuesta) (Vázquez et al., 2018).

De acuerdo con la metodología del USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos), se estableció el uso potencial del suelo con base a las clases agrológicas, que consiste en un sistema de evaluación general del suelo, para su desarrollo agropecuario y forestal, incluyendo riesgo de deterioro y limitaciones de uso en función de las características edáficas como la topografía, drenaje y condiciones climáticas (Cifuentes, 2015).

Figura 4

Esquema del marco de referencia Presión, Estado y Respuesta (PER)



Nota: Elaboración propia con base en OCDE (1998)

3.3 Materiales y Equipos

Se detallan los materiales y equipos que se utilizaron para el desarrollo del estudio (Tabla 6).

Tabla 6

Materiales y equipos

N°	Materiales y equipos de oficina	Materiales y equipos de campo
1	Computador portátil	Navegador GPS
2	Impresora	Teléfono móvil
3	Papel Bond	Envases plásticos
4	Cartas topográficas digitales	Brocha y pintura
5	Mapas temáticos digitales	Vehículo
6	USB	Machete
7	Dispositivo de almacenamiento de datos	Cuerda de 20 m
8	Software ArcGIS	Estacas de 30 cm
9	Libreta de notas	Flexómetro de 10m

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

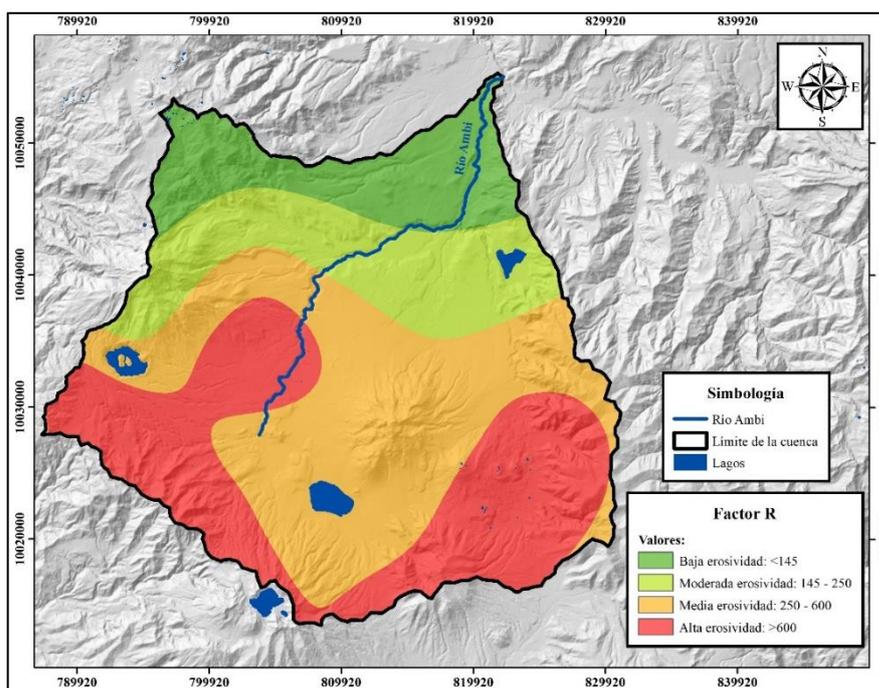
4.1 Determinación de los Factores Climáticos y Biofísicos que influyen en los procesos de la Erosión Hídrica

Se detalla los resultados obtenidos en el cálculo de los factores que componen el Modelo matemático RUSLE:

- **Factor de Erosividad de la Lluvia (R):** Expresa la fuerza erosiva de la lluvia sobre el suelo (Bailón, 2022). Los datos obtenidos mediante la fórmula propuesta por Wischmeier (1978) para la distribución espacial de la erosividad de la lluvia en el área de estudio se muestra en Figura 5.

Figura 5

Distribución del factor R en la cuenca del río Ambi



La cuenca hidrográfica del río Ambi presenta la erosividad clasificada en cuatro categorías de baja a alta, la figura anterior muestra la distribución geográfica del factor R, las áreas con valores menores a 145 (Baja erosividad) presentan lluvias con baja intensidad erosiva, mientras que los valores superiores a 600 indica áreas

con mayor intensidad erosiva de la lluvia dentro del área de estudio, lo que origina erosión hídrica significativa del suelo.

- **Factor de Erodabilidad de Suelo (K):** Representa la resistencia del suelo ante la fuerza erosiva de la lluvia, el valor depende del contenido de materia orgánica, textura, estructura y permeabilidad (Bailon, 2022). El tipo de suelo que predomina en el área de estudio es Dystropept que posee una textura franco-arenosa (Tabla 7), coincidiendo con el análisis de laboratorio de las muestras de suelo (Anexo 4).

Tabla 7

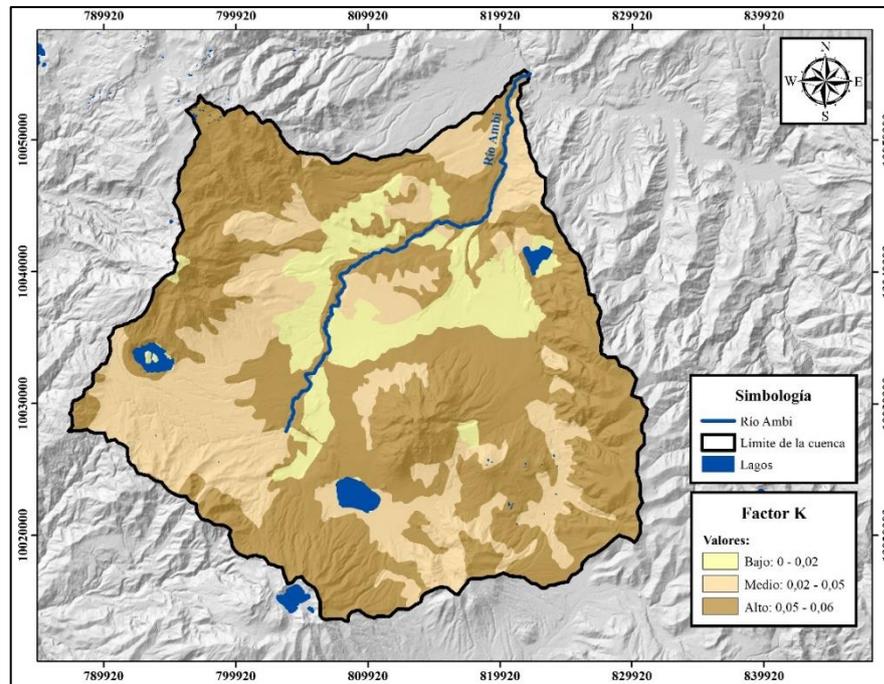
Factor K en función de los grandes grupos de suelo y su textura.

Grandes grupos	Textura	Factor K	Área (Has)	Porcentaje (%)
Argiudoll	Franco arenoso	0,02	259	0,23
Argiustoll	Franco arenoso	0,04	1.514	1,31
Duriudoll	Franco arenoso	0,06	11.059	9,57
Durustoll	Franco arenoso	0,06	15.704	13,59
Dystrandept	Franco arenoso	0,06	24.853	21,51
Dystropept	Franco arenoso	0,06	14.198	12,29
Eutrandept	Franco arenoso	0,05	627	0,54
Hapludoll	Franco arenoso	0,05	6.757	5,85
Haplustoll	Franco arenoso	0,01	10.775	9,33
Haplustoll (Argiustoll)	Franco arenoso	0,05	1.901	1,65
Ustipsamment	Franco arenoso	0,06	479	0,41
Ustorthent	Franco	0,04	4.982	4,31
Vitrandept	Franco	0,04	18	16,19
No Aplica	Franco arenoso	NA	3.701	3,2
		Total	115.520	100

La distribución espacial del factor K indica que los valores presentan un rango de 0,01 a 0,06 t/ha/MJ⁻¹ mm⁻¹ha⁻¹ (Figura 6).

Figura 6

Distribución del factor K en la cuenca del río Ambi



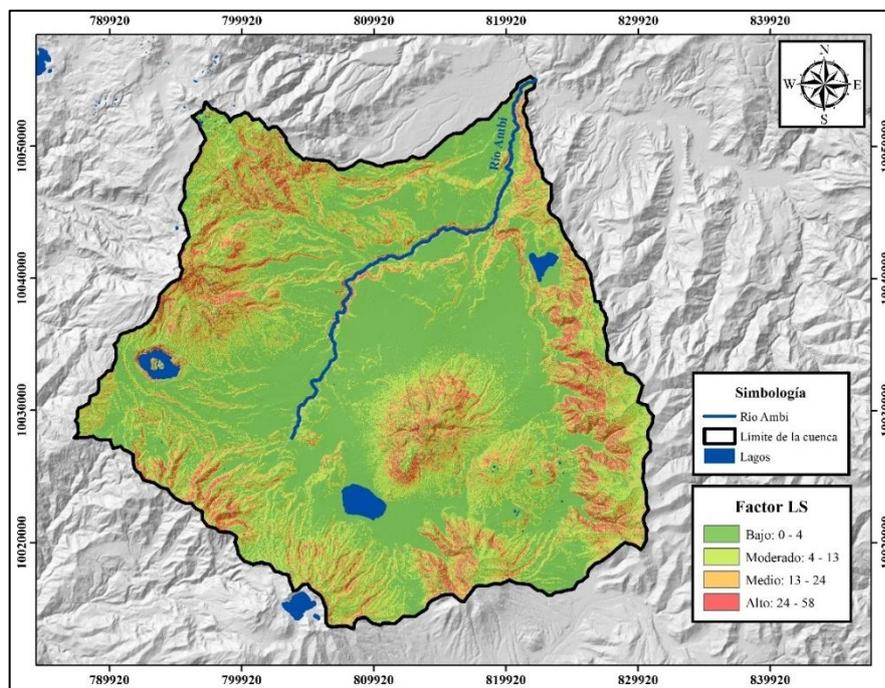
El mapa de erodabilidad del suelo en la cuenca del río Ambi, indica la susceptibilidad de pérdida del suelo por erosión hídrica debido al índice erosivo de lluvia, los valores del factor K se agrupan en tres categorías (bajo, medio y alto) el rango más alto del factor K se ubica en la parte alta y media de la cuenca en suelos clasificados como Dystrandept, Vitrandept y Durustoll. Los valores más bajos del factor K se encuentran en suelos aledaños a las zonas urbanas tales como: Ibarra, Urcuqui, Antonio Ante y Otavalo.

La erodabilidad en la cuenca hidrográfica del río Ambi presenta un rango entre $0,01$ a $0,06 \text{ t/ha/MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ lo que tiene variación similar a otras cuencas hidrográficas de montaña ubicadas en la cordillera de los Andes (Correa et al., 2016). Mediante (Ramírez et al., 2009) estos valores en el suelo corresponden a erodabilidad natural y moderado. En el área de estudio las zonas con erodabilidad moderado presenta suelos franco-arenosos y en promedio tiene 3% de materia orgánica, según Voroney (1981) menciona que los suelos franco-arenosos poseen un valor menor al 3,5% de materia orgánica, lo que indica Evan (1980) los suelos con menor al 3,5% pueden considerarse erosionables.

- **Factor Topográfico (LS):** Representa la influencia de la pendiente del terreno con respecto a la erosión hídrica (Quiñonez, 2022). El área de estudio presenta valores distribuidos en cuatro rangos, donde el rango de 0-4 (Bajo) predomina en toda la cuenca, mientras que el rango de 24-58 (Alto) se localiza en las partes altas de la cuenca en relieves muy montañosos y escarpados (Figura 7).

Figura 7

Distribución del factor LS en la cuenca del río Ambi

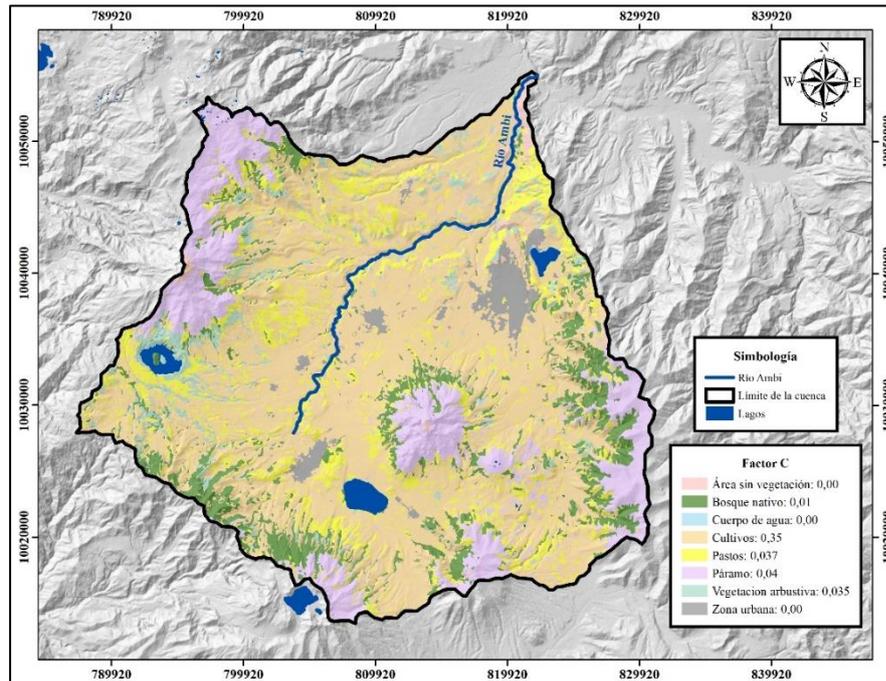


La mayor parte del área de estudio presenta zonas ligeramente planas con valores bajos de erodabilidad, donde se produce la acumulación de sedimentos, mientras que los valores más altos se encuentran en laderas de montañas con pendientes onduladas y montañosas, en estas áreas el suelo es más susceptible a la pérdida de materia orgánica y al desprendimiento de partículas por efecto de la lluvia. Diferentes estudios señalan que la longitud de la pendiente es crucial para el cálculo de la erosión (Wilkinson et al, 2006). Los valores de la cuenca del río Ambi son de 0 a 58, estos se asemejan con los resultados del estudio de la cuenca del río Mira, donde los valores son de 0,01 a 67.

- **Factor de Cobertura del Suelo (C):** Indica el grado de protección de la cobertura vegetal en el suelo para disminuir la erosión causada por la precipitación (Wischmeier, 1978). En la cuenca del río Ambi se identificaron 7 tipos de cobertura vegetal (Figura 8).

Figura 8

Distribución del factor C en la cuenca del río Ambi



La cobertura del suelo en la cuenca del río Ambi está distribuida espacialmente, de tal manera que en la parte alta se encuentra el páramo y bosque nativo, mientras que en la parte media predominan los cultivos y pastos, en la parte baja prevalece los cultivos y las zonas urbanas. La clasificación de la cobertura vegetal para el factor C se puede realizar de acuerdo con el tipo de cobertura (Morgan, 2005), para la cuenca del río Ambi los valores del factor C se establecieron en base al estudio realizado por (Arias et al., 2023), donde se evaluó los tipos de cobertura de acuerdo con territorio, estandarizando los valores para aplicarlos en otros estudios.

- **Factor de Prácticas de Conservación (P):** En la cuenca del río Ambi no existen prácticas de conservación, por lo tanto, se aplica lo propuesto por Vijith et al., (2018) asignando un valor de 1 que representa la ausencia de prácticas de conservación de suelos. Haro et al., (2024) menciona que la

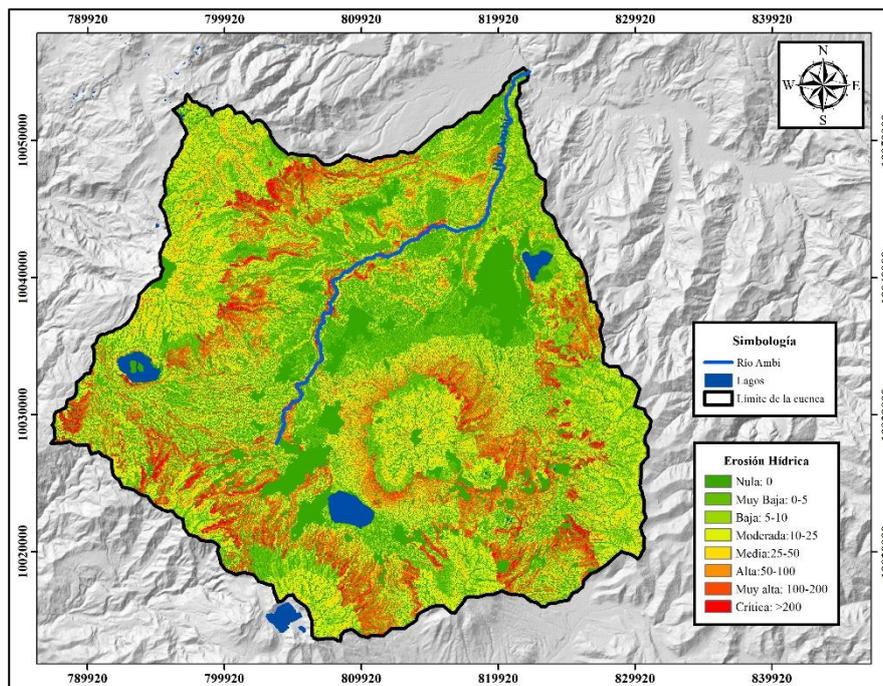
sierra ecuatoriana presenta malas prácticas agrícolas y deforestación lo que ha ocasionado la eliminación de la cubierta vegetal aumentando los procesos erosivo y pérdida de los recursos, por lo que determinaron que en la zona norte existe un aumento de erosión en un 16% aproximadamente, siendo mayor incremento en el grado severo en erosión.

4.2 Simulación de la Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Ambi mediante la Aplicación del Modelo Hidrológico RUSLE

La cuenca del río Ambi presenta una erosión hídrica en el rango de 0 a 664 t/ha/año (Figura 9), es decir la erosión es crítica en áreas sin cobertura vegetal. La pendiente del terreno está relacionada directamente con la erosión, los rangos con mayor erosión en el área de estudio se ubican en las pendientes de los volcanes: Imbabura, Cubilche y Cotacachi, se afirma que en la región montañosa de los Andes los rangos de erosión pueden variar de 514 y 873,3 t/ha/año (Koirala et al., 2019), esto se confirma con el estudio de Arroyo & Jaramillo (2018), donde se obtuvo un valor de erosión de 642,7 t/ha/año para la microcuenca de La Merced, provincia del Carchi.

Figura 9

Erosión hídrica en el área de estudio



La cuenca del río Ambi presenta ocho rangos con valores de erosión nula a crítica, las áreas que presentan rangos de erosión alta y muy alta son susceptibles a erosión severa en caso de no emplearse estrategias que permitan mitigar esta problemática. En la cuenca hidrográfica predominan los rangos de erosión nula y muy baja, debido a que los factores del modelo RUSLE alcanzan valores bajos, definidos por la precipitación, el tipo de suelo, pendiente del terreno y cobertura. La Tabla 8 describe las categorías de erosión presentes en el área de estudio.

Tabla 8

Categorías de erosión y sus principales características

Tasa de erosión (t/ha/año)	Categorías	Característica
0	Nula	Zonas no susceptibles al proceso erosivo como zonas urbanas, embalses, entre otros.
0-5	Muy baja	Zonas con niveles erosión muy bajos y pérdidas de suelo tolerables.
5-10	Baja	Zonas con niveles de erosión bajos y pérdidas de suelo que pueden ser tolerables.
10-25	Moderada	Zonas con procesos erosivos leves, existe erosión, aunque no es apreciable a simple vista.
25-50	Media	Zonas con pérdida de suelo poco tolerables
50-100	Alta	Zonas con procesos erosivos graves
100-200	Muy alta	Zonas con erosión frecuente y visible a simple vista.
200	Crítica	Zona con procesos erosivos extremos

Fuente:(Edeso et al., 1997)

El área de estudio presenta un valor promedio de erosión de 29 t/ha/año, que corresponde a la categoría media de erosión y se clasifica como cuenca con pérdidas de suelo poco tolerables, este valor tiene relación con el promedio de erosión obtenido en la cuenca del río Mira que fue de 32,75 t/ha/año (Arias et al., 2023). Las cuencas hidrográficas que presentan valores promedio de erosión entre 25 a 50 t/ha/año se debe a la interacción de factores como altas precipitaciones, características y tipo de suelo, pendientes pronunciadas, el tipo de cobertura vegetal y las prácticas de conservación del suelo en las laderas (Koirala et al., 2019).

4.2.1 Validación del Modelo RUSLE mediante datos de Producción de Sedimentos SY

La cantidad de suelo erosionado (SDR), para la cuenca del río Ambi con respecto a la pendiente es de 0,13 ha. De acuerdo con Manoj et al (2010), esto se

debe a la fisiografía de la cuenca y al sistema de transporte, donde este valor debe ser menor a 1. El valor de la producción de sedimentos (SY) fue de 3,9 t/ha/año, mientras que la estación hidrológica del INAMHI reporta un valor de gastos sólidos de 2,76 t/ha/año (Tabla 9).

Tabla 9

Valor del gasto sólidos del INAMHI

Estaciones	Código	Caudal (m ³ /s)	Concentración diaria (kg/m ³)	Gasto sólido (kg/s)	Gasto sólido (t/ha/año)
Ambi D.J. Cariyacu	H-023	5,20	0,87	4,52	2,76

Fuente: (INAMHI, 2019)

El indicador de sesgo PBias con respecto a la producción de sedimentos establece una sobre estimación de -41%, es decir que el modelo es aceptable ya que Moriasi et al, (2015) mencionan que los valores $\geq \pm 55\%$ para los sedimentos representa un desempeño inaceptable del modelo y la erosión hídrica calculada en la cuenca del río Ambi está dentro del rango establecido. Tsegaye & Bharti, (2021) establecen que la aplicación del modelo RUSLE, tiende a sobreestimar la erosión del suelo en cuencas hidrográficas y eso se corroboraría con los valores obtenidos en los indicadores de sesgo.

Adicionalmente se realizó 9 muestreos de agua del río Ambi (Anexo 5), en el período de noviembre del 2023 a julio del 2024 los cuales se detallan en la Tabla 10.

Tabla 10

Valores de sedimentos obtenidos en las muestras mensuales.

Mes	Año	Sólidos disueltos totales (mg/l)	Sólidos suspendidos totales (mg/l)
Noviembre	2023	471	42
Diciembre	2023	324	62,2
Enero	2024	715,2	8,8
Febrero	2024	544	25,2
Marzo	2024	624	16,4
Abril	2024	244	340,56
Mayo	2024	492	39,2
Junio	2024	488	72,9
Julio	2024	656	31,2

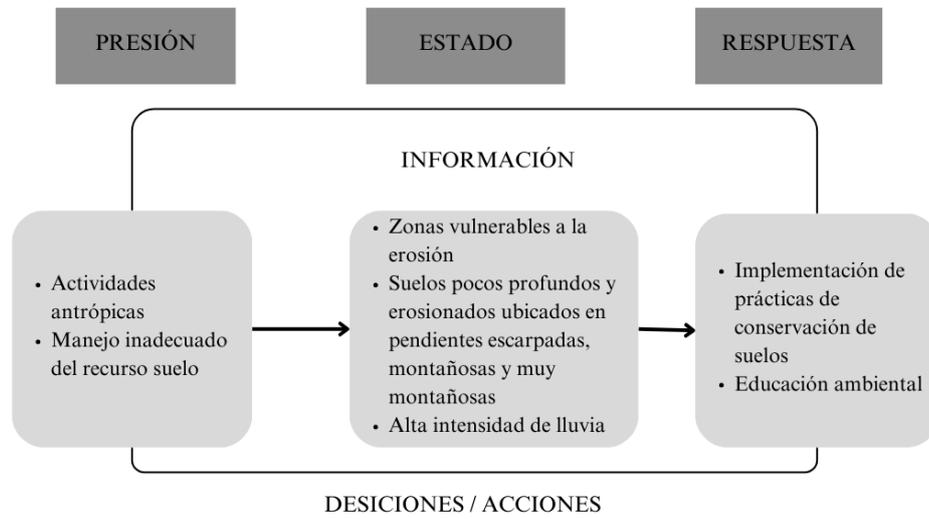
Los sólidos disueltos totales y los sólidos suspendidos totales reflejan la pérdida de nutrientes y la remoción del suelo en una cuenca hidrográfica (Wenng et al., 2021). Los meses de Enero, Abril y Julio presentaron un aumento de estos parámetros en la cuenca del río Ambi, por lo que se relaciona con las precipitaciones y las actividades humanas ya que Walling, (2003) menciona que el aumento de sedimentos en el flujo de un río tiene diferentes influencias como el cambio de uso del suelo, lo que compromete la calidad del agua y el equilibrio del ecosistema.

4.3 Estrategias de Manejo del Recurso Suelo para reducir Zonas en Riesgo de Erosión Hídrica

Se estableció estrategias para mitigar la degradación física del suelo mediante la metodología de Presión, Estado y Respuesta (PER) de acuerdo con los valores de erosión registrados en la cuenca del río Ambi, identificando los principales problemas relacionados a la erosión hídrica (Figura 10). El componente Presión está integrado por los principales problemas relacionados a la erosión hídrica, el componente Estado corresponde a las zonas vulnerables a la erosión en la que se encuentra la cuenca y el componente Respuesta son las acciones definidas mediante estrategias para facilitar la toma de decisiones, considerando un enfoque integrado del ambiente y distintitos aspectos relacionados (Pandía, 2015).

Figura 10

Esquema de estrategias de manejo de uso del suelo.



4.3.1 Identificación de Estrategias

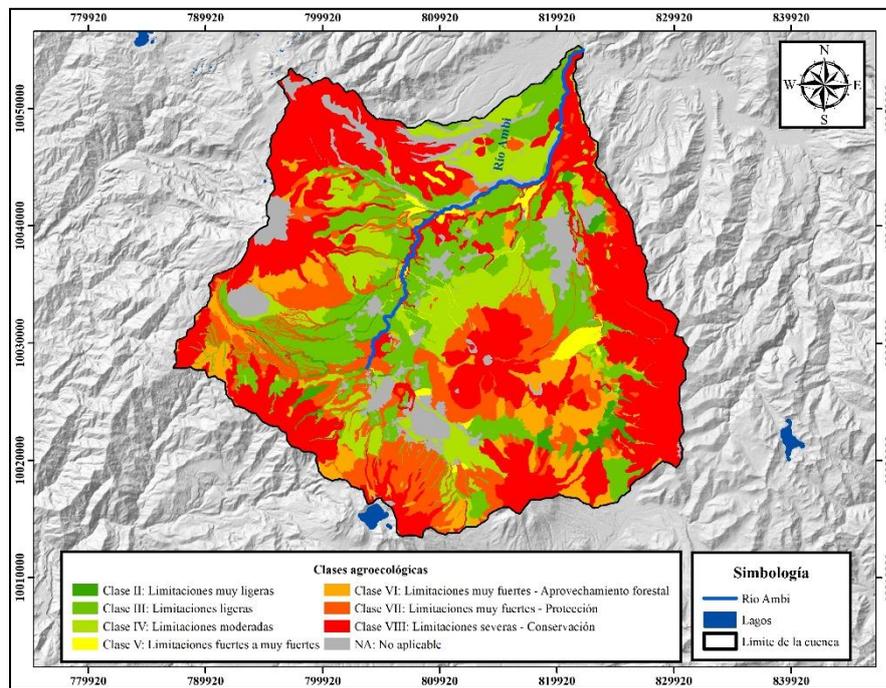
La Tabla 11 detalla la clasificación agrológica del suelo en la cuenca del río Ambi.

Tabla 11*Clases agrológicas de la cuenca del río Ambi*

	Clase	Característica	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Sin a ligeras limitaciones	Clase II	Riesgo de erosión moderada	1947,3	1,69%
	Clase III	Altos riesgos de erosión	21060,6	18,23%
Con limitaciones ligeras a moderadas	Clase IV	Intensa erosión	14806,8	12,82%
	Clase V	Ligero riesgo de erosión	1705,9	1,48%
Con limitaciones fuertes a muy fuertes	Clase VI	Riesgos de erosión importante	8380,3	7,25%
	Clase VII	Severa erosión	17393,5	15,06%
	Clase VIII	Zona de protección	40324,4	34,91%
Con limitaciones muy fuertes a severas	No aplicable	No aplicable	9901,73	8,57
	Total		115,520	100%

La cuenca del río Ambi se caracteriza por una amplia variedad de suelos que están distribuidos mediante las clases agrológicas según las capacidades de uso y manejo del suelo. En la Figura 11 representa la distribución de estas clases en el área de estudio, lo cual establece buenas prácticas ambientales y de uso sostenible.

Figura 11
Clases agrológicas de la cuenca del río Ambi



Según Morales (2011), la identificación de las clases agrológicas es favorable para determinar el nivel adecuado de uso y aprovechamiento en actividades forestales, ganaderas y agrícolas en un territorio. La cuenca del río Ambi presenta tierras con vegetación arbustiva con fines de protección con el 34,91% que corresponde a la clase agrológica VIII.

Las áreas susceptibles identificadas como más vulnerables a la erosión requieren de la conservación de la productividad del suelo para alcanzar una producción agrícola sostenible y un eficiente uso del suelo mediante prácticas de conservación, las cuales aseguran la productividad agrícola a largo plazo y contribuyen de manera significativa al ambiente. Existen diversas prácticas para controlar la erosión y conservar el suelo para proteger el recurso y minimizar el aporte de sedimentos en el cauce del río principal (Espinosa, 2014).

4.3.2 Diseño de Estrategias

El uso inadecuado del suelo en la cuenca del río Ambi ocasiona pérdida y degradación del recurso, lo cual se propuso cuatro estrategias de conservación para las zonas vulnerables a la erosión, aplicando la metodología PER.

4.3.2.1 Estrategia 1: Programa de Implementación de Prácticas Adecuadas de Conservación

Ubicación: Parroquias del cantón Ibarra y Otavalo

Justificación

En la cuenca del río Ambi presentan el 1,69% de la clase agrológica II. Son suelos apropiados para uso agrícola intensivo y se encuentran sujetos a erosión moderada, donde requieren de prácticas comunes que son encaminadas a la conservación del recurso. Implementar prácticas adecuadas de conservación, como cultivo a nivel, fajas rotaciones y métodos de labranza, es importante para reducir la erosión, mejorando la retención de agua y la fertilidad del recurso suelo (Tabla 12).

Objetivo General

Proponer prácticas de conservación para evitar el riesgo de erosión.

Meta

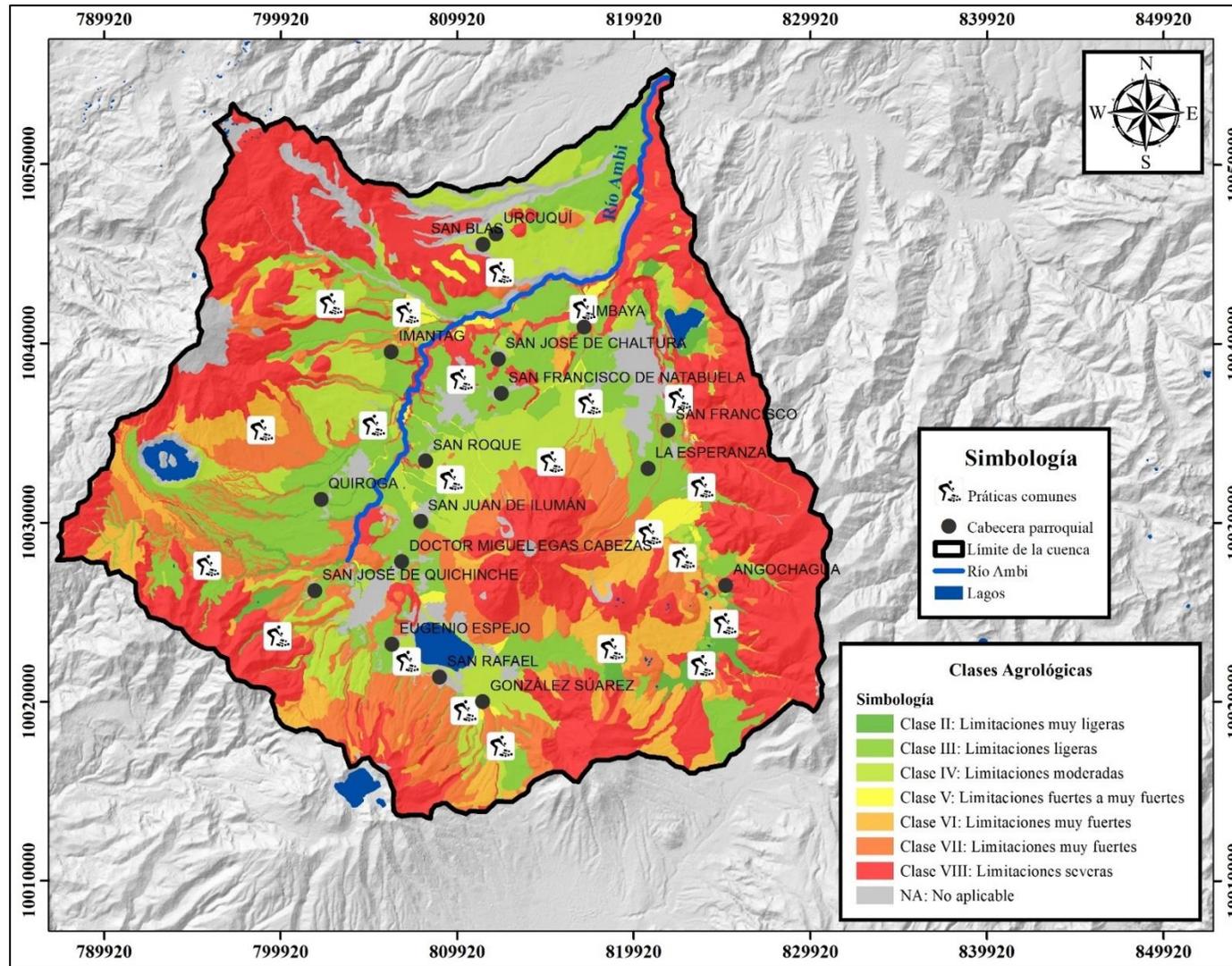
Desarrollar un conjunto de prácticas agrícolas de manera sostenible, específicamente diseñada para los suelos de clase agrológica II, con el fin de conservar los recursos y optimizar la productividad agrícola.

Tabla 12*Programa de implementación de prácticas adecuadas de conservación*

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance Clases agrológicas II	Responsables
Identificación de zonas donde se implementarán prácticas de conservación	Áreas seleccionadas	Registro fotográfico	Capacitación y aplicación de prácticas de conservación de los recursos, mediante la formación a las comunidades, para lograr reducir la erosión y mejorar la productividad.	<ul style="list-style-type: none"> • GAD Cantonal • GAD Parroquial • Líderes comunitarios • Academia • ONGs • MAGAP
Implementación de prácticas comunes como cultivo a nivel, fajas, mecanismos de control de agua o método de labranza (Dorronsoro, 2008).	Número de cultivo, fajas y mecanismo de control o método de labranza	Inspecciones <i>In situ</i> Registro fotográfico		

Figura 12

Ubicación geográfica de la estrategia 1: Programa de implementación de prácticas adecuadas de conservación



4.3.2.2 Estrategia 2: Programa de Sistema de Cultivos en las Áreas Susceptibles a la Erosión

Ubicación: Parroquias de los cantones Ibarra, Antonio Ante, Urcuquí, Cotacachi y Otavalo

Justificación

En la cuenca del río Ambi presenta el 18,23% de la clase agrológica III. Son suelos que se encuentran sujetos a importantes limitaciones en su cultivo y presentan altos riesgos de deterioro y erosión debido a sus pendientes moderadas. Por lo tanto, es fundamental de prácticas de conservación que proporcionen una adecuada protección de vegetación, para frenar la erosión en el suelo y preservar su estructura, como la aplicación de sistema de cultivo como fajas, terrazas y barreras vivas, garantizando una producción agrícola viable en los suelos (Tabla 13)

Objetivo General

Conocer los tipos de suelo y las limitaciones edáficas.

Meta

Promover un sistema de manejo integral para los suelos de Clase Agrológica III que se combine prácticas de conservación, reduciendo los riesgos de erosión y mejorar la estructura del suelo.

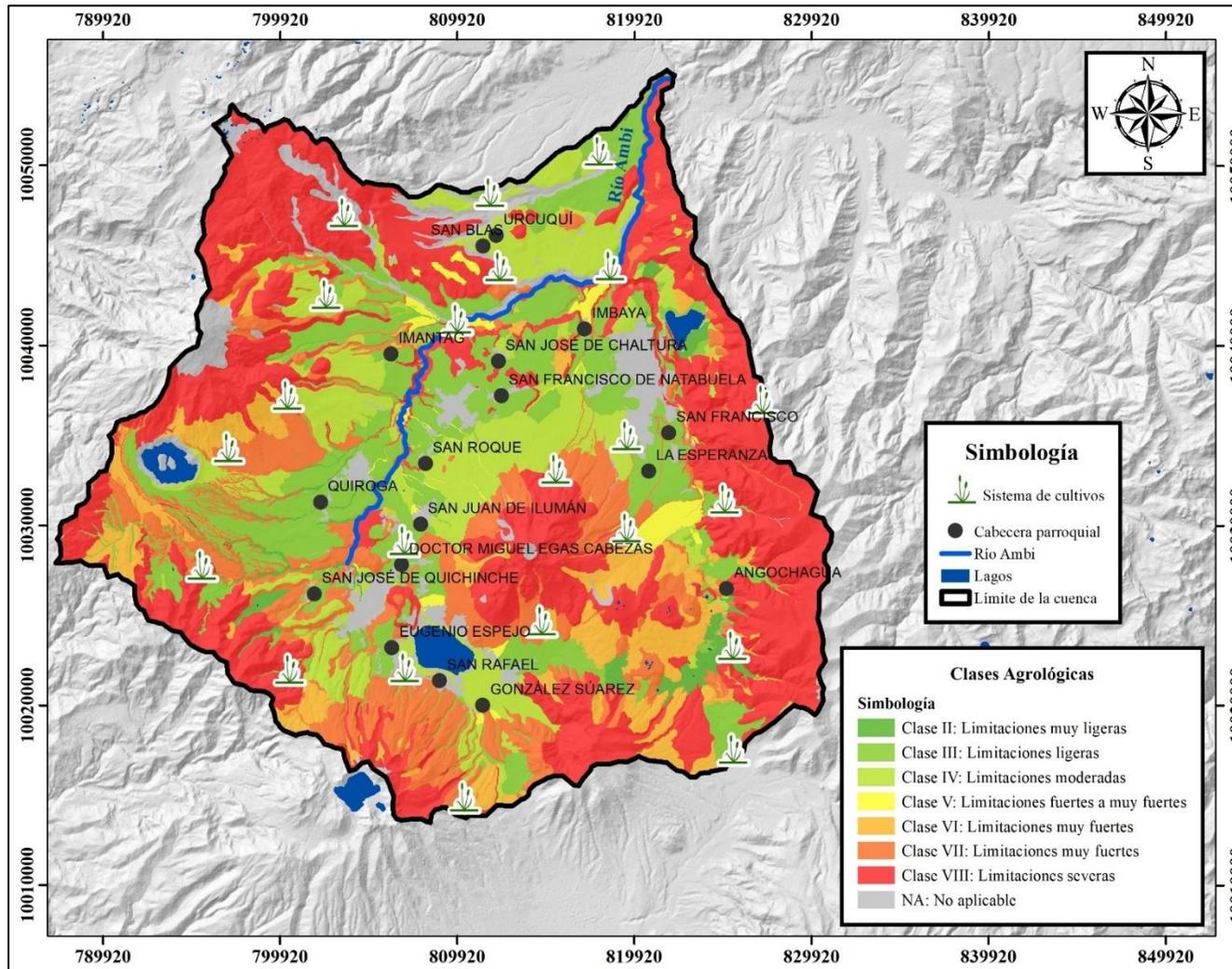
Tabla 13

Programa de sistema de cultivo en las áreas susceptibles a la erosión

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance Clases agrológicas III	Responsables
Identificación de las zonas para implementar prácticas de conservación	Sitios y áreas seleccionadas	Registro fotográfico, Mapeo con los actores locales	Implementación de prácticas de conservación en áreas susceptibles a la erosión, para optimizar la productividad y asegurar los suelos se puedan utilizar de manera sostenible.	<ul style="list-style-type: none"> • GAD Cantonal • GAD Parroquial • Líderes comunitarios • Academia • ONGs • MAGAP
Implementación de sistema de cultivo como fajas, terrazas, barreras vivas(Dorronsoro, 2008).	Número de prácticas de conservación de suelos	Inspecciones de <i>In situ</i> , Registro fotográfico		

Figura 13

Ubicación geográfica de la estrategia 2: Programa de sistema de cultivo en las áreas susceptibles a la erosión.



4.3.2.3 Estrategia 3: Programa de Prácticas de Manejo Sostenible del Recurso Suelo

Ubicación: Parroquias de los cantones Ibarra, Antonio Ante, Urcuquí, Cotacachi y Otavalo

Justificación

En la cuenca del río Ambi presenta 12,82% de la clase agrológica IV. En esta clase los suelos son malos lo que representa una característica desfavorable con limitaciones permanentes y severas para el cultivo, generalmente deben limitarse a cultivos herbáceos o a pastos, se encuentran en pendientes a erosión intensa (Tabla 14).

Objetivo General

Identificar el tipo de suelos y sus limitaciones edáficas

Meta

Establecer un manejo sostenible de los suelos en la clase agrológica IV mediante las prácticas de conservación que prioricen cultivos herbáceos y pastizales para minimizar la erosión y promover un uso responsable que garantice la sostenibilidad del recurso suelo.

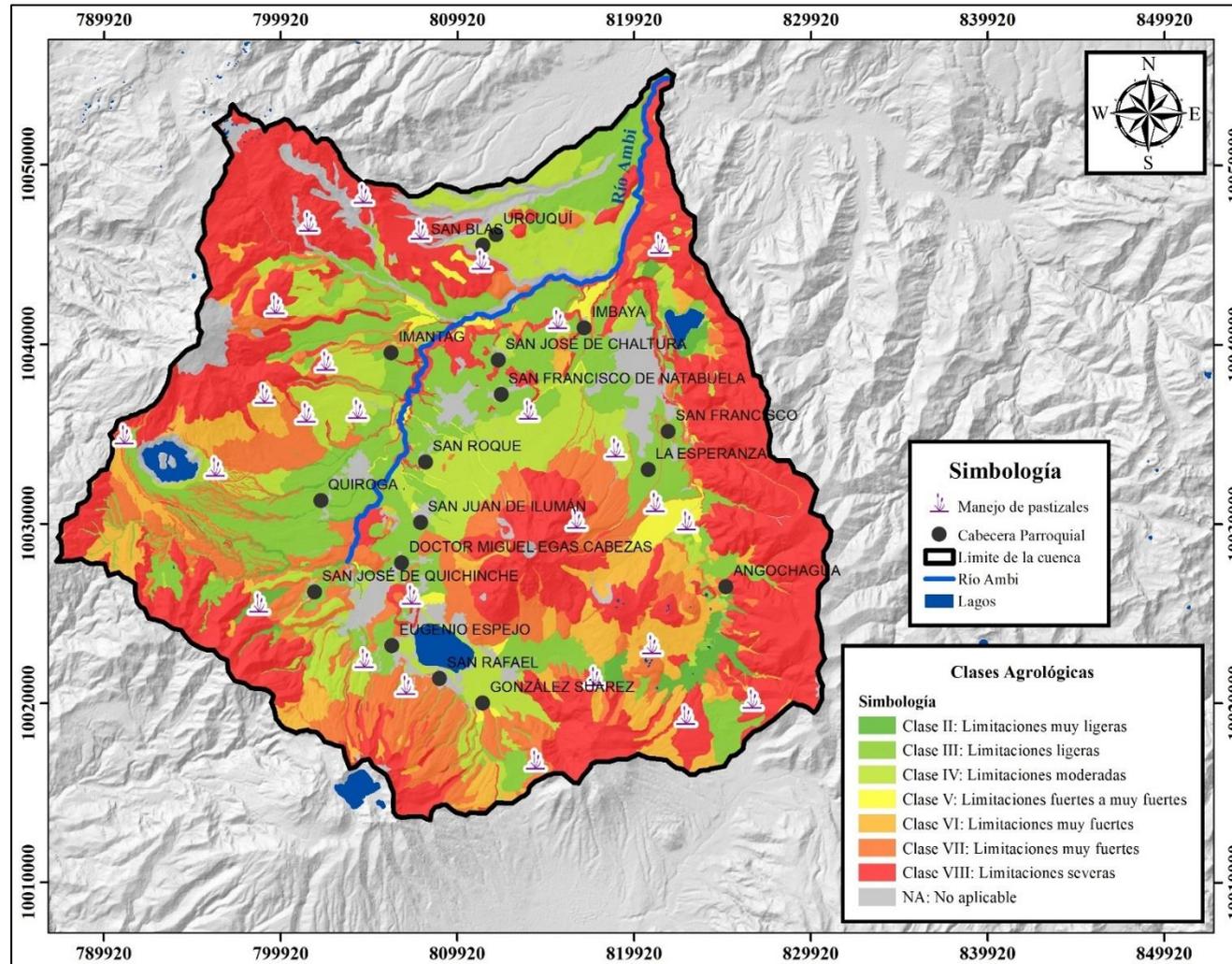
Tabla 14

Programa de prácticas de manejo sostenible del recurso suelo

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance Clases agrológicas IV	Responsables
Identificación de las zonas para la implementación de prácticas de conservación	Áreas seleccionadas	Registro fotográfico	Capacitación de los agricultores de la comunidad con un enfoque de adopción de prácticas que prioricen la protección del suelo como establecimientos de pasto y cultivos herbáceos.	<ul style="list-style-type: none"> • GAD Provincial • GAD Cantonal • GAD Parroquial • Líderes comunitarios • Academia • ONGs • MAGAP
Manejo de pastizales (Dorronsoro, 2008).	Capacidad de carga de pastos	Número de especies de ganado vacuno por unidad de superficie		

Figura 14

Ubicación geográfica de la estrategia 3: Programa de prácticas de manejo sostenible del recurso suelo.



4.3.2.4 Estrategia 4: Programa de Educación Ambiental de Restauración y Conservación de los Ecosistemas Naturales y Calidad del Suelo

Ubicación: Parroquias de los cantones Ibarra, Antonio Ante, Urcuquí, Cotacachi y Otavalo

Justificación

La principal causa de la degradación del suelo es el inadecuado manejo del recurso y la falta de conocimiento de los agricultores sobre los impactos ambientales y sociales. Por lo tanto, es fundamental e importante educar a la población sobre el cuidado del ambiente con la finalidad de promover buenas prácticas del suelo para fomentar valores y hábitos de manera sostenible en las actividades agrícolas, ganaderas y culturales para inducir el compromiso y una conciencia ambiental.

Rivera (2018) menciona que la conciencia ambiental no debe quedarse en la práctica teórica, por lo que es importante proponer soluciones y alternativas que puedan aplicar dentro de las comunidades. Por lo que se propone la difusión de la conservación ambiental de las tierras de la cuenca del río Ambi en las clases agrológicas V a VIII, debido que son áreas destinadas a la conservación y protección de los recursos, para poseer gran vegetación y bosques naturales (Tabla 15).

Objetivo General

Proponer un programa de educación ambiental en la temática de restauración y conservación de los ecosistemas.

Meta

Capacitar a los habitantes del lugar respecto al impacto del ser humano sobre el ambiente para fomentar la conservación de los recursos naturales mediante la participación y el buen uso del suelo.

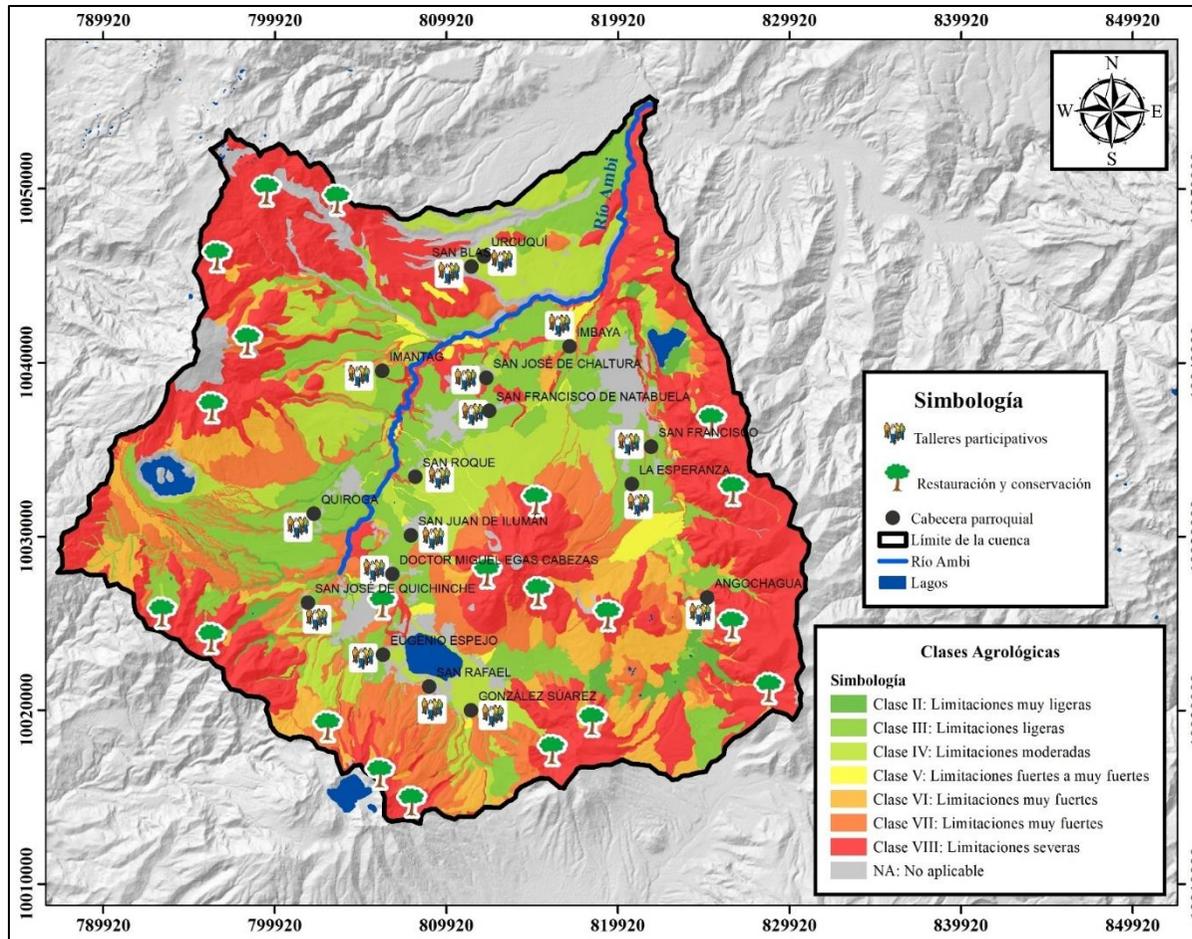
Tabla 15

Programa de educación ambiental de restauración y conservación de los ecosistemas naturales y calidad del suelo

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance Clases agrológicas V a VIII	Responsables
Generación de una guía física y didáctica para promover buenas prácticas de conservación y restauración	Guías diseñadas para difusión	Número de beneficiarios	Fomentar la conciencia de las comunidades acerca de prácticas adecuadas para la manejo del recurso suelo y la conservación de los ecosistemas naturales.	<ul style="list-style-type: none"> • GAD Cantonal • GAD Parroquial • MAGAP • Líderes comunitarios
Implementación de programas educativos y campañas de sensibilización	Capacitaciones dirigidas a beneficiarios locales	Número de Comunidades capacitadas		<ul style="list-style-type: none"> • Academia • Estudiantes primarios y secundarios
Restauración y conservación de suelos (Dorronsoro, 2008).	Inspecciones <i>In situ</i> Registro fotográfico	Número de hectáreas restauradas		

Figura 15

Ubicación geográfica de la estrategia 4: Programa de educación ambiental de restauración y conservación de los ecosistemas naturales y calidad del suelo



CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La erosión en la cuenca del río Ambi presenta un valor promedio de 29 t/ha/año, lo que indica que el área de estudio presenta zonas con pérdida de suelo poco tolerables, que se relacionan con la pendiente del terreno, ya que, en las elevaciones como el Imbabura, Cubilche y Cotacachi son evidentes zonas con erosión crítica. El rango de erosión de la cuenca es de 0 a 664 t/ha/año, por lo que es importante llevar un equilibrio entre las actividades humanas y el ambiente para evitar niveles altos de erosión.
- La validación del modelo RUSLE mediante los datos de producción de sedimentos y el indicador de sesgo PBias, se establece una sobre estimación de -41% en la cuenca del río Ambi, es decir el rendimiento del modelo es aceptable.
- Las estrategias de manejo del recurso suelo en la cuenca hidrográfica del río Ambi están enfocadas en prevenir y mitigar la erosión hídrica, mediante programas de prácticas adecuadas de conservación, sistema de cultivo en las áreas susceptibles a la erosión, prácticas de manejo sostenible del recurso suelo y educación ambiental, priorizando la participación de los actores esenciales como la ciudadanía de Ibarra, Antonio Ante, Urcuquí, Cotacachi y Otavalo y entidades gubernamentales como el GAD Cantonal, GAD Parroquial y MAGAP.

5.2 Recomendaciones

- Los factores climáticos son necesarios para este tipo de investigaciones, por lo que es crucial fortalecer de información para garantizar la disponibilidad de datos necesarios en la aplicación del modelo RUSLE.
- Desarrollar y aplicar las estrategias propuestas en el presente estudio para lograr incentivar y fomentar las buenas prácticas ambientales en la cuenca del río Ambi con el fin de gestionar sus recursos de manera adecuada y equilibrar el uso del recurso suelo.
- Aplicar la metodología realizada en este estudio para la estimación de erosión hídrica en otras cuencas, subcuencas o microcuencas, para conocer resultados

actuales de pérdida del suelo con la finalidad de preservar los recursos naturales y contribuir a la sostenibilidad ambiental.

REFERENCIAS

- Almoza, Y., Medina, H., & Ruiz, M. E. (2008). El uso de datos pluviométricos para la determinación del factor erosividad de las precipitaciones en el modelo RUSLE. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 17(1), 38–43. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93217108>
- Alvarado García, V. (2021). Factores que inciden en la erosión hídrica. *Ciencia y Práctica*, 1(2). <https://doi.org/10.52109/cyp2021217>
- Aouichaty, N., Bouslihim, Y., Zouhri, A., Koulali, Y., & Gyampoh, B. (2022). Estimation of water erosion in abandoned quarries sites using the combination of RUSLE model and geostatistical method. *Scientific African*, 16, 1153. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01153>
- Arias, P., Cabrera, S., Jiménez, R., & Oquendo, R. (2023). *Reporte de salud Ambiental de la cuenca hidrográfica del río Ambi - Ecuador*. https://issuu.com/utnuniversidad/docs/libro_salud_ambiental_digital
- Arias-Muñoz, P., Díaz-Chapúes, D., Cabrera-García, S., & Jácome-Aguirre, G. (2023). Índice de Escasez Hídrica en la cuenca del río Ambi - Ecuador. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 01–39. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-16-1-2>
- Arias-Muñoz, P., Saz, M. A., & Escolano, S. (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. <https://doi.org/10.14198/ingeo.22390>
- Arroyo Luisa, & Jaramillo Jenifer. (2018). "VALIDACIÓN DE LOS MODELOS RUSLE, WEQ Y CLAVOS DE EROSIÓN EN.
- Bailon, J. (2022). *Análisis de las prácticas de conservación de suelos para la evaluación de la erosión hídrica en la subcuenca Presa Jalpan*.
- Bascuñán, S. (2010). *Relación entre la erosión producida por un flujo superficial en suelos finos y algunas propiedades de estos* [Universidad de Chile]. https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103881/cf-bascunan_sc.pdf?sequence=3

- Blanco Chávez, M. E. (2019). Erosión hídrica en la microcuenca del cauce 31 de diciembre, Nicaragua. *Nexo Revista Científica*, 32(02).
<https://doi.org/10.5377/nexo.v32i02.9261>
- Bozzano, H., Carut, C., Barbetti, C., Cirio, G., & Arrivillaga, N. (2008). *Usos del suelo y lugares: Criterios teórico-metodológicos. Aplicación a un caso en Guatemala*. 17.
- Burbano, J. (2018). *Minería ilegal en Guainía: un daño irreversible al Río Orinoco*.
<http://www.wwf.org.co/?262537/Las->
- Carrera, D., Guevara, P., Tamayo, L., & Guallichico, D. (2015). Análisis multivariado de las aguas de la Subcuenca del Río Ambi en época de estiaje y su relación con la calidad desde el punto de vista agrícola. *Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE*, 10(1), 123–129.
<https://doi.org/10.24133/CCTESPE.V10I1.36>
- Castro Mendoza, I. (2013). Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madín, México. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 34(2), 3–16.
- Chamorro, E. (2021). “ESTUDIO MULTITEMPORAL DE USO DEL SUELO Y COBERTURA VEGETAL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO AMBI, PROVINCIA IMBABURA, ECUADOR” [Universidad Técnica del Norte].
<https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10902/2/PG%20803%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC). (2023). *Comisión Ejecutora río Coca. Reporte diario de monitoreo*.
- Correa, S. W., Mello, C. R., Chou, S. C., Curi, N., & Norton, L. D. (2016). Soil erosion risk associated with climate change at Mantaro River basin, Peruvian Andes. *CATENA*, 147, 110–124.
<https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2016.07.003>
- Cortés Prieto, E., & Osorio, Á. A. (2019). Efectividad de cuatro prácticas agroecológicas de conservación de suelos, frente a procesos erosivos hídricos en Guasca – Cundinamarca. *Revista Lasallista de Investigación*.
<https://doi.org/10.22507/rli.v16n1a11>

- Cueva, N. (2021). *Efectos del cambio del uso del suelo en la erosión de la cuenca alta del río Mira para el período 1996-2017* [Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10837/2/03%20RNR%20373%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- De Noni, G., & Trujillo, G. (1986). *Degradación del suelo en el Ecuador: principales causas y algunas reflexiones sobre la conservación de este recurso*.
- De Santos Loureiro, N., & De Azevedo Coutinho, M. (2001). A new procedure to estimate the RUSLE EI30 index, based on monthly rainfall data and applied to the Algarve region, Portugal. *Journal of Hydrology*, 250(1–4), 12–18. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00387-0](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00387-0)
- Diodato, N. (2004). Estimating RUSLE's rainfall factor in the part of Italy with a Mediterranean rainfall regime. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8(1). <https://doi.org/10.5194/hess-8-103-2004>
- Dorronsoro, C. (2008). *Sistemas de evaluación de capacidades de uso categóricas. Clases agrológicas USDA. Soil Fertility Capability Classification (FCC)* [Gestión y conservación de suelos y aguas., Universidad de Granada]. <http://www.edafologia.net/evaluacion/tema2/agrologicas.htm>
- Ebrahimzadeh, S., Motagh, · Mahdi, Mahboub, V., Farshad, ·, & Harijani, M. (2018). An improved RUSLE/SDR model for the evaluation of soil erosion. *Environmental Earth Sciences*, 77, 454. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7635-8>
- Echavarría-Cháirez, F. G., Medina-García, G., Ruiz-Corral, J. A., Echavarría-Cháirez, F. G., Medina-García, G., & Ruiz-Corral, J. A. (2020). Efecto en la erosión hídrica del suelo en pastizales y otros tipos de vegetación por cambios en el patrón de lluvias por el calentamiento global en Zacatecas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11, 63–74. <https://doi.org/10.22319/RMCP.V11S2.4694>
- Edeso, J., Marauri, P., Merino, A., & Gónzales, J. (1997). *DETERMINACIÓN DE LA TASA DE EROSIÓN HÍDRICA EN FUNCIÓN DEL MANEJO FORESTAL: LA CUENCA DEL RÍO SANTA LUCÍA (GIPUZKOA)*. 67–104.

- El Jazouli, A., Barakat, A., Ghafiri, A., El Moutaki, S., Ettaqy, A., & Khellouk, R. (2017). Soil erosion modeled with USLE, GIS, and remote sensing: a case study of Ikkour watershed in Middle Atlas (Morocco). In *Geoscience Letters* (Vol. 4, Issue 1). <https://doi.org/10.1186/s40562-017-0091-6>
- Enrique, D., Mellado, G., Rogério De Mello, C., & Curi, N. (2021). *Environmental degradation risk by water erosion in a water producer Colombian Andes basin*. *Risco de degradação ambiental pela erosão hídrica em bacia hidrográfica produtora de água nos Andes Colombianos*. 45, 1891–1829. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202145010021>
- Espinosa, J. A. (2014). La erosión en Ecuador un problema sin resolver. *Siembra*, 1(1).
- FAO. (2015). *Nuevo libro de la FAO destaca la fragilidad de las montañas - Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/06/nuevo-libro-de-la-fao-destaca-la-fragilidad-de-las-montanas/>
- Fondo Mundial para la Naturaleza. (2019). *Retos para asegurar la provisión de agua*.
- Gaspari, F. J. (2007). Plan de ordenamiento territorial en cuencas serranas degradadas utilizando sistemas de informacion geográfica (SIG). In *Universidad Internacional de Andalucía*.
- Gaspari, F. J., Delgado, M. I., & Senisterra, G. E. (2009). Simulación espacio-temporal de la erosión hídrica superficial en una cuenca serrana bonaerense, Argentina. *Geofocus*, 9.
- Gobierno del Ecuador. (2021, December 11). *Gobierno Nacional coordina acciones frente a los efectos ocasionados por la erosión del río Coca en la vía Baeza-Lago Agrio*. <https://www.obraspublicas.gob.ec/gobierno-nacional-coordina-acciones-frente-a-los-efectos-ocasionados-por-la-erosion-del-rio-coca-en-la-via-baeza-lago-agrio/>
- Gómez, D. (2017). *Aplicación de la metodología FPEIR al diagnostico ambiental de los procesos de degradación de suelos por erosión en el departamento de Casanare*. Universidad Militar Nueva Granada.

- Gómez, L., Gallego, B., & Naranajo, L. (2017). *Atlas socioambiental de las Cuencas Transfronterizas Mira y Mataje Aportes para su Ordenamiento y Gestión Integral Colombia-Ecuador* (WWF).
- Haro, R., Espinosa, J., & Suango, V. (2024). Estimación de la erosión de la Sierra centro y norte del Ecuador, utilizando geoinformación. *Siembra*, 11(3). <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/article/view/5550/8170>
- Hernández, D. (2011). *Influencia de la pendiente y la precipitación en la erosión de taludes desprotegidos* [Universidad del Bio-Bio]. http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/2284/1/Hernandez_Herrera_Daniel_Alejandro.pdf
- Hudson, N. (1982). *Conservación del suelo* (Reverté). Reverté, S.A. https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=u137pQPxYGAC&oi=fnd&pg=PA1&dq=t%C3%A9cnicas+de+conservaci%C3%B3n+del+suelo&ots=qe1SKa-8Xk&sig=EyIXa_roc7-yozfhZqcR2hsoBVk#v=onepage&q&f=false
- Huerta, P., & Figueroa, O. (2014). EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO MOCHE WATER EROSION IN THE HIGH BASIN OF THE MOCHE RIVER. *Ecología Aplicada*, 13(1), 2014.
- IDEAM, & U.D.C.A. (2015). Estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia. In *Gestión y Ambiente*.
- INAMHI. (2019). *Catálogo de Datos Abiertos*. <https://datosabiertos.gob.ec/dataset/?organization=instituto-nacional-de-meteorologia-e-hidrologia-inamhi>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2022). *Información Agroambiental y Tecnificación Agropecuaria*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/informacion-agroambiental/>
- Jaya-Santillán, J. (2023). Altos niveles de erosión hídrica en una microcuenca tropical calculado mediante el modelo USLE. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 15(1). <https://doi.org/10.29166/revfig.v15i1.4269>
- Koirala, P., Thakuri, S., Joshi, S., & Chauhan, R. (2019). *Estimation of Soil Erosion in Nepal Using a RUSLE Modeling and Geospatial Tool*. <https://doi.org/10.3390/geosciences9040147>

- Maetens, W., Vanmaercke, M., Poesen, J., Jankauskas, B., Jankauskiene, G., & Ionita, I. (2012). Effects of land use on annual runoff and soil loss in Europe and the Mediterranean. *Http://Dx.Doi.Org/10.1177/0309133312451303*, 36(5), 599–653. <https://doi.org/10.1177/0309133312451303>
- Manoj, K. J., Das, D., Jain, M. K., Das, D., & Jain, M. (2010). Estimation of Sediment Yield and Areas of Soil Erosion and Deposition for Watershed Prioritization using GIS and Remote Sensing. *Water Resour Manage*, 24, 2091–2112. <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9540-0>
- Meléndez de la Cruz, J. F. (2019). La identificación de las cabeceras de cuencas hidrográficas: métodos y aplicaciones. *Investigaciones Sociales*, 22(40). <https://doi.org/10.15381/is.v22i40.15890>
- Meneses, M. (2022). *Evaluación de los Factores que Controlan la Erosión Regresiva en el río Coca*. Escuela Politécnica Nacional.
- Molinet, V. (2006). *Recuperación del Delta del Ebro I. Recuperación de la configuración del Delta del Ebro*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3322>
- Morante Vargas, S., & Gonzales Carrasco, D. (2019). *Elaboración de Mapas de Erosión en la Cuenca del Río Perené* [Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <https://doi.org/10.19083/tesis/625315>
- Morgan, R. (2005). *SOIL EROSION AND CONSERVATION*. https://svgaos.nl/wp-content/uploads/2017/02/Morgan_2005_Soil_Erosion_and_Conservation.pdf
- Moriasi N, Gitau M, & Daggupati P. (2015). *HYDROLOGIC AND WATER QUALITY MODELS: PERFORMANCE MEASURES AND EVALUATION CRITERIA*. <https://web.ics.purdue.edu/~mgitau/pdf/Moriasi%20et%20al%202015.pdf>
- Nacimba Fátima. (2022). *Evaluación de la influencia del cambio de uso del suelo sobre la disponibilidad de agua en la cuenca alta del río Guayllabamba, mediante la modelación hidrológica como herramienta de análisis*. Escuela Politécnica Nacional.
- Narváez Daysi. (2010). *Conflictos Internacionales generados en torno al uso del agua compartida, distinto al de la navegación, en África del Norte*. Escuela de Estudios Internacionales.

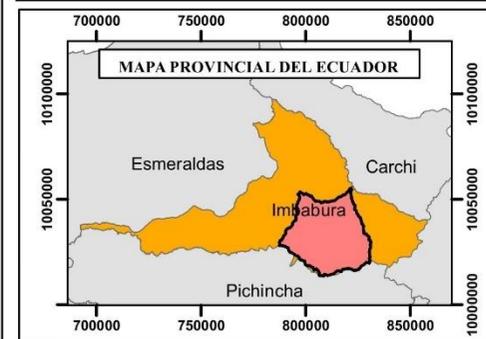
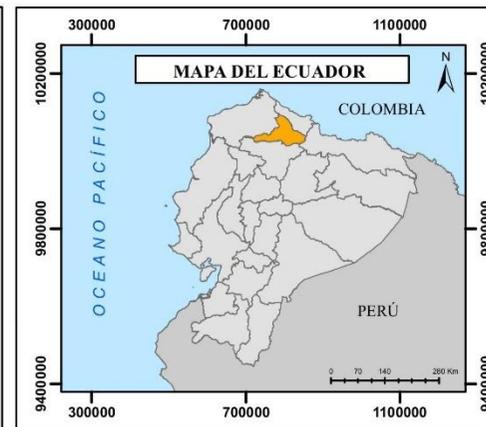
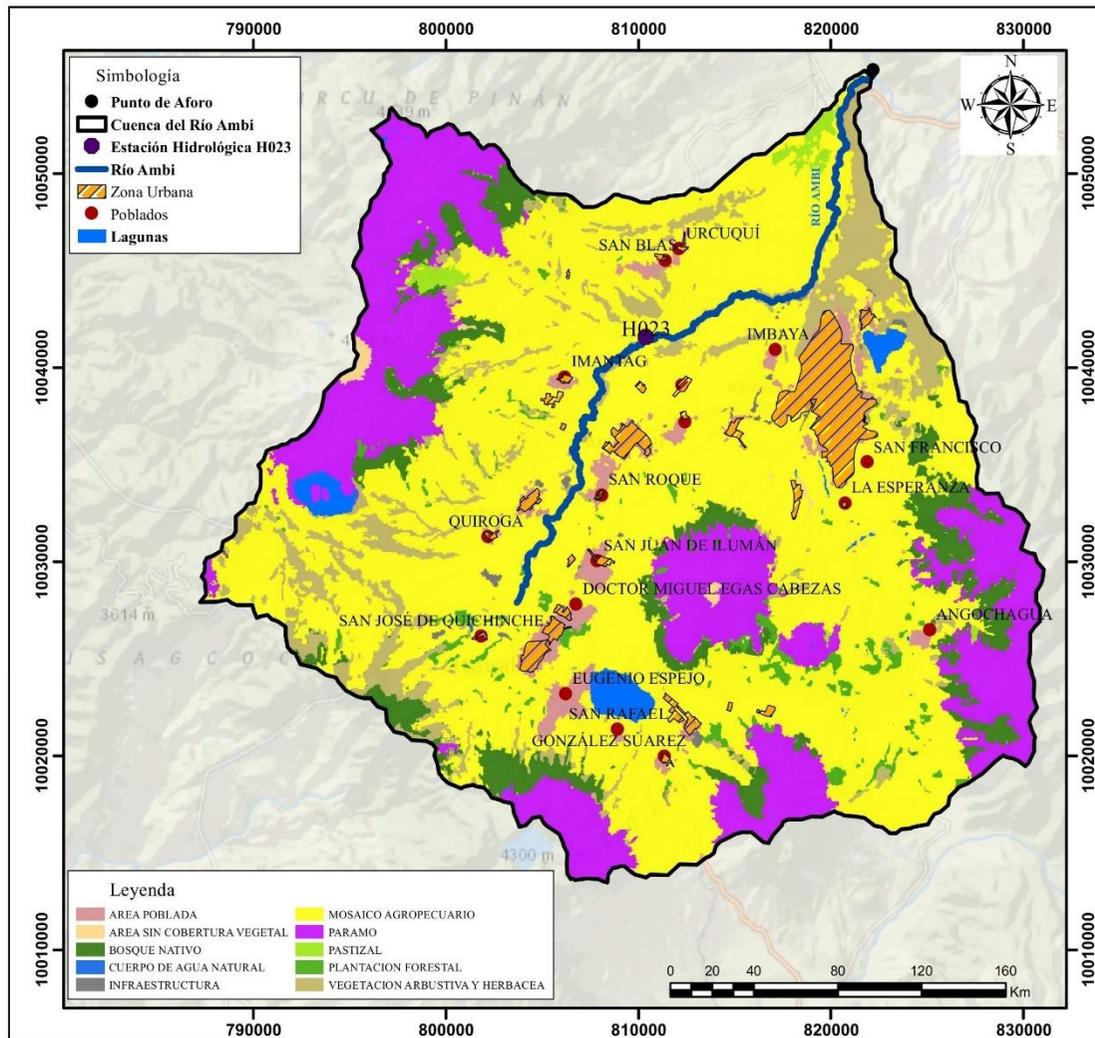
- OCDE. (1998). *TOWARDS SUSTAINABLE DEVELOPMENT: ENVIRONMENTAL INDICATORS*. <http://www.copyright.com/>.
- Onelia, D. C., Andrade, B., & Rodríguez, O. S. (2002). EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE BARRERAS VIVAS COMO SISTEMAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS EN LADERA. *Bioagro*, 14(3), 123–133.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2023). *Simposio Mundial sobre la Erosión del Suelo*. <https://www.fao.org/about/meetings/soil-erosion-symposium/key-messages/es/>
- Organización de los Estados Americanos [OEA]. (1974). *Cuenca del Río de la Plata- Estudio para su Planificación y Desarrollo- República Argentina- República de Bolivia- Cuenca de Río Bermejo I- Alta Cuenca*.
- Pennock Dan, McKenzie Neil, & Montanarella Luca. (2016). *Estado Mundial del Recurso Suelo. Resumen Técnico*. 10–17. www.fao.org/publications
- Pineda, M. (2019). *Efectos del cambio de uso del suelo y su proyección futura en la erosión hídrica en Ecuador Continental* [UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22000/1/Mariuxi%20Elizabeth%20Pineda%20Jim%C3%A9nez.pdf>
- Quiñonez, P. (2022). *Evaluación de riesgos por erosión hídrica en el suelo de la microcuenca de la quebrada Quitumbe, provincia de Imbabura* [Universidad Técnica del Norte, Instituto de Posgrado]. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/12305/2/PG%201101%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- Ramírez, F., Hincapié, G., & Sadeghian, K. (2009). *ERODABILIDAD DE LOS SUELOS DE LA ZONA CENTRAL CAFETERA DEL DEPARTAMENTO DE CALDAS I*. 60(1), 58–71.
- Ramos Alexis. (2016). *Determinación de zonas susceptibles a erosión hídrica en los cantones de Macará y Celica de la provincia de Loja, utilizando sistemas de información geográfica y teledetección*”. Universidad Nacional de Loja.
- Renard, K., Foster, G., Weesies, G., McCool, D., & Yoder, D. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised

- Universal Soil Loss Equation (RUSLE). In *Agricultural Handbook No. 703* (p. 404).
http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/64080530/RUSLE/AH_703.pdf
- Rivera, R. (2018). *Filosofía de la ciencia y sustentabilidad*.
- Rosales, O. (2020). *Aplicación del modelo Rusle para estimar pérdidas de suelo por erosión hídrica* [Caso de estudio de la cuenca del río Chota, Ecuador. UNIGIS, University of Salzburg].
https://issuu.com/unigis_latina/docs/tesis_rosales2
- Saha, S. K. (2003). *WATER AND WIND INDUCED SOIL EROSION ASSESSMENT AND MONITORING USING REMOTE SENSING AND GIS*.
- Santos, N. (2019). *El impacto del cambio climático en el régimen hídrico de la cuenca del Nilo Azul y su efecto en la geopolítica de la región. Estudio de caso* [Universidad Pontificia Comillas].
https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/28285/TFG-SANTOS%20ALFAGEME%2C%20NATALIA_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- SIGTIERRAS. (2023). *Ministerio de agricultura y ganadería*.
<Http://Geoportal.Agricultura.Gob.Ec/>.
- Solís Luz, & López Jerónimo. (2003). *Principios básicos de contaminación ambiental* (Gómez Laura, Ayala Lucina, González Victoria, Pérez Leticia, & García Juan Manuel, Eds.).
- Somayeh Ebrahimzadeh, Mahdi Motagh, Vahid Mahboub, & Farshad Mirdar Harijani. (2018). *An improved RUSLE/SDR model for the evaluation of soil erosion*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-018-7635-8>
- Suhail Ahmad, W., Jamal, S., Taqi, M., Abd El-Hamid, H. T., & Norboo, J. (2024). Estimation of soil erosion and sediment yield concentrations in Dudhganga watershed of Kashmir Valley using RUSLE & SDR model. *Environment, Development and Sustainability*, 26, 215–238.
<https://doi.org/10.1007/s10668-022-02705-9>
- Talaverano, N. S. Z., Escriba, B. P. G., León, R. G., Lora, J. W. G., Ramos, V. H. G., Zorogastúa, K. del C. C., & Arboleda, Y. Y. N. (2023). Erosión hídrica bajo escenarios de cambio climático en la subcuenca Indoche – Río Mayo.

- Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 6(3).
<https://doi.org/10.34188/bjaerv6n3-051>
- Tsegaye, L., & Bharti, R. (123 C.E.). Soil erosion and sediment yield assessment using RUSLE and GIS-based approach in Anjeb watershed, Northwest Ethiopia. *SN Applied Sciences*, 3. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04564-x>
- Tsegaye, L., & Bharti, R. (2021). Soil erosion and sediment yield assessment using RUSLE and GIS-based approach in Anjeb watershed, Northwest Ethiopia. *SN Applied Sciences*, 3. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04564-x>
- USDA. (1999). *Soil Taxonomy*. <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-06/Soil%20Taxonomy.pdf>
- Vázquez-Valencia, R. A., García-Almada, R. M., Vázquez-Valencia, R. A., & García-Almada, R. M. (2018). Indicadores PER y FPEIR para el análisis de la sustentabilidad en el municipio de Cihuatlán, Jalisco, México. *Nóesis. Revista de Ciencias Sociales*, 27(53–1), 1–26. <https://doi.org/10.20983/NOESIS.2018.3.1>
- Vijith, H., Hurmain, A., & Dodge-Wan, D. (2018). Impacts of land use changes and land cover alteration on soil erosion rates and vulnerability of tropical mountain ranges in Borneo. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 12, 57–69. <https://doi.org/10.1016/J.RSASE.2018.09.003>
- Walling D, & Fang D. (2003). Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers. *ELSEVIER*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921818103000201>
- Wenng Hannah, Barneveld Robert, Bechmann Marianne, Marttila Hannu, & Krogstad Tore. (2021). Sediment transport dynamics in small agricultural catchments in a cold climate: A case study from Norway. *ELSEVIER*. <https://pdf.sciencedirectassets.com>
- Wilkinson, M. T., & Humphreys, G. S. (2006). Slope aspect, slope length and slope inclination controls of shallow soils vegetated by sclerophyllous heath—links to long-term landscape evolution. *Geomorphology*, 76(3–4), 347–362. <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2005.11.011>

- Williams, J. R., & Berndt, H. D. (1977). SEDIMENT YIELD PREDICTION BASED ON WATERSHED HYDROLOGY. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 20(6), 1100–1104. <https://doi.org/10.13031/2013.35710>
- Wilson, J. P. (1992). *Length-slope factors for the revised universal soil loss equation: simplified method of estimation*. <https://www.researchgate.net/publication/279600630>
- Wischmeier. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning (No. 537). Department of Agriculture, Science and Education Administration, Washington, DC, USA. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(12), 7034–7044.
- World Wildlife Fund (WWF). (2016). *Cuenca del Río Orinoco*. <https://ecoreportcard.org/site/assets/files/1701/cuenca-del-rio-orinoco-reporte-de-salud-2016.pdf>
- Zanchin, M., de Moura, M. M., Nunes, M. C. M., Beskow, S., Miguel, P., de Lima, C. L. R., & Bressiani, D. de A. (2021). Soil loss estimated by means of the RUSLE model in a subtropical climate watershed. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, 45. <https://doi.org/10.36783/18069657RBCS20210050>

Uso y cobertura de suelo de la cuenca del río Ambi

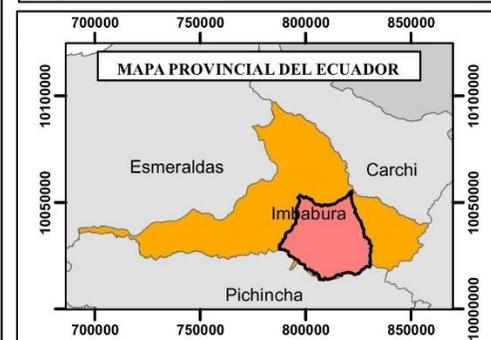
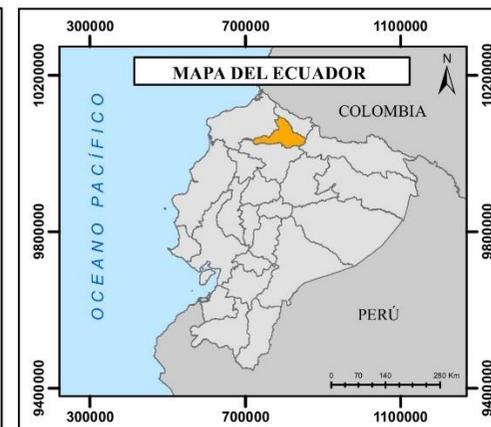
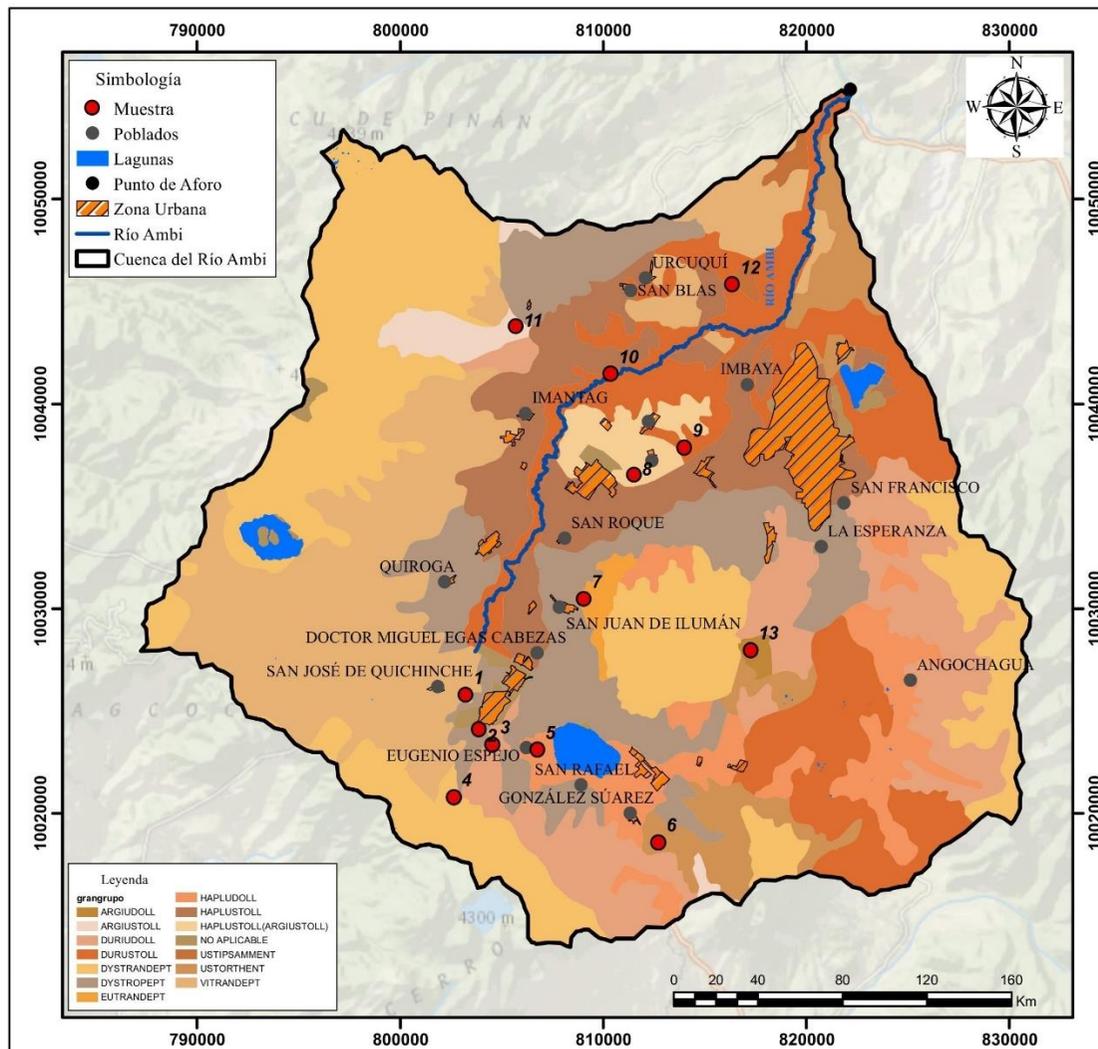


UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
 INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

Modelamiento de la erosión hídrica de la Cuenca hidrográfica del río Ambi.

Elaborado por: Carvajal Milagros Rodríguez Ambar	Fuente: SNI, 2017
Escala: 1:300,000	Mapa: 02
Fecha: 12/03/2024	

Grandes grupos de suelo de la cuenca del río Ambi



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

Modelamiento de la erosión hídrica de la Cuenca hidrográfica del río Ambi.

Elaborado por: Carvajal Milagros Rodríguez Ambar	Fuente: SNI, 2017
Escala: 1:300,000	Mapa: 04
Fecha: 12/03/2024	

Anexo 2. Resultados de los análisis de laboratorio de muestras de suelo

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

REPORTE ANÁLISIS DE SUELO

RESULTADOS ANÁLISIS %MO Y TEXTURA

NOMBRE: AMBAR RODRÍGUEZ
MUESTRA: SUELOS
ANÁLISIS: %MO Y TEXTURA
SITIO - LOTE: IMBABURA- URCUQUÍ -EL PUENTE
FECHA INGRESO: 2024 05 20
FECHA REPORTE: 2024 05 23

RESULTADOS

MUESTRA	MO(%)	INTERPRETACIÓN MO	ARENA (%)	LIMO(%)	ARCILLA(%)	CLASE TEXTURAL
M#1	1,32	Bajo	51,60	35,20	13,20	Franco
M#2	1,33	Bajo	65,60	24,00	10,40	Franco arenoso
M#3	1,11	Bajo	64,40	26,00	9,60	Franco arenoso
M#4	0,40	Bajo	62,40	28,00	9,60	Franco arenoso
M#5	0,49	Bajo	60,40	34,00	5,60	Franco arenoso
M#6	2,53	Bajo	50,40	36,00	13,60	Franco
M#7	1,14	Bajo	52,40	38,00	9,60	Franco arenoso
M#8	1,60	Bajo	59,20	31,20	9,60	Franco arenoso
M#9	1,25	Bajo	62,40	32,00	5,60	Franco arenoso
M#10	10,30	Alto	71,60	22,00	6,40	Franco arenoso
M#11	2,81	Bajo	57,60	32,00	10,40	Franco arenoso
M#12	1,09	Bajo	67,60	25,00	7,40	Franco arenoso
M#13	8,84	Alto	55,60	38,00	6,40	Franco arenoso

Métodos:

MO= Materia Orgánica (Método Walkley y Black)

Textura: análisis granulométrico con hidrómetro de Bouyoucos



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



Anexo 3. Resultados de los análisis de laboratorio de muestras de agua



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL SAE CON
ACREDITACIÓN
N° SAE LEN 22-008

INFORME DE RESULTADOS

FIT-INFORMES-REQ7.8_B
Versión 07

Informe de Resultados Nro: IRNE23-515

Pág. 1 de 2

DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE:

Cliente: MILAGROS CARVAJAL

Dirección: CAYAMBE

Correo electrónico: shelgros23@gmail.com

Teléfono: 0967319922

Tipo de Muestra: Agua Natural

Identificación muestra cliente: RIO CHORLAVI

Fecha de recepción laboratorio: 28/11/2023

Autorización orden de trabajo N°: OTELABEMAPAI2023-103

Toma de muestra realizada por: El cliente

Código de Laboratorio: MEN23-032

Fecha de realización de ensayos: 29/11/2023

Lugar de análisis: Laboratorio EMAPA-I

Fecha de emisión informe: 4/12/2023

RESULTADOS PARÁMETROS FÍSICOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDADES	ITEM DE ENSAYO	⁽¹⁾ CRITERIO DE CALIDAD
			MEN23-032	
Turbiedad	PEE-EMAPAI-03 (SM 2130 B)	NTU	26	100
Sólidos disueltos totales (*)	Standard Methods 2510B	mg/l	471	N/A
Sólidos Totales (*)	Standard Methods 2540B	mg/L	42	N/A

INCERTIDUMBRE DE LOS RESULTADOS: La incertidumbre expandida de los resultados se ha estimado con un factor de cobertura K=2, que corresponde a un nivel de confianza de aproximadamente 95%

PARÁMETRO	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDADES	Incertidumbre expandida con K=2
Turbiedad	PEE-EMAPAI-03 SM 2130 B	%	± 9,3

Condiciones Ambientales de Análisis:		
Área	Temperatura (C°)	Humedad Relativa (%)
Potables/Naturales	24	52
Residuales	-	-
Microbiología	-	-



ALCALDÍA
CIUDADANA

EMAPAO

Dir: Guayaquil #407 entre García Moreno y Juan Montalvo
Telf: (593) 06 2928 390 / 06 2928 005
Web: www.emapao.gob.ec
E-mail: info@emapao.gob.ec

LABORATORIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

Fecha de recolección de las muestras: 29 de abril de 2024
Solicitado por las Srtas. Milagros Carvajal y Ambar Rodriguez.
Tipo de agua: NATURAL recolectada en el río AMBI
Recolectado por las Srtas. Milagros Carvajal y Ámbar Rodriguez.
Coordenadas del sitio de muestreo: 812098,974 E
41640,101 N

Reporte: 032-2024 LABA-EMAPAO-EP

PARÁMETRO	UNIDADES	MUESTRA DEL RÍO AMBI 13:03	METODOLOGÍA DE REFERENCIA
ANÁLISIS FÍSICOS			
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	244,00	Standard Methods 2540 C
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	340,56	Standard Methods 2540 D
TURBIEDAD	NTU	161	Standard Methods 2130 B

OBSERVACIÓN

a) El presente reporte corresponde a los valores encontrados en la muestra recolectada.

ANALIZADO POR: Ing. Michael Bermúdez

REPORTADO POR:



VERONICA ALEXANDRA
VARGAS VITERI

Quím. Verónica Vargas
LABORATORIO DE AGUA POTABLE
Y ALCANTARILLADO



LABORATORIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

Fecha de recolección de la muestra: 28 de mayo de 2024
Solicitado por las Srtas. Milagros Carvajal y Ambar Rodriguez.
Tipo de agua: NATURAL recolectada en el río AMBI
Recolectado por las Srtas. Milagros Carvajal y Ámbar Rodriguez.
Coordenadas del sitio de muestreo: 812098,974 E
41640,101 N

Reporte: 045-2024 LABA-EMAPAO-EP

PARÁMETRO	UNIDADES	MUESTRA DEL RÍO AMBI 12:50	METODOLOGÍA DE REFERENCIA
ANÁLISIS FÍSICOS			
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	492,00	Standard Methods 2540 C
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	39,20	Standard Methods 2540 D
TURBIEDAD	NTU	29,3	Standard Methods 2130 B

OBSERVACIÓN

a) El presente reporte corresponde a los valores encontrados en la muestra recolectada.

ANALIZADO POR: Ing. Michael Bermúdez

REPORTADO POR:



VERONICA ALEXANDRA
VARGAS VITERI

Quím. Verónica Vargas
**LABORATORIO DE AGUA POTABLE
Y ALCANTARILLADO**



LABORATORIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

Fecha de recolección de la muestra: 25 de junio de 2024
 Solicitado por las Srtas. Milagros Carvajal y Ambar Rodriguez.
 Tipo de agua: NATURAL recolectada en el río AMBI
 Recolectado por las Srtas. Milagros Carvajal y Ámbar Rodriguez.
 Coordenadas del sitio de muestreo: 812098,974 E
 41640,101 N

Reporte: 048-2024 LABA-EMAPAO-EP

PARÁMETRO	UNIDADES	MUESTRA DEL RÍO AMBI 12:50	METODOLOGÍA DE REFERENCIA
ANÁLISIS FÍSICOS			
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	488,00	Standard Methods 2540 C
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	73,20	Standard Methods 2540 D
TURBIEDAD	NTU	31,7	Standard Methods 2130 B

OBSERVACIÓN

a) El presente reporte corresponde a los valores encontrados en la muestra recolectada.

ANALIZADO POR: Ing. Michael Bermúdez

REPORTADO POR:



VERÓNICA ALEXANDRA
 VARGAS VITERI

Quím. Verónica Vargas
**LABORATORIO DE AGUA POTABLE
 Y ALCANTARILLADO**



LABORATORIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

Fecha de recolección de la muestra: 30 de agosto de 2024

Solicitado por las Srtas. Milagros Carvajal y Ambar Rodriguez.

Tipo de agua: NATURAL recolectada en el río AMBI

Recolectado por las Srtas. Milagros Carvajal y Ámbar Rodriguez.

**Coordenadas del sitio de muestreo: 812098,974 E
41640,101 N**

Reporte: 072-2024 LABA-EMAPAO-EP

PARÁMETRO	UNIDADES	MUESTRA DEL RÍO AMBI 12:00	METODOLOGÍA DE REFERENCIA
ANÁLISIS FÍSICOS			
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	656	Standard Methods 2540 C
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	31,20	Standard Methods 2540 D
TURBIEDAD	NTU	25,3	Standard Methods 2130 B

OBSERVACIÓN

a) El presente reporte corresponde a los valores encontrados en la muestra recolectada.

ANALIZADO POR: Ing. Michael Bermúdez

REPORTADO POR:



VERÓNICA ALEXANDRA
VARGAS VITERI

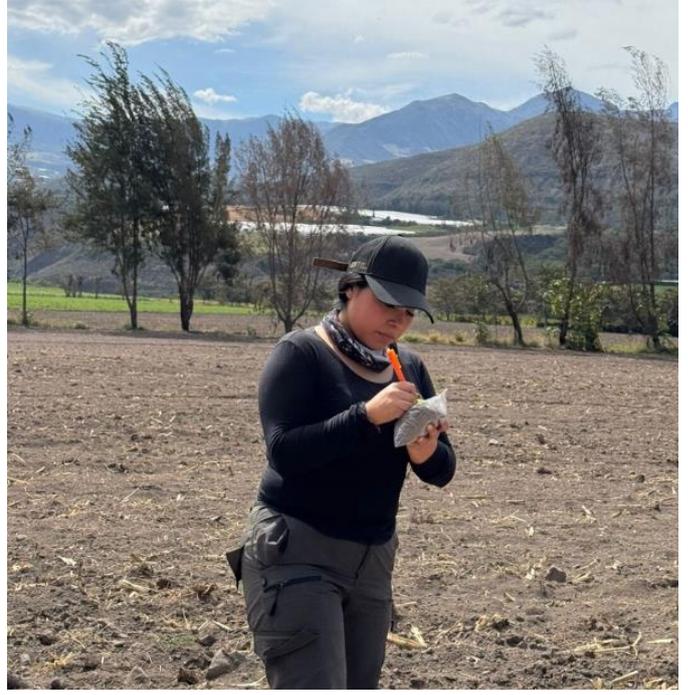
Quím. Verónica Vargas
**LABORATORIO DE AGUA POTABLE
Y ALCANTARILLADO**



Anexo 4. Fotografías de salidas de campo



Descripción. Colecta de las muestras de agua durante el estudio.



Descripción. Recorrido y toma de muestras de suelo de la cuenca del río Ambi.



Descripción. Salida de campo con los docentes encargados del proyecto y tesis para la indicación de los puntos de suelo



Descripción. Medición del caudal del río Ambi



Descripción. Río Ambi, sitio de muestro de agua