UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

"EVALUACIÓN DEL RIESGO DE EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SAN JERÓNIMO, IBARRA-ECUADOR"

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

Línea de Investigación: Biotecnología, energía y recursos naturales renovables

AUTOR:

Fabricio David Guevara Páez

DIRECTOR:

Ing. Oscar Armando Rosales Enríquez, MSc.

Ibarra – Ecuador, 2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, 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	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Guevara Páez Fabricio David

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	EVALUACIÓN DEL RIESGO DE EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SAN JERÓNIMO IBARRA-ECUADOR
AUTOR:	Guevara Páez Fabricio David
FECHA:	31/08/2026
PROGRAMA:	[X] **PREGRADO** [ ] **POSGRADO**
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	MSc. Oscar Armando Rosales Enríquez
ASESOR:	PhD. Dario Paúl Arias Muñoz

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 31 días del mes de agosto de 2026.

EL AUTOR:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
FABRICIO DAVID
GUEVARA PAEZ

1003817440

Guevara Páez Fabricio David

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. Guevara Páez Fabricio David, con cédula 100381744-0, bajo mi supervisión en calidad de director.

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
OSCAR ARMANDO
ROSALES ENRIQUEZ

MSc. Oscar Armando Rosales Enríquez
DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la vida, salud y constancia para cumplir este objetivo. A la Universidad Técnica del Norte por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente, por ser mi segundo hogar pues en sus instalaciones no solo aprendí la parte académica, sino que fue más allá sentí el verdadero valor de la amistad, la perseverancia, encontrarle el sentido a la frase "nunca decir de esta agua no he de beber" pues ingresé únicamente a estudiar sin embargo en el camino formé más que compañeros amigos con los que pasamos momentos inolvidables. Agradezco a todos los docentes que me compartieron su conocimiento durante todo el transcurso de mi formación.

Por otra parte, agradezco a mi director Oscar Rosales y asesor Paúl Arias no solo por ser las personas que me guiaron durante el desarrollo del estudio sino por ser unas excelentes personas y profesionales, por haberme tenido paciencia darme lecciones de vida y consejos que los llevaré presentes durante el transcurso de mi vida. Agradezco a la Ingeniera Tatiana Delgado docente técnico del Laboratorio de Química por ayudarme en la fase de análisis de las muestras y sobre todo por ser una buena persona que me enseñó valores como la puntualidad, ser ordenado y aprender a reconocer los errores.

Agradezco a mis amigas Lizeth y Margarita en ellas supe valorar la amistad, el esfuerzo y sacrificio, les agradezco por haber hecho que mi paso por la Universidad sea más que estudio por haber pasado momentos de risas, enojos y paseos inolvidables. Agradezco a una amiga que también supo estar presente en los mejores momentos habidos y por haber (Playa) gracias Pachita, les doy gracias por estar junto a mí en la fase de campo. Para finalizar doy las gracias a mis amigos por haberme dado su apoyo y amistad y por formar parte de mi vida juntos forman parte de los mejores momentos que tuve en la Universidad.

Fabricio David Guevara Páez

DEDICATORIA

"Un fracaso no siempre es un error… El verdadero error es dejar de intentarlo" B. F. Skinner.

Dedico este trabajo a mis padres Marco Guevara y Yolanda Páez, juntos representan el pilar fundamental de mi vida, les doy gracias por haberme enseñado a superarme y seguir adelante este logro no sería realidad sin su ayuda. Mirar su sacrificio, verlos salir adelante por su propia cuenta conseguir lo que tienen con el sudor de su frente soportar muchas veces dolores y aun así levantarse cada mañana a trabajar me deja mirar el amor infinito que tienen por sus hijos llegando a sacrificar muchas cosas que debieron haber tenido solo por vernos felices. Mamá y papá no me alcanzará la vida para darles gracias por todo lo que me han dado y sobre todo lo que me han enseñado ustedes son y serán las personas más importantes para mí.

Dedico este logro a mis abuelitos Carmen Fonte y Fabian Páez el apoyo que me han dado fue de gran ayuda pues lo poco que tenían supieron compartirlo conmigo gracias a ustedes he llegado cumplir muchas metas. Por otra parte, dedico a dos personas que ya no se encuentran a mi lado, pero sé que se sentirían orgullosos de mi pues parte de ese orgullo lo veo reflejado en mi padre este logro es para ustedes Eustorgio Guevara (+) y Julia Galeano (+).

Fabricio David Guevara Páez

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido **Páginas**

CAPÍTULO I 1

1. INTRODUCCIÓN 1

1.1. Antecedentes del Estudio 1

1.2. Problema de Investigación y Justificación 2

1.3. Objetivos 4

1.3.1. Objetivo General 4

1.3.2. Objetivos Específicos 4

1.4. Preguntas Directrices de la Investigación 4

CAPÍTULO II 5

2. REVISIÓN DE LITERATURA 5

2.1 Evaluación de los Riesgos de la Erosión Hídrica 5

2.1.1 Erosión hídrica del suelo 5

2.1.2 Zonificación de cuencas hidrográficas 7

2.1.3 Modelos de erosión hídrica 7

2.1.4 Tipos de erosión 8

2.1.5 Factores RUSLE 9

2.1.6 Erosión en cuencas hidrográficas 10

2.1.7 SIG en modelos de erosión 11

2.1.8 Estrategias para mitigar la erosión del suelo 13

2.2 Marco Legal 14

2.2.1 Constitución de la República del Ecuador 14

2.2.2 Convenios Internacionales 15

2.2.3 Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) 15

2.2.4 Código Orgánico del Ambiente (COA) 16

CAPÍTULO III 17

3. METODOLOGÍA 17

3.1 Descripción del Área de Estudio 17

3.2 Morfometría de la Cuenca del Río San Jerónimo 18

3.2.1 Textura de suelo 19

3.3 Métodos 20

3.3.1 Determinación de la pérdida del suelo con la ecuación de RUSLE 20

3.3.2 Determinación del factor R 22

3.3.3 Determinación del factor K 23

3.3.4 Determinación del factor LS 24

3.3.5 Determinación del factor C 26

3.3.6 Evaluación del riesgo de erosión 27

3.4 Calibración del Modelo RUSLE 28

3.4.1 Muestreo de agua y análisis en laboratorio 29

3.5 Pérdida del Suelo (cm) 31

3.6 Estrategias de Manejo de Conservación 33

3.6.1 Indicador de presión 33

3.6.2 Indicador de estado 34

3.6.3 Indicador de respuesta 35

3.7 Materiales y Equipos 35

CAPÍTULO IV 36

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 36

4.1 Determinación de la Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica 36

4.1.1 Estimación de la pérdida de suelo en la cuenca del río San Jerónimo 39

4.1.2 Calibración del modelo RUSLE 39

4.2 Zonificación del Riesgo por Erosión Hídrica 41

4.3 Discusión 42

4.4 Prácticas de Conservación del Suelo para Mitigar Áreas Vulnerables a la Erosión Hídrica 43

4.4.1 Análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas 46

4.4.2 Diseño de estrategias 48

4.4.2.1 Estrategia 1: Conservación y restauración de áreas de protección 50

4.4.2.2 Estrategia 2: Producción sostenible en tierras con aptitud agrícola 52

4.4.2.3 Estrategia 3: Reconversión de áreas con conflicto de sobreuso 54

4.4.2.4 Estrategia 4: Conservación de suelos en áreas con susceptibilidad erosiva 56

CAPÍTULO V 59

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 59

5.1 Conclusiones 59

5.2 Recomendaciones 61

Referencias 62

ANEXOS 69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de erosión 8
Tabla 2. Categorías de modelos de erosión 10
Tabla 3. Modelos de erosión 12
Tabla 4. Características físicas de la cuenca del río San Jerónimo 18
Tabla 5. Factores de la ecuación RUSLE 21
Tabla 6. Valores del factor C 26
Tabla 7. Categorías de erosión 27
Tabla 8. Materiales, equipos e insumos de la investigación 35
Tabla 9. Sedimentos en suspensión (ton/ha/año) y RMSE 40
Tabla 10. Matriz FODA de la cuenca del río San Jerónimo 47
Tabla 11. Matriz de estrategias FA, FO, DO, DA derivadas del análisis FODA de la cuenca del río San Jerónimo 48
Tabla 12. Matriz operativa estrategia 1 51
Tabla 13. Matriz operativa estrategia 2 53
Tabla 14. Matriz operativa estrategia 3 55
Tabla 15. Matriz operativa estrategia 4 57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la cuenca del río San Jerónimo 17
Figura 2. Textura del suelo de la cuenca del río San Jerónimo 20
Figura 3. Factores del modelo RUSLE 22
Figura 4. Punto de muestreo de agua 30
Figura 5. Conversión del RUSLE ton/ha a g/cm^2 32
Figura 6. Esquema del método Presión - Estado - Respuesta 33
Figura 7. Factores del modelo RUSLE 36
Figura 8. Erosión hídrica de la cuenca del río San Jerónimo 38
Figura 9. Pérdida de suelo de la cuenca del río San Jerónimo 39
Figura 10. Riesgo de erosión hídrica en la cuenca del río San Jerónimo 41
Figura 11. Uso potencial del suelo de la cuenca del río San Jerónimo 44
Figura 12. Clases agrológicas de la cuenca del río San Jerónimo 45
Figura 13. Conflictos de uso de suelo de la cuenca del río San Jerónimo 46
Figura 14. Ubicación de la estrategia 1 51
Figura 15. Ubicación de la estrategia 2 54
Figura 16. Ubicación de la estrategia 3 56
Figura 17. Ubicación de la estrategia 4 58

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EVALUACIÓN DEL RIESGO DE EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SAN JERÓNIMO

Trabajo de Titulación

Guevara Páez Fabricio David

RESUMEN

La erosión hídrica forma parte de un proceso natural que causa la pérdida de la capa superficial del suelo, el aumento de las actividades humanas y la falta de control en los procesos de producción han hecho que este fenómeno se acelere causando desbalances entre la interacción del ecosistema y los factores bióticos de esta manera provocan que el suelo pierda su capacidad orgánica y mineral llegando en casos extremos a la desertificación. El presente estudio se basó en la pérdida de suelo en la cuenca del río San Jerónimo, ubicada en la provincia de Imbabura, mediante el uso del modelo RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) asociado a los Sistemas de Información Geográfica (SIG). La pérdida potencial del suelo se calculó considerando los factores de erosividad de la lluvia (R), erodabilidad del suelo (K), longitud e inclinación de la pendiente (LS) y cobertura y manejo de suelos. Las prácticas de conservación se establecieron mediante el esquema o modelo Presión – Estado – Respuesta (PER), como objetivo se analizaron las actividades que generan presión en la cuenca (uso potencial del suelo, clases agroecológicas y conflicto de uso de suelos), estado (pérdida del suelo por erosión hídrica) y respuesta (modelo FODA). Para el cálculo de la erosión del suelo se obtuvo un valor simulado de 83,75 ton/ha/año y 0,75 cm de pérdida en lámina de suelo. Por otra parte, el valor observado se realizó mediante análisis de laboratorio donde se determinó las propiedades físicas del suelo como textura y densidad aparente añadiendo el resultado de sedimentos obtenidos mediante muestras de agua tomadas en campo. Los datos obtenidos se calibraron mediante el valor estadístico PBIAS el cual demostró un porcentaje sesgo de -6,69 que demuestra un ajuste adecuado para el modelo. Con base en la zonificación del riesgo de erosión y el análisis de capacidad de uso de suelo se proponen estrategias de conservación orientadas a la restauración de áreas protegidas, producción sostenible y reconversión de áreas.

Palabras clave: erosión hídrica, cuenca, calibración, RUSLE, PER, SIG, sedimentos

ABSTRACT

Water erosion is part of a natural process that causes the loss of the soil's surface layer. However, the increase in human activities and the lack of control over production processes have accelerated this phenomenon, causing imbalances in the interaction between the ecosystem and biotic factors. Consequently, the soil loses its organic and mineral capacity, potentially leading, in extreme cases, to desertification. The present study focused on soil loss in the San Jerónimo River watershed, located in the province of Imbabura, through the use of the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) model combined with Geographic Information Systems (GIS). Potential soil loss was calculated by considering rainfall erosivity (R), soil erodibility (K), slope length and steepness (LS), and soil cover and management factors. Conservation practices were established using the Pressure–State–Response (PSR) framework. The study analyzed the activities that exert pressure on the watershed, including potential land use, agroecological classes, and land-use conflicts; the state, represented by soil loss due to water erosion; and the response, through a SWOT analysis. The simulated soil erosion value was 83.75 t/ha/year, corresponding to a soil loss of 0.75 cm in depth. On the other hand, the observed value was obtained through laboratory analysis, in which the physical properties of the soil, such as texture and bulk density, were determined, together with sediment measurements obtained from water samples collected in the field. The data were calibrated using the statistical PBIAS value, which showed a bias percentage of −6.69%, demonstrating an adequate fit of the model. Based on the erosion risk zoning and the analysis of land-use capability, conservation strategies focused on the restoration of protected areas, sustainable production, and the conversion of areas to more suitable land uses are proposed.

Keywords: water erosion, watershed, calibration, RUSLE, PSR, GIS, sediments.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes del Estudio

La erosión es un proceso natural que consiste en el desprendimiento y transporte de material particulado además de llevar a cabo procesos de fragmentación de la roca madre (Camargo et al., 2017). La erosión se compone de tres fases o procesos en donde la primera fase es el desprendimiento de partículas de la roca madre el cual se da por la acción de la gravedad, agua, viento o hielo, la segunda fase es el transporte de las partículas por el agua, viento o gravedad, estos pueden funcionar como agentes abrasivos por último la fase tres es la deposición de las partículas (García, 2004). La erosión en países como México representa un 65 % debido a la expansión de tierras agrícolas, en lo que respecta a topografía, el país presenta áreas con pendientes superiores al 10% lo que aumenta el riesgo de erosión en un 70 % (Moreno et al., 2003).

La erosión a lo largo del tiempo se ha visto acelerada debido a la acción antrópica debido a esto se han afectado cerca de 2000 millones de hectáreas de tierras en el mundo y se estima que en la actualidad se pierden 10 millones de hectáreas por año representando el 80 % del planeta (Serrano et al., 2016). La oxidación acelerada de la materia orgánica del suelo ha hecho que este se remueva in situ y derive en la acumulación de sedimentos durante su transporte y deposición llevando a que existan emisiones de CO_2 a la atmósfera en la mayor parte de los ríos (Hill et al., 2014). La erosión de los suelos se ve afectada por agentes antropogénicos tales como la deforestación, embalsamiento de ríos, urbanización y factores naturales como la precipitación, viento y la inclinación de la pendiente (Santillán, 2023).

En Colombia, el uso del suelo destinado para pastoreo, junto con la agricultura mecanizada y el empleo de agroquímicos favorecen el aumento de la erosión (Muños, et al, 2014). Casos de erosión en las partes altoandinas se da por lluvias intensas y sus suelos al encontrarse vulnerables por su baja cobertura vegetal debido al sobrepastoreo permite asociar el desgaste mediante la ecuación RUSLE la cual demuestra que las lluvias superiores a 1500 mm dan una pérdida anual de 973 ton/ha, esta cifra da a entender que la capacidad de recuperación en sistemas naturales es muy baja (Rengifo, et al, 2022).

En Ecuador, la cuenca media-alta del río Mira registra un nivel de erosión medio de 32 ton/ha/año con un máximo de 812 ton/ha/año, debido principalmente al reemplazo de la capa vegetal por zonas de cultivo (Arias, et al, 2023). Mediante el análisis satelital y la aplicación del modelo RUSLE se puede realizar un mejor modelado de la zona, permitiendo de esta manera obtener con mayor sensibilidad la detección de áreas erosionadas (Gallardo, 2025).

Por otra parte, en la microcuenca de Atillo, Ozogoche y Yasepan ubicada en la región alto-andina del Ecuador se realizó el estudio para las tres cuencas donde se registraron niveles de erosión media para cada microcuenca los cuales fueron de 962 ton/ha/año, 756,95 ton/ha/año y 938,88 ton/ha/año respectivamente (Imbaquingo, 2023). Este tipo de ecosistemas al considerarse páramos son de ambientes frágiles por lo que son vulnerables a cambios climáticos lo que hace que aumente la escorrentía si estos se alteran por causas antrópicas provocando que en las partes medias y bajas se aumente el índice de erosión (García & Paccha, 2024).

La microcuenca del río Muchacho ubicada en Ecuador, parroquia Cano del cantón San Vicente, muestra problemas de pérdida de biodiversidad, disminución de la calidad y accesibilidad al agua además de aumento de inundaciones y la pérdida de calidad del suelo, relacionados a la erosión (Santillán, 2023). Por otra parte, en la cuenca alta del rio Guineal ubicada en la parte sur oriental de la provincia de Manabí donde se registraron pérdidas por erosión hídrica en tres subcuencas: río Grande 6,49 ton/ha/año; río Guineal 6,4 ton/ha/año y río Congo 16,6 ton/ha/año superando la tolerancia establecida por la FAO (0,4 – 1,8 ton/ha/año) (Pinargote et al., 2021).

1.2. Problema de Investigación y Justificación

La erosión hídrica del suelo es uno de los procesos de degradación ambiental más extendidos del planeta: compromete la productividad agrícola y la disponibilidad de agua en las cuencas hidrográficas (Aramayo, 2024). En relieves montañosos, las pendientes pronunciadas, las lluvias intensas y la pérdida de cobertura vegetal aceleran la remoción de suelo fértil y el transporte de sedimentos hacia los cauces (Hoyos, 2005). El fenómeno afecta sobre todo a los países andinos, donde buena parte de la población depende de la agricultura de ladera para subsistir (Ighodaro, 2016).

A pesar de la magnitud del problema en la Sierra ecuatoriana, buena parte de los estudios disponibles se concentra en cuencas de gran extensión, como la del río Mira o la de la Amazonía ecuatoriana, mientras que microcuencas de menor tamaño permanecen sin evaluaciones sistemáticas de riesgo (Arias et al., 2023). Esta situación es evidente en la cuenca del río San Jerónimo, cantón Ibarra, provincia de Imbabura, donde confluyen laderas de pendiente pronunciada, presión agrícola y ganadera, y un régimen de lluvias capaz de generar procesos erosivos intensos (González, 2018).

Hasta la fecha no existe una cuantificación espacial del riesgo de erosión hídrica en esta cuenca que oriente la toma de decisiones, lo cual limita la capacidad de los actores locales para priorizar zonas de intervención y diseñar medidas de conservación ajustadas a las condiciones reales del territorio (Estrada, 2022). Esta carencia de información técnica constituye, en sí misma, el vacío que da origen al presente estudio (González, 2018). En este contexto, la falta de un diagnóstico técnico sobre el peligro de erosión hídrica en la cuenca del río San Jerónimo impide anticipar la pérdida de suelo fértil, el aumento de sedimentación del cauce y la degradación de tierras agropecuarias de las que dependen las comunidades locales (Huerta, 2014).

La valoración del riesgo de erosión hídrica en la cuenca del río San Jerónimo se justifica, en primer lugar, por la magnitud de los efectos ambientales y productivos que este proceso genera cuando no se controla a tiempo: pérdida de fertilidad del suelo, menor capacidad agrícola y más sedimentación en los cursos de agua (Aramayo, 2024). Estos efectos repercuten en la seguridad alimentaria y en los medios de vida de las poblaciones rurales que dependen de la agricultura de ladera, como se ha documentado en otras cuencas andinas con condiciones similares (Ighodaro, 2016). Desde el punto de vista metodológico, la investigación aplica sistemas de información geográfica y modelos de estimación de pérdida de suelo que han mostrado eficacia en cuencas andinas con rasgos geomorfológicos comparables a los de San Jerónimo (Arias et al., 2023).

Esta base metodológica también permite comparar los resultados obtenidos con los reportados en la cuenca del Mira, lo que amplía el marco de referencia disponible para cuencas andinas de tamaño similar (Arias et al., 2023). En el plano práctico, contar con un mapa de riesgo de erosión hídrica permite a los gobiernos locales y a las organizaciones comunitarias priorizar las zonas que requieren intervención inmediata, en lugar de distribuir recursos de manera uniforme

sobre todo el territorio (Estrada, 2022). La experiencia en la cuenca media del río Mira muestra que identificar antes las áreas críticas facilita diseñar estructuras de conservación y programas de rehabilitación con especies forestales, algo relevante para un cantón cuya expansión agrícola y urbana presiona las laderas de la cuenca (Arias et al., 2023).

Finalmente, el aporte académico del estudio consiste en cerrar un vacío de información: mientras cuencas de mayor extensión en Ecuador ya cuentan con estudios de erosión hídrica, la del río San Jerónimo carece de una caracterización propia que sirva como línea base (Arias et al., 2023). Sus resultados pueden convertirse en un referente metodológico para microcuencas de Imbabura con condiciones geomorfológicas y de uso del suelo semejantes, y sumarse a la evidencia disponible sobre erosión hídrica en la Sierra norte del país (Caulfield, 2019).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar el riesgo de la erosión hídrica en la cuenca del río San Jerónimo mediante la aplicación del modelo RUSLE con el fin de proponer estrategias de conservación del suelo

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar la pérdida de suelo causada por erosión hídrica en la cuenca del río San Jerónimo.
- Zonificar el riesgo de erosión hídrica en la cuenca del río San Jerónimo.
- Proponer estrategias de conservación del suelo para mitigar los efectos de la erosión hídrica en la cuenca del río San Jerónimo.

1.4. Preguntas Directrices de la Investigación

¿Cuál es la pérdida de suelo causada por erosión hídrica de la cuenca del río San Jerónimo?

¿Cuáles son las áreas más susceptibles a la erosión hídrica en la cuenca del río San Jerónimo?

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Evaluación de los Riesgos de la Erosión Hídrica

La erosión hídrica es un proceso que degrada el suelo de manera natural, arrastrando sedimentos los cuales son transportadas por la fuerza de escorrentía causando un desplazamiento acelerado de la capa vegetal (Rengifio et al., 2022). A nivel mundial la erosión representa un problema ambiental debido a los factores naturales y antrópicos que causan la remoción de los nutrientes y partículas de suelo (Santillán, 2023). Por lo que afecta de manera drástica no solo al paisaje sino también al sector económico, estos procesos se convierten en una reducción en el rendimiento y fertilidad por lo que se ven afectados los cultivos (Jaramillo, 2021).

Los procesos en donde se dan el desprendimiento, desplazamiento y deposición de minerales particulados y materia orgánica del suelo además de la presencia de metales pesados y partículas de pesticidas residuales se ven reflejados en los problemas de estabilización de taludes (Párraga et al, 2023). La erosión hídrica se da por la acción de escorrentía sobre la superficie descubierta de una capa vegetal esta es considerada como la más importante ya que es irreversible y generalmente su alcance en área es elevado (Maya, 2011). La intensidad de la erosión se ve condicionada por la inclinación y longitud de la pendiente, la intensidad en la precipitación, la velocidad del viento, cobertura vegetal y el uso y manejo del suelo (Espinosa et al, 2022).

2.1.1 Erosión hídrica del suelo

La erosión hídrica es un proceso de arrastre de sedimentos comprendiendo un proceso geomorfológico de riesgo potencial (Alatorre & Beguería, 2009). Este proceso puede ser causado por la lluvia, la escorrentía superficial, los desprendimientos y posterior transporte de sedimentos (Chóez et al., 2021). La erosión hídrica puede ser un problema significativo en áreas con alta actividad agrícola, ya que puede causar la pérdida de nutrientes esenciales y disminuir la productividad agrícola (Pacheco et al., 2019). Además, la erosión causa contaminación de cuerpos de agua aumentando el riesgo de desastres como inundaciones (Hall et al., 2015).

La erosión hídrica se puede controlar mediante técnicas de conservación como agricultura sostenible y métodos de restauración de la cobertura vegetal, de esta manera de emplea vegetación nativa que puede ayudar a proteger la capa de suelo y así disminuir la erosión (Pacheco et al., 2019). Además, la construcción de barreras vivas y estructuras favorecen a la reducción del arrastre de sedimentos por parte de la lluvia (Hall et al., 2015). Es importante abordar la erosión hídrica de manera integral, considerando las causas y consecuencias del proceso además de desarrollar estrategias efectivas para su mitigación. De esta manera, se puede proteger el suelo y garantizar la sostenibilidad ambiental (Pacheco et al., 2019).

Este proceso se intensifica en áreas con alta precipitación y pendientes pronunciadas, donde el agua arrastra partículas de suelo, transportando nutrientes esenciales (Pacheco et al., 2019). El daño y problemas que afectan a la fertilidad del suelo nos solo es producto de la erosión, sino que va más allá pues esta contamina los ríos y lagos con sedimentos los cuáles son transportados por la fuerza del agua (Hall et al., 2015). Además, la causa principal que lleva a la desertificación del suelo se debe a la erosión ya que esta deja sin nutrientes al suelo lo que hace que las tierras dejen de ser fértiles, lo que produce la escasez de alimentos y la sostenibilidad de la población, debido a esto se deben implementar prácticas de manejo sostenible que ayuden a proteger el suelo y así se mantenga su conservación (Borja et al., 2015).

Los procesos de restauración como la creación de barreras vivas contribuyen con la estabilización del suelo y la reducción de la escorrentía disminuyendo de manera considerable la erosión (Pacheco et al., 2019). Por otra parte, los cultivos de conservación que son aquellos donde se siembra en un contorno donde existen cultivos de cobertura mejoran la estructura del suelo y aumentan la capacidad de retención del agua (González et al., 2015). Las medidas adoptadas no solo ayudan a la reducción de la erosión, sino que ayudan a la regeneración del ecosistema y mantienen el equilibrio hídrico (Hall et al., 2015). En este contexto, es fundamental que los gobiernos y las comunidades trabajen juntos para desarrollar políticas que fomenten la sostenibilidad y la protección del suelo.

2.1.2 Zonificación de cuencas hidrográficas

Este proceso implica la identificación y clasificación de áreas según su susceptibilidad a la erosión, utilizando metodologías que integran datos de precipitación, topografía, cobertura vegetal y uso del suelo (Pacheco et al., 2019). El uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ayudan a crear mapas de riesgo empleando datos espaciales con los que se analiza la condición de los suelos de esta manera se establecen técnicas de conservación (Hall et al., 2015). En la provincia de Manabí, Ecuador, presenta un 19% de erosión alta o muy alta demostrando que la capacidad y uso del suelo hace perder nutrientes, para esto recomiendan la creación de políticas de restauración que protejan las áreas más afectadas (Pacheco et al., 2019).

La zonificación del riesgo de erosión hídrica permite a gobiernos y organizaciones no gubernamentales desarrollar estrategias específicas para la gestión del suelo en zonas clasificadas como de alto riesgo por lo que se pueden implementar prácticas de reforestación y agricultura sostenible que ayuden a estabilizar el terreno y reducir la escorrentía. (González et al., 2015). La información que arroja la zonificación permite realizar medidas de capacitación a los agricultores sobre técnicas que mejoren la capacidad de uso del suelo tales como cultivos de cobertura y siembra en contorno (Pacheco et al., 2019). Así, la zonificación se convierte en un componente esencial de la planificación territorial aportando a la sostenibilidad ambiental y a la seguridad alimentaria de las comunidades afectadas por la erosión hídrica (Hall et al., 2015).

2.1.3 Modelos de erosión hídrica

Los modelos de erosión hídrica son herramientas fundamentales para comprender y predecir la pérdida de suelo en diversas regiones, permitiendo a los investigadores y gestores de recursos naturales evaluar el impacto de diferentes factores en la erosión. Uno de los modelos más utilizados es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE, por sus siglas en inglés), que estima la tasa de erosión en función de varios factores, incluyendo la erosión por la lluvia, la erosión del suelo, la pendiente del terreno, la cobertura vegetal y las prácticas de manejo del suelo (Wischmeier & Smith, 1978). El modelo USLE ha sido adaptado y mejorada durante muchos años por lo que se generaron versiones como el RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), el cual permite evaluar la erosión de una manera más precisa identificando los sectores que afecta la lluvia (Renard et al., 1997).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) conjuntamente con la teledetección han revolucionado la forma de aplicar los modelos de erosión hídrica permitiendo facilitar la recopilación de datos a gran escala y de esta manera crear mapas que muestren el riesgo de la erosión (Pacheco et al., 2019). La combinación de modelos de erosión con SIG no solo mejora la precisión de las predicciones, sino que también permite a los responsables de la toma de decisiones implementar políticas de conservación más efectivas y adaptadas a las condiciones locales (Hall et al., 2015).

2.1.4 Tipos de erosión

La erosión representa uno de los principales procesos de desertificación impulsado acciones naturales y/o antrópicas (M. Fernández & Núñez, 2012). En las causas de la erosión se observan el uso y manejo inapropiado de los agroecosistemas que generan destrucción de la cobertura vegetal nativa llegando a afectar las pendientes en la necesidad de expandir la capacidad de cultivo (González et al., 2007). Agregado proceso natural de la erosión la cual es la pérdida gradual de material mediante arrastre de partículas de suelo causado por la acción del viento o del agua siendo progresiva e irreversible ya que la masa del suelo erosionada no se puede recuperar y la el tiempo para la formación de otro es extremadamente larga (González & Vázquez, 2026). Debido a los factores naturales y antrópicos que afectan al sustrato se derivan diferentes tipos de erosión (Tabla 1).

Tabla 1. Tipos de erosión

Tipo de erosión	Descripción	Características
Erosión Laminar y en regueros	Consiste en la remoción uniforme de una fina capa de suelo.	• Pérdida gradual de la superficie • Formación de pequeños canales temporales
Erosión en Cárcavas y barrancos	Es la generación de zanjas profundas y permanentes.	• Generación de canales de gran tamaño • Genera una elevada pérdida de suelo • Incrementa un mayor transporte de

		sedimentos hacia los causes
Movimientos en masas	Es causada por desplazamiento de suelo, rocas o sedimentos pendiente abajo por acción de la gravedad.	• Puede ser desencadenada por lluvias intensas o sismos
Erosión en Causes	Proceso de desgaste, remoción y transporte de material del lecho y márgenes de un río.	• Socavación de las riberas • Aumento de la carga de sedimentos • Afecta las infraestructuras cercanas y modifica la morfología fluvial
Erosión Eólica	Acción provocada por el viento principalmente se da en zonas áridas con poca o escasa cobertura vegetal.	• Transporta partículas finas de suelo a grandes distancias • Desgasta suelos secos y descubiertos
Erosión por surcos	Corresponde al flujo laminar concentrado vertiente abajo	• Formación de pequeños canales o surcos en la superficie

Fuente: (Fernández & Núñez, 2012)

2.1.5 Factores RUSLE

La modelización de los procesos de erosión se fundamenta en la comprensión de las leyes físicas y químicas que se encargan de dirigir los procesos de desprendimiento y transporte de las partículas de suelo que se desprenden por la acción de la escorrentía y precipitaciones (Alatorre & Beguería, 2009). Los modelos son formas matemáticas que representan los procesos físicos que se desean simular dividiéndose en tres categorías (Tabla 2) y responden a la modelización concentrada en los procesos físicos (Alatorre & Beguería, 2009). Si embargo la complejidad de algunos puede causar problemas debido a la combinación de diferentes categorías (Alatorre & Beguería, 2009).

Tabla 2. Categorías de modelos de erosión

Categoría	Descripción
Empíricos	Se basan en análisis estadístico de un grupo de observaciones.
Conceptuales	Se enfocan en la representar el modelo de un método de erosión como una serie de almacenamiento de relaciones matemáticas simplificadas.
De base Física	Se enfocan en leyes físicas que manejan las relaciones entre diferentes parámetros y proceso observados.

Fuente: (Alatorre & Beguería, 2009)

La erosión en las cuencas hidrográficas representa uno de los fenómenos de desgaste por remoción de material pétreo y sedimentos, desgastando el suelo y causando un deterioro de la cuenca. Frente al problema se hace necesario estimar la pérdida de los suelos mediante erosión hídrica, para ello se usa la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE) con esto se pretende mejorar la productividad en los suelos tratando de ayudar en la sostenibilidad de los recursos presentes en la zona (Rengifio et al., 2022). La ecuación de RUSLE es un modelo empírico que se utiliza a nivel mundial y es el más validado mostrando una precisión alta en estudios de diferente escala y espacial y temporal (Casanova et al., 2024). La ecuación contempla cinco factores los cuales que se encargan de evaluar la pérdida del suelo en ton/ha/año, los factores que conforman la ecuación son R (erosividad de la lluvia), K (erodabilidad del suelo), LS (longitud y pendiente del terreno), C (coberturas) y P (conservación del suelo) (Rengifio et al., 2022).

2.1.6 Erosión en cuencas hidrográficas

El tipo de erosión que se produce en las cuencas hidrográficas se denomina erosión hídrica que se define como un fenómeno negativo causado por la acción del hombre y por procesos naturales que se encuentran controlados por la acción de la gravedad (García, 2004). La erosión hídrica depende de factores exógenos tales como el clima y la capa vegetal además de la densidad aparente, permeabilidad, saturación y pendiente que conforman factores endógenos (Chóez et al., 2021). El

proceso presenta tres fases las cuales son degeneración de agregados, transporte de material y disminución de la fuerza de arrastre (A. González & Vidal, 2026).

La erosión hídrica causada conjuntamente por la acción de las gotas de lluvia y el escurrimiento superficial ocasionan la dispersión y transporte de sedimentos (Chóez et al., 2021). Representa un problema negativo en el mundo dado que el impacto a los ecosistemas se da a través de la producción agrícola e infraestructura (Serrano et al., 2016). Su impacto causa graves problemas de degradación de la capa superficial del suelo afectando la calidad del agua a nivel mundial además de afectar a más de 3200 millones de personas debido a la pérdida de servicios ecosistémicos (Rengifio et al., 2022). Por otra parte, este fenómeno incrementa la carga de sedimentos los cuales pueden causar desastres como inundaciones o alterar el equilibrio de ecosistemas acuáticos (Andrade et al., 2025).

2.1.7 SIG en modelos de erosión

Para realizar el modelado de erosión hídrica el método más empleado se basa en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) permitiendo manejar información primaria recolectada en campo y secundaria mediante datos, esto permite operar diferentes factores (Rengifio et al., 2022). De esta manera un SIG se define como un sistema de información empleado para realizar recopilación de datos y analizar información geográfica proyectándola en un sistema de coordenadas las cuales se relacionan con una base de datos no espacial (Alatorre & Beguería, 2009). Mediante la combinación de estos datos se puede superar problemas que dificultan el modelado de la erosión los más comunes son información escasa o inconclusa(Casanova et al., 2024).

Los estudios de la erosión y el transporte de sedimentos han llamado la atención científica para desarrollar avances en el desarrollo de modelos de erosión proponiendo estrategias de modelos que contemplan diferencias matemáticas, procesos descriptivos y finalmente tratamientos espaciales y temporales (Alatorre & Beguería, 2009). En diferentes partes de mundo se llevan a cabo diferentes casos y métodos de estudio en donde se usan metodologías que usan herramientas de teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Méndez et al., 2024). Los modelos SIG facilitan el procesamiento de base de datos extensas, creación de escenarios, capacidad de

mostrar la distribución espacial y la visualización de resultados de forma estática o cartográfica (Alatorre & Beguería, 2009).

Para la aplicación en modelos de erosión los SIG resultan un apoyo como herramienta auxiliar para almacenar, procesar, manipular, y facilitar la visualización de datos espaciales de forma cuantitativa como la elevación, hidrometeorología, tipos de suelo y cobertura (Serrano et al., 2016). Sin embargo, existen dos tipos de modelos los que tienen representación detallada de los procesos de erosión partiendo de consideraciones conceptuales y físicas y los modelos con representaciones simplificadas (Alatorre & Beguería, 2009). Los modelos de erosión se clasifican como empíricos, conceptuales los cuales que tienen una representación de la erosión para cuencas pequeñas o modelos físicos que se usa para escalas de grandes cuencas (Tabla 3) (Alatorre & Beguería, 2009).

Tabla 3. Modelos de erosión

Modelo	**Tipo**	**Escala espacial**	**Base de datos**	**Resultados**	**Referencia**
USLE	Empírico	Laderas	Alta	Erosión	Wischmeier y Smith, 1978
ANSWERS	Físico	Pequeñas Cuencas	Alta	Escorrentía, pico máximo, erosión, sedimentos y producción de sedimentos	Beasley et al.,1980
CREAMS	Físico	Parcela	Alta	Erosión y depositación	Knisel, 1980; Knisel, 1995
KINEROS2	Físico	Cuenca	Alta	Escorrentía, pico máximo, erosión, sedimentos y producción de sedimentos	Smith, 1981; Smith et al.,1995; Woolhiser et al., 1990
EPIC	Físico	Ladera/Cuenca	Alta	Erosión	Williams et al., 1983

RUSLE	Empírico	Ladera	Alta	Erosión	Renald et al., 1991 y 1994
SWAT	Conceptual	Cuenca	Alta	Escorrentía, pico máximo, erosión, sedimentos y producción de sedimentos	Arnold et al., 1995
MIKE-11	Físico	Cuenca	Alta	Producción de sedimentos y Escorrentía	Hanley et al., 1998
EUROSEM	Físico	Pequeñas Cuenca	Alta	Escorrentía, Erosión y Sedimentos	Morgan et al., 1998
SEDNET	Conceptual /Empírico	Cuenca	Alta	Sedimentos en suspensión, contribución del flujo superficial	Wilkinson et al., 2004

Fuente: Adaptado de (Alatorre & Beguería, 2009).

2.1.8 Estrategias para mitigar la erosión del suelo

Las estrategias para mitigar la erosión hídrica son esenciales para preservar la calidad del suelo y garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas. La reforestación se ha convertido en una alternativa eficaz para combatir la erosión, al introducir plantas nativas a un área afectada mejora la estabilidad del terreno y lo protege contra la acción directa de la lluvia reduciendo la escorrentía (Pacheco et al., 2019). Por otra parte, la instalación de técnicas de agricultura sostenible como siembra en contorno y uso de cultivos de cobertura mejoran la estructura del suelo (González et al., 2015). Dichas prácticas ayudan a la conservación del suelo y mantienen la biodiversidad además de la salud del ecosistema en general.

Otra estrategia para mitigar la erosión hídrica es la construcción de infraestructura de conservación, como terrazas y zanjas de infiltración (Li et al., 2026). Estas estructuras reducen la velocidad del agua y facilitan su infiltración, con lo que disminuye la erosión del suelo (Hall et al., 2015). Las barreras naturales, cortavientos, también pueden proteger áreas vulnerables (Pacheco et al., 2019). A esto se suma la necesidad de involucrar a las comunidades locales en la

planificación y ejecución de estrategias ya que su conocimiento y experiencias resultan valiosas para el éxito de las iniciativas de conservación (González et al., 2026).

Mediante la construcción de sistemas de drenaje y la gestión de las cuencas hidrográficas se puede controlar el flujo de agua permitiendo de esta manera reducir la escorrentía y a su vez la erosión del suelo (Bruijnzeel, 2004). Otro proceso que ayuda a reducir la presión sobre el suelo es la captación de agua de lluvia mediante cisternas y construcción de estanques de retención permiten almacenar agua durante las sequías (Pacheco et al., 2019). Sin embargo, la falta de creación de políticas hace que la conservación del suelo y protección de áreas críticas se vean afectadas por esta razón se fomentan estrategias y políticas de conservación para garantizar la sostenibilidad a largo plazo (Hall et al., 2015).

2.2 Marco Legal

La conservación del suelo y la prevención de la erosión hídrica son determinantes para mantener la salud de los ecosistemas y garantizar la sostenibilidad de los recursos naturales. La legislación tiene aquí una función central en la regulación de las actividades humanas que pueden afectar la calidad del suelo. En Ecuador, la Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua establece principios para la gestión sostenible del agua y la protección de los suelos (Asamblea Nacional del Ecuador, 2014). La Ley de Gestión Ambiental, por su parte, establece que proteger el medio ambiente y los recursos naturales incluida la prevención de la erosión hídrica es responsabilidad tanto del Estado como de la ciudadanía (Asamblea Nacional del Ecuador, 2017).

2.2.1 Constitución de la República del Ecuador

La constitución de la República del Ecuador menciona en el Artículo 409 sobre la conservación del suelo en especial la capa que recubre la superficie, para ello se establecerá normativas de protección y uso sostenible los cuales mitiguen o protejan su degradación, contaminación, desertificación y erosión (Legislativo, 2008). Por otra parte, el Artículo 410 menciona que el estado apoyará a las comunidades agricultoras rurales en la conservación y restauración del suelo estableciendo el desarrollo de prácticas agrícolas que protejan y promuevan la sostenibilidad alimenticia (Legislativo, 2008).

El Artículo 411 se enfatiza en los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico el cual menciona que se regulará todas las actividades que representen un peligro para la calidad y cantidad del agua (Legislativo, 2008). El equilibrio de los ecosistemas se ve marcado por la relación que existe entre la vida con las fuentes y zonas de recarga hídrica. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua (Legislativo, 2008).

2.2.2 Convenios Internacionales

El convenio de la conservación de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD) ratificado en el año de 1996 establece como objetivo la mitigación de la pérdida del suelo frente a las sequías promoviendo medidas de prevención y corrección que ayuden al manejo sostenible del recurso. El convenio sobre la diversidad Biológica establece la conservación del suelo a través del manejo de ecosistemas y las tierras agrícolas además de promover las prácticas que reduzcan la degradación de suelos para la conservación de la biodiversidad. La agenda 2030 para el desarrollo sostenible (ODS) menciona en el objetivo 15 que parea mantener la vida de un ecosistema se deben establecer metas que favorezcan la sostenibilidad del suelo y ayuden a reducir la desertificación.

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

El Artículo 136 establece que los Gobiernos Autónomos Descentralizados implementarán sistemas de gestión integral de desechos a fin de eliminar los vertidos a ríos, lagos, lagunas, quebradas, esteros o mar. En concordancia con los consejos de cuencas hidrográficas establecerán tasas de vinculación a la obtención de recursos destinados a la conservación de las cuencas hidrográficas y la gestión del medio ambiente COOTAD (2010). El Artículo 297 establece metas del ordenamiento territorial, impulsando tácticas ligadas al aprovechamiento, la ocupación, y el tratamiento del suelo, que van de la mano con objetivos económicos, sociales, y ambientales. También, se pretende poner en marcha mecanismos de gestión para facilitar un manejo integrado y el nacimiento de proyectos (COOTAD, 2010).

2.2.4 Código Orgánico del Ambiente (COA)

El Articulo 197 menciona que las actividades que afecten la calidad del suelo. Las actividades que afecten la calidad o estabilidad del suelo, o que puedan causar su erosión, serán reguladas, y en caso de ser necesario, restringidas. Se priorizará la conservación de los ecosistemas ubicados en zonas con altas pendientes y bordes de cuerpos hídricos, entre otros que determine la Autoridad Ambiental Nacional (COA, 2017).

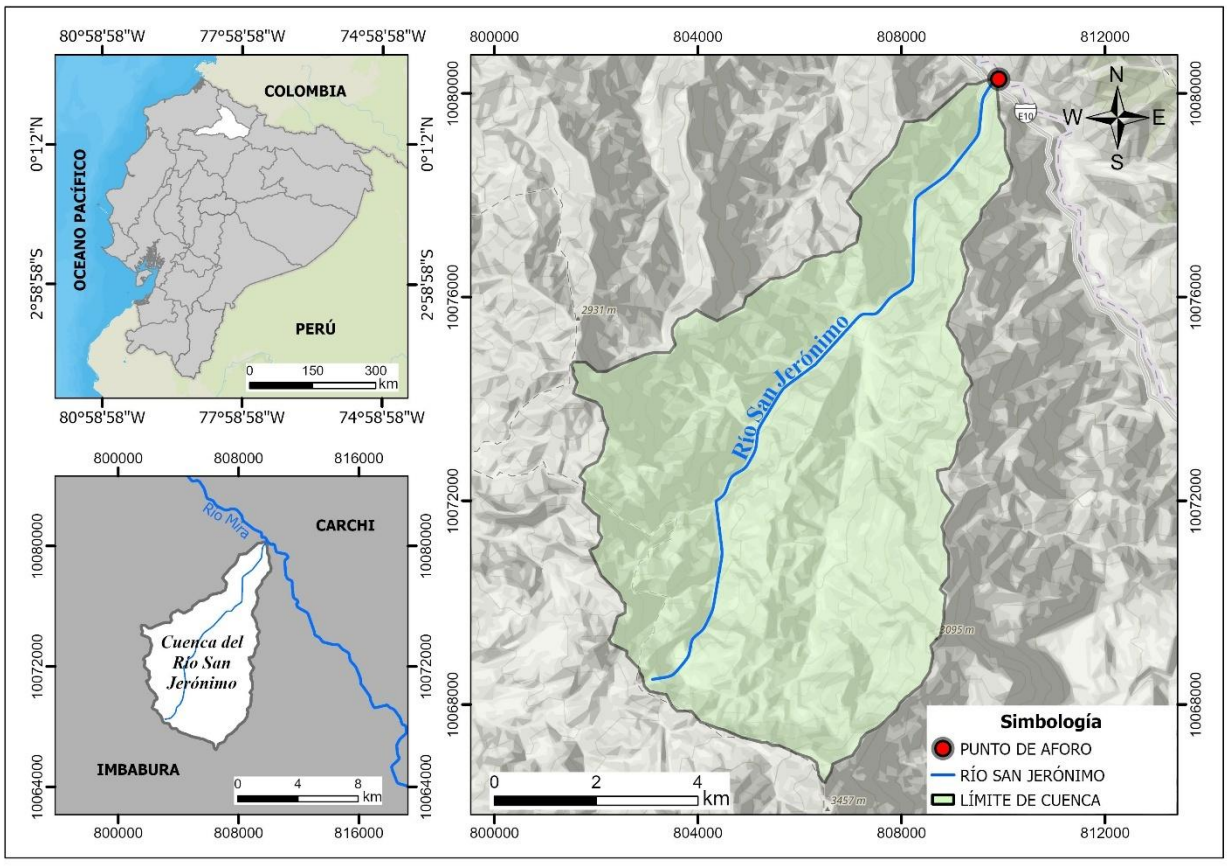
CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 Descripción del Área de Estudio

La cuenca hidrográfica del río San Jerónimo se localiza en la vía Ibarra-San Lorenzo y cubre los sectores de San Jerónimo y la vía a Buenos Aires, cubre una extensión de 6477 ha localizándose en el cantón Ibarra al norte de la provincia de Imbabura (Figura 1). El área de estudio forma parte de la cuenca transfronteriza del río Mira que engloba un total de 17 microcuencas, siendo esta la más grande ocupando un 22,67 % de la cuenca contenedora (Jorge et al., 2014). Su cota máxima se encuentra a 3341 msnm con una pendiente promedio de 57,50%, la mayor parte del territorio cuenta con la presencia de bosques y su ecosistema varía de seco a húmedo en las partes altas de la cuenca. En el territorio se localizan dos comunidades correspondientes al sector del Guadual y San Francisco, identificando actividades basadas en agricultura y ganadería.

Figura 1. Ubicación de la cuenca del río San Jerónimo



3.2 Morfometría de la Cuenca del Río San Jerónimo

El análisis morfométrico de la cuenca permite caracterizar cuantitativamente su configuración física y entender su comportamiento hidrológico y geomorfológico. A partir de parámetros como el área, el perímetro, el factor de forma, el coeficiente de compacidad, la pendiente y la red de drenaje, se puede determinar cómo influye la geometría de la cuenca en los procesos de escorrentía y transporte de sedimentos. Estos indicadores muestran, en particular, la eficiencia del drenaje, el grado de concentración de los flujos y la susceptibilidad de la cuenca a los procesos erosivos. Con esta información se puede sustentar técnicamente la gestión de los recursos naturales y el diseño de medidas de conservación dentro de la cuenca del río San Jerónimo. En la cuenca del río San Jerónimo se calculó dichos parámetros los cuales se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4. Características físicas de la cuenca del río San Jerónimo

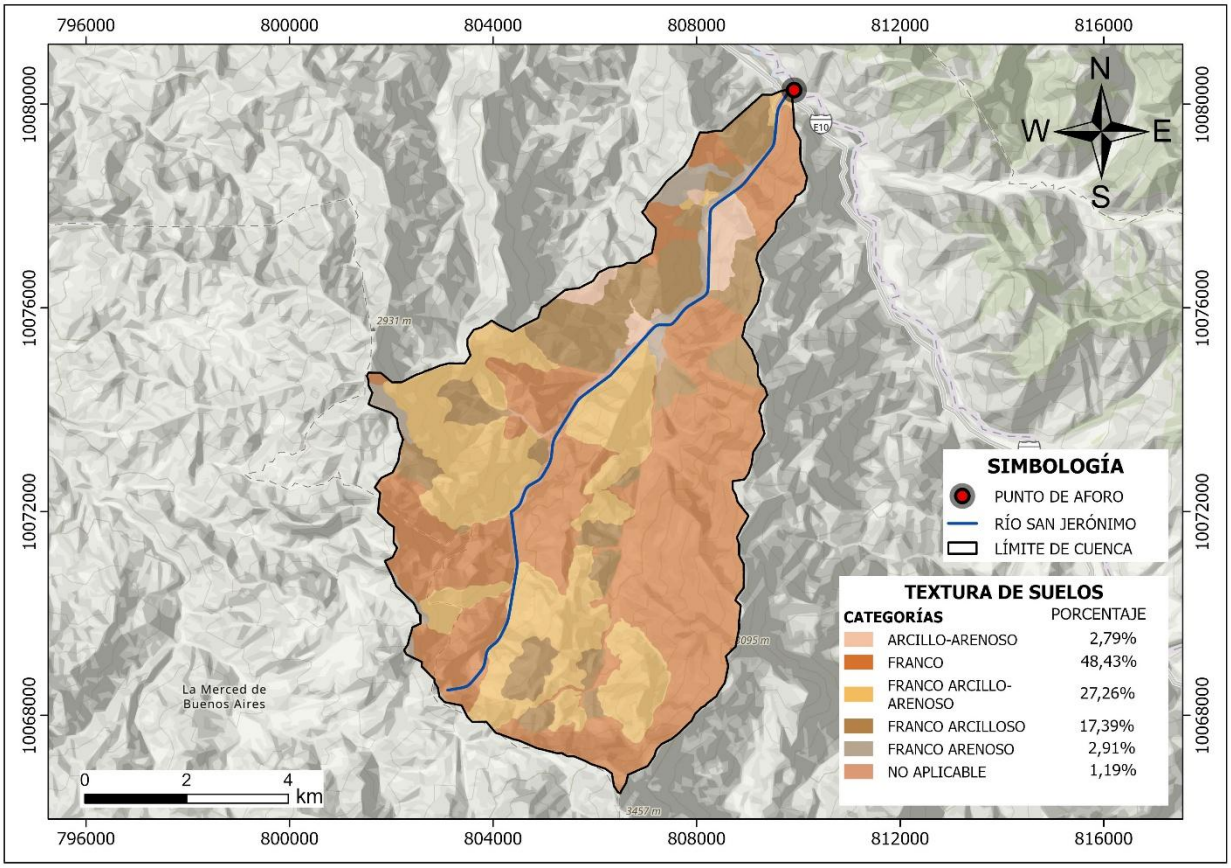
Parámetros de forma			
Parámetro	**Simbología**	**Cálculo**	**Interpretación**
Área	*(A)*	A = 64,77 km^2	Se clasifica como microcuenca
Perímetro	*(P)*	P = 40,50 km	Se clasifica como microcuenca media
Longitud Axial	*(L)*	L = 13,78 km	Longitud desde el punto de confluencia de la microcuenca hasta el punto más lejano de la microcuenca
Ancho promedio de la Microcuenca	*(Ap)*	$\mathrm{Ap} = \frac{A}{La}$ Ap = 4,70 km	Relación del área con la longitud axial de la microcuenca
Índice de compacidad	*(Kc)*	$\mathrm{Kc} = 0{,}28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$ Kc = 1,40	La microcuenca se define por su forma como oval redonda oval-oblonga
Factor de forma de Horton	*(Kf)*	$\mathrm{Kf} = \frac{\mathrm{Ap}}{\mathrm{La}}$ Kf = 0,34	La microcuenca según el factor forma se define como una

			microcuenca alargada
		Parámetros de Relieve	
Cota mayor	*(Cm)*	Cm = 3341 m	Mayor altitud de la divisoria
Cota menor	*(Cm)*	Cm = 985 m	Altitud mínima que se localiza en el punto de salida de la microcuenca
Diferencia de Nivel	*(Dn)*	Dn = 2356 m	Es la variación de la altitud
Pendiente media	*(J)*	J = 57,50%	Relieve muy montañoso
		Parámetros Hidrológicos	
Longitud del cauce principal	*(Lc)*	Lc = 18,69 km	Corresponde a una longitud media
Pendiente media del cauce	*(Jc)*	Jc = 0,042 = 4,2%	Relieve de ríos y montañas
Tiempo de concentración	*(Tc)*	Tc = 2,13 horas	Tiempo que tarda en llegar la escorrentía al punto de aforo

3.2.1 Textura de suelo

La textura franca cubre la mayor parte de la cuenca del río San Jerónimo con un 48,43 %, lo que ayuda a la infiltración, la retención de humedad y la disponibilidad de nutrientes, y contribuye al desarrollo de la cobertura vegetal y a la estabilidad del suelo frente a la erosión. En menor proporción aparecen las texturas franco arcillo-arenosa (27,26 %), franco arcilloso (17,39 %), franco arenoso (2,91 %) y arcillo arenosa (2,79 %), mientras que el 1,19 % corresponde a áreas no aplicables. Esta variabilidad textural incide directamente en la respuesta hidrológica y en la susceptibilidad a la erosión dentro de la cuenca (Figura 2). Para corroborar la información obtenida mediante SIG se tomaron muestras en campo la fecha del 11 de julio del 2026 fijando puntos de recolección para posteriormente realizar el análisis de textura de suelo llevado a cabo por LABONORT (E. Miño, análisis de textura de suelo, 16 de julio del 2026), el análisis tomó en cuenta muestras de suelo de la parte baja y media de la cuenca (Anexo 15).

Figura 2. Textura del suelo de la cuenca del río San Jerónimo



3.3 Métodos

El presente estudio inició por el reconocimiento de la zona o área de estudio, la que pertenece a la cuenca transfronteriza del río Mira y con la ecuación RUSLE desarrollada por Renard et al., (1997) se procura calcular el índice de erosión que se ve afectado por la lluvia (Fernández et al., 2023). Con la ecuación se realizó la evaluación de la erosión hídrica del suelo de una forma precisa tomando en cuenta la relación que existe entre la lluvia y su impacto hacia el suelo.

3.3.1 Determinación de la pérdida del suelo con la ecuación de RUSLE

El modelo de carácter empírico se aplica en estudios de pequeña escala debido a que se acopla de una buena manera a la disponibilidad datos tales como precipitación, cobertura y suelo puesto que estos en algunos momentos se encuentran de manera incompleta (Flaño, 2015). La ecuación RUSLE (Ecuación 1) usa la estimación de la pérdida del suelo por erosión laminar y en

surcos, los factores a considerar son el factor de longitud de ladera (L adimensional), factor pendiente (S adimensional), factor vegetación (C adimensional), factor de prácticas de conservación del suelo (P adimensional), factor de erosividad de la lluvia (R) y factor de erosividad del suelo (K) (Liones et al., 2009).

Ecuación 1

$$\mathbf{A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P}$$

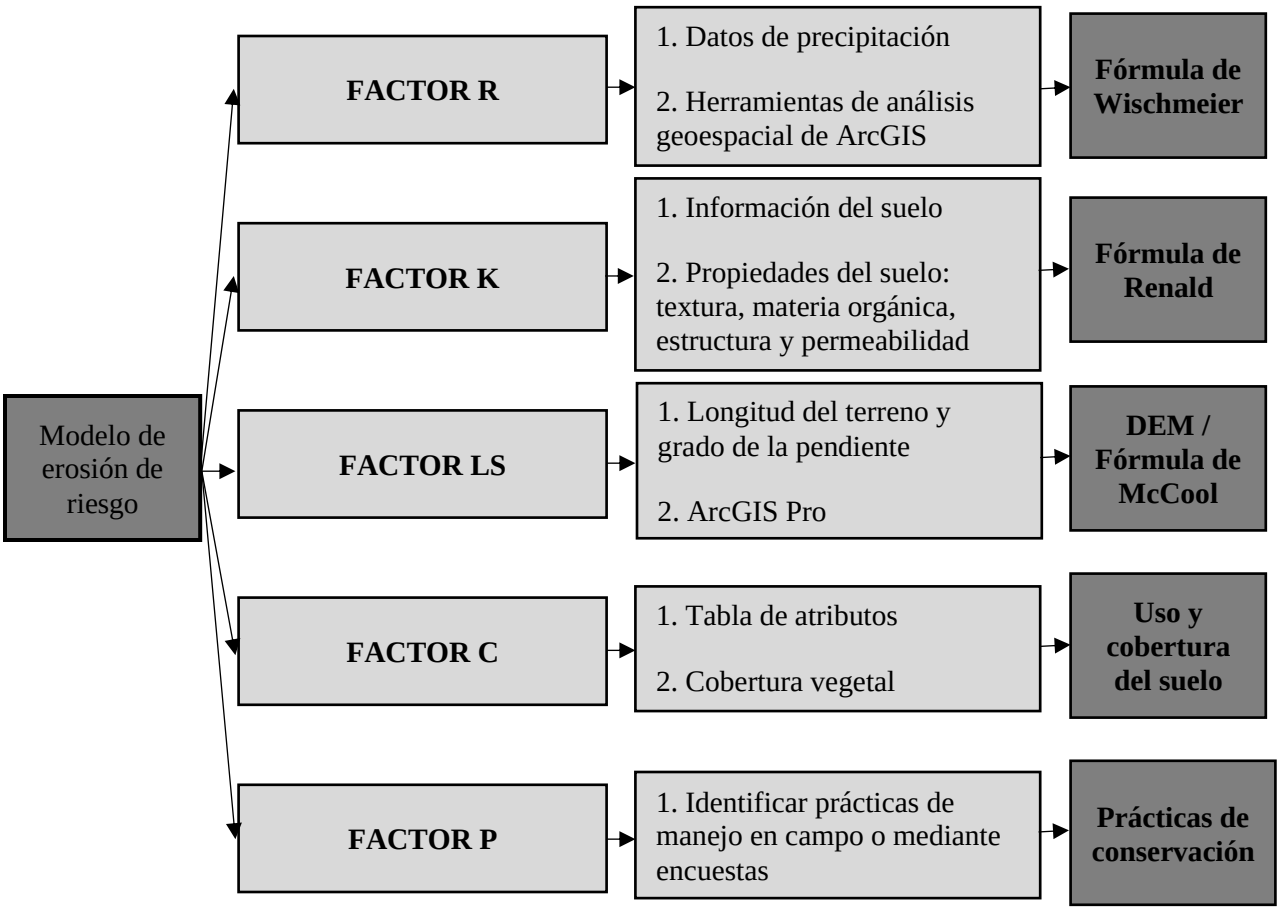
Tabla 5. Factores de la ecuación RUSLE

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

El factor R (Erosividad de la lluvia) utilizó datos de precipitación anual, el factor K (Erodabilidad del suelo) se calculó a partir de datos de grupos de referencia de suelos, el factor LS (Longitud y pendiente del terreno) se estimó a partir de un modelo de elevación digital con el apoyo de herramientas SIG, el factor C (Cobertura) empleó la clasificación de cobertura de la cuenca mediante herramientas SIG, el factor P (Prácticas de conservación) corresponde a las medidas de conservación del suelo. Por último, para el cálculo de la pérdida de suelo (A) se multiplicaron los valores de los factores previamente calculados (González et al., 2016).

Los insumos utilizados para realizar el cálculo del modelo RUSLE se representan en el Figura 3:

Figura 3. Factores del modelo RUSLE



Fuente: Adaptado de Arias et al. (2023)

3.3.2 Determinación del factor R

El factor R (Erosividad de la lluvia) determina la agresividad de la precipitación que tiene con el suelo, marcando la capacidad potencial de las lluvias en generar erosión en el suelo durante un tiempo determinado (Jaramillo, 2021). Para estimar el factor R se utilizó datos de precipitación obtenidos mediante algunas estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio, los datos recopilados deberán tener registros anuales los cuales reflejen la cantidad de agua que produce la erosión por energía cinética Moreno et al. (2003). El factor R se calculó usando la ecuación 2 usando los datos promedio de precipitación de 20 a 25 años (Arias et al., 2023).

Ecuación 2

$$Factor\ R = \sum_{i=1}^{12} 1{,}735 \cdot 10^{(1{,}5\ log\ 10\left(\frac{pi^2}{p}\right)-0{,}08188)}$$

Donde:

R: Índice de erosividad de la lluvia (MJ·mm) /(ha/año)

pi: Precipitación mensual (mm)

p: Precipitación anual (mm)

3.3.3 Determinación del factor K

Para determinar el factor K se empleó las herramientas de SIG y la información geoespacial de Geopedología del Ecuador (https://www.geoportaligm.gob.ec/). La fórmula utilizada para realizar el cálculo es la Ecuación 3 propuesta por Williams (1995) citado en el trabajo de (Andrade et al., 2025), se tomaron muestras de suelo en puntos establecidos en el área de estudio para posteriormente realizar los análisis en un laboratorio para corroborar la información obtenida.

Ecuación 3

$$\boldsymbol{K_{USLE}} = f_{sand} \cdot f_{ci-si} \cdot f_{orgc} \cdot f_{hisand}$$

Donde:

K_{USLE}: Erodabilidad del suelo modelo RUSLE

f_{sand}: contenido de arena

f_{cl-si}: contenido de arcilla y limo

f_{orgc}: contenido de carbono orgánico

f_{hisand}: altos contenidos de arena

Fue necesario ajustar la ecuación original K_{USLE} con el factor de conversión 0,1317 (Ecuación 4), garantizando que los datos presenten un ajuste adecuado a la estructura predictiva del modelo RUSLE.

Ecuación 4

$$\boldsymbol{K_{USLE}} = K \cdot 0{,}1317$$

Donde K_{USLE} (Ecuación 4) representa la Erodabilidad del suelo en ton/MJ·mm, este al ser multiplicado por el factor de conversión se adapta al modelo RUSLE. Las ecuaciones que se usan para estimar las diferentes características físicas y químicas del suelo se detallan en las ecuaciones 5, 6, 7 y 8.

Ecuación 5

$$f_{csand} = \left\{0{,}2 + 0{,}3 \cdot exp\left[-0{,}256 \cdot m_s \cdot \left(1 - \frac{m_{silt}}{100}\right)\right]\right\}$$

Ecuación 6

$$f_{ci-si} = \left(\frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}}\right)^{0{,}3}$$

Ecuación 7

$$f_{orgc} = \left\{1 - \frac{0{,}25 \cdot org\ C}{org\ C + exp(3{,}75 - 2{,}95 \cdot org\ C)}\right\}$$

Ecuación 8

$$f_{hisand} = \left\{1 - \frac{0{,}7 \cdot \left(1 - \frac{m_s}{100}\right)}{\left(1 - \frac{m_s}{100}\right) + exp\left[-5{,}51 + 22{,}9 \cdot \left(1 - \frac{m_s}{100}\right)\right]}\right\}$$

Donde:

m_s: Porcentaje de arena

m_{silt}: Porcentaje de limo

m_c: Porcentaje de arcilla

orgC: Porcentaje de SOC (carbono orgánico del suelo)

Usando las ecuaciones anteriores se determinaron los valores del factor K para cada muestra de suelo, estos valores se ingresaron en un sistema de información geográfica donde se interpolaron y a partir de esto se creó un mapa de erosionabilidad en el suelo de la cuenca. Los datos se validaron con muestras recolectadas en campo.

3.3.4 Determinación del factor LS

El factor LS se define como la distancia que se mide desde el punto más alto hasta el punto más bajo en comparación del flujo superficial, esta muestra la deposición que se da en la cuenca por acción de la escorrentía (Alvarado et al., 2021). El factor LS se obtuvo mediante la relación de la pendiente y su inclinación usando la dirección de flujo obtenida de un modelo de elevación digital (DEM) de la cuenca con una resolución espacial de 30 metros https://portal.opentopography.org/datasets (Hernández et al., 2026), para calcular cada parámetro se usaron las siguientes ecuaciones:

Ecuación 9

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22{,}13}\right)^{m} \cdot S$$

Ecuación 10

$$\lambda = \left(\frac{A_{acum}}{3{,}1416}\right)^{0{,}5}$$

Ecuación 11

$$F = \frac{\frac{Sen\beta}{0{,}0896}}{3 + (Sen\beta)^{0{,}8} + 0{,}56}$$

Ecuación 12

$$m = \frac{F}{1 + F}$$

Donde:

L: Factor de longitud de la pendiente

λ: Longitud de la pendiente (m)

m: Exponente influenciado por la longitud y grado de la pendiente

A_{acum}: Área acumulada de la cuenca en modelo raster

F: Parámetro que representa la relación entre la erosión causada por flujo en surcos y erosión causada por flujo laminar o entre surcos

El factor de pendiente (S) es el encargado de modificar el tiempo que permanece el agua en circular por toda la superficie del área, demostrando que en superficies llanas con poca inclinación el agua se infiltra con mayor facilidad y el escurrimiento circula con mayor velocidad a zonas de menor cota, la ecuación de RUSLE utiliza la fórmula de McCool et al. (1997) citado por (Henrry Alvarado et al., 2021) para determinar el factor S (Ecuación 13):

Ecuación 13

S = (10,8 *sin* θ + 0,03) en pendientes < 9,0%; y

S = (16,8 *sin* θ – 0,5) en pendientes ≥ 9,0%

Donde:

S: Factor de inclinación de la pendiente

θ: Ángulo de la pendiente que debe transformarse de grados a radianes

3.3.5 Determinación del factor C

Para el cálculo del factor C se utilizó una imagen satelital LANDSAT (Path10/Row60) LC09_L1TP_010060_20251207_20251207_02_T1 de tipo multiespectral con una resolución espacial de 30 metros (https://earthexplorer.usgs.gov/). Bajo este contexto, la imagen LANDSAT con fecha del 9 de diciembre 2025 se eligió debido a la calidad y bajo porcentaje de nubosidad para el área de estudio brindada por el satélite Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 (Arias et al., 2024). Las Imágenes fueron combinadas considerando las bandas 6, 5, 2 posteriormente se georreferenciaron al área de estudio empleando el sistema de referencia WGS84, proyección UTM, Zona 17 Sur en el software ArcGIS Pro (Arias et al., 2024).

Se realizaron clasificaciones supervisadas utilizando como datos de referencia 658 coordenadas reales tomadas de la imagen satelital y validadas en Google Earth creando la clasificación supervisada, como control se tomaron 493 puntos de muestreo (75%) para crear el modelo cartográfico y 165 puntos de muestreo (25%) para la validación. De esta manera se obtuvieron seis coberturas de suelo: Bosque, Pastizal, Matorral, Cultivos, Áreas Pobladas y Áreas sin cobertura. El valor Kappa se encargó de evaluar la concordancia de la clasificación, fluctuando entre 0 y 1 a medida que el valor se acerca a uno la concordancia es mayor de esta manera el valor para el estudio es de 0,98 que demuestra una alta concordancia (Rosales et al., 2024). La validación se realizó mediante la matriz de confusión (https://marcovanetti.com/pages/cfmatrix/).

El factor C inicialmente considerado como manejo de cultivos para suelos no agrícolas se asimiló como un valor de protección ejercido por la cubierta vegetal, su porcentaje de cobertura se relaciona de manera inversa con el porcentaje de erosión (García, 2004). Los valores asignados al factor C (Tabla 6) se asignaron en función de las categorías de cobertura vegetal con rangos establecidos en el estudio de Arias et al., (2023).

Tabla 6. Valores del factor C

Cobertura del Suelo	Factor C
Bosque	0,01
Matorral	0,035
Páramo	0,040

Pastizal	0,037
Cultivos	0,35
Roca y Zona Urbana	0

Fuente: (Arias et al., 2023)

3.3.6 Evaluación del riesgo de erosión

La erosión hídrica es un proceso que degrada el suelo haciendo que este pierda sus propiedades, para calcular su nivel de riesgo se emplea modelos de erosión para el caso de estudio realizó el uso del modelo de erosión RUSLE que permite manejar información de precipitación, textura de suelos, longitud e inclinación de pendiente y categorías de uso de cobertura vegetal. Mediante la superposición de los factores determinados se obtiene el nivel de erosión asignando una categoría para cada nivel de riesgo (Pacheco et al., 2019). Aplicando la calculadora de raster en ArcGIS Pro se generó un mapa de erosión potencial estableciendo niveles de riesgo para el área de estudio los cuales son: Alta, Moderada, Baja, Muy Baja y Nula (Rosales, 2020). Una vez obtenida la tasa de erosión del suelo se procedió a realizar un mapa de riesgo erosivo considerando zonas afectadas y los niveles de erosión obtenidos para ello propone la siguiente clasificación en función de la pérdida del suelo (Andrade et al., 2025).

Tabla 7. Categorías de erosión

Tasa de erosión (ton/ha/año)	**Categorías**	**Características**
0	Nula	Suelos no susceptibles al proceso de erosión
0 – 15	Muy Baja	Pérdida de suelo tolerante
15 – 25	Baja	Pérdida tolerante de suelos, no genera un desgaste progresivo
25 – 50	Moderada	Pérdida poco tolerable llegando a un nivel riesgoso
> 50	Alta	Sitios donde la erosión se aprecia con frecuencia

Fuente: Adaptado de (Santillán, 2023).

3.4 Calibración del Modelo RUSLE

Para comprobar el modelo RUSLE, se usó la calibración de rendimiento de sedimentos o SY (sediment yield) el cual define la carga de sedimentos en el punto más bajo de la cuenca (Kaliraj et al., 2025). Esta variable permite evaluar la cantidad neta de sedimentos en campo y la que se obtiene en la simulación aplicando la formula (Ecuación 14) en Excel.

Ecuación 14

$$SY = A \cdot SDR$$

Donde:

SY: rendimiento de sedimentos (ton/ha/año)

A: erosión del suelo (ton/ha/año)

SDR: índice de suministro de sedimentos (ton/ha/año)

El valor SY se determinó en base a los datos obtenidos en el área de estudio y los datos simulados con el modelo RUSLE. En la fase de campo se recolectaron muestras y se analizaron en laboratorio obteniendo la concentración de sólidos suspendidos (CSS) conjuntamente con el dato de caudal medio anual de la cuenca. La capacidad de sedimentos transportados por el agua dependerá de la longitud del relieve lo que permite cuantificar el nivel de erosión que se da en el área de estudio (Kaliraj et al., 2025).

Ecuación 15

$$\boldsymbol{SDR} = 0{,}5656 \cdot S^{-0{,}11}$$

Donde:

0,5656: Constante adimensional

S: superficie de la cuenca (km^2)

-0,11: relación opuesta entre la dimensión de la cuenca y el SDR

Para calibrar el modelo se realizó comparación de valores obtenidos entre los sedimentos observados en campo y los sedimentos simulados, analizando 12 muestras de agua se obtuvieron valores de sedimentos observados con tres repeticiones filtrando un volumen de 500 ml. Para determinar porcentaje de calibración del modelo se utilizó el indicador estadístico porcentaje BIAS (PBIAS) (Ecuación 16), dicho indicador permite medir la tendencia promedio que tienen los datos simulados frente a los observados, así se determina que el valor óptimo es igual a 0 mientras que

valores mayores a 0 (PBIAS>0) reflejan subestimación del modelo y valores menores a 0 (PBIAS<0) indican sobreestimación del modelo (López, 2012). Se debe considerar que los sedimentos se ajustan a la escala del área de estudio si el valor se mantiene en ± 55%.

Ecuación 16

$$PBias = \frac{\sum(SY_{ob} - SY_{sim})(100)}{\Sigma\ SY_{ob}}$$

Donde:

SY_{ob}: sedimentos observados (ton/ha/año)

SY_{sim}: sedimentos simulados (ton/ha/año)

Ecuación 17

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum\left(SY_{sf} - SY_{rg}\right)^2}{n}}$$

Donde:

SY_{sf}: sedimentos estimados por el modelo (ton/ha/año)

SY_{rg}: sedimentos examinados a registrados (ton/ha/año)

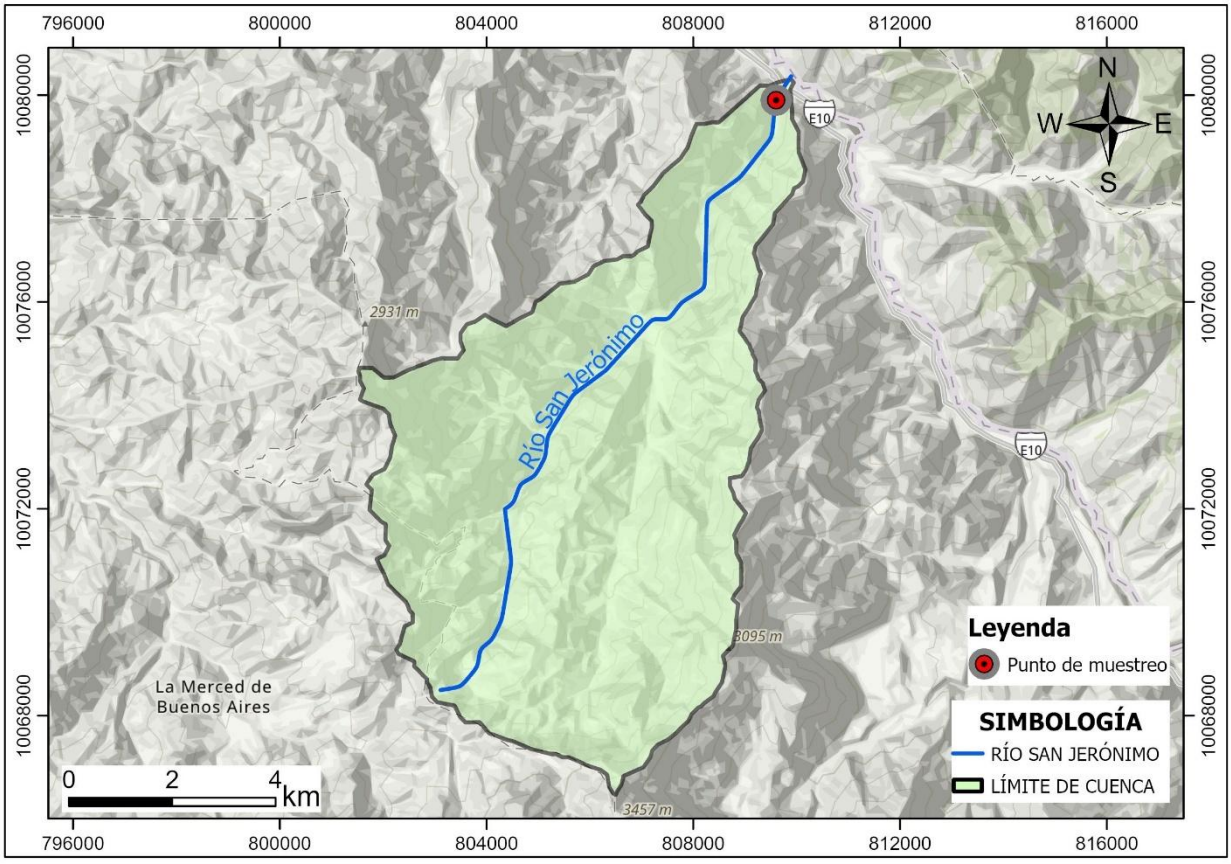
n: número total de observaciones utilizadas en comparación

$\sum\left(SY_{sf} - SY_{rg}\right)$: suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores calculados y observados

3.4.1 Muestreo de agua y análisis en laboratorio

El método de análisis de sedimentos contempló la toma de muestras de agua de la cuenca durante 12 días contemplando el periodo estacional en las coordenadas 809602 E, 10079901 N a una altitud de 1001,26 msnm (Figura 4). Se tomó como prioridad la comparación de las estaciones de estiaje y precipitación, y como cambia el transporte de sedimentos entre una y otra además de la cantidad de lluvia que representa el total del caudal también la concentración de sólidos se expresa en mg/L.

Figura 4. Punto de muestreo de agua



Las muestras se tomaron en campo mediante envases de plástico con volumen de un litro y se analizó la concentración de solidos suspendidos (CSS) (Ecuación 18) con un total de tres repeticiones por cada muestra. Estas se analizan por el método de gravimetría, donde se registró el peso en seco de la CSS a partir de un volumen conocido de agua (Gray et al., 2000). Por cada muestra analizada se realizan tres repeticiones obteniendo un total de 36 submuestras. Para el desarrollo del análisis se empleó filtros compuestos de microfibra de vidrio GF-1 de 0,1 µm de la marca CHM LAB Group.

Ecuación 18

$$CSS = \frac{W_s - W_f}{V}$$

Donde:

W_s: Peso del filtro con sedimentos secos (mg)

W_f: Peso del filtro vacío (mg)

V: Volumen del agua filtrada (L)

Para obtener los sedimentos suspendidos (Ecuación 19) en kg/s se realizó la multiplicación del caudal de la cuenca previamente calculado.

Ecuación 19

$$Sedimentos\ en\ suspensión\left(\frac{kg}{s}\right) = CSS \cdot Qx$$

Donde:

CSS: Concentración de solidos suspendidos (mg/L)

Qx: Caudal de la microcuenca (m^3/s)

El valor obtenido se transformó a ton/año y se realizó la multiplicación del área de estudio para poder obtener el valor en ton/ha/año (Ecuación 20).

Ecuación 20

$$SS = \frac{SS\left(\frac{kg}{s}\right) \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365}{1000}$$

Donde:

SS: Sedimentos en suspensión

3.5 Pérdida del Suelo (cm)

La densidad aparente (Dap) tiene una estrecha relación con la composición mecánica, materia orgánica, fragmentos de roca y estructura del suelo, expresada en masa del suelo por unidad de volumen (Gabriels & Lobo, 2026). Por lo tanto, la densidad aparente es la masa del suelo sin contenido de humedad concentrado en una unidad de volumen y la porosidad existente en dicho volumen (Agostini et al., 2014). Los métodos utilizados para estimar la densidad aparente de un suelo se basan en el tipo de muestra y como se toma, para el presente estudio se usó el método del cilindro el cual consiste en tomar una muestra de suelo con cilindros metálicos de dos pulgadas con una longitud de 5 cm a partir de una zanja cavada en forma cuadrada de 50 x 50 cm a una profundidad de 50 cm (calicata) (Gabriels & Lobo, 2026).

Para obtener las muestras se establecieron tres puntos de toma repartidos en la zona de la cuenca baja y media, posteriormente se obtuvieron un total de 24 cilindros los cuales se llevaron a análisis de laboratorio donde se calcularía la densidad por cada muestra. El procedimiento consistió en colocar las muestras en una estufa a 100 °C por un total de 24 hora, pasado el tiempo se realizó un

pesaje con el volumen en seco. Finalmente aplicando la Ecuación 21 donde se toma la masa del suelo y el volumen del cilindro (Gabriels & Lobo, 2026).

Ecuación 21

$$\rho_a = \frac{M_s}{V}$$

Donde:

ρ_a: Densidad aparente (g/cm^3)

M_s: Masa del suelo seco (g)

V: Volumen del cilindro (cm^3)

Para calcular la cantidad de suelo que se pierde en centímetros se realizó un cambio de unidades al resultado del modelo RUSLE pasando de ton/ha/año a cm realizando la conversión de unidades. Una vez calculado el modelo RUSLE en cm se estimó la densidad aparente para el área de estudio tomando como datos de entrada la densidad nacional y efectuando un corte con la herramienta extract by mask del software ArcGIS Pro para obtener la densidad aparente de la cuenca. Posteriormente se realizó el cálculo de pérdida de suelo mediante la combinación de las capas de erosión y densidad aparente con la herramienta raster calculator, para realizar la simulación se utilizó la fórmula de pérdida (Ecuación 22) de suelo citada en el trabajo de (Casanova et al., 2024).

Figura 5. Conversión del RUSLE ton/ha a g/cm^2

ton	1000 kg	1000 g	1 ha	1 m^2	g
ha	1 ton	1 kg	10000 m^2	10000 cm^2	cm^2

Ecuación 22

$$V_{Suelo} = \frac{RUSLE}{D_{ap}}$$

Donde:

V_{Suelo}: Espesor de suelo perdido (cm)

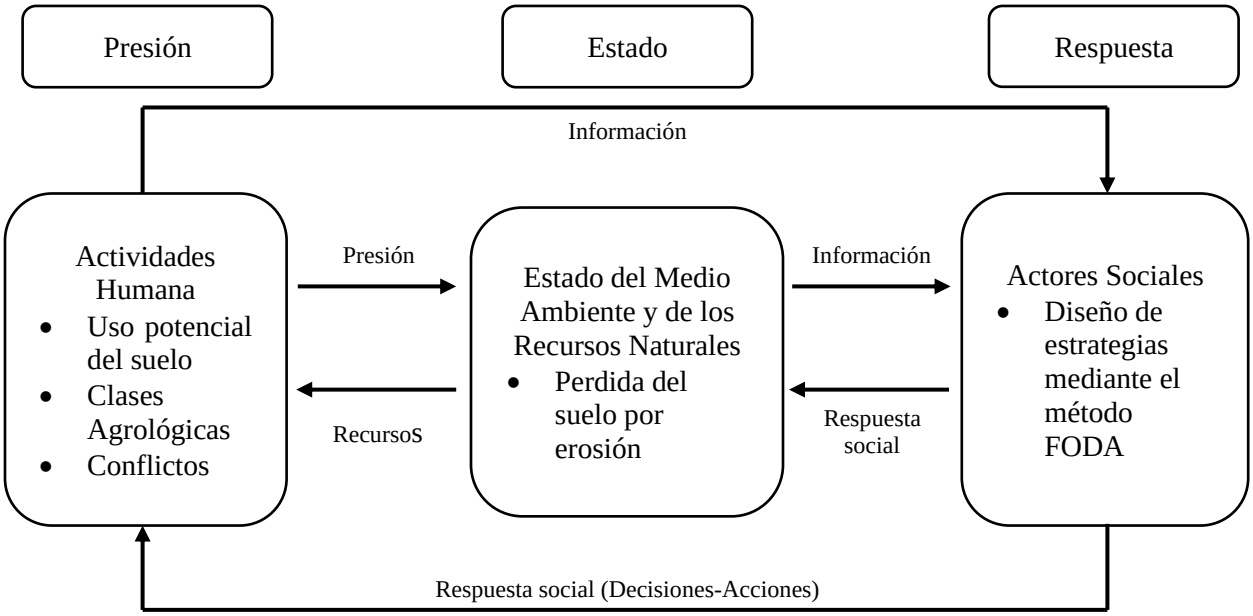
RUSLE: Erosión (g/cm^2)

D_{ap}: Densidad aparente (g/cm^3)

3.6 Estrategias de Manejo de Conservación

Las actividades económicas y humanas que ejercen presión en la cuenca, así como la respuesta de la sociedad con medidas ambientales, económicas y sectoriales son características que forman parte del esquema o modelo Presión – Estado – Respuesta (PER) (Yajaira et al., 2026). Mediante dicho enfoque se evalúa el impacto ambiental causado en una zona específica permitiendo estimar y ajustar según las necesidades que se requiera tomar en cuenta, así se obtiene una mayor precisión y comprensión de la realidad incluyendo las características de cada acción o contextos que surja en la cuenca (Medina & Andrés, 2024). El objetivo del método (Figura 6) es analizar las causas y efecto de los problemas causados al ambiente mediante tres indicadores que son: indicador de presión (actividades humanas), estado (cambios de calidad y cantidad de recursos) y acciones llevadas a cabo (respuesta) (Gonzaga, 2024).

Figura 6. Esquema del método Presión - Estado - Respuesta



Fuente: Adaptado de (Gonzaga, 2024)

3.6.1 Indicador de presión

El indicador de Presión se enfoca en las actividades antrópicas que se desarrollan en el sector, estas ejercen presión directa sobre la cuenca hidrográfica (Gonzaga, 2024). Los factores que permiten identificar las acciones y actividades que producen presión directa son: el uso

potencial del suelo, clases agroecológicas y los conflictos de uso de suelo. Estos se definen como indicadores ambientales los cuales analizan la calidad del entorno en el área de estudio y son los causantes de modificar el suelo de manera que la erosión avance de manera progresiva (Medina & Andrés, 2024).

Para la identificación de los factores determinantes de la presión se descargaron datos de uso potencial del suelo (http://geoportal.agricultura.gob.ec/) a escala 1:25.000 posteriormente empleó la herramienta de corte *Clip* del software ArcGIS Pro obteniendo así el corte del área de estudio. Mediante la clasificación se obtuvo un total de seis categorías correspondientes al uso potencial del suelo correspondientes a uso agrícola, agropecuario mixto, antrópico, conservación y protección, conservación y producción y por último uso pecuario.

La identificación de los factores de clases agrológicas y conflictos se obtuvieron mediante la descarga de los datos del portal http://geoportal.agricultura.gob.ec/ de la misma manera se realizó un corte con el área de estudio obteniendo un total de cinco clases agrológicas repartidas en Clase III limitaciones ligeras, Clase IV limitaciones moderadas, Clases VI limitaciones muy fuertes – aprovechamiento forestal, Clase VII limitaciones muy fuertes y Clase VIII limitaciones severas – conservación. Por otra parte, el corte resultante de conflictos de uso de tierras estimó tres categorías repartidas en conflicto de uso adecuado, sub uso y sobre uso.

3.6.2 Indicador de estado

Muestra el estado de los recursos naturales del área de estudio determinando la calidad y cantidad disponible además de marcar la condición actual de los ecosistemas golpeados por los indicadores de presión (Medina & Andrés, 2024). El factor determinante fue el modelo RUSLE calculado para la cuenca hidrográfica del río San Jerónimo donde dio como resultado un rango de erosión que parte de 0 hasta 83,72 ton/ha/año. El porcentaje de área con pérdida alta de suelo corresponde al 0,35% ubicándose en la zona baja de la cuenca y sectores donde la pendiente es alta (25% al 50%).

3.6.3 Indicador de respuesta

La vulnerabilidad de la erosión en la cuenca del rio San Jerónimo se desarrolló mediante un diagnóstico estratégico el cual se basa en la técnica FODA (Fortaleza, Oportunidad, Debilidad y Amenaza). El método se enfoca en la planificación de estrategias que implica un listado de afirmaciones o factores que describen las tendencias presentes y futuras del entorno interno y externo, estos describen un punto de vista objetivo (Yavuz & Baycan, 2014). El método permitió establecer la interacción entre las actividades antrópicas, estado biofísico del suelo y respuestas ecosistémicas, ayudando de esta manera realizar las estrategias de conservación bajo el criterio de sostenibilidad (Nikulin & Becker, 2015).

El proceso integró los datos resultantes del modelo RUSLE conjuntamente con la zonificación del riesgo de erosión y la capacidad de uso potencial de la cuenca. La unión de todas las variables dio como resultado una matriz de estrategias en las que se cruzan las variables FO, FA, DO y DA, estas variables se comprobaron por medio de la superposición cartográfica de tres ejes críticos los cuales son: aptitud física del suelo, identificación de conflictos y jerarquización de clases agroecológicas.

3.7 Materiales y Equipos

Para el desarrollo del estudio fue necesario emplear materiales, equipos e insumos los cuales facilitaron con la evaluación precisa de la erosión en la zona de estudio empleando la ecuación de RUSLE.

Tabla 8. Materiales, equipos e insumos de la investigación

Materiales	**Equipos**	**Insumos**
Cartografía digital	Navegador GPS	Vestimenta de campo
Base de datos	Balanza	Botas de caucho
Pala y barra	Estufa de secado	Guantes
Imágenes satelitales	Computador	Martillos de goma
Cilindros metálicos	Cámara fotográfica	Etiquetas
Botellas para muestras de agua	Vehículo	Libreta de campo
Software ArcGIS Pro	Flexómetro	Insumos de laboratorio

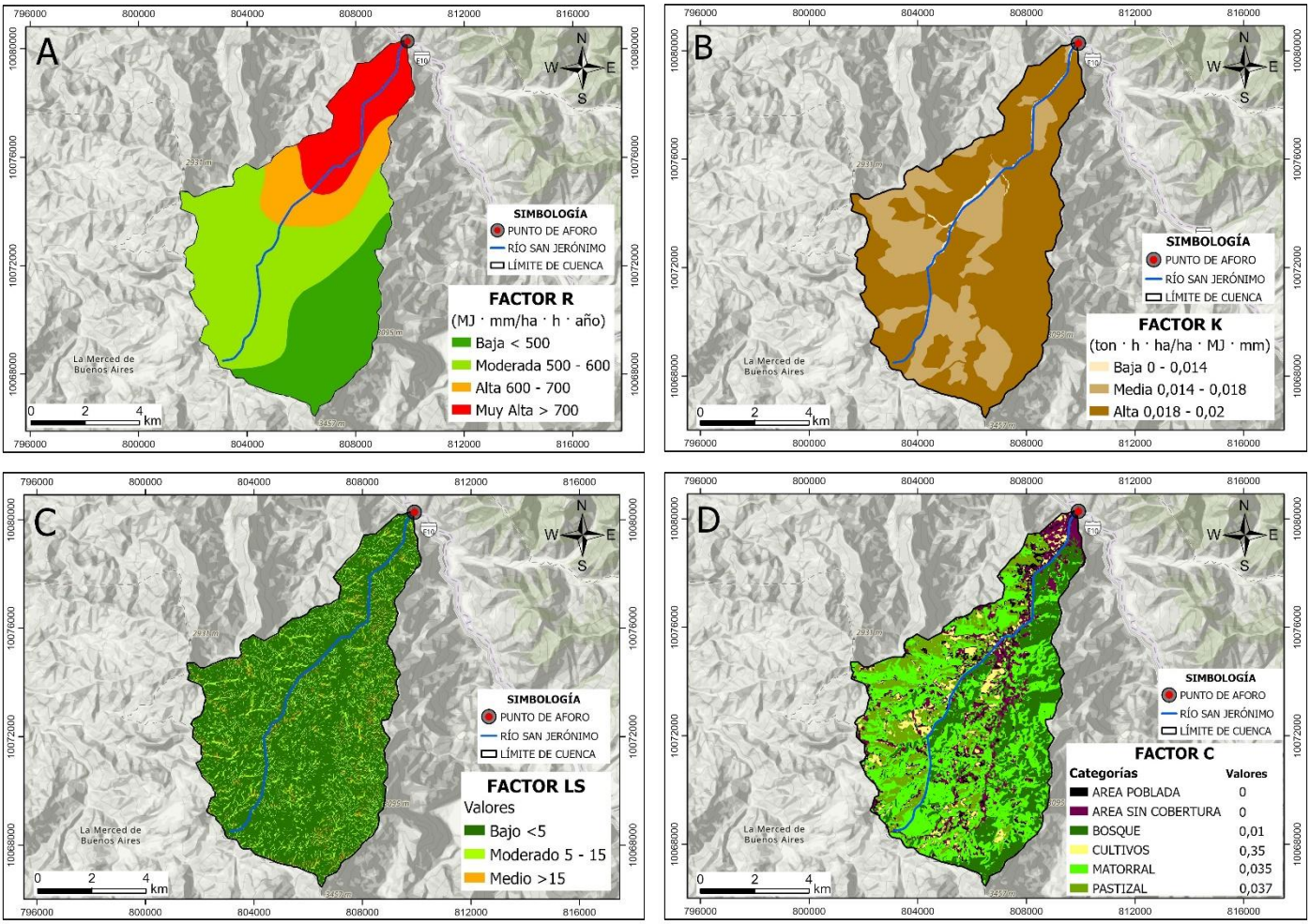
CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Determinación de la Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica

La Figura 7 muestra la distribución espacial de los factores RUSLE correspondientes a la cuenca hidrográfica del del río San Jerónimo. La Figura 7A muestra los niveles resultantes del factor R donde representa la unidad hidrológica expresada en cuatro niveles que parten de baja hasta llegar a alta. Las zonas que presentan valores menores a 500 MJ·mm/ha·h·año corresponden a una erosividad baja indicando una precipitación de menor intensidad. Por otra parte, los valores que superan los 700 MJ·mm/ha·h·año representan las áreas donde la precipitación tiene una mayor erosión la que provoca una mayor pérdida de suelo causada por la erosión hídrica dentro del área de estudio.

Figura 7. Factores del modelo RUSLE



El factor K (Erodabilidad del suelo) (Figura 7B) demuestra la susceptibilidad de las partículas de suelo a la separación y transporte durante las lluvias y la escorrentía asociado al tipo de textura de suelo (Kaliraj et al., 2025). La cuenca presenta cinco categorías de suelo diferentes presentando un valor K distinto dependiendo de la textura, concentración de la materia orgánica y la permeabilidad (Kaliraj et al., 2025). Los valores del factor K indican una Erodabilidad decreciente esto causado por la consistencia y composición del suelo, los valores estimados fueron de 0 a 0,02 ton·h·ha/ha·MJ·mm donde se observa que el suelo franco predomina en la cuenca con el 48,42 % indicando un nivel alto de erosión. Sin embargo, también se observa que el suelo de textura franco arcillosa se encuentra considerado en valores altos mientras que el suelo de textura franco arenosa cubre un 2,91 % y representa un nivel bajo de erosión. El suelo franco-arcillo arenoso cubre un 27,26 % de la microcuenca y se encuentra considerado como erosión media debido a su adhesión por parte de la arcilla (Kaliraj et al., 2025).

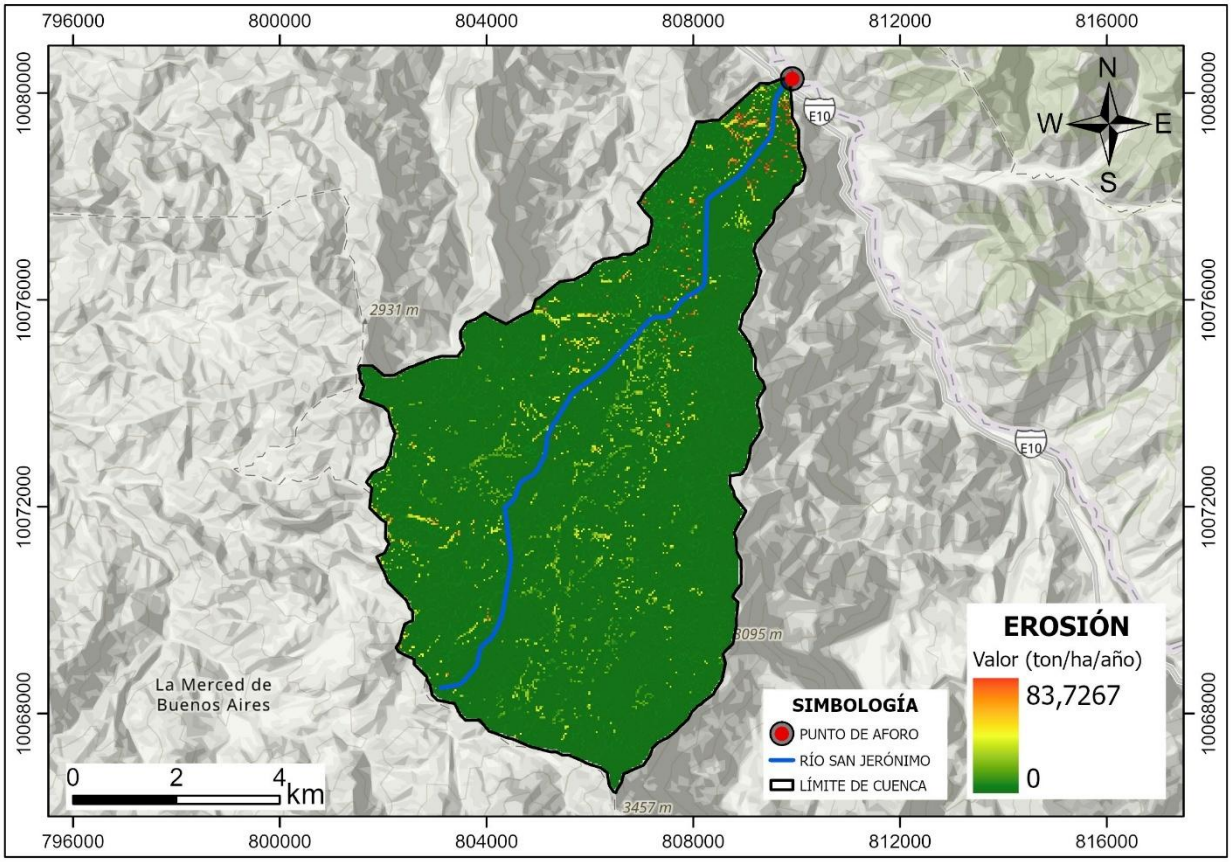
El factor de longitud y pendiente (LS) es el parámetro que valora la inclinación de la pendiente donde si la pendiente es pronunciada, esta aumenta el nivel de erosión (Kaliraj et al., 2025). Sin embargo, la longitud de la pendiente tiene un mayor impacto en la erosión del suelo (Abdelsamie et al., 2023). De esta manera la pendiente en el área de estudio varía entre 0 y 15,25 grados, los valores más bajos se encuentran en la parte con menor inclinación donde se presenta una baja erodabilidad y una mayor concentración de sedimentos mientras que los valores mayores a 15 demuestran que las pendientes son más pronunciadas afectando la vulnerabilidad del suelo por consiguiente aumentando la pérdida de la materia orgánica y favoreciendo el desprendimiento de las partículas por efectos de la lluvia (Figura 7C).

El factor de Cobertura expresado en el (Figura 7D) indica la forma como se encuentra distribuida la vegetación, así como el comportamiento del suelo frente a la intensidad de la lluvia y las actividades antrópicas (Jaramillo, 2021). Los valores indican que las áreas urbanas y las zonas sin cobertura tienen como indicador 0 ya que no afectan de manera significativa al proceso de erosión por otra parte los cultivos destruyen la cobertura vegetal nativa y deja el suelo desnudo aumentado la erosión finalmente la cobertura vegetal como matorral, bosque y pastizales cubren al suelo y actúan como una barrera protectora natural estabilizando el sustrato y evitando de ocurra desprendimiento de partículas de suelo.

Noni (1986) menciona que el Ecuador ha sido y continúa siendo afectado por numerosos procesos erosivos; en la actualidad, al menos el 50% del territorio se encuentra afectado por este problema. Aún más la erosión sigue avanzando en prejuicio del país y sobre todo de las futuras generaciones. En algunas zonas de la Sierra, una vez que el suelo arable ha desaparecido, la tierra es abandonada por los campesinos y el efecto erosivo continua sobre el subsuelo. (p. 6)

Por otra parte, la Sierra del Ecuador tiene orografía irregular con vientos fuertes y lluvias torrenciales, además las malas prácticas agrícolas acompañadas de deforestación son las causantes de eliminar la capa vegetal acelerando los procesos de erosión (Haro et al., 2024). Para el estudio de la cuenca del río San Jerónimo el resultado final de la ecuación de RUSLE estima un valor promedio de 1,63 ton/ha/año en lo que respecta de erosión hídrica, fluctuando entre 0 y 83,72 ton/ha/año y reflejando que la erosión es baja en la cuenca registrando únicamente valores críticos en zonas donde no existe cobertura vegetal (Figura 8).

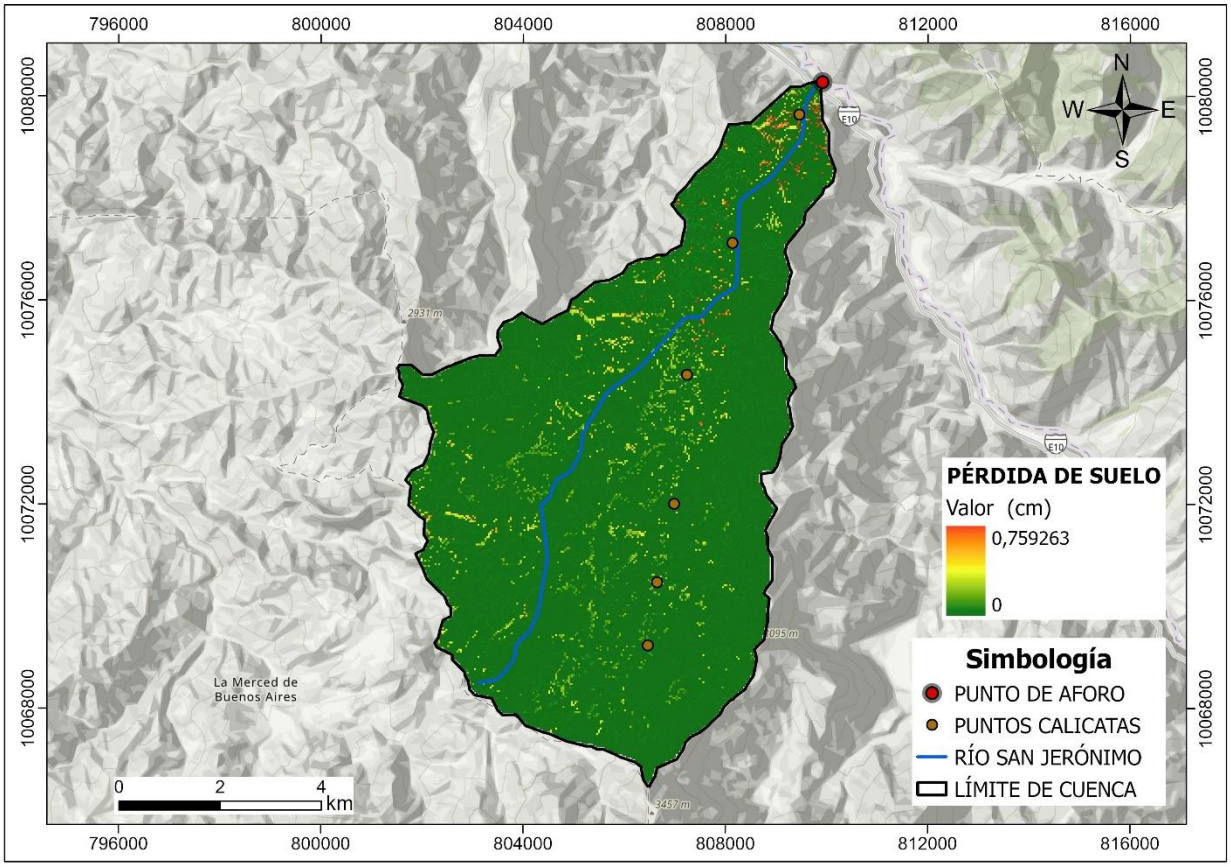
Figura 8. Erosión hídrica de la cuenca del río San Jerónimo



4.1.1 Estimación de la pérdida de suelo en la cuenca del río San Jerónimo

El cálculo de la pérdida del suelo se realizó mediante la relación entre el modelo RUSLE y la densidad aparente previamente calculada. La densidad aparente identifica la estimación de sedimentos a partir de la masa seca de las partículas en el volumen total de la muestra de suelo (Casanova et al., 2024). Para la cuenca del río San Jerónimo se identifica que la pérdida del suelo tiene un desprendimiento de partículas de sedimentos en las zonas donde la erosión es media y alta correspondientes al 0,69% y 0,35% respectivamente. Por otra parte, el rango de la pérdida se establece desde 0 hasta 0,75 centímetros de suelo en las partes con pendientes altas (Figura 9).

Figura 9. Pérdida de suelo de la cuenca del río San Jerónimo



4.1.2 Calibración del modelo RUSLE

Para la calibración del modelo aplicado al área de estudio se calculó una relación de entrega de sedimentos (SDR) de 0,21 que representa el 21% de sedimentos que son transportados por el flujo del río hasta el punto de aforo. Tomando en cuenta el resultado, la modelación estimó una

producción de sedimentos (SY) de 0,35 ton/ha/año. El caudal de la cuenca fue calculado mediante el método de transferencia de caudal tomando en cuenta la media de precipitación de diferentes años para lo cual se estimó el caudal de 2,33 m^3/s además de usar la cuenca del río Mira como cuenca contenedora. Con los resultados arrojados se contrastó con la carga de sedimentos obtenida en campo, resultante del cálculo de concentración de solidos suspendidos y el caudal instantáneo.

El indicador estadístico PBIAS revelo un valor de -6,69% (Anexo 17) lo que indica un desempeño muy bueno de acuerdo con la clasificación de (Moriasi et al., 2015). El signo negativo del indicador revela que le modelo tiende a sobreestimar ligeramente la producción de sedimentos con respecto a los valores observados. Sin embargo, el rango de la diferencia es bajo representando una desviación promedio de 6,69% por lo cual representa un modelo adecuado. Por otra parte, el Error Cuadrático Medio (Ecuación 17) fue de 0,28 lo que demuestra una diferencia baja entre los valores observados y simulados, en conjunto con los dos indicadores se demuestra que el modelo es adecuado y representa la erosión de la cuenca de una manera confiable (Tabla 9).

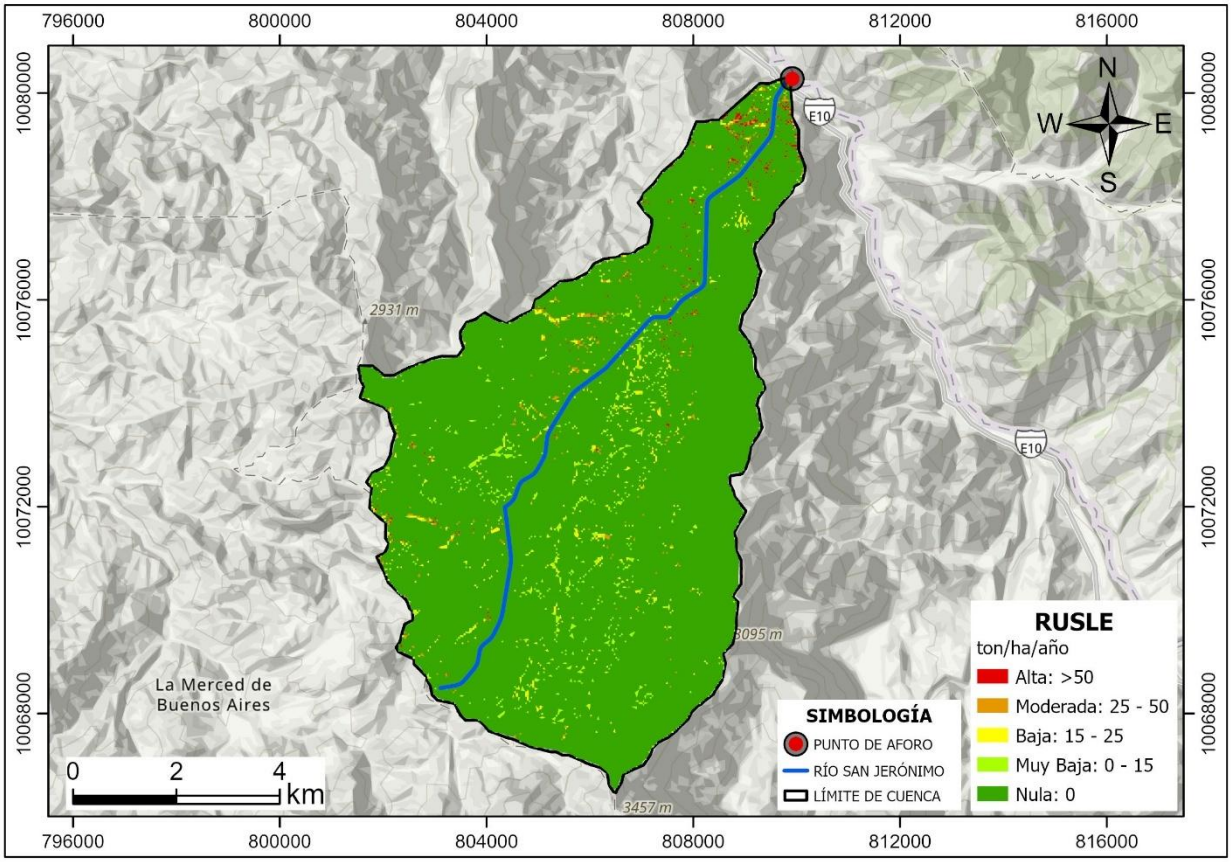
Tabla 9. Sedimentos en suspensión (ton/ha/año) y RMSE

N° de Muestra	**SY_{ob}**	**SY_{sim}**	**$SY_{ob} - SY_{sim}$**	**$(SY_{ob} - SY_{sim})^2$**
1	0,41	0,35	0,06	0,004
2	1,08	0,35	0,73	0,54
3	0,22	0,35	-0,12	0,01
4	0,23	0,35	-0,11	0,01
5	0,09	0,35	-0,26	0,06
6	0,09	0,35	-0,26	0,06
7	0,15	0,35	-0,19	0,03
8	0,06	0,35	-0,29	0,08
9	0,09	0,35	-0,26	0,06
10	0,38	0,35	0,03	0,001
11	0,48	0,35	0,13	0,01
12	0,07	0,35	-0,27	0,07
			$\Sigma(SY_{ob} - SY_{sim})^2$	0,99
			RMSE	0,28

4.2 Zonificación del Riesgo por Erosión Hídrica

En la cuenca del río San Jerónimo (Figura 10) se observa que el 96,31% y 1,43% no presenta erosión o es muy baja debido a las condiciones de cobertura que presenta la cuenca, esto hace que el suelo mantenga una protección adecuada y natural, por otra parte, las zonas con erosión baja y media cubren el 1,19% y 0,69% de la cuenca concentrándose más en los sectores de laderas y zonas donde se dónde se mira una mayor intervención antrópica las cuales aumentan el riesgo de erosión. Sin embargo, las zonas de erosión alta únicamente representan el 0,35% del total localizándose en áreas donde la capa vegetal es despreciable causada por factores antrópicos. El modelo RUSLE refleja que la cuenca en general presenta un estado de conservación alto sin embargo algunas zonas presentan desgaste de suelo, para manejar la erosión en dichos sectores se implementara prácticas de manejo y conservación en las áreas críticas con el objetivo de reducir la pérdida de sedimentos.

Figura 10. Riesgo de erosión hídrica en la cuenca del río San Jerónimo



4.3 Discusión

El factor de erosividad de la lluvia condiciona la distribución espacio temporal de las precipitaciones, para el caso de la cuenca del río San Jerónimo su valor empieza desde los 457,81 MJ·mm/ha·h·año hasta 845,32 MJ·mm/ha·h·año lo que demuestra una alta erosividad por de la lluvia en la parte baja de la cuenca disminuyendo de manera progresiva hasta la parte alta de la misma. De la misma manera en la cuenca del río Mira se registra un valor de erosividad entre 208,90 MJ·mm/ha·h·año y 1954,9 MJ·mm/ha·h·año el cual demuestra que las fuertes precipitaciones y erosión potencial alta por parte de la lluvia es mayor en la cuenca baja y disminuye a medida que aumenta la altitud (Arias et al., 2023). Dado que la erosividad depende directamente de la lluvia, el estudio realizado por Casanova et al. (2024) menciona que las cuencas con mayor precipitación anual promedio registran también los valores más altos de erosividad en los que registran 1395 MJ·mm/ha·h·año para la cuenca Chone seguido de la cuenca Coaque con 1307 MJ·mm/ha·h·año.

La distribución de la erosión en el área de estudio evidencia una estrecha relación con la cobertura vegetal y manejo de suelo de esta manera las áreas con vegetación natural presentaron una menor tasa de pérdida de suelo, mientras que lugares con cobertura agrícola y escasa cobertura tienen niveles más elevados de erosión. Estos resultados son consistentes con los de Arias-Muño et al. (2023), quienes observaron que los bosques y páramos tienen una pérdida más baja de suelo en comparación con las áreas de cultivo. De manera similar Andrade et al., (2025) indica que los cambios de uso de suelo incrementan significativamente el riesgo de erosión hídrica, lo que demuestra que la conservación de la cobertura vegetal es indispensable para disminuir el impacto de erosión.

El cálculo del factor K demostró valores de 0 a 0,02 ton·ha·h/ha·MJ·mm asociados a la textura del suelo presente en la cuenca e indica que el suelo franco predomina el área de estudio con el 48,2%, lo que indica un riesgo moderado de erosión debido al equilibrio que existe entre arena, limo y arcilla. Estos resultados coinciden con los estudios realizados por Kaliraj et al. (2025), donde demuestran que la textura del suelo tiene una lata importancia sobre el impacto de las gotas de lluvia y la escorrentía. En consecuencia, se observa una baja pérdida de suelo en la cuenca del río San Jerónimo debido a la predominancia de textura que favorece la estabilidad del suelo y disminuye el riego de erosión.

Así mismo, la influencia de los factores R y K evidencia que la intensidad de precipitaciones y las características físicas del suelo establecen el riesgo de erosión, tal como indica Casanova et al. (2024) y Andrade et al. (2025) en estudios realizados en Ecuador. En conjunto, estos resultados indican que la erosión en la cuenca del río San Jerónimo está condicionada por la acción combinada de los factores naturales y antrópicos, estableciendo la necesidad de incluir prácticas de manejo y conservación para el suelo y cobertura vegetal. De igual manera, Kaliraj et al. (2025) determinó que el factor LS es uno de los principales elementos de la erosión en cuencas de relieve montañoso, al incrementar la energía cinética generada por la lluvia.

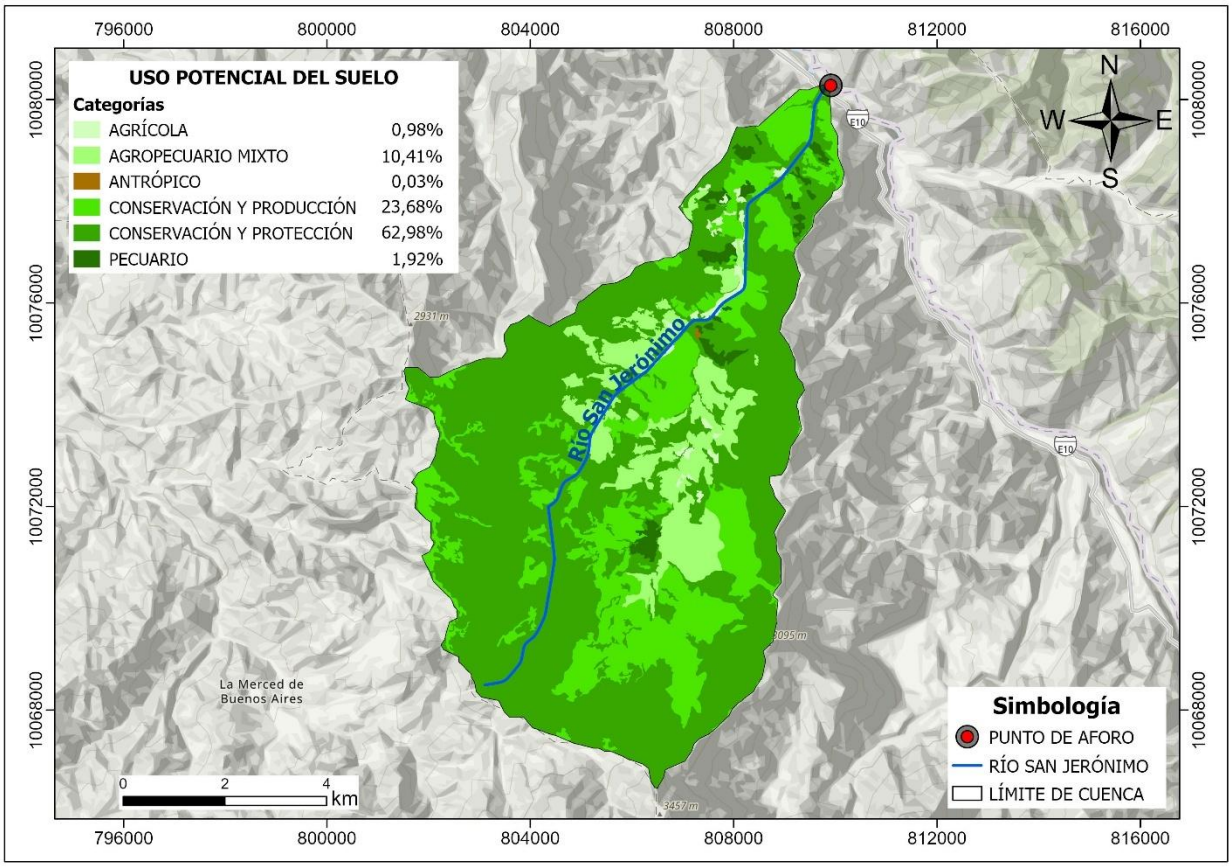
Por último, la aplicación del modelo RUSLE para la cuenca del río San Jerónimo estimó la pérdida promedio de suelo en 1,63 ton/ha/año, partiendo de 0 hasta llegar a 83,72 ton/ha/año. Dichos resultados demuestran que la cuenca presenta un bajo nivel de erosión, debido a la presencia de cobertura vegetal que protege la superficie y disminuye el impacto de la caída de lluvia sobre el suelo. En comparación con (Arias et al., 2023) estimó una erosión promedio de 32,79 ton/ha/año para la cuenca del río Mira, este valor es alto en comparación con el área del presente estudio y se puede atribuir a las condiciones topográficas extremas, así como una mayor presencia de áreas dedicadas al cultivo. Asimismo, los resultados obtenidos en las cuencas hidrográficas de la provincia de Manabí registraron valores máximos de erosión superiores a 190 ton/ha/años incluso mayores a 3000 ton/ha/año en algunas zonas (Casanova et al., 2024).

4.4 Prácticas de Conservación del Suelo para Mitigar Áreas Vulnerables a la Erosión Hídrica

La estrategia para mitigar las áreas vulnerables afectadas por la erosión se enfoca en propuestas estratégicas articuladas en un enfoque de gestión de los paisajes degradados, iniciando del diagnóstico obtenido del modelo RUSLE para la cuenca del río San Jerónimo. El objetivo principal se enfoca en intervenir en el problema de uso de suelo y reducir de esta manera la pérdida por erosión en las áreas con vulnerabilidad alta. Se identificaron las directrices estratégicas que se empleará en el área de estudio (6477,78 ha), añadiendo características de sostenibilidad edáfica y resiliencia hidrológica.

El uso potencial de suelos (Figura 11) para la cuenca del río San Jerónimo representa la capacidad de aprovechamiento de las tierras priorizando su conservación de esta manera se observa un territorio que cubre un 62,98% y un 23,68% para las categorías de conservación y protección. La mayor cantidad de territorio demuestra que existe un 86,66% de espacios que aún conserva su capacidad ecológica por lo que garantiza la sostenibilidad del entorno y sus recursos. Por otra parte, las áreas destinadas a uso agropecuario cubren el 10,41% localizándose en las partes cercanas a la ribera del río donde existen espacios destinados a la producción agrícola debido a su baja pendiente. Por ultimo las categorías agrícolas y pecuario únicamente cubren el 0,98% y 1,92% respectivamente, esto demuestra que los sectores productivos se ubican cerca al rio debido a la disponibilidad de agua. Todos los valores demuestran que la cuenca refleja una alta vocación de conservación lo que prioriza la creación de estrategias de conservación y sostenibilidad para proteger los recursos naturales en el área de estudio.

Figura 11. Uso potencial del suelo de la cuenca del río San Jerónimo



Las estrategias propuestas como medida de conservación se enfocan en la capacidad de preservar la potencialidad edafológica de la cuenca, estableciendo estrategias que protejan el 87, 13% de los suelos Clase VIII (Figura 12), estos conforman en su mayoría cobertura vegetal nativa la cual influye en los procesos de erosión permitiendo que esta tenga una baja concentración se sedimentos originados por las precipitaciones y la escorrentía. Por otra parte, el área representada de color rojo cubre un territorio de 2333,54 ha lo que representa un 36,02% de la cuenca y demuestra un conflicto por el sobre uso (Figura 13) causado por el sector agropecuario, mediante el modelo RUSLE se previene pérdidas superiores a 50 ton/ha/año en los sectores críticos permitiendo establecer un manejo más adecuado de los suelos con riesgo de erosión alta.

Figura 12. Clases agrológicas de la cuenca del río San Jerónimo

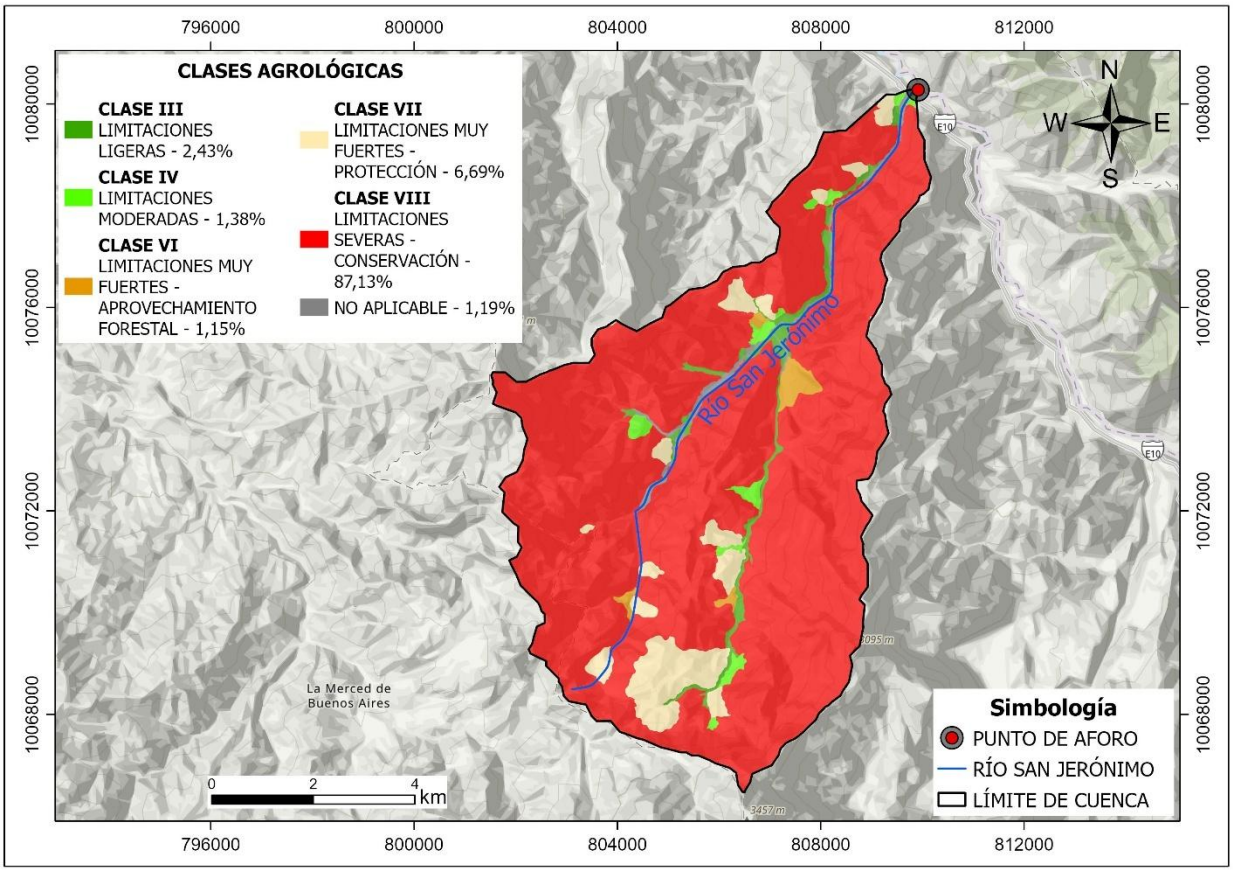
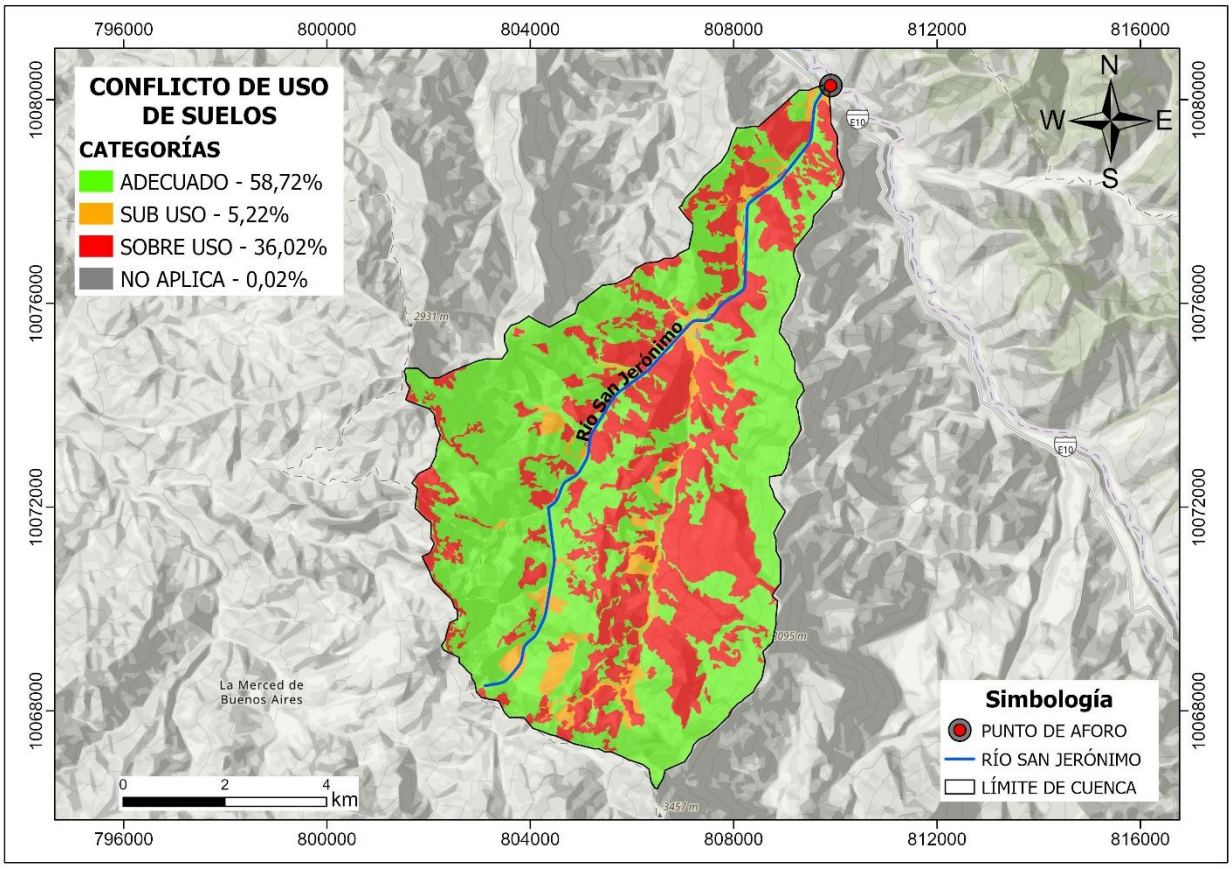


Figura 13. Conflictos de uso de suelo de la cuenca del río San Jerónimo



4.4.1 Análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas

Para reforzar la gestión y planificación del medio ambiente en la cuenca del río San Jerónimo, se implementó un análisis estratégico mediante el método FODA, orientado a observar y diagnosticar los elementos internos y externos que intervienen en la conservación de los recursos naturales y el control de los efectos erosivos. Este enfoque brinda un mejor reconocimiento de las fortalezas y oportunidades vinculadas a las condiciones biofísicas y al potencial de implementación de prácticas de manejo sostenible, así como las deficiencias y peligros que restringen la efectividad de las acciones de conservación. La integración de los resultados obtenidos mediante el modelo RUSLE facilitó la priorización de áreas críticas susceptibles a la erosión hídrica. De esta manera el análisis FODA estrategias de conservación adaptadas a las conservaciones de la cuenca y el fortalecimiento de la sostenibilidad ambiental del área de estudio.

Tabla 10. Matriz FODA de la cuenca del río San Jerónimo

Fortalezas	**Oportunidades**
F1: Predominio de la cobertura natural (Bosque y Matorral) que reduce la acción directa de la lluvia sobre el suelo.	**O1:** Las zonas de cobertura vegetal consolidad podrían convertirse en áreas de protección para expandir los corredores de conservación.
F2: El suelo de textura franco predomina en un 48% de la cuenca proporcionando condiciones que favorecen la contextura del suelo.	**O2:** Las zonas de conflicto de uso moderado podrían convertirse en actividades compatibles con la capacidad de uso agrícola.
F3: La Clase VIII se encuentra cubriendo el 87,13% de la cuenca favoreciendo la conservación del ecosistema, control hídrico y la conservación del suelo.	**O3:** La Clase VIII domina la gran parte de la cuenca esto permite implementar programas de conservación, restauración y protección del agua en todo el territorio.
F4: La reducida superficie de las clases agrícolas (III y IV) limita la expansión de actividades intensivas y disminuye la presión sobre los ecosistemas frágiles	**O4:** Los sectores Clase III y IV podrían destinarse a métodos de producción sostenible que se relacionen con la capacidad de uso del suelo.
Debilidades	**Amenazas**
D1: Algunas texturas de suelo son susceptibles al desprendimiento de partículas causado por la erosión.	**A1:** La invasión por sectores agrícolas a las Clases VII y VIII aumentan la susceptibilidad a sufrir erosión hídrica
D2: existencia de sectores con conflictos de uso donde las actividades antrópicas son mayores a la capacidad de uso del terreno.	**A2:** La pérdida de cobertura vegetal en áreas de Clase VIII incrementa el riesgo de erosión y afecta la estabilidad ecológica además de la regulación hídrica
D3: La disponibilidad de tierras aptas para agricultura es limitada, ya que las Clases III y IV representan apenas el 3,81% del territorio.	**A3:** La continuidad de las actividades agrícolas en terrenos de Clase IV podría incrementar la erosión hídrica y acelerar la pérdida de fertilidad del suelo.

D4: Las áreas con erosión moderada y alta se encuentran asociadas a sectores donde existen conflictos de uso y menor protección vegetal.	**A4:** La ocupación de tierras perteneciente a la Clase VII y VIII favorecen la degradación estructural del suelo y la pérdida de cobertura vegetal protectora.

4.4.2 Diseño de estrategias

El análisis integrado de la erosión conjuntamente con los conflictos de uso del suelo y las clases agrológicas de la cuenca del río San Jerónimo evidenció que determinadas actividades se desarrollan en las zonas cuya capacidad de uso presentan restricciones significativas. Los resultados obtenidos mediante la ecuación de RUSLE permitieron identificar sectores con mayor susceptibilidad erosiva. Con base en el diagnóstico territorial, se formularon estrategias de conservación orientada a la protección, recuperación y manejo sostenible de los recursos naturales. Esta acción es desarrollada mediante la matriz FODA, herramienta que ayudó a la integración de los factores biofísicos y de uso del suelo para la planificación de medidas de conservación adaptadas a las condiciones de la cuenca.

Tabla 11. Matriz de estrategias FA, FO, DO, DA derivadas del análisis FODA de la cuenca del río San Jerónimo

Tipo	Combinación	Estrategia derivada
FO	**F3 + O3**	Potenciar el 87,13% del territorio correspondiente a la Clase VIII mediante programas de conservación, restauración ecológica y protección de fuentes hídricas, consolidando una red de áreas de conservación que garantice la estabilidad ambiental del área de estudio.
FO	**F2 + O4**	Utilizar de mejor manera el 48% aproximado de textura franca encontrados en las tierras de Clase III y IV (3,81%), incentivando sistemas productivos sostenibles que aumentan la productividad sin involucrar la capacidad de uso ni la firmeza estructural del suelo.
FA	**F1 + A2**	Reforzar la cobertura natural (bosque y matorral) prevaleciente en la cuenca para proteger el 87,13% de las tierras Clase VIII implicadas en la remoción de la capa vegetal, bajando de esta manera la erosión

		hídrica.
FA	**F3 + A1**	Destinar el 87,13% del territorio con vocación de conservación a esquemas de manejo y protección que limiten la expansión agrícola hacia tierras Clase VII y VIII, con lo que disminuye el riesgo de erosión.
DO	**D2 + O2**	Reconvertir los sectores con conflictos de uso hacia actividades acordes con la capacidad agrológica del terreno, dando prioridad a la recuperación de las áreas de conservación de la cuenca y reduciendo la presión sobre las tierras agrícolas disponibles.
DO	**D3 + O4**	Aumentar la eficiencia del 3,81% de las tierras aptas para agricultura (Clase III y IV) mediante tecnologías de producción sostenible, manejo integrado de suelos y prácticas de conservación que limiten el avance de la frontera agrícola.
DA	**D1 + A1**	Implementar prácticas de conservación de suelos en los sectores de susceptibilidad moderada y alta a la erosión, dando prioridad al manejo del 48% de suelos francos para mantener su estabilidad y evitar el desgaste por el avance de las actividades agrícolas.
DA	**D4 + A4**	Restringir la ocupación de tierras Clase VII y VIII mediante instrumentos de ordenamiento territorial, priorizando la protección del 87,13% del territorio con vocación de conservación y ejecutando acciones de restauración en las zonas de erosión moderada y alta.

Nota: las combinaciones F, D, O y A corresponde a las Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas identificadas en la matriz FODA de la cuenca del río San Jerónimo

4.4.2.1 Estrategia 1: Conservación y restauración de áreas de protección

Ubicación

Áreas con cobertura de bosque y matorral, principalmente en zonas altas y de mayor pendiente

Justificación

Las tierras de conservación cubren la mayor parte de la superficie del terreno, por otra parte, existe expansión de actividades agrícolas por lo que constituye una amenaza para la estabilidad ambiental de la cuenca. Es por eso que resulta prioritario fortalecer la conservación de la cobertura vegetal y promover acciones de restauración ecológica que reduzca la susceptibilidad a la erosión.

Objetivo

Conservar y recuperar las áreas de protección de la cuenca del río San Jerónimo mediante acciones de restauración y manejo sostenible de la cobertura vegetal.

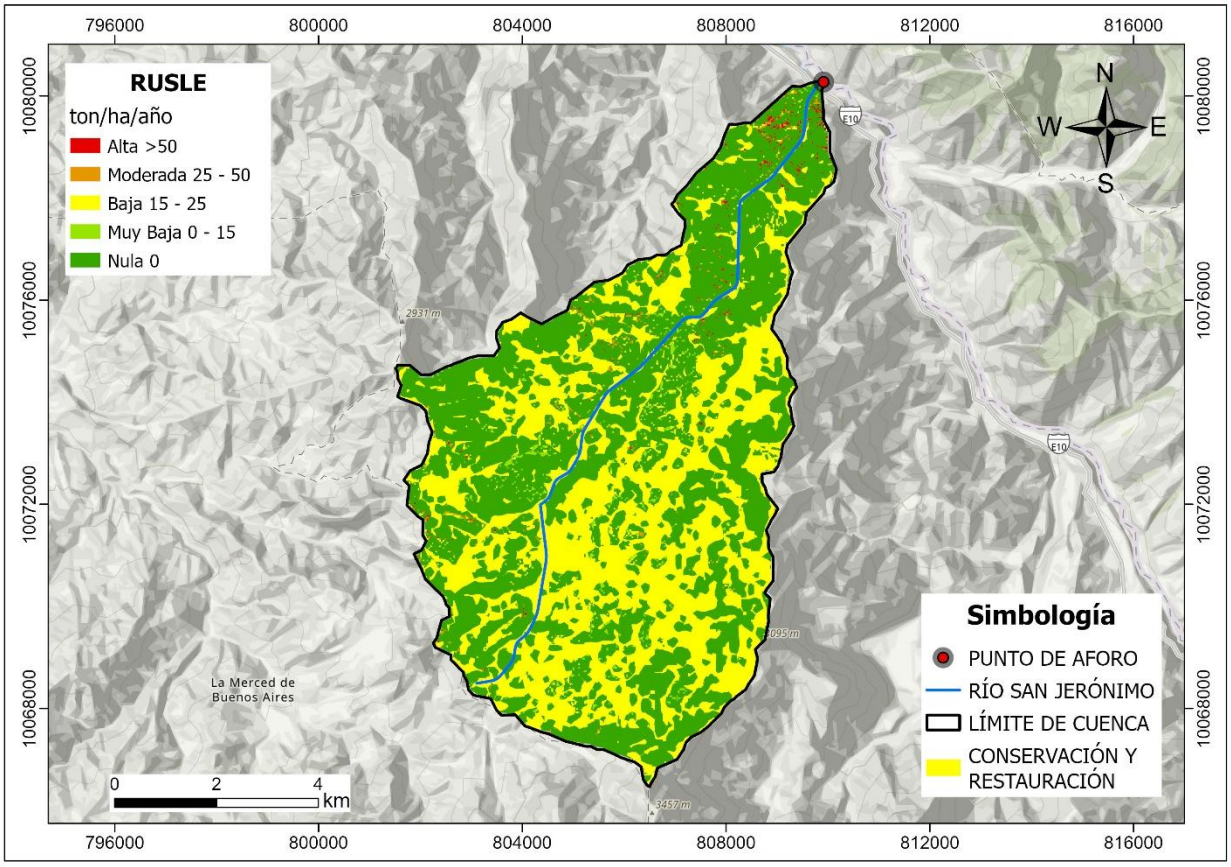
Meta

Restaurar y conservar al menos el 15% de las áreas identificadas con degradación dentro de las tierras de conservación durante un periodo de cinco años.

Tabla 12. Matriz operativa estrategia 1

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Delimitación y señalización de áreas prioritarias de conservación.	Áreas delimitadas y protegidas.	Informes técnicos, mapas y registros fotográficos.	Áreas de conservación y protección.	Técnicos ambientales y GAD Parroquial
Restauración con especies nativas en áreas degradadas.	Sectores restaurados.	Inventarios forestales y monitoreo de campo.	Sectores con erosión moderada y alta.	GAD Provincial y Comunidades locales
Protección de fuentes y franjas ribereñas.	Número de fuentes hídricas protegidas.	Informes de inspección y fotografías georreferenciadas.	Parte alta y media de la cuenca.	Juntas de agua y GAD Parroquial
Programas de educación ambiental.	Número de participantes capacitados.	Listado de asistencia y memorias de talleres.	Comunidades de la cuenca.	Universidades, GAD Parroquial y Municipio de Ibarra.

Figura 14. Ubicación de la estrategia 1



4.4.2.2 Estrategia 2: Producción sostenible en tierras con aptitud agrícola

Ubicación

Sectores con uso agrícola consolidado

Justificación

Las Clases III y IV representan la mayor aptitud agrícola, sin embargo, su área es limitada. Por esta razón, resulta necesario su aprovechamiento mediante prácticas productivas sostenibles que permitan incrementar el rendimiento sin expandir la frontera agrícola hacia terrenos con vocación de conservación.

Objetivo

Fortalecer la productividad agrícola mediante la implementación de prácticas de manejo sostenible compatibles con la capacidad agrologica del suelo.

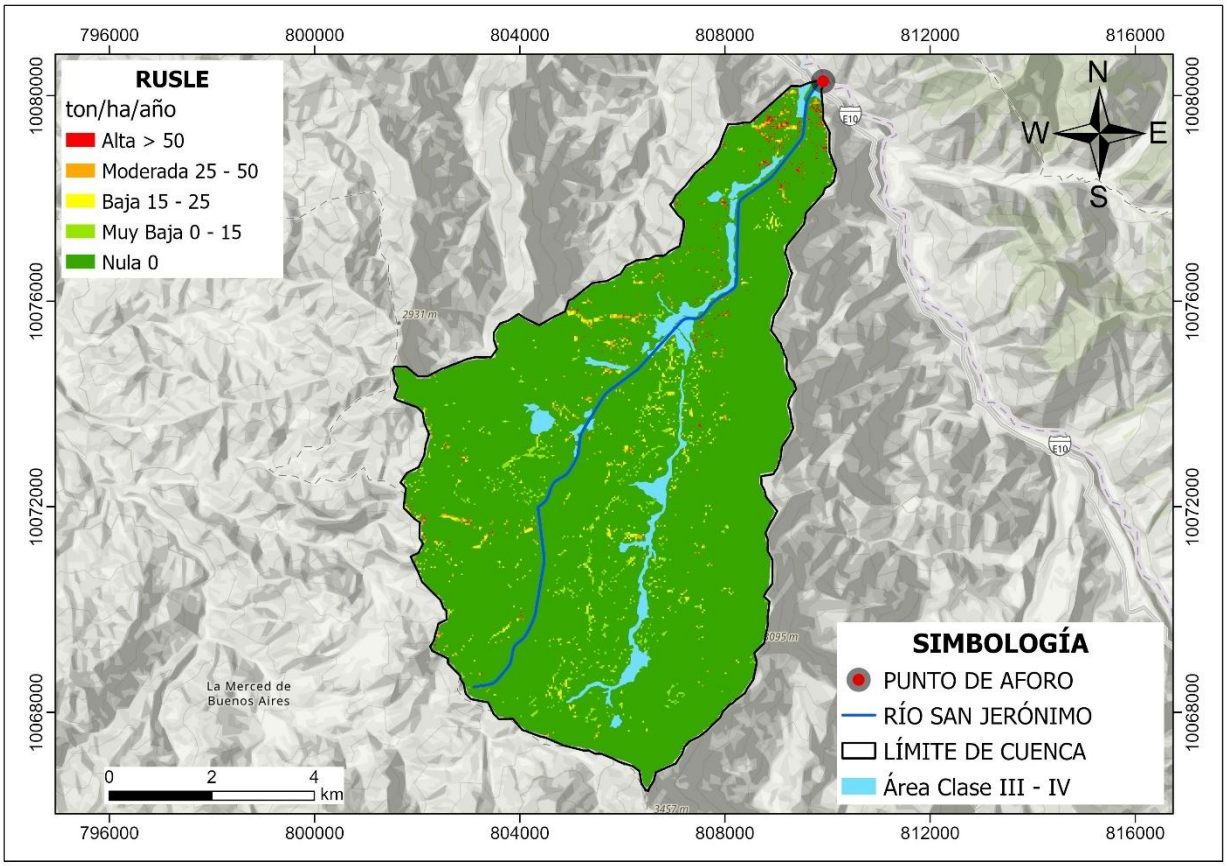
Meta

Implementar sistemas de producción sostenible en al menos el 60% de las áreas agrícolas ubicadas en las clases III y IV en un plazo de tres años.

Tabla 13. Matriz operativa estrategia 2

Actividades	**Indicadores**	**Medios de verificación**	**Alcance**	**Responsables**
Implementación de sistemas agroecológicos en tierras Clase III y IV.	Superficie bajo manejo sostenible	Registros productivos y visitas técnicas.	Áreas agrícolas de la cuenca.	Técnicos ambientales y Productores.
Capacitación en conservación de suelos y fertilización orgánica.	Numero de agricultores capacitados	Certificados y listas de asistencias.	Comunidades agrícolas de la cuenca.	GAD Provincial y Universidades.
Incorporación de cobertura vegetal y cultivos asociados.	Porcentaje de cobertura implementada.	Evaluación de campo y registro fotográfico.	Parcelas demostrativas.	Productores agrícolas.
Monitoreo de productividad y calidad del suelo.	Variación del rendimiento agrícola y materia orgánica.	Análisis de laboratorio y registro de cosecha.	Áreas Clase III y IV.	Universidades y productores.

Figura 15. Ubicación de la estrategia 2



4.4.2.3 Estrategia 3: Reconversión de áreas con conflicto de sobreuso

Ubicación

Sectores con sobreutilización de terrenos correspondientes a las Clases VI y VII.

Justificación

Las actividades productivas se desarrollan sobre terrenos con limitaciones severas, generando procesos de degradación y pérdida progresiva de la capacidad productiva. La reconversión de estos espacios hacia usos compatibles con la aptitud del suelo permitirá disminuir la presión sobre los ecosistemas frágiles y reducir los riesgos de erosión hídrica.

Objetivo

Reducir los conflictos de uso de suelo mediante la adecuación de las actividades antrópicas a la capacidad agrologica del territorio.

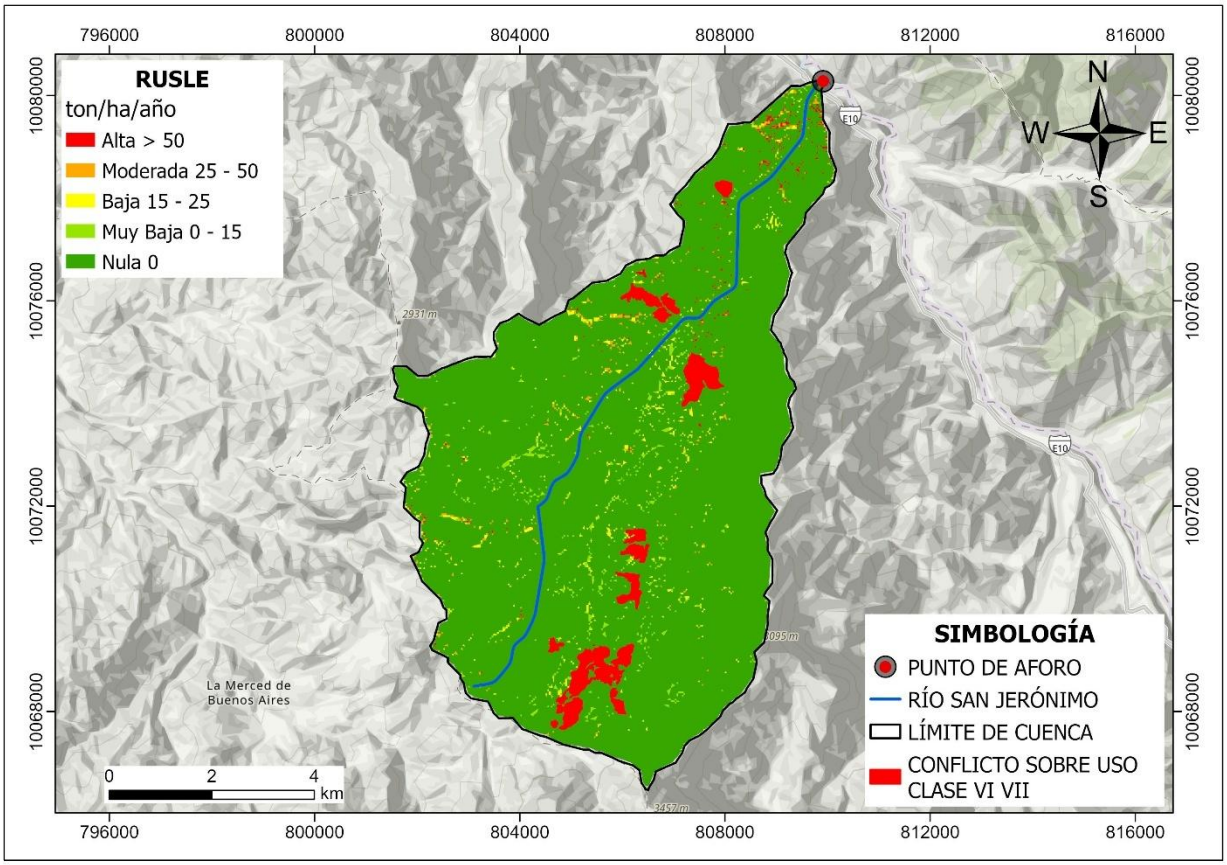
Meta

Reconvertir el 30% de las áreas identificadas con sobreutilización severa hacia usos compatibles con las capacidades de uso del suelo durante los próximos cinco años.

Tabla 14. Matriz operativa estrategia 3

Actividades	**Indicadores**	**Medios de verificación**	**Alcance**	**Responsables**
Identificación de áreas con sobreutilización del suelo.	Numero de áreas afectadas.	Cartografía y análisis mediante SIG.	Clases VI y VII.	Técnicos ambientales.
Sustitución progresiva de usos incompatibles.	Numero de áreas reconvertidas.	Comparación de mapas de uso de suelo.	Sectores con conflicto de uso.	GAD Provincial y Comunidades locales
Establecimiento de sistemas agroforestales.	Numero de parcelas implementadas.	Infirmes técnicos y registros fotográficos.	Áreas de transición productiva.	Productores
Seguimiento de la recuperación del suelo.	Reducción de ares en conflicto.	Informes de monitoreo y evaluación.	Toda la cuenca.	Universidades, GAD Parroquial.

Figura 16. Ubicación de la estrategia 3



4.4.2.4 Estrategia 4: Conservación de suelos en áreas con susceptibilidad erosiva

Ubicación

Áreas con erosión moderada y alta identificados mediante el modelo RUSLE, principalmente en laderas con pendientes pronunciadas y cobertura vegetal reducida.

Justificación

Las pendientes con mayor porcentaje, conflictos de uso de suelo y la cobertura vegetal baja provocan el incremento de la erosión por lo cual se debe implementar prácticas de conservación que permitirán disminuir la pérdida de suelo además de mejorar la infiltración y bajar la concentración de sedimentos en el río San Jerónimo.

Objetivo

Reducir el riesgo de erosión aplicando prácticas de conservación donde se tome en cuenta las condiciones de la cuenca.

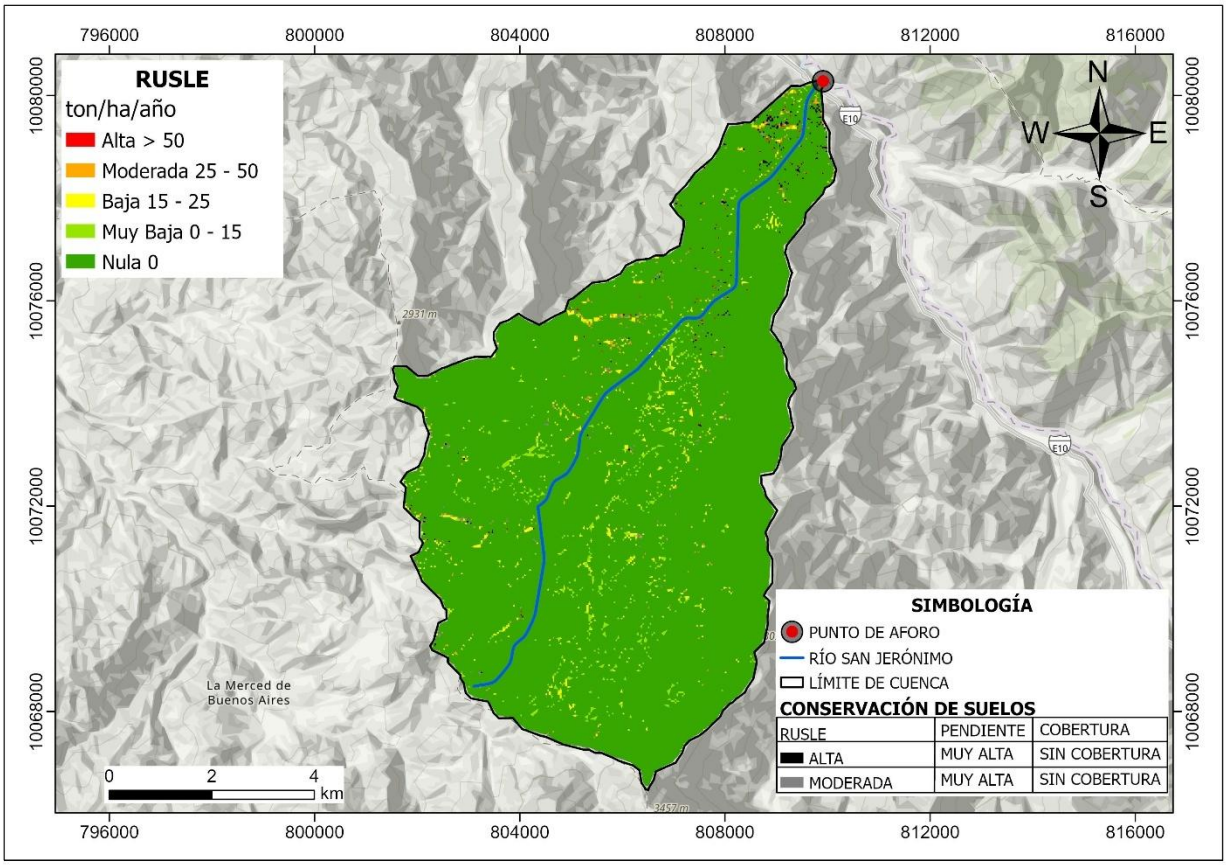
Meta

Disminuir el 20% de pérdida de suelo en áreas con erosión moderada y alta para un periodo de cinco años.

Tabla 15. Matriz operativa estrategia 4

Actividades	**Indicadores**	**Medios de verificación**	**Alcance**	**Responsables**
Construcción de barreras vivas y zanjas de infiltración.	Obras implementadas.	Registro de campo y fotografías.	Zonas con erosión moderada y alta.	Productores y GAD Parroquial.
Revegetación de laderas con cobertura deficiente.	Áreas restauradas con vegetación.	Informe de monitoreo en campo.	Sectores críticos identificados por el modelo RUSLE.	Comunidades locales.
Implantación de prácticas de manejo de escorrentía.	Reducción de áreas con erosión.	Evaluación periódica de las áreas.	Laderas con alta pendiente.	Técnicos Ambientales.
Monitoreo de perdida de suelo y sedimentación.	Variación de la erosión estimada.	Actualización del modelo RUSLE y análisis SIG.	Cuenca del río San Jerónimo.	Universidades, GAD Parroquial.

Figura 17. Ubicación de la estrategia 4



CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El modelo RUSLE cuantificó una pérdida promedio de suelo de 1,63 ton/ha/año para la cuenca del río San Jerónimo, con un rango que va de 0 a 83,72 ton/ha/año. La cuenca, en términos generales, erosiona menos de lo que el suelo puede regenerar por sí mismo. Esto responde al efecto combinado del factor de cobertura vegetal (C), que disminuye la energía con la que la lluvia golpea el suelo y limitan la escorrentía capaz de arrastrar partículas. El problema se observa en los extremos donde existen sectores puntuales los cuales son afectados de manera alta provocado por la pérdida de cobertura, ahí la variabilidad espacial del fenómeno pide un tratamiento distinto al de una medida uniforme para toda la cuenca.

La zonificación del riesgo muestra que el 96,31 % de la superficie de la cuenca no presenta erosión o registra niveles muy bajos. El resto se reparte del territorio presenta 1,43 % en erosión muy baja, 1,19 % en baja, 0,69 % en media y apenas 0,35 % en alta. Dicha concentración relevante en las categorías menos rigurosas encaja con una cuenca de relieve moderada en la mayor parte de su amplitud, aún con zonas de pendiente alta, y con una cobertura vegetal continua que disminuye el impacto de la lluvia. Los sectores con erosión media y alta se localizan en laderas pronunciadas con baja cobertura, donde el factor LS se incrementa de forma no lineal conjuntamente con la capacidad de transporte de sedimentos, también se observándose en áreas donde la actividad humana ha removido la cobertura original dejando expuesto el horizonte superficial del suelo.

Entre los factores naturales, la erosividad de la lluvia, la pendiente y las propiedades físicas del suelo son los que más pesan en la dinámica erosiva de la cuenca. El factor R osciló entre 457,81 y 845,32 MJ·mm/ha·h·año, un rango amplio que responde a la heterogeneidad climática típica de cuencas de montaña con gradientes altitudinales marcados. La pendiente media de la cuenca empuja en la dirección contraria donde a mayor pendiente, mayor velocidad de escurrimiento y más energía disponible para desprender partículas de suelo. Lo que contrarresta parte del efecto es la textura franca que se encuentra en la mayor parte del área (48,43 %), idóneo para infiltrar agua

con relativa facilidad y a la vez conservar suficiente cohesión entre las partículas para soportar el desprendimiento inicial.

La cobertura y el uso del suelo son el factor más decisivo en cómo se desarrolla la erosión hídrica en la cuenca. El bosque, el matorral y el pastizal funcionan como barreras naturales que reducen la energía cinética de las gotas de lluvia. Además de aportar con materia orgánica de forma continua y desarrollan sistemas radiculares que dan unión1 al sustrato. Las zonas agrícolas y las áreas con poca cobertura, en cambio, quedan más expuestas, sobre todo justo después de la preparación del suelo para el cultivo, cuando la superficie pierde toda protección vegetal frente al impacto de la lluvia. Ahí se ve con claridad el peso del factor de cobertura (C) en el resultado final que estima el modelo.

La validación confirmó que el modelo RUSLE es confiable para esta cuenca. Se registró una relación de entrega de sedimentos (SDR) de 0,21, una producción de sedimentos estimada de 0,35 ton/ha/año, un PBIAS de -6,69 % y un RMSE de 0,28. Estos valores caen dentro de los rangos satisfactorios donde la diferencia entre lo simulado y lo observado es pequeña. El PBIAS negativo apunta a una leve tendencia del modelo a subestimar la producción real de sedimentos, y el RMSE muestra una dispersión razonable entre las estimaciones puntuales. Con estos resultados, el modelo puede usarse como herramienta técnica para apoyar la planificación y el manejo sostenible del territorio.

5.2 Recomendaciones

Es importante priorizar la conservación del suelo en las zonas con erosión media y alta, sobre todo en pendientes con poca cobertura vegetal. Reforestación con especies de raíz profunda, barreras vivas en donde el relieve es menos escarpado, zanjas de infiltración y sistemas de estabilización son alternativas que disminuyen la velocidad de la escorrentía y minimizan la capacidad de arrastre de partículas de suelo por lo tanto reduciendo la cantidad de sedimentos que llegan al río. Todas actúan directamente sobre los factore C del modelo RUSLE.

Realizar actividades de conservación y restauración de la cobertura vegetal nativa de la cuenca, ya que corresponde al principal agente de control frente a la erosión según muestra la zonificación. La restauración ecológica debería centrarse en las zonas degradadas y en áreas con conflictos de uso del suelo, introduciendo especies que se adapten a las condiciones locales y que cuenten con características como raíces profundas, brinden estabilidad al terreno y controlen el ciclo hidrológico superficial.

Las estrategias de manejo sostenible para los sectores agropecuarios tendrían que apuntar a disminuir la exposición del suelo durante la preparación y la siembra. Labranza mínima, alternancia de cultivos y conservación de cobertura vegetal residual son métodos compatibles con la capacidad de uso de la tierra que minimizan la degradación del suelo, facilitan la infiltración y promueven la rentabilidad agrícola de la cuenca.

Un sistema permanente que se encargue de monitorear los sedimentos, caudales y cobertura vegetal permitiría controlar la evolución de los procesos de erosión y verificar si las estrategias de conservación empleadas realmente funcionan. La información que genere ese monitoreo serviría además para calibrar mejor el modelo de erosión, reducir la incertidumbre de las estimaciones y tomar decisiones con más fundamento en la gestión de la cuenca.

Los resultados de este estudio deberían incorporarse a los instrumentos de planificación territorial y gestión ambiental del GAD cantonal Ibarra, para orientar futuras intervenciones según los niveles de susceptibilidad identificados. Usar la zonificación de erosión como criterio técnico ayudaría a optimizar recursos, prevenir la degradación de áreas vulnerables y manejar de forma articulada el suelo y el agua en la cuenca del río San Jerónimo

Referencias

Abdelsamie, E. A., Abdellatif, M. A., Hassan, F. O., El Baroudy, A. A., Mohamed, E. S., Kucher, D. E., & Shokr, M. S. (2023). Integration of RUSLE Model, Remote Sensing and GIS Techniques for Assessing Soil Erosion Hazards in Arid Zones. *Agriculture (Switzerland)*, *13*(1). https://doi.org/10.3390/agriculture13010035

Aramayo, V., Nosetto, M., & Cremona, M. V. (2024). Análisis de la susceptibilidad a la erosión hídrica en una cuenca de la Patagonia árida bajo distintos escenarios. Investigaciones Geográficas, (81), 181–199. https://doi.org/10.14198/ingeo.25246

Agostini, M. de los Á., Monterubbianesi, G., Studdert, G., & Maurette, S. (2014). Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente a simple and practical method for bulk density determination. In *ARGENTINA)* (Vol. 32, Number 2). Recuperado en 31 de agosto de 2026, de https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672014000200003&lng=es&tlng=es.

Alatorre, L. C., & Beguería, S. (2009). *LOS MODELOS DE EROSIÓN: UNA REVISIÓN A review of erosion models*. *uaternario y Geomorfología*, *23*(1-2), 43-62. La degradación de los suelos por erosión hídrica. Métodos de estimación

Alvarado, H., Escobar, M., & Sánchez, V. (2021). *Estimación del factor topográfico LS (RUSLE) mediante la aplicación de sistemas de información geográfica Caso subcuenca Ichu, Huancavelica-Perú Estimation of the topographic factor LS (RUSLE) through the application of geographic information systems Ichu sub-basin case, Huancavelica-Peru Estimativa do fator topográfico LS (RUSLE) através da aplicação de sistemas de informação geográfica Caso da sub-bacia de Ichu, Huancavelica-Peru*. *6*, 66–81. https://doi.org/10.23857/pc.v6i10.3188

Andrade, I., Delgado, D., & Guillén, M. (2025). Assessment of soil vulnerability to water erosion in the province of Manabí (Ecuador) through the application of a geospatial model. *Investigaciones Geograficas*, (83), 109–128. https://doi.org/10.14198/INGEO.27414

Arias, P., Saz, Á., & Escolano, S. (2024). Trends of land use and land cover change in the upper-middle Mira basin in Ecuador. *Investigaciones Geograficas*, *81*, 155–179. https://doi.org/10.14198/INGEO.25248

Arias, P., Saz, M., & Escolano, S. (2023). Estimation of soil erosion through the RUSLE model.

Case study: upper-middle basin of Mira River in Andean-Ecuador. *Investigaciones Geograficas*, (79), 207–230. https://doi.org/10.14198/INGEO.22390

Borja, C., Maridueña, G., Bermeo, J., & Montalvo, C. (2015). *Evaluación hidrogeológica de la cuenca hidrográfica Las Abras, provincia de Chimborazo, Ecuador*. Evaluación hidrogeológica de la cuenca hidrográfica Las Abras, provincia de Chimborazo, Ecuador - Dialnet.

Caulfield, M., Bouniol, J., Fonte, S. J., & Kessler, A. (2019). How rural out-migrations drive changes to farm and land management: A case study from the rural Andes. Land Use Policy, 81, 594–603. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.11.030

Camargo, C., Pacheco, C., & López, R. (2017). Erosión hídrica, fundamentos, evaluación y representación cartográfica: una revisión con énfasis en el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica Water erosion, fundamentals, evaluation and cartographic representation: a review with an emphasis on the use of remote sensing and Geographic Information Systems. *Gestión y Ambiente*, *20*(2), 265–280. https://doi.org/10.15446/ga.v20n2.

Casanova, G., Delgado, D., & Panchana, R. (2024). Estimation of sediment volumes due to rainfall erosion using RUSLE model in basins of the province of Manabí, Ecuador. *Revista de Teledeteccion*, *2024*(63), 1–21. https://doi.org/10.4995/raet.2024.20147

Chóez, J., Ponce, R., & Menoscal, R. (2021). *Erosión en la cuenca del río Guineal*. https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2487

COA. (2017). *CODIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE*. www.lexis.com.ec

COOTAD. (2010). *CODIGO ORGANICO DE ORGANIZACION TERRITORIAL, COOTAD*. www.lexis.com.ec

Estrada Méndez, M. R. (2022). Escenarios de erosión en la cuenca del río Coyolate. Agua, Saneamiento & Ambiente, 17(2). (PDF) Escenarios de erosión en la cuenca del río Coyolate.

Fernández, A., Rodríguez, Á., & Delgado, D. (2023). *Análisis de la distribución espacial de la erodabilidad del suelo en la cuenca del Río Esmeraldas-Ecuador Analysis of the spatial distribution of soil erodibility in the Esmeraldas-Ecuador River basin Análise da distribuição espacial da erodibilidade do solo na bacia do rio Esmeraldas-Equador*. *8*(2), 82–95. https://doi.org/10.23857/pc.v8i2

Fernández, M., & Núñez, M. (2012). *El inventario nacional de erosion de suelos: informe de resultados y estado de avance en 2011*. 00 PRELIMINARES.indd.

Flaño, P. R., & Académico, C. (n.d.). *Ianire Galilea Salvador TESIS DOCTORAL*.

Gabriels, D., & Lobo, D. (2026). *Métodos para determinar granulometría y densidad aparente del suelo Methods for determining granulometry and bulk density of the soil*. Métodos para determinar granulometría y densidad aparente del suelo | Venesuelos

González, I. M. M., Limaico, D., Arcos, C., Astudillo, R., Pantoja, M. I. V., & Añazco, M. J. (2018). Rehabilitación de suelos degradados mediante especies forestales en estructuras conservacionistas en la cuenca media del Río Mira, Ecuador. En M. Cevallos, T. Sánchez, M. Naranjo, K. Steinlechner, M. Posso, J. García, Y. Reascos, & L. Yépez (Eds.), II Jornadas de Investigación Científica UTN: I Foro de Investigación Científica "Desafíos actuales de la sociedad del conocimiento" (pp. 195–201). Universidad Técnica del Norte.

Gallardo, G. (2025). *uagraria*. Obtenido de uagraria: https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/GALLARDO%20CEDILLO%20GABRIEL%20EDUARDO.pdf

García, M., & Paccha, K. (05 de 06 de 2024). *Ucuenca*. Obtenido de Ucuenca: http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/44777

González, O., Serrano, J., Vilchez, F., Núnez, R., & Sancho, A. (2015). Riesgo de erosión hídrica y estimaación de pérdida de suelo en paisajes geomorfológicos volcánicos en México. *Cultivos Tropicales, 37*(2), 45-55. doi:https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3942.5527

García, P. (2004). *CAPÍTULO 11 Interacciones entre la vegetación y la erosión hídrica*.

Gonzaga, S. (2024). Application of the Pressure-State-Response (P-S-R) model in the urban basin of the Malacatos river as a management tool. *European Public and Social Innovation Review, 9*. https://doi.org/10.31637/epsir-2024-453

González, A., & Vidal, E. (2026). *EROSIÓN Y ESCORRENTÍA*. Variaciones espaciales del umbral de escorrentía asociadas a cambios de usos de suelo durante el período 1990-2018 en el área de la vertiente mediterránea andaluza | Investigaciones Geográficas

González, R., Volke Haller, V., González Ríos, J., Ocampo, M., Ortíz, C., & Manzo, F. (2007). *Efecto de la erosión del suelo sobre el rendimiento de maíz de temporal Effect of Soil Erosion on Maize Yield under Rainfed Conditions*. Redalyc. EFECTO DE LA EROSIÓN DEL SUELO SOBRE EL RENDIMIENTO DE MAÍZ DE TEMPORAL.

Gray, J. R., Glysson, G. D., Turcios, L. M., & Schwarz, G. E. (2000). *Comparability of Suspended-Sediment Concentration and Total Suspended Solids Data science for a changing world*. (PDF) Comparability of Suspended-Sediment Concentration and Total Suspended Solids Data

Hall, J. S., Kirn, Vanessa., & Yanguas-Fernández, Estrella. (2015). *La gestión de las cuencas hidrográficas para asegurar los servicios ecosistémicos en las laderas del neotrópico*. Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales. (PDF) LA GESTIÓN DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS PARA ASEGURAR LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LAS LADERAS DEL NEOTRÓPICO - version en pdf.

Haro, R., Espinosa, J., Moreno, V., & Suango, V. (2024). *Estimación de la erosión de la Sierra Norte y Centro del Ecuador, utilizando geoinformación*. *11*. https://doi.org/10.29166/siembra.v11i3(Especial)

Hernández, D., Silva, M., Manrique, O., & Hernández, R. (2026). *Estimación de la erosión hídrica del suelo basada en RUSLE, SIG y teledetección Estimation of soil water erosion based on RUSLE, GIS and remote sensing*.

Hill, M., Clérici, C., Mancassola, V., & Sánchez, G. (2014). *Agrociencia Uruguay*.

Hoyos, N. (2005). Spatial modeling of soil erosion potential in a tropical watershed of the Colombian Andes. Catena, 63(1), 85–108. https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.05.012

Huerta Fernández, P., & Loli Figueroa, O. (2014). Erosión hídrica en la cuenca alta del río Moche. Ecología Aplicada, 13(1), 15–22.

Ighodaro, I. D., Lategan, F. S., & Mupindu, W. (2016). The impact of soil erosion as a food security and rural livelihoods risk in South Africa. Journal of Agricultural Science, 8(8), 1–9. https://doi.org/10.5539/jas.v8n8p1

Imbaquingo, C. (2023). *espoch*. Obtenido de espoch: http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/22144/1/236T0919.pdf

Jaramillo, J. (2021). *Diagnóstico de la erosión hídrica del suelo aplicando modelo USLE mediante herramientas SIG*. https://doi.org/10.23857/pc.v6i4.2589

GAD parroquial La Carolina. (2014). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial Contenido*. Prefectura de Imbabura - PDOT Parroquial - PDOT La Carolina

Kaliraj, S., Kavarni, C., Muthamilselvan, A., Gayen, S., Abishek, S. R., Pitchaimani, V. S., & Karuppannan, S. (2025). Evaluation of soil erosion and sediment yield in tropical river

basin of the Western Ghats, South India. *Environmental and Sustainability Indicators*, *27*. https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100854

Legislativo, D. (2008). CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. In *Registro Oficial* (Vol. 449, Number 20). www.lexis.com.ec

Li, H., Yang, X., Yu, Y., Zhang, F., Liu, Y., & Zhang, S. (2026). Optimizing soil and water conservation at the sub-basin scale: a multi-objective approach balancing ecosystem services, costs, and erosion control. *International Soil and Water Conservation Research*. https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2026.100632

Liones, E., Marchamalo, M., & Roldán, M. (2009). *6722-Texto del artículo-9291-1-10-20130123*.

López, M. P. (2012). *Calibración del modelo para el transporte de contaminantes en los sedimentos en la cuenca de Jequetepeque, Cajamarca-Perú*.

Medina, G., & Andrés, M. (2024). *Universidad Técnica particular de Loja Facultad de Ingenierias y Arquitectura carrera de ingenieria civil Clasificación de indicadores ambientales y gestión de la calidad del agua mediante el modelo Presión-Estado-Respuesta (PER), caso de estudio: cuenca del río Machinaza INGENIERO CIVIL*.

Méndez, E., González, M. del R., Navarro, H., Contreras, C., & Cerón, J. (2024). La cuenca Río Grande Tulancingo: Erosión hídrica y vulnerabilidad. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, *12*, 32–42. https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial3.13439

Moreno, M., Gutiérrez, M., Hernández, A., Prieto, J., & Estrada, E. (2003). *Comparación de métodos en la estimación de erosión hídrica* (Vol. 51).

Moriasi, D. N., Gitau, M. W., Pai, N., & Daggupati, P. (2015). Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria. *Transactions of the ASABE*, *58*(6), 1763–1785. https://doi.org/10.13031/trans.58.10715

Maya, Y. (2011). Diagnóstico ambietal de suelos erosionados. *Tropical and Subtropical Agroecosystems, 13*(2), 169-179. doi:1870-0462

Muños, F., Pérez, E., & Otero, J. (15 de 10 de 2014). *Uniquindio.* Obtenido de Uniquindio: https://ojs.uniquindio.edu.co/ojs/index.php/riuq/article/view/130/127

Nikulin, C., & Becker, G. (2015). Una metodología Sistémica y creativa para la gestión estratégica: Caso de Estudio Región de Atacama-Chile A Systematic and Creative Methodology to Drive Strategic Management: Chilean Case Study in Atacama-Region. In *J. Technol.*

Manag. Innov (Vol. 10, Number 1). http://www.jotmi.org

Noni, D. (1986). *La erosion actual y potencial en Ecuador: localizacion, manifestaciones y causas*.

Pacheco, H. A., Méndez, W., & Moro, A. (2019). Soil erosion risk zoning in the ecuadorian coastal region using geo-technological tools. *Earth Sciences Research Journal*, *23*(4), 293–302. https://doi.org/10.15446/esrj.v23n4.71706

Pinargote, J. de los S., Palma, R., & Pinargote, R. (2021). *Erosión hídrica en la cuenca alta del río Guineal del cantón 24 de mayo, Ecuador*. https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2487

Rengifio, I., Muñoz, F., & Toro, O. (2022). *Modelo USLE para estimar la erosión hídrica en siete municipios de la zona andina colombiana*. https://doi.org/https://doi.org/10.18684/rbsaa.v20

Rosales, O. (2020). *Application of the RUSLE model to estimate soil losses due to water erosion Case study of the Chota river basin, Ecuador* [Tesis de maestria, Universidad de Salzburgo]. Issuu. https://issuu.com/unigis_latina/docs/tesis_rosales2.

Rosales, O., Galiano, M., Suárez, D., Jácome, G., & Arias, P. (2024). Proyección del cambio de uso de suelo en el cantón Otavalo, Ecuador: una visión al año 2031. *SATHIRI*, *19*(2), 114–132. https://doi.org/10.32645/13906925.1284

Santillán, J. (2023). Altos niveles de erosión hídrica en una microcuenca tropical calculado mediante el modelo USLE. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, *15*(1), 26–39. https://doi.org/10.29166/revfig.v15i1.4269

Serrano, J., Flores, F., Núñez, R., García, A., & Gonzáles, O. (2016). Water erosion risk and soil loss estimation in volcanic geomorphological landscapes of Mexico. *Cultivos Tropicales*, *37*(2), 45–55. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3942.5527

Santillán, J. (2023). Altos niveles de erosión hídrica en una microcuenca tropical calculando mediante el modelo USLE. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo, 15*(1), 26-27. doi:https://doi.org/10.29166/revfig.v15i1.4269

Yajaira, O., Preciado, K., & Rodríguez, J. (2026). *Presión - Estado - Respuesta en la Gestión de las áreas protegidas de la provincia de Esmeraldas*. https://revistas.pucese.edu.ec/gestion-ambiental/article/view/386.

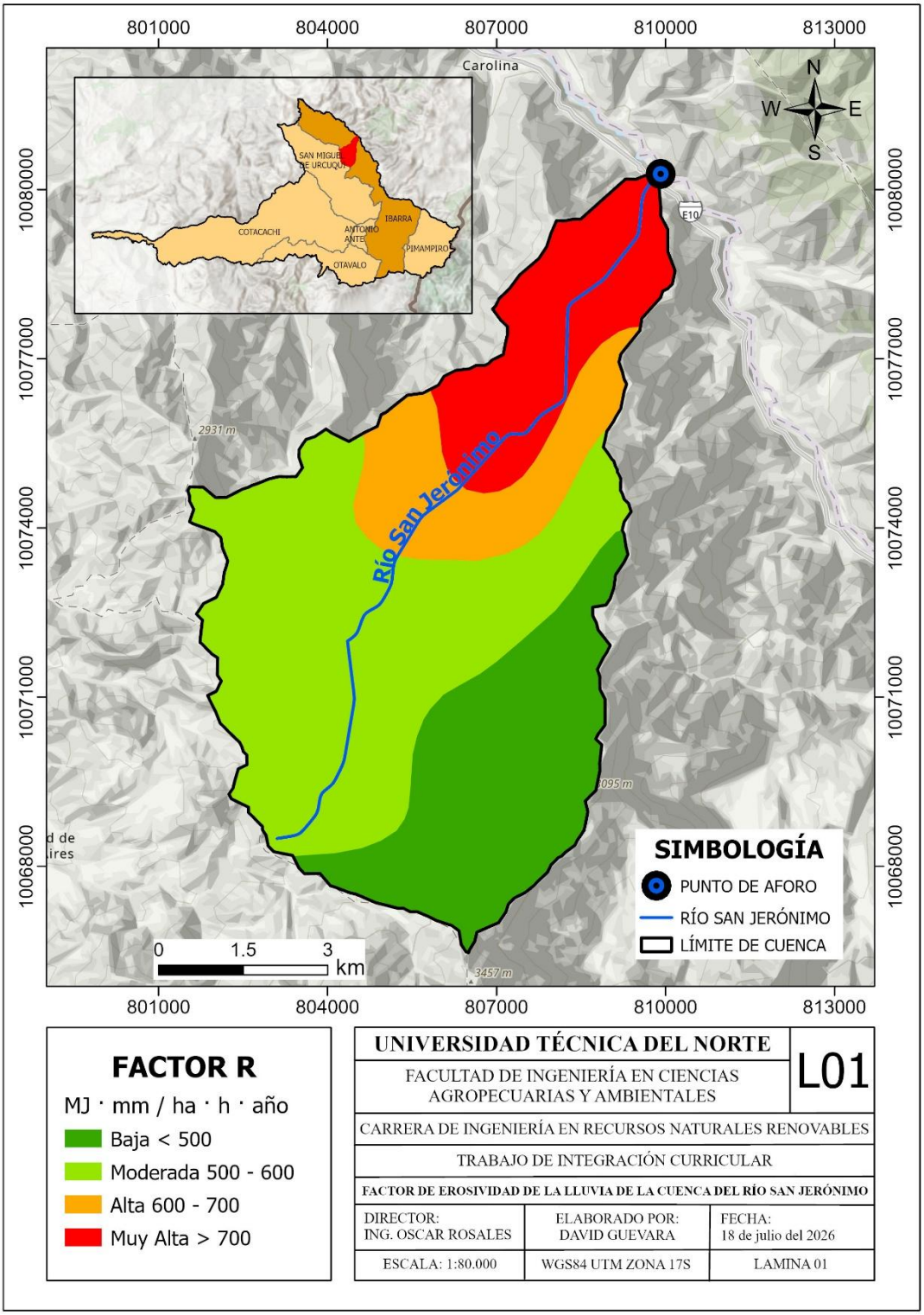
Yavuz, F., & Baycan, T. (2014). Stakeholder-based decision making in integrated watershed management using swot and analytic hierarchy process combination. *International Journal*

of the Analytic Hierarchy Process, *6*(1). https://doi.org/10.13033/ijahp.v6i1.194

ANEXOS

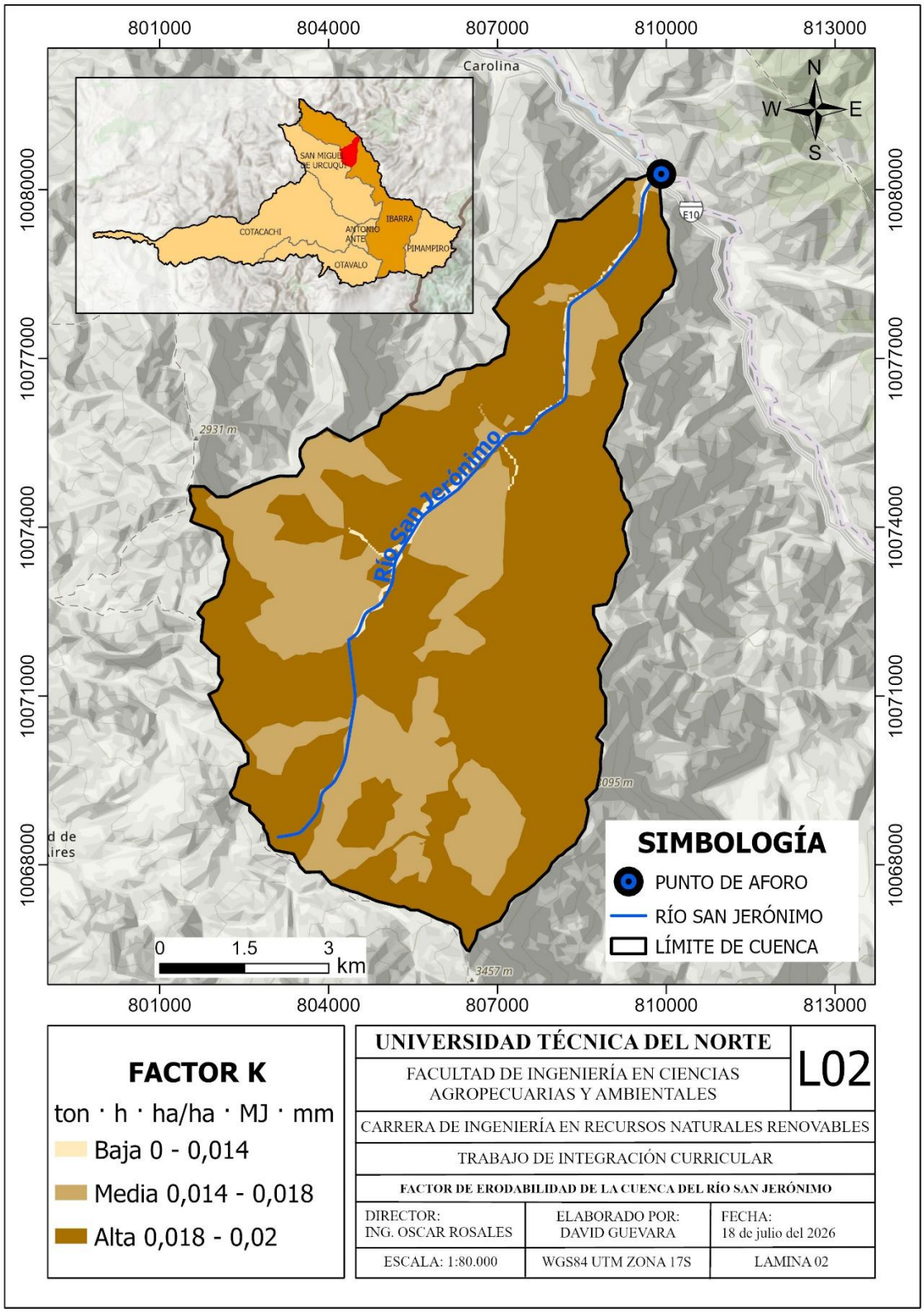
Anexo 1.

Factor de erodabilidad de la cuenca del río San Jerónimo



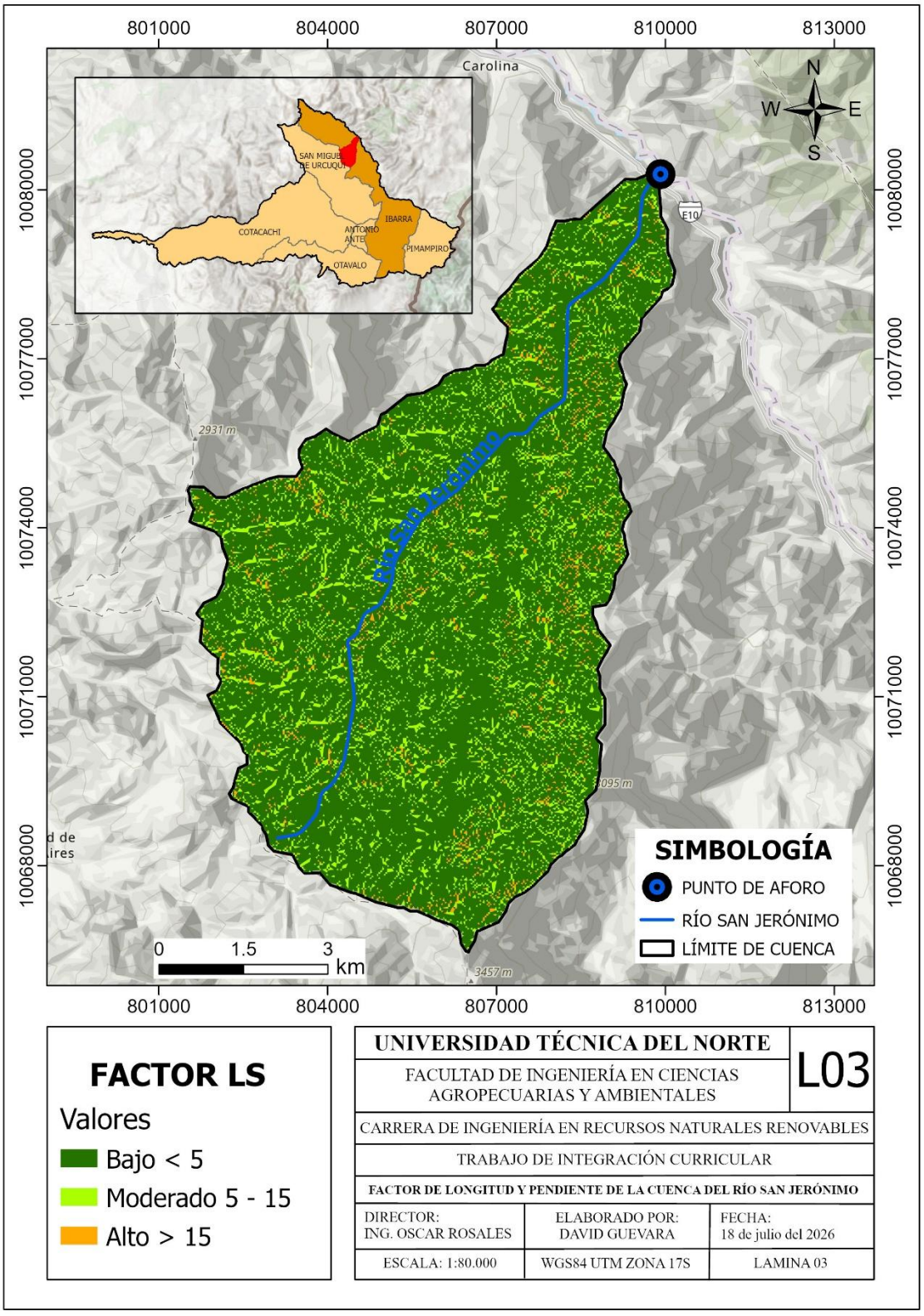
Anexo 2.

Factor de erosividad de la cuenca del río San Jerónimo



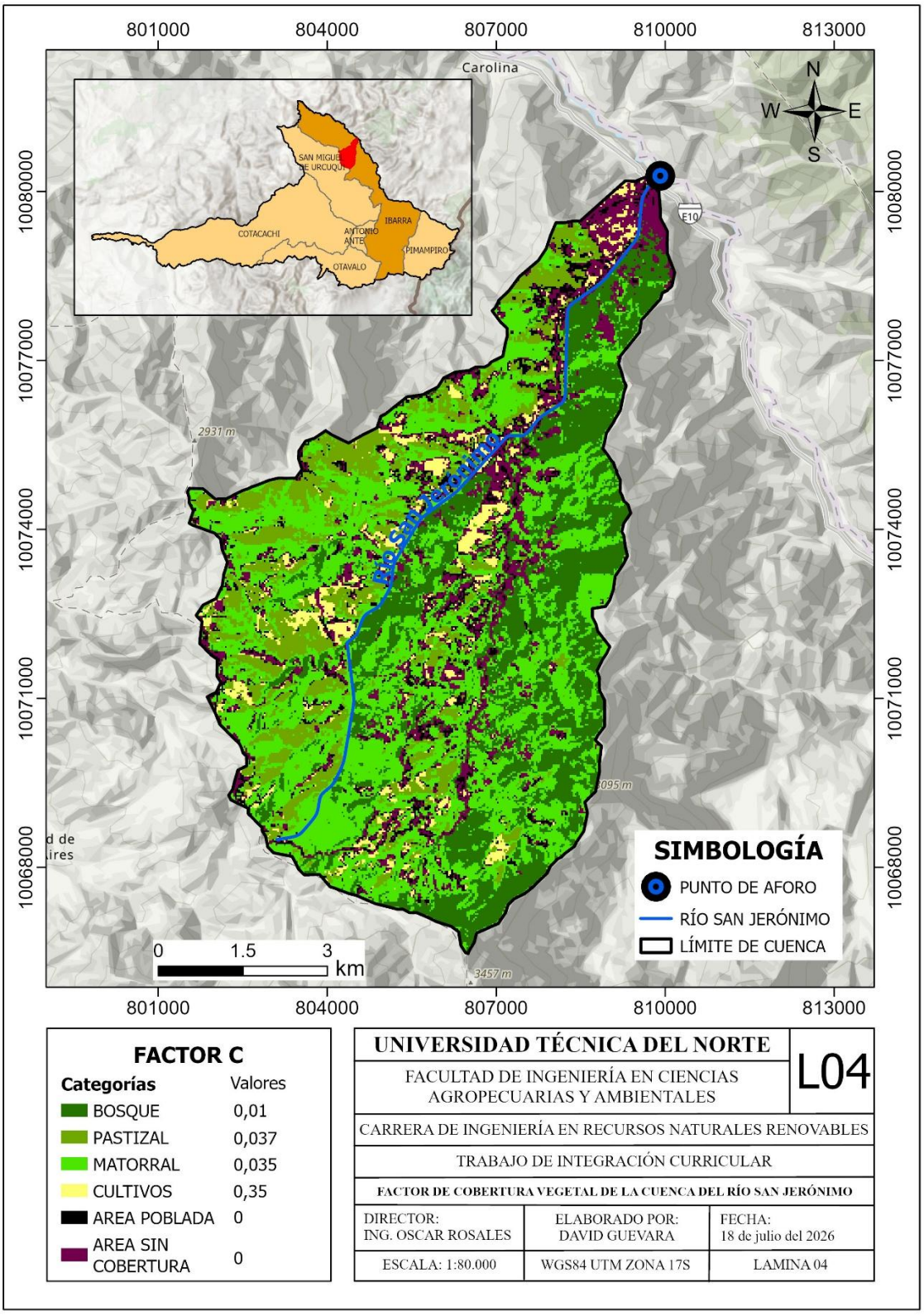
Anexo 3.

Factor de Longitud y Pendiente de la cuenca del río San Jerónimo



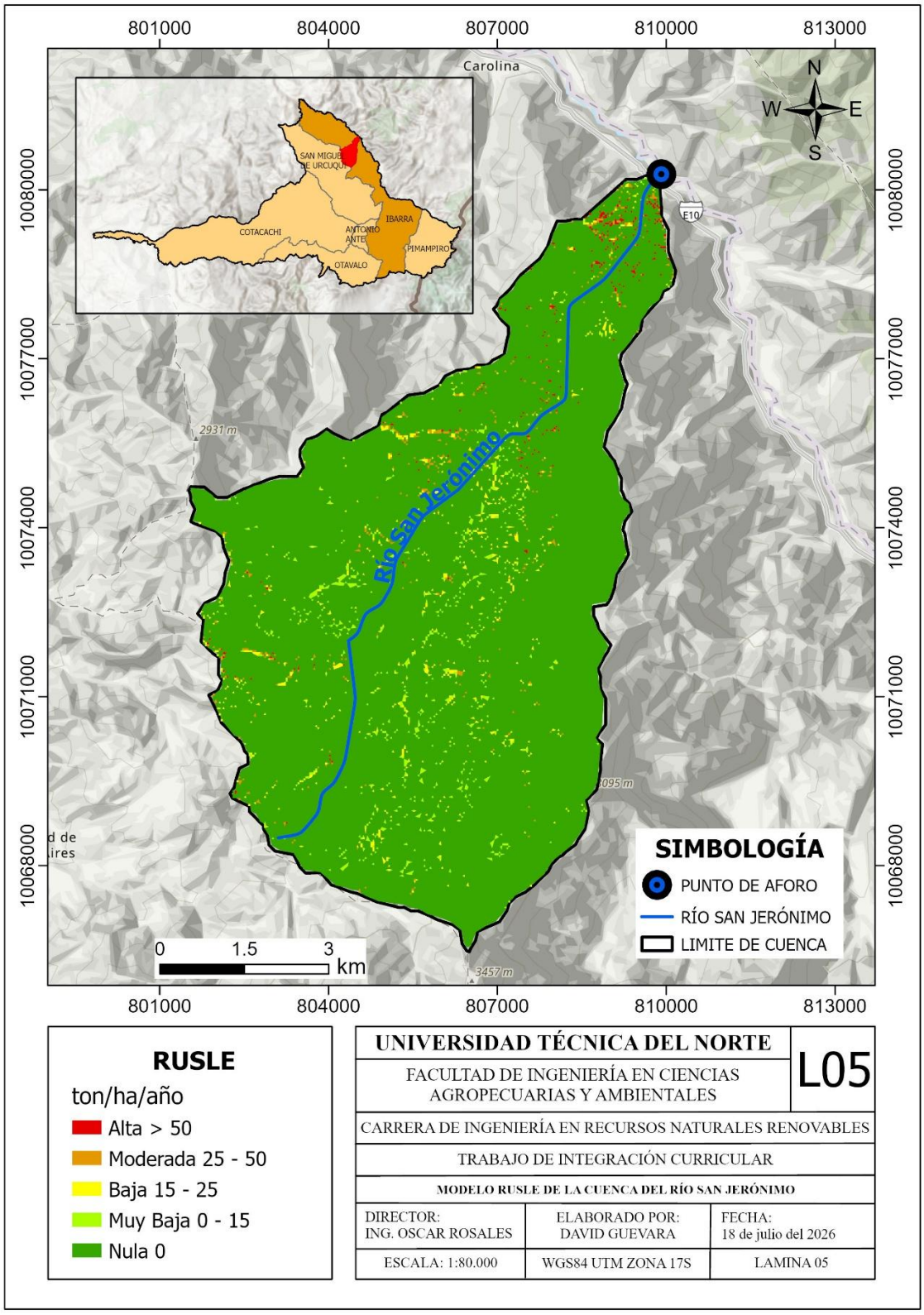
Anexo 4.

Factor de Cobertura Vegetal de la cuenca del río San Jerónimo



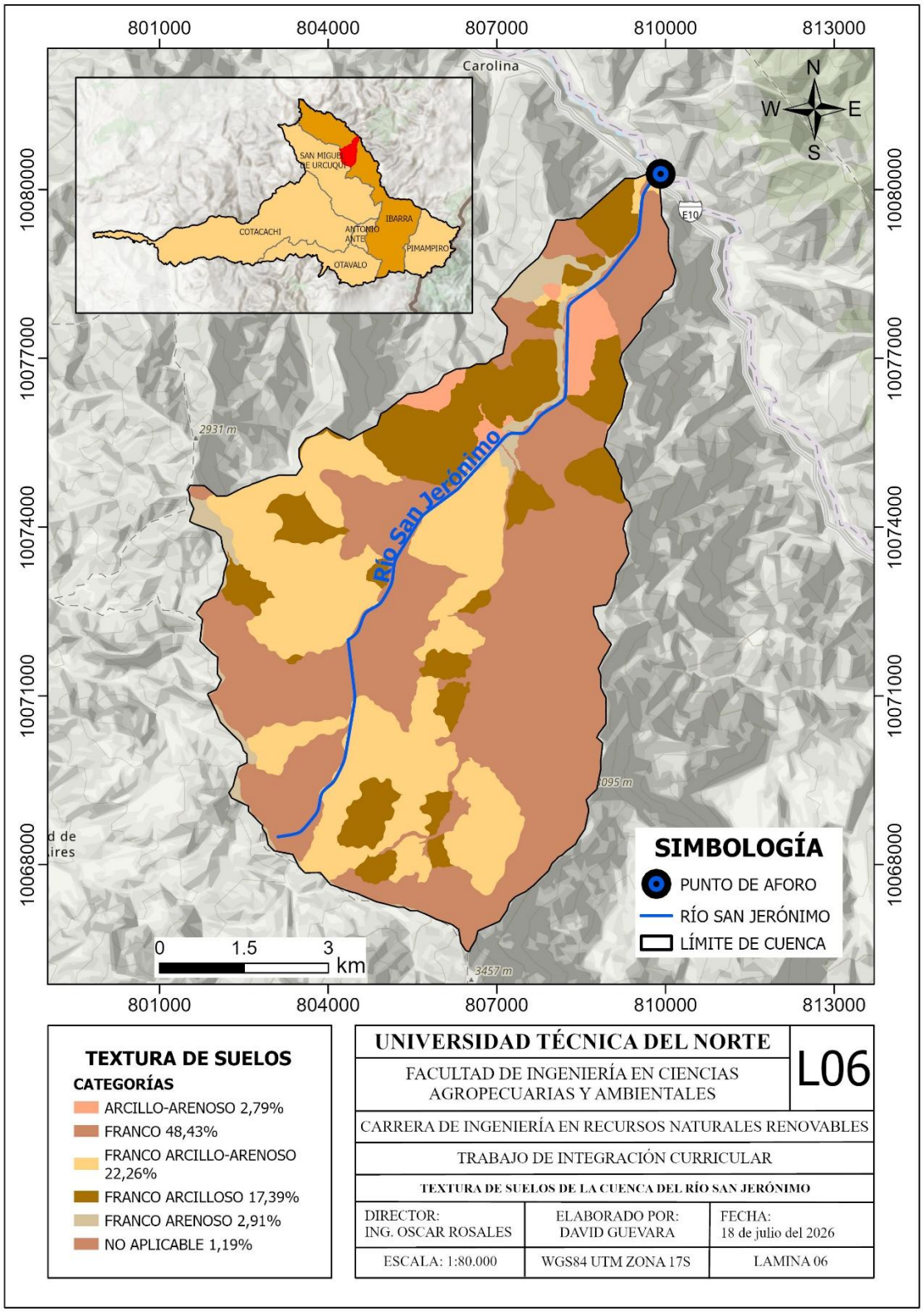
Anexo 5.

Erosión Hídrica de la cuenca del río San Jerónimo



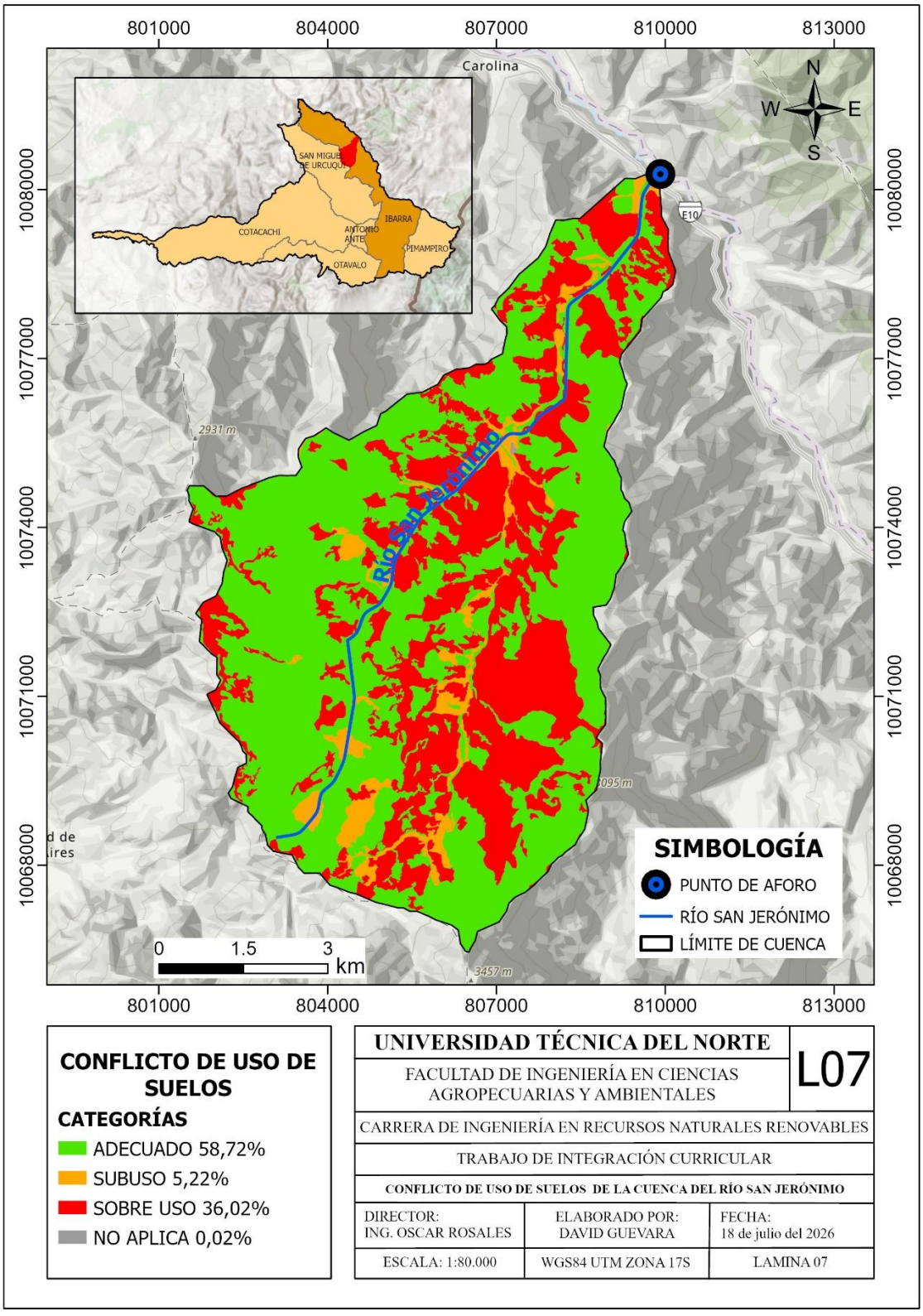
Anexo 6.

Textura de suelos de la cuenca del río San Jerónimo



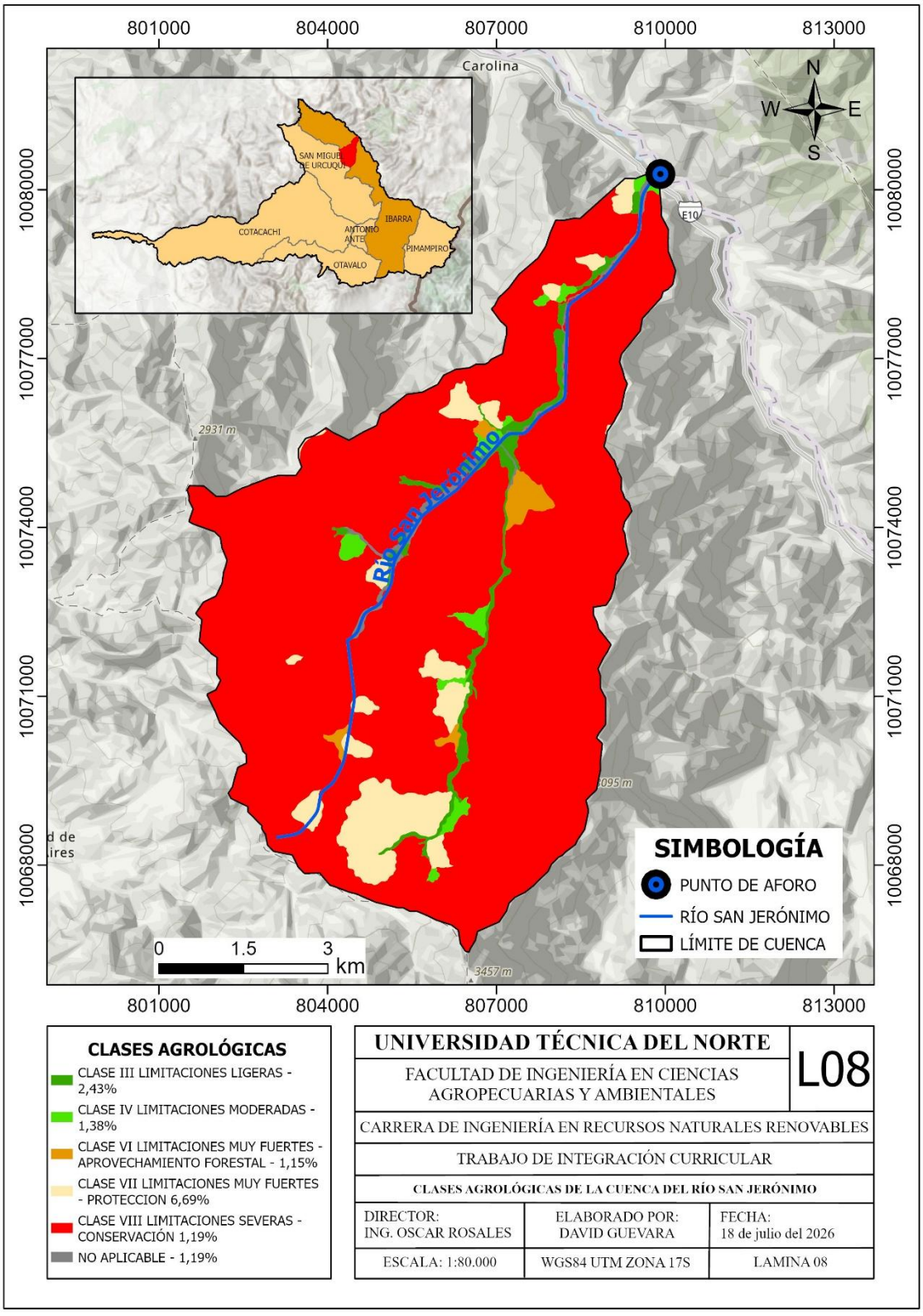
Anexo 7.

Conflictos de uso de suelo de la cuenca del río San Jerónimo



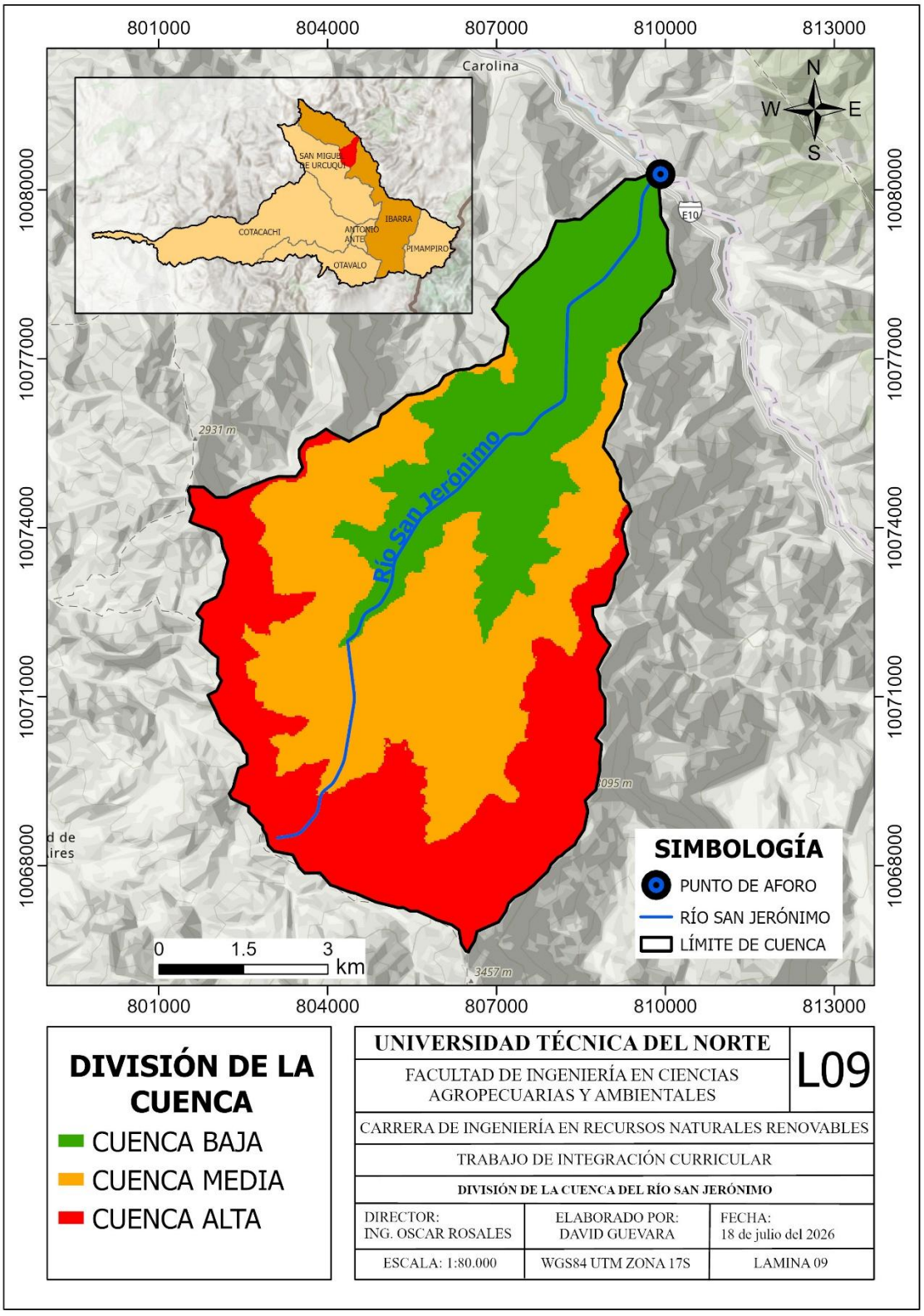
Anexo 8.

Clases agroecológicas de la cuenca del río San Jerónimo



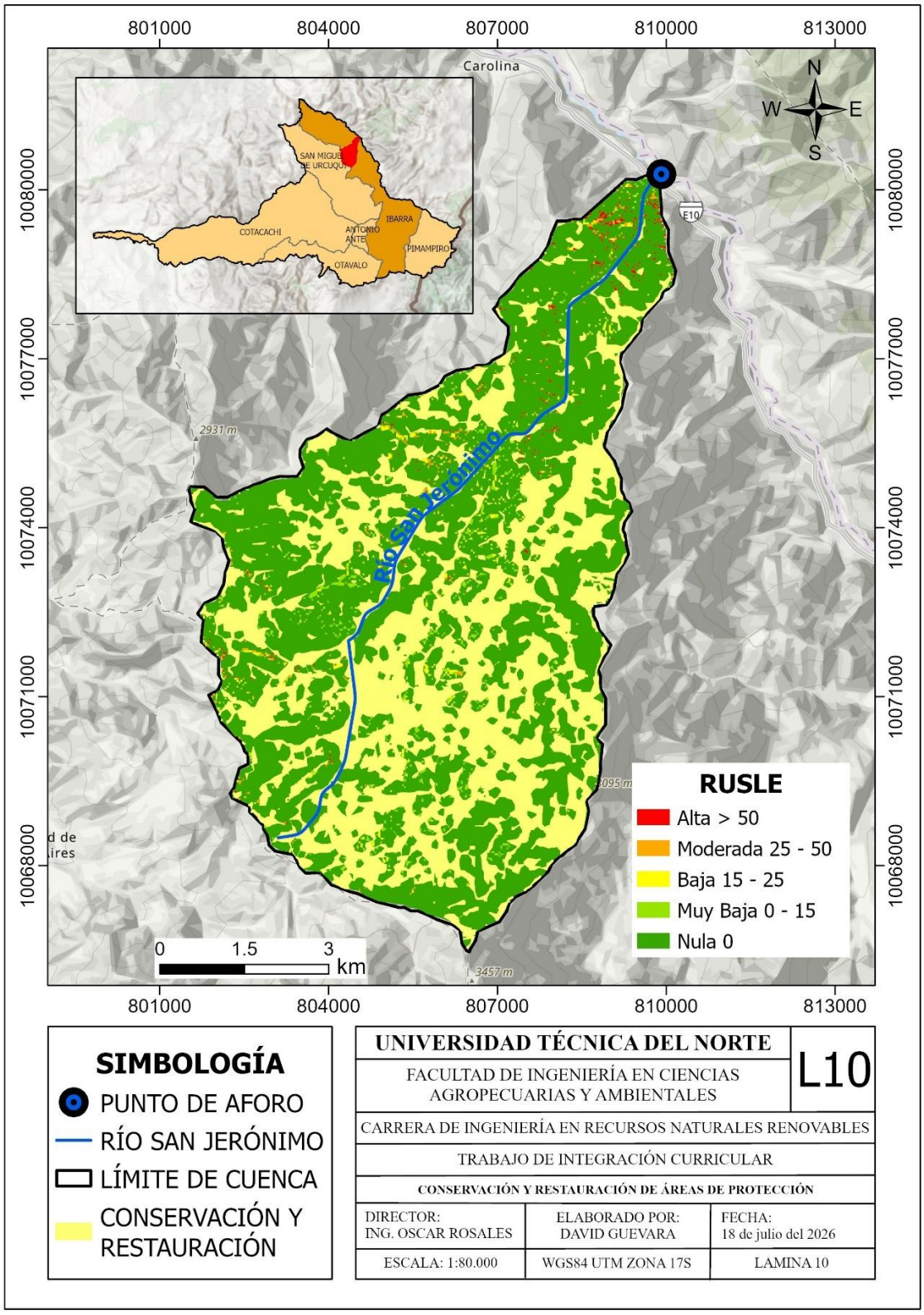
Anexo 9.

Clasificación de la cuenca del río San Jerónimo



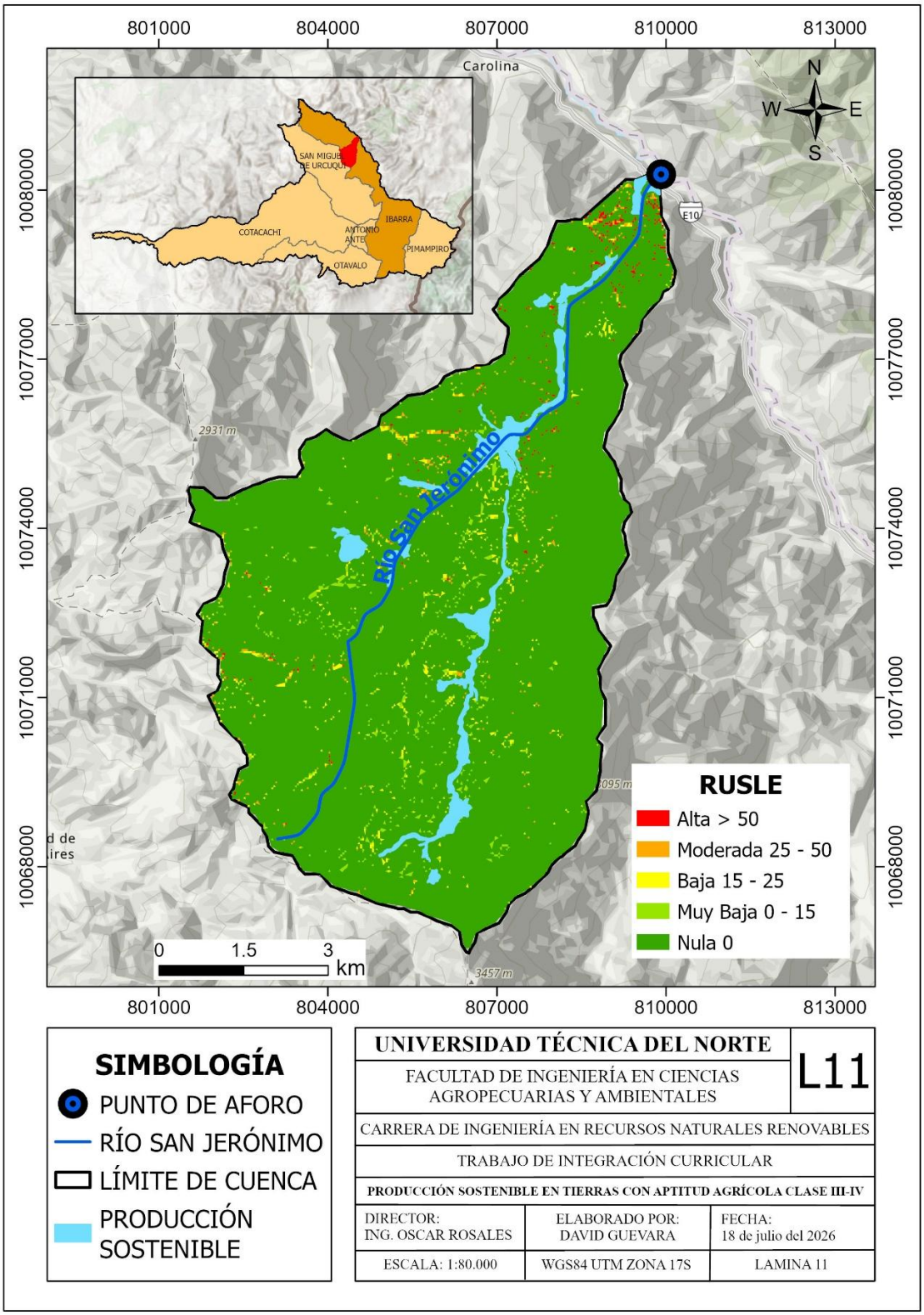
Anexo 10.

Conservación y Restauración de áreas protegidas



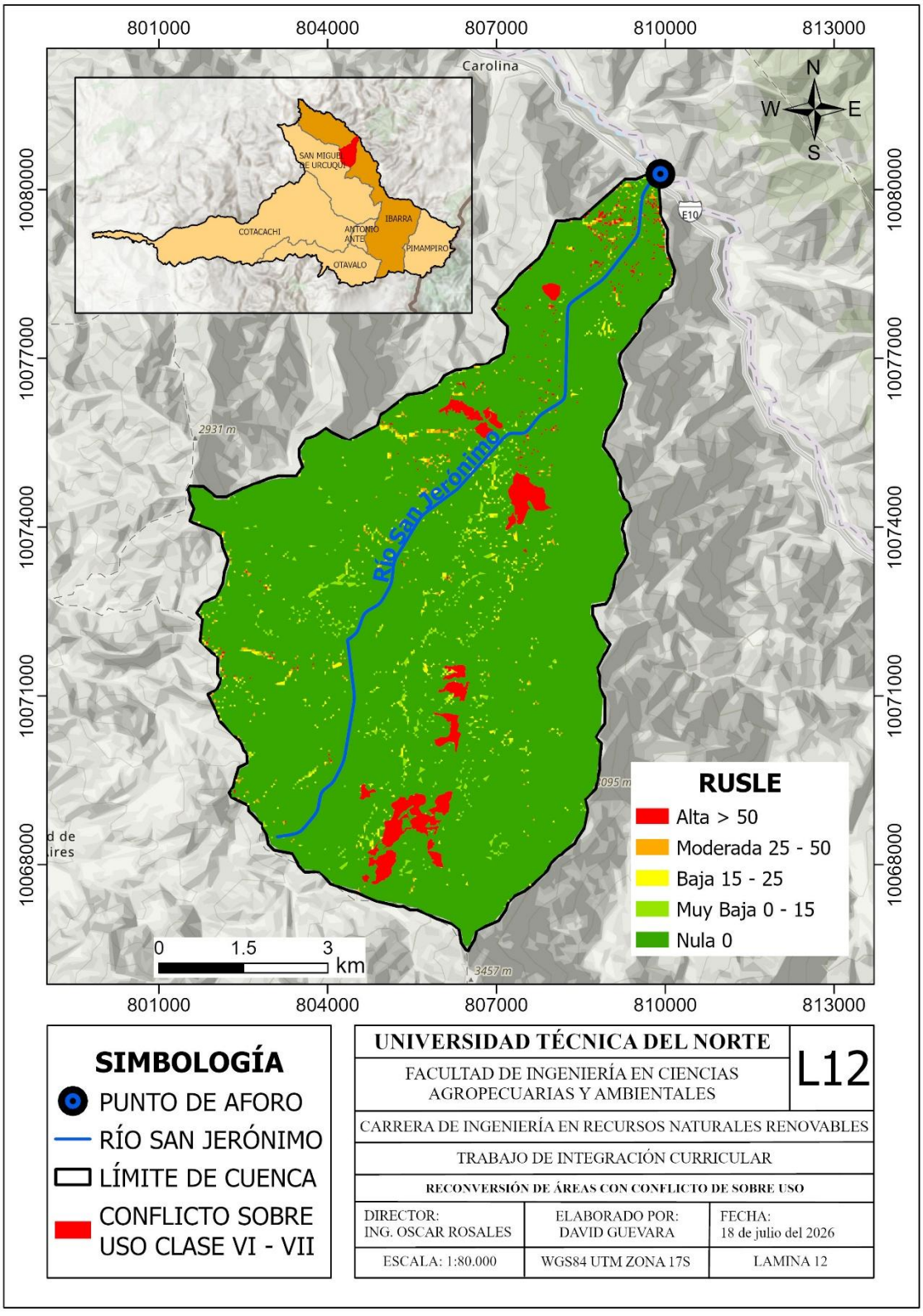
Anexo 11.

Producción sostenible en tierra con aptitud agrícola en clases agrológicas III y IV



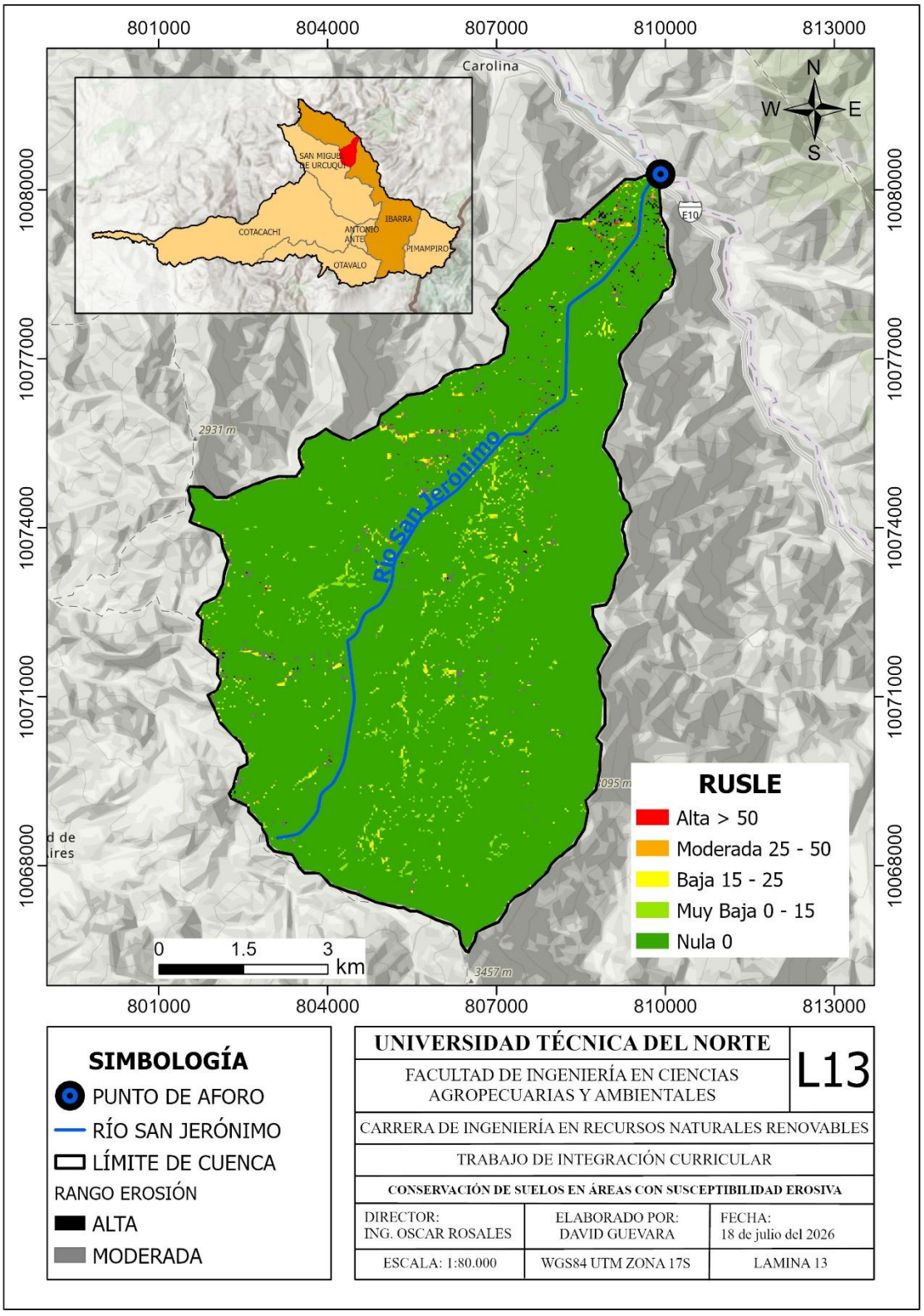
Anexo 12.

Reconversión de áreas con conflicto de sobre uso en clases agrológicas VI y VII



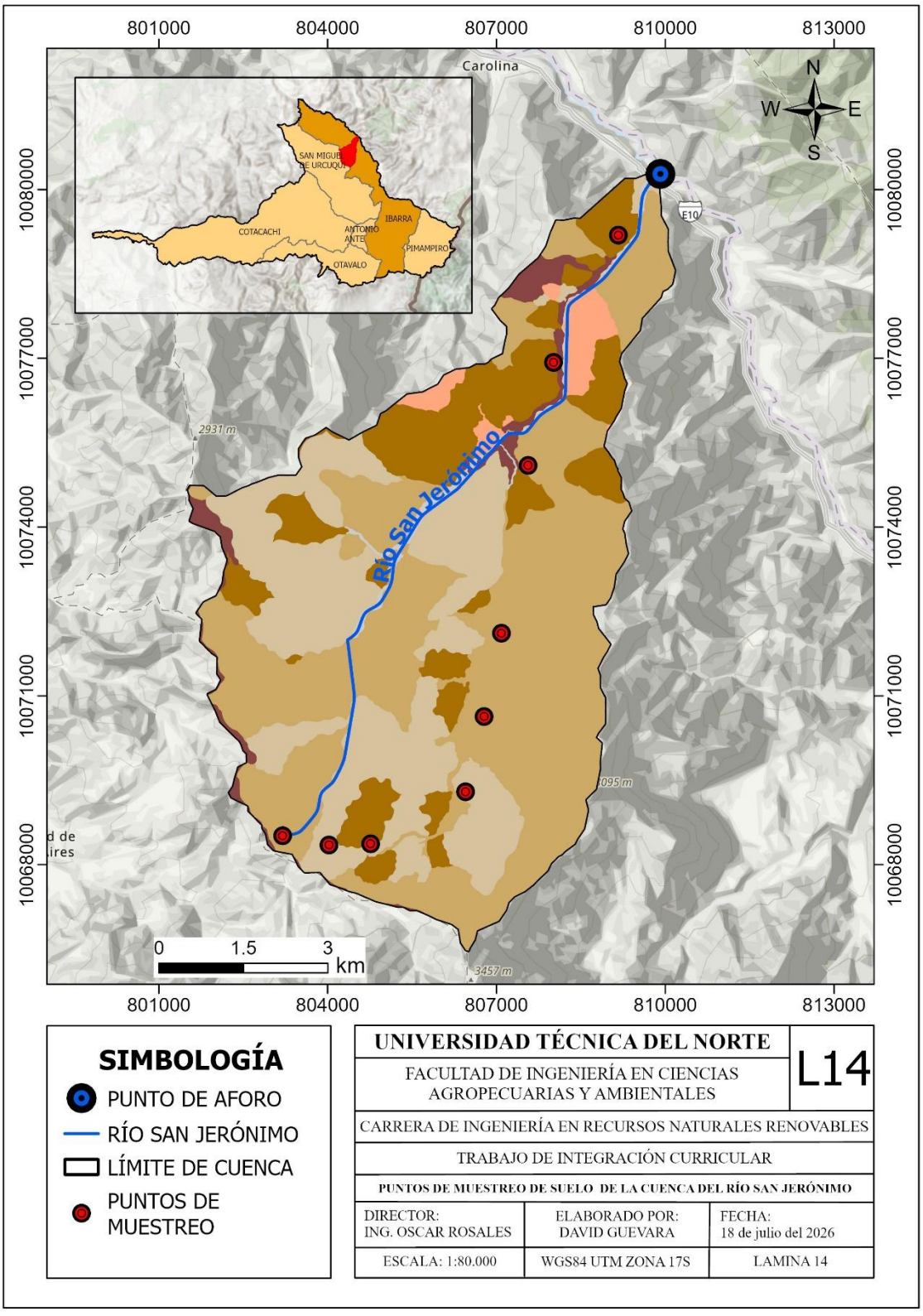
Anexo 13.

Conservación de suelo en áreas con susceptibilidad erosiva alta y moderada



Anexo 14.

Puntos de toma de muestras de suelo de la cuenca del río San Jerónimo



Anexo 15.

Resultado de análisis de textura de suelo de la cuenca baja y media del río San Jerónimo

LABONORT

LABORATORIOS NORTE

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

REPORTE ANÁLISIS TEXTURA DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO	
NOMBRE:	DAVID GUEVARA
CIUDAD	: Ibarra
TELÉFONO	: 0939867716
E-MAIL:	

DATOS DE LA PROPIEDAD	
PROVINCIA	: Imbabura
CANTÓN	: Ibarra
PARROQUIA	: La Carolina
SITIO	: San Jerónimo

RESULTADOS:

Nro. Reporte	Nro. Campo	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase textural
12748	Cuenca baja	56,4	36,0	7,6	Franco arenoso
12749	Cuenca media	48,4	44,0	7,6	Franco

Método: Análisis granulométrico por densimetría con hidrómetro de Bouyoucos

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

LABORATORIOS NORTE
LABONORT
IBARRA - ECUADOR
ANÁLISIS QUÍMICOS SUELOS Y AGUAS

Anexo 16.

Matriz de confusión y coeficiente Kappa

		Truth data							
		Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5	Class 6	Classification overall	User´s accuracy (Precision)
Classifier results	Class 1	18	0	0	0	0	0	18	100%
	Class 2	0	14	0	0	0	0	14	100%
	Class 3	0	0	57	0	0	0	57	100%
	Class 4	0	0	0	13	0	0	13	100%
	Class 5	0	0	0	0	4	2	6	66,667%
	Class 6	0	0	0	0	0	57	57	100%
	Truth overall	18	14	57	13	4	59	165	
	Poducer´s accuracy (Recall)	100%	100%	100%	100%	100%	96,61%		
Overall accuracy (OA)	98,788%								
Kappa	0,983								

Anexo 17.

Cálculo del PBIAS y RMSE para la validación del modelo RUSLE

N° de Muestra	SY_{ob}	SY_{sim}	$SY_{ob} - SY_{sim}$	$(SY_{ob} - SY_{sim})^2$
1	0,41	0,35	0,06	0,004
2	1,08	0,35	0,73	0,54
3	0,22	0,35	-0,12	0,01
4	0,23	0,35	-0,11	0,01
5	0,09	0,35	-0,26	0,06
6	0,09	0,35	-0,26	0,06
7	0,15	0,35	-0,19	0,03
8	0,06	0,35	-0,29	0,08
9	0,09	0,35	-0,26	0,06
10	0,38	0,35	0,03	0,001
11	0,48	0,35	0,13	0,01
12	0,07	0,35	-0,27	0,07
			$\Sigma(SY_{ob} - SY_{sim})^2$	0,99
			RMSE	0,28

PBIAS	PBIAS
-0.067	-6,693334298

Anexo 18.

Resultado de análisis de agua

Caudal (m3/s)	Superficie cuenca (ha)	Sedimentos en Suspensión (kg/s)	Sedimentos en Suspensión (ton/año)	SY=Sedimentos en Suspensión (ton/ha/año)	SDR SDR=0.5656*S^-0.11	A (Valor promedio RUSLE) ton/ha/año	SY SY=A*SDR (ton/ha/año)
2.33	6477.78	0.065	2.057.409	0.31761	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.112	3.526.986	0.54447	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.079	2.498.282	0.38567	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.172	5.430.310	0.83830	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.194	6.123.240	0.94527	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.303	9.552.254	147.462	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.042	1.322.620	0.20418	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.051	1.616.535	0.24955	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.047	1.469.578	0.22686	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.051	1.616.535	0.24955	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.051	1.616.535	0.24955	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.042	1.322.620	0.20418	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.023	734.789	0.11343	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.005	146.958	0.02269	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.028	881.747	0.13612	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.019	587.831	0.09075	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.009	293.916	0.04537	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.028	881.747	0.13612	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.033	1.028.704	0.15881	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.023	734.789	0.11343	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.042	1.322.620	0.20418	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.009	293.916	0.04537	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.014	440.873	0.06806	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.014	440.873	0.06806	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.019	587.831	0.09075	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.014	440.873	0.06806	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.023	734.789	0.11343	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.014	440.873	0.06806	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.107	3.380.028	0.52179	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.117	3.673.944	0.56716	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.149	4.702.648	0.72597	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.037	1.175.662	0.18149	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.112	3.526.986	0.54447	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.009	293.916	0.04537	0.2154	1.63	0.351107514

2.33	6477.78	0.014	440.873	0.06806	0.2154	1.63	0.351107514
2.33	6477.78	0.023	734.789	0.11343	0.2154	1.63	0.351107514

Anexo 19.

Toma de muestras de agua






Anexo 20.

Toma de muestras de suelo









Anexo 21.

Análisis de sedimentos en el LABORATORIO DE QUÍMICA UTN



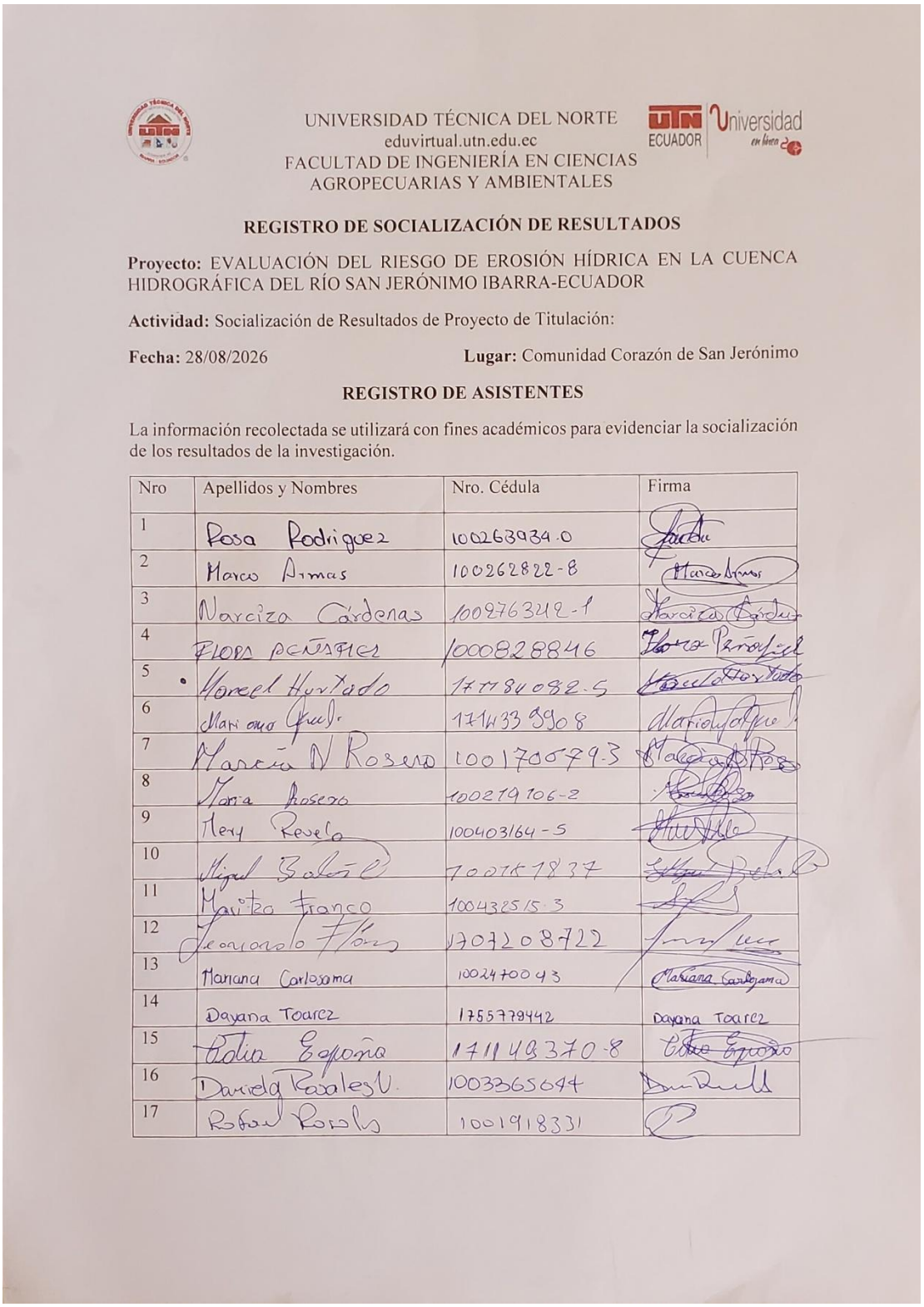






Anexo 22.

Socialización de resultados del estudio realizado en la cuenca con los moradores de la comunidad Corazón de San Jerónimo.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
eduvirtual.utn.edu.ec
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

UTN ECUADOR Universidad en línea

REGISTRO DE SOCIALIZACIÓN DE RESULTADOS

Proyecto: EVALUACIÓN DEL RIESGO DE EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SAN JERÓNIMO IBARRA-ECUADOR

Actividad: Socialización de Resultados de Proyecto de Titulación:

Fecha: 28/08/2026 **Lugar:** Comunidad Corazón de San Jerónimo

REGISTRO DE ASISTENTES

La información recolectada se utilizará con fines académicos para evidenciar la socialización de los resultados de la investigación.

Nro	Apellidos y Nombres	Nro. Cédula	Firma
1	Rosa Rodriguez	100263934-0	
2	Marco Armas	100262822-8	
3	Narciza Cárdenas	100876342-1	
4	FLORA PEÑAFIEL	1000828846	
5	Yoneel Hurtado	177784082-5	
6	Mariana Guel.	171433998	
7	Marcia N Rosero	100170579-3	
8	Maria Rosero	100279106-2	
9	Mery Revelo	100403164-5	
10	Miguel Bolaños	100778737	
11	Maritza Franco	100432515-3	
12	Leonardo Flores	1707208722	
13	Mariana Carlosama	100247043	
14	Dayana Toarez	1755779442	
15	Celia Espoña	171148370-8	
16	David Rosales V.	1003365044	
17	Rafael Rosales	1001918331	


RNR


RNR




RNR

