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 DEL RÍO LITA, IBARRA, ECUADOR"

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

Línea de investigación: Biotecnología, energía y recursos naturales renovables

AUTOR:

Jhoset Antonio Martínez Yacelga

DIRECTOR:

PhD. Darío Paúl Arias Muñoz

Ibarra – Ecuador 2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Martínez Yacelga Jhoset Antonio

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"EVALUACIÓN DEL RIESGO DE EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO LITA, IBARRA, ECUADOR"
AUTOR:	Martínez Yacelga Jhoset Antonio
FECHA: DD/MM/AAAA	31/07/2026
PROGRAMA:	■ **PREGRADO** □ **POSGRADO**
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	PhD. Darío Paúl Arias Muñoz
ASESOR:	MSc. Alexis Gabriel Jácome Aguirre

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 21 días del mes de agosto de 2026

EL AUTOR:



Jhoset Antonio Martínez Yacelga

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el señor JHOSET ANTONIO MARTÍNEZ YACELGA, con cédula de identidad Nro. 100331280-6, bajo mi supervisión en calidad de director.



PhD. Darío Paúl Arias Muñoz

AGRADECIMIENTOS

*A la **Universidad Técnica del Norte**, por haber sido el espacio donde se desarrolló mi formación académica y personal. Sus aulas, laboratorios y distintos espacios universitarios fueron testigos de grandes desafíos, aprendizajes y experiencias que marcaron esta etapa de mi vida. En esta institución comprendí que el conocimiento, acompañado de esfuerzo y compromiso, constituye una herramienta fundamental para contribuir al cuidado de los recursos naturales y al desarrollo de la sociedad.*

*Expreso mi más sincero agradecimiento a mi director, **PhD. Paúl Arias**, por su orientación, experiencia, exigencia académica y acompañamiento constante durante el desarrollo de esta investigación. Agradezco también a mi asesor, **MSc. Gabriel Jácome**, por su disponibilidad, paciencia y sus observaciones, que aportaron mucho a fortalecer el trabajo. La guía de ambos fue clave para superar las dificultades del proceso y llegar hasta el final.*

*A los docentes de la carrera de **Ingeniería en Recursos Naturales Renovables**, quienes estuvieron presentes a lo largo de mi formación y aportaron, desde cada asignatura y experiencia compartida en mi crecimiento profesional. Gracias por su dedicación, por motivarme a seguir adelante y por enseñarme que la formación universitaria implica también responsabilidad, disciplina y compromiso con el ambiente y la sociedad, más allá del aprendizaje teórico.*

Finalmente, agradezco a mi familia por su apoyo incondicional, comprensión y confianza durante todos estos años. Su compañía fue mi principal fortaleza en los momentos difíciles y la motivación para continuar hasta alcanzar esta meta. A mis compañeros y amigos, gracias por las experiencias compartidas, las jornadas de estudio, las salidas de campo, las risas y el respaldo constante. Esos momentos convirtieron esta etapa universitaria en una experiencia inolvidable, con recuerdos que van a quedar más allá de las aulas.

Jhoset Antonio Martínez Yacelga

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi padre, ***Antonio Martínez*** *por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo, la responsabilidad y la constancia. Gracias por cada sacrificio realizado, por confiar en mí y por impulsarme a continuar incluso cuando el camino parecía difícil. Esta meta también lleva una parte de todo lo que me ha enseñado.*

A mi madre, ***Marianita Yacelga*** *por su amor incondicional, su paciencia y su fortaleza. Gracias por acompañarme en cada etapa, por escucharme, por sostenerme en los momentos de incertidumbre y por recordarme siempre que era capaz de alcanzar mis objetivos. Todo lo que soy y cada paso que doy están marcados por sus enseñanzas.*

A mis hermanos, ***Alexander Martínez*** *y* ***Joel Martínez*** *por formar parte de mi vida y estar presentes con su apoyo, sus palabras y su compañía. Gracias por compartir conmigo los momentos buenos y difíciles, por motivarme a seguir adelante y por recordarme que nunca he estado solo durante este proceso.*

A mis amigos, especialmente a quienes estuvieron presentes con una palabra de ánimo, un consejo oportuno o simplemente con su compañía cuando más lo necesitaba. Gracias por escucharme, por creer en mí y por hacer más llevaderos los días de cansancio y preocupación. Cada gesto de apoyo tuvo un significado especial y contribuyó a que pudiera continuar hasta alcanzar esta meta.

Por último, dedico este logro a todas las personas que, de cualquier manera, contribuyeron algo positivo a mi vida y me ayudaron a crecer. Tal vez algunas nunca sepan cuánto significaron sus palabras o acciones, pero una parte de este camino también fue posible gracias a ellas.

Jhoset Antonio Martínez Yacelga

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido **Páginas**

CAPITULO I 1
INTRODUCCIÓN 1
1.1 Revisión de antecedentes 1
1.2 Problema de investigación 3
1.3 Justificación del problema 4
1.4 Objetivos 5
1.4.1 Objetivo general 5
1.4.2 Objetivos específicos 5
1.5 Preguntas directrices de la investigación 5
CAPÍTULO II 6
REVISIÓN DE LITERATURA 6
2.1 Erosión hídrica como amenaza 6
2.1.1 Tipos de erosión hídrica 6
2.2 Modelos para la evaluación de erosión hídrica 6
2.2.1 Aplicación del modelo RUSLE mediante SIG 7
2.2.2 Factores del modelo RUSLE 7
2.2.3 Relación entre erosión hídrica y producción de sedimentos en cuencas hidrográficas 8
2.2.4 Calibración y desempeño del modelo RUSLE 9
2.3 Zonificación de la erosión hídrica 10
2.3.1 Priorización de áreas críticas 10
2.3.2 Representación espacial de la erosión hídrica 11
2.4 Estrategias de conservación del suelo 11
2.4.1 Restauración ecológica 12
2.4.2 Participación y adaptación comunitaria 12
2.4.3 Gobernanza para la conservación 12
2.5 Marco legal 13
2.5.1 Constitución del Ecuador 14
2.5.2 Instrumentos ambientales internacionales 14
2.5.3 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua . 14
2.5.4 Código Orgánico del Ambiente 15
2.5.5 Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 15
CAPÍTULO III 16
METODOLOGÍA 16

3.1 Descripción del área de estudio 16
3.2 Morfometría de la cuenca 17
3.2.1 Edafología de la cuenca del río Lita 20
3.3 Métodos 21
3.3.1 Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica 21
3.3.2 Determinación del factor R 23
3.3.3 Determinación del factor K 24
3.3.4 Determinación del factor LS 26
3.3.5 Determinación del factor C 27
3.4 Calibración referencial del modelo RUSLE 28
3.4.1 Estimación de la producción de sedimentos observada 30
3.4.2 Estimación del volumen de suelo perdido por erosión hídrica 32
3.4.3 Evaluación del riesgo de erosión hídrica 36
3.5 Limitaciones metodológicas 36
3.6 Propuesta de estrategias de conservación mediante el modelo Presión - Estado - Respuesta 37
3.6.1 Indicadores de presión: uso potencial, clases agrológicas y conflictos de uso 38
3.6.2 Indicadores de estado: pérdida de suelo y riesgo de erosión hídrica 39
3.6.3 Indicadores de respuesta: formulación de estrategias mediante la matriz FODA 39
3.7 Materiales y equipos 40
CAPÍTULO IV 41
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 41
4.1 Pérdida de suelo causada por erosión hídrica en la cuenca hidrográfica 41
4.1.1 Producción de sedimentos observada y simulada 43
4.1.2 Volumen de suelo perdido a partir de la densidad aparente 44
4.2 Zonificación del riesgo de erosión hídrica 45
4.3 Modelo Presión – Estado – Respuesta aplicado a la cuenca del río Lita 46
4.3.2 Propuesta de estrategias de manejo y conservación 51
4.4 Discusión 57
CAPÍTULO V 60
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 60
5.1 Conclusiones 60
5.2 Recomendaciones 60
CAPÍTULO VI 62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores de la ecuación RUSLE 8
Tabla 2. Estrategias para el control de erosión hídrica del suelo 11
Tabla 3. Límites de la cuenca hidrográfica del río Lita 17
Tabla 4. Características físicas de la cuenca del río Lita 18
Tabla 5. Valores del Factor C 27
Tabla 6. Categorías de erosión hídrica y sus características 36
Tabla 7. Materiales, equipos, insumos y software utilizados 40
Tabla 8. Sedimentos observados y simulados (t/ha/año) 43
Tabla 9. Densidad aparente observada y simulada 45
Tabla 10. Matriz de análisis FODA 50
Tabla 11. Matriz de estrategias combinadas derivadas del análisis FODA 51
Tabla 12. Matriz operativa estrategia 1 53
Tabla 13. Matriz operativa estrategia 2 54
Tabla 14. Matriz operativa estrategia 3 55
Tabla 15. Matriz operativa estrategia 4 57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pirámide de Kelsen del marco legal aplicable al riesgo de erosión hídrica 13
Figura 2. Ubicación de la cuenca del río Lita 16
Figura 3. Edafología de la cuenca del río Lita 20
Figura 4. Esquema metodológico de la ecuación RUSLE 23
Figura 5. Ubicación de las calicatas para la determinación de la densidad aparente 33
Figura 6. Procedimiento para la determinación de la densidad aparente del suelo ... 34
Figura 7. Esquema metodológico del modelo PER 38
Figura 8. Factores del modelo RUSLE 41
Figura 9. Erosión hídrica en la cuenca del río Lita 43
Figura 10. Suelo perdido en la cuenca del río Lita 45
Figura 11. Zonificación de la erosión hídrica en la cuenca del río Lita 46
Figura 12. Uso potencial del suelo 47
Figura 13. Clases agrológicas 48
Figura 14. Conflictos de uso del suelo 49
Figura 15. Estrategias de conservación propuestas en la cuenca del río Lita 52

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACTULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EVALUACIÓN DEL RIESGO DE EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO LITA, IBARRA, ECUADOR

Trabajo de Titulación

Jhoset Antonio Martínez Yacelga

RESUMEN

La erosión hídrica es uno de los principales procesos de degradación del suelo en cuencas hidrográficas andinas, debido a que afecta la estabilidad del territorio, la productividad del suelo y el transporte de sedimentos hacia los cauces. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el riesgo de erosión hídrica en la cuenca del río Lita, Ibarra, Ecuador, mediante la aplicación del modelo RUSLE integrando los SIG, con el fin de proponer estrategias de conservación del suelo. La metodología consideró la delimitación de la cuenca, la estimación espacial de los factores de erosividad de la lluvia, erodabilidad del suelo, longitud y pendiente de ladera, y cobertura vegetal. Con estos insumos se determinó la pérdida media anual de suelo, se zonificó el riesgo de erosión hídrica y se realizó un análisis referencial de desempeño mediante la comparación entre la producción de sedimentos observada y estimada en dos puntos de control hidrológico. Los resultados mostraron una pérdida media anual de 1,04 t/ha/año, con valores entre 0 y 95,44 t/ha/año que equivale a 0,86 cm/año. La categoría de erosión muy baja predominó en el 97,05 % de la superficie, mientras que las categorías media, alta y muy alta representaron en conjunto el 1,52 % del área. El análisis referencial presentó un PBIAS de −10,95 % y un RMSE de 0,0174 t/ha/año, interpretados como indicadores de sesgo y error del modelo. Los resultados permitieron identificar áreas prioritarias y plantear estrategias de conservación ajustadas a las condiciones espaciales de la cuenca.

Palabras clave: erosión hídrica, RUSLE, SIG, producción de sedimentos, conservación del suelo.

ABSTRACT

Soil erosion by water is one of the major land degradation processes affecting Andean watersheds, as it compromises landscape stability, soil productivity, and sediment transport into river channels. This study aimed to assess water erosion risk in the Lita River watershed, Ibarra, Ecuador, by applying the RUSLE model integrated with Geographic Information Systems (GIS), in order to propose soil conservation strategies. The methodology included watershed delineation and the spatial estimation of rainfall erosivity, soil erodibility, slope length and steepness, and vegetation cover factors. Based on these inputs, mean annual soil loss was determined, water erosion risk was zoned, and a reference-based performance assessment was conducted by comparing observed and estimated sediment yield at two hydrological control points. The results showed a mean annual soil loss of 1.04 t/ha/year, with values ranging from 0 to 95.44 t/ha/year; the maximum value was equivalent to a soil-loss thickness of 0.86 cm/year. The very low erosion category predominated across 97.05% of the watershed area, while the medium, high, and very high categories together represented 1.52% of the total area. The reference-based assessment yielded a PBIAS of −10.95% and an RMSE of 0.0174 t/ha/year, which were interpreted as indicators of model bias and error magnitude. The results enabled the identification of priority areas and the formulation of conservation strategies adapted to the spatial conditions of the watershed.

Keywords: water erosion, RUSLE, GIS, sediment yield, soil conservation.

CAPITULO I
INTRODUCCIÓN

1.1 Revisión de antecedentes

La erosión hídrica es un proceso de degradación del suelo en el que las partículas meteorizadas son desprendidas, transportadas y depositadas por la acción del agua hacia zonas de menor altitud (Pennock et al., 2019). Afecta negativamente la productividad agrícola, la estabilidad de los ecosistemas y la calidad del recurso hídrico, y se considera uno de los principales factores de pérdida de suelo fértil en zonas montañosas y tropicales (Andrade-Carreño et al., 2025). En Ecuador, este fenómeno cobra especial importancia debido a su compleja diversidad topográfica y climática, que favorece su ocurrencia en múltiples regiones del territorio. Varias investigaciones han evaluado el riesgo de erosión en cuencas hidrográficas del país mediante enfoques integrales que incluyen métodos empíricos, modelos de simulación hidrológica y herramientas de análisis espacial como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), lo que ha permitido comprender de mejor manera la dinámica espacial de la erosión hídrica (Arias-Muñoz et al., 2023; Casanova-Ruiz et al., 2024; Saavedra Durán, 2025; Andrade-Carreño et al., 2025).

El modelo RUSLE ha sido ampliamente utilizado en investigaciones nacionales y regionales debido a su capacidad para integrar factores climáticos, edáficos, topográficos, de cobertura y manejo del suelo. En la cuenca media-alta del río Mira, Arias-Muñoz et al. (2023) emplearon este modelo junto con herramientas SIG para estimar la erosión hídrica y delimitar zonas con diferente grado de susceptibilidad. De manera similar, en la cuenca del río Ambi se integraron variables topográficas, climáticas y de cobertura vegetal para modelar la pérdida de suelo, estimándose una pérdida promedio de 29 t/ha/año, clasificada como erosión media (Rodríguez y Carvajal, 2024). En la provincia de Manabí, Casanova-Ruiz et al. (2024) aplicaron RUSLE para estimar volúmenes de sedimentos que se generan por erosión hídrica y así orientar estrategias de conservación del suelo.

En la provincia de Imbabura también hay investigaciones relevantes sobre erosión hídrica y degradación del suelo (Cueva, 2021; Quiñónez, 2022; Arias-Muñoz et al., 2023). En la microcuenca de la quebrada Quitumbe, ubicada en la parroquia de Imantag, cantón Cotacachi, Quiñónez (2022) aplicó el modelo USLE dentro de un enfoque geoespacial para identificar áreas prioritarias de intervención. El estudio mostró que la presión sobre los recursos naturales,

la expansión agrícola no planificada y la ausencia de prácticas de conservación favorecen la pérdida de cobertura vegetal y aumentan la susceptibilidad a la erosión. Estas son medidas para disminuir la degradación del suelo y fortalecer la gestión sostenible del territorio, aquí se propuso la agroecología, la reforestación con especies nativas y la formación comunitaria.

La relación entre el cambio de uso del suelo y erosión hídrica también se ha documentado en la cuenca alta del río Mira. Cueva (2021) analizó imágenes satelitales de Landsat y Sentinel-2A para analizar los cambios de cobertura natural y uso del suelo entre los años 1996 y 2008, integrando estos resultados con el modelo RUSLE. En ese periodo el incremento de áreas cultivadas y la disminución de zonas con bosque, páramo y vegetación arbustiva se asociaron con el incremento de la pérdida de suelo. Aunque la mayoría del territorio presentó baja susceptibilidad, se detectaron sectores con pérdidas superiores a 200 t/ha/año, lo que evidencia que la expansión agrícola y ganadera pueden generar focos preocupantes de erosión en zonas puntuales (Cueva, 2021; Troya y Villareal, 2022).

Además de los factores biofísicos, las actividades antrópicas han intensificado la erosión hídrica en diversas cuencas del país (Ballesteros y Ñacato, 2020; Cueva, 2021; Rodríguez y Carvajal, 2024). La deforestación, los cultivos en laderas pronunciadas, los incendios forestales y los cambios acelerados en el uso del suelo reducen la cobertura vegetal y aumentan la exposición del suelo a la lluvia y a la escorrentía (Ballesteros y Ñacato, 2020; Vanacker et al., 2020). En este contexto, las estrategias de conservación deben responder tanto a las condiciones físicas del territorio como a las formas de ocupación y uso actual del suelo. Estudios realizados en cuencas ecuatorianas han propuesto medidas como la reforestación, el manejo sostenible del suelo, la educación ambiental y las prácticas de conservación, con el fin de reducir la degradación progresiva del territorio (Quiñónez, 2022; Rodríguez y Carvajal, 2024).

A pesar de los avances en la aplicación de modelos como RUSLE y USLE en distintas cuencas del Ecuador, aún existen vacíos importantes en territorios específicos como la cuenca del río Lita (Cueva, 2021; Quiñónez, 2022; Arias-Muñoz et al., 2023; Casanova-Ruiz et al., 2024). Aunque la cuenca del río Lita forma parte de un sistema hidrográfico con antecedentes de transformación de cobertura y presión antrópica, los estudios disponibles se han enfocado principalmente en otras unidades territoriales o en aspectos ambientales generales de la zona (Cueva, 2021; Toro y Artos, 2024). También, la mayoría de investigaciones sobre erosión hídrica se han orientado en estimar de forma espacial la pérdida del suelo, mientras que son

mucho más limitados los trabajos que comparan los resultados del modelo con lo datos observados en campo. Este escenario justifica la necesidad de evaluar la erosión hídrica en la cuenca del río Lita aplicando RUSLE, incorporar un análisis referencial del modelo y generar información valiosa que contribuya a la planificación y conservación del suelo en esta cuenca.

1.2 Problema de investigación

La erosión hídrica constituye un problema ambiental cuando la remoción del suelo supera la capacidad natural de recuperación del territorio y altera el equilibrio entre suelo, agua y cobertura vegetal (Pennock et al., 2019). En cuencas de montaña, este proceso puede intensificarse por la combinación de relieve pronunciado, lluvias frecuentes y cambios en el uso del suelo, generando condiciones que favorecen la degradación progresiva del paisaje y la acumulación de sedimentos en la red hídrica (Espinosa et al., 2022; Andrade-Carreño et al., 2025).

La cuenca del río Lita, ubicada en el noroeste de la provincia de Imbabura, es un sistema natural que, debido a sus condiciones geográficas y climáticas, presenta procesos de erosión hídrica (GAD Parroquial Rural Lita, 2024; Toro y Artos, 2024). Sin embargo, no cuenta con estudios que determinen de forma cuantitativa el nivel de pérdida del suelo. En contraste, la cuenca del río Mira, que abarca la subcuenca del río Lita, ha sido objeto de diversos estudios mediante herramientas de geo-información, los cuales han revelado niveles alarmantes de pérdida de suelo asociados al cambio de uso del territorio y a la reducción de la cobertura vegetal, especialmente entre los años 1996 y 2018 (Cueva, 2021; Troya y Villarreal, 2022). Esta diferencia de atención genera un vacío significativo en comprender el comportamiento de erosión en la cuenca del río Lita, lo cual limita la toma de decisiones orientadas a la mitigación que se basan en la evidencia técnica (Andrade-Carreño et al., 2025).

A nivel nacional, se ha documentado que la erosión hídrica altera de manera considerable a regiones como la Sierra Norte y Manabí, donde diversos estudios han permitido mapear la vulnerabilidad y modelar escenarios de pérdida de suelo (Rosales Enríquez, 2020; Arias-Muñoz et al., 2023; Casanova-Ruiz et al., 2024). Sin embargo, la cuenca del río Lita aún permanece fuera de estos análisis, pese a compartir factores determinantes como pendientes pronunciadas, deforestación y actividades agropecuarias no reguladas, además de registrar una precipitación media anual superior a 3 000 mm, lo que incrementa su susceptibilidad a los procesos erosivos (GAD Parroquial Rural Lita, 2024). La falta de estudios científicos sobre esta problemática deja un vacío importante en la información ambiental de la zona y dificulta

el diseño de políticas públicas orientadas a reducir los efectos de la erosión y proteger los servicios ecosistémicos que brinda este territorio (Peñafiel, 2023).

Un reciente estudio que se hizo cuenca del río Ambi demostró que la aplicación de RUSLE mediante SIG constituye una herramienta efectiva para identificar áreas críticas de erosión y diseñar estrategias de conservación del suelo adaptadas a las necesidades locales (Rodríguez y Carvajal, 2024). A diferencia de la cuenca del río Esmeraldas, donde se ha desarrollado una caracterización espacial de la erosión del suelo, en la cuenca del río Lita aún no se dispone de información similar (Fernández y Rodríguez, 2023). Esta carencia dificulta los procesos de ordenamiento territorial y la gestión de riesgos naturales. Además, las lluvias frecuentes, el relieve montañoso y la presión sobre la cobertura vegetal hacen necesario contar con información que permita identificar las áreas más susceptibles a la degradación del suelo y orientar adecuadamente las medidas de conservación (GAD Parroquial Rural Lita, 2024; Toro y Artos, 2024).

1.3 Justificación del problema

La ausencia de estudios técnicos en la cuenca del río Lita limita seriamente la capacidad de los actores locales para anticipar y mitigar los efectos negativos de la erosión hídrica sobre el suelo, los cultivos, la infraestructura y el incremento de la carga sedimentaria en los cuerpos fluviales, lo que a su vez afecta la calidad del agua y la funcionalidad de los ecosistemas ribereños (Casanova-Ruiz et al., 2024). En otras zonas de Imbabura, como la cuenca del río Ambi y la cuenca alta del río Mira, aplicar modelos de erosión como RUSLE junto con herramientas SIG ha permitido identificar zonas críticas y priorizar acciones de conservación (Cueva, 2021; Rodríguez y Carvajal, 2024). En la cuenca del río Lita no existe ese tipo de análisis, lo que deja sin lineamientos técnicos el manejo sostenible del territorio y sin respaldo las decisiones de planificación territorial.

La presente investigación tiene como objetivo llenar este vacío generando información geoespacial específica para la cuenca del río Lita, así como cuantificar la pérdida potencial de suelo debido a la erosión hídrica y examinar su distribución espacial. En la Costa y Sierra Norte de Ecuador, este tipo de información permite la clasificación de niveles de riesgo, el reconocimiento de áreas prioritarias y el apoyo técnico para la conservación del suelo (Jaramillo Veliz, 2015; Haro, 2020; Andrade-Carreño et al., 2025). En este sentido, la

propuesta para la cuenca del río Lita retoma estas metodologías y las adapta al contexto local, fortaleciendo la capacidad técnica de respuesta frente a la degradación del suelo.

De igual manera, diversos estudios han demostrado que el análisis espacial de la erodabilidad del suelo, la pendiente, la cobertura vegetal y el uso del territorio permite proponer medidas correctivas y preventivas para la conservación del suelo (Fernández y Rodríguez, 2023; Arias-Muñoz et al., 2023; Rodríguez y Carvajal, 2024). Desde esta perspectiva, la aplicación de estos enfoques en la cuenca del río Lita permitirá sustentar decisiones técnicas orientadas a la gestión del territorio, en concordancia con los lineamientos ambientales del Plan de Desarrollo para el Nuevo Ecuador 2024–2025, relacionados con la gestión sostenible del suelo, la restauración de ecosistemas y la adaptación al cambio climático (Secretaría Nacional de Planificación, 2024). Asimismo, el estudio se articula con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente el ODS 13, relacionado con la acción climática, y el ODS 15, orientado a la vida de ecosistemas terrestres, al aportar información útil para prevenir la degradación del suelo y conservar los recursos naturales (Naciones Unidas, 2015).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

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

1.4.2 Objetivos específicos

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

1.5 Preguntas directrices de la investigación

- ¿Cuál es la cantidad perdida de suelo causada por erosión hídrica en la cuenca del río Lita?
- ¿Cuáles son las áreas más susceptibles a la erosión hídrica en la cuenca del río Lita?

CAPÍTULO II
REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Erosión hídrica como amenaza

La erosión hídrica constituye una de las principales amenazas para el recurso suelo, ya que provoca la remoción progresiva de partículas superficiales, reduce la fertilidad edáfica y favorece el transporte de sedimentos hacia los cuerpos de agua (Espinosa et al., 2022; Pennock et al., 2019). Este proceso se intensifica en territorios con pendientes pronunciadas, lluvias frecuentes, baja cobertura vegetal y cambios bruscos en el uso del suelo, siendo condiciones que incrementan la susceptibilidad edáfica a la degradación (Cueva, 2021; Vanacker et al., 2020). Por ello, su análisis resulta fundamental en cuencas hidrográficas, donde la pérdida de suelo puede afectar la estabilidad del paisaje, la funcionalidad ambiental y a la producción del territorio.

2.1.1 Tipos de erosión hídrica

Para comprender la dinámica de la erosión hídrica, es fundamental reconocer sus principales formas de manifestación (Jaramillo Veliz, 2015). La erosión laminar consiste en la remoción uniforme de las capas superficiales del suelo y, aunque suele pasar desapercibida, representa una pérdida significativa de nutrientes y estructura (Cueva, 2021). La erosión en surcos se produce cuando el escurrimiento se concentra y forma pequeños canales que intensifican la remoción edáfica (Quiñónez, 2022). En etapas más avanzadas se desarrolla la erosión en cárcavas, caracterizada por la formación de zanjas profundas asociadas a pendientes pronunciadas y cambios intensivos en el uso del suelo (Vanacker et al., 2020). De igual forma, la erosión por salpicadura se genera por el impacto directo de las gotas de lluvia sobre suelos desprotegidos, acelerando el desprendimiento de partículas superficiales (Párraga, 2023). El reconocimiento de estas formas permite interpretar cómo avanza el proceso de erosión y sustenta la necesidad de evaluar espacialmente las zonas con diferente nivel de susceptibilidad.

2.2 Modelos para la evaluación de erosión hídrica

Para estimar la pérdida de suelo y apoyar la gestión territorial se recurre a distintos modelos de predicción de erosión hídrica. El USLE es el más usado: un enfoque empírico que calcula la erosión media anual a partir de la lluvia, la pendiente, las características del suelo, la cobertura vegetal y las prácticas de manejo (Amorim, 2003). La versión modificada que es MUSLE, suma el volumen de escorrentía con el caudal pico, lo que permite estimar la erosión a escala

de eventos de lluvia individual. El WPP en cambio parte de principios físicos y simulado los procesos de escorrentía y erosión diariamente, aunque exige información detallado para poder calibrarlo (Cecílio et al., 2009). El SWAT analiza de forma coordinada la erosión, hidrología y calidad del agua a escala de cuenca, con múltiples variables biofísicas. Otros modelos, como USPED, MMF y LISEM, ofrecen estimaciones espaciales o combinan enfoques físicos y empíricos, según los datos disponibles y el nivel de detalle que se necesite (Hill et al., 2008; Jaramillo Veliz, 2015; Rodríguez y Carvajal, 2024).

2.2.1 Aplicación del modelo RUSLE mediante SIG

El modelo RUSLE permite cuantificar los procesos erosivos con un buen nivel de detalle espacial, lo que resulta especialmente útil en cuencas con características fisiográficas complejas. En cuencas con condiciones similares, el RUSLE integrado con herramientas SIG y contrastado con información de campo ha generado estimaciones útiles de pérdida de suelo para el análisis espacial de la erosión hídrica (Quiñónez, 2022; Párraga, 2023; Arias-Muñoz et al., 2023; Rodríguez y Carvajal, 2024). Esa integración con los SIG mejora la delimitación de áreas críticas y aporta a la planificación territorial. En el contexto ecuatoriano, la calidad de los datos de entrada, el enfoque metodológico y la validación en campo son los factores que más pesan en la precisión del análisis (Quiñónez, 2022; Jaramillo Veliz, 2015).

2.2.2 Factores del modelo RUSLE

La estimación de la pérdida de suelo mediante RUSLE se fundamenta en la interacción de cinco factores, mencionados en la Tabla 1, que permiten estimar la pérdida media anual de suelo por erosión hídrica. El factor R (erosividad de la lluvia) representa la energía de las precipitaciones y su capacidad para desprender partículas del suelo, siendo estimado a partir de registros pluviométricos históricos (Almoza et al., 2008). El factor K (erodabilidad del suelo) expresa la susceptibilidad del suelo a la erosión en función de propiedades como la textura, estructura, permeabilidad y contenido de materia orgánica (Espinosa et al., 2022). El factor LS integra la longitud y la pendiente del terreno, determinando el efecto topográfico en la aceleración del escurrimiento superficial (Giménez, 2008). El factor C considera el tipo de cobertura vegetal y el manejo del suelo, los cuales influyen directamente en la protección del suelo frente a la erosión (Lianes et al., 2009). Finalmente, el factor P representa las prácticas de conservación implementadas, como terrazas, zanjas de infiltración o barreras vegetales, las cuales contribuyen a reducir la velocidad del flujo superficial (Jaramillo Veliz, 2015).

Tabla 1. Factores de la ecuación RUSLE

Indicador	Descripción	Unidad de medida
A	Pérdida de suelo por erosión hídrica	(t/ha/año)
R	Erosividad de la lluvia	(Mj*mm) / (ha*h*año)
K	Erodabilidad del suelo	(t*h*ha) / (ha*Mj*mm)
LS	Factor de longitud y pendiente	(adimensional)
C	Cobertura del suelo	(adimensional)
P	Prácticas de conservación	(adimensional)

2.2.3 Relación entre erosión hídrica y producción de sedimentos en cuencas hidrográficas

La erosión hídrica y la producción de sedimentos son procesos relacionados dentro de una cuenca hidrográfica, aunque no representan la misma variable ambiental (Gray y Simões, 2008; Pennock et al., 2019). La erosión hídrica corresponde al desprendimiento y transporte inicial de partículas del suelo por efecto de la lluvia y la escorrentía superficial, mientras que la producción de sedimentos, o *sediment yield*, representa la fracción del material erosionado que alcanza un punto de salida o control dentro del sistema fluvial (Gray y Simões, 2008; Pennock et al., 2019).

Esta diferencia se debe a que no todo el suelo removido en las laderas llega al cauce principal, debido a procesos de retención, deposición intermedia o almacenamiento temporal dentro de la cuenca (Lim et al., 2005; Thomas et al., 2018). La cantidad de sedimentos entregada depende de la conectividad entre las laderas y los cauces, así como de la pendiente, la cobertura vegetal, la distancia a la red de drenaje, la energía del flujo y la configuración morfométrica de la cuenca (Lim et al., 2005; Gray y Simões, 2008). Por esta razón, áreas con pérdidas de suelo similares pueden generar aportes sedimentarios diferentes cuando las condiciones de transporte y deposición no son equivalentes (Gray y Simões, 2008; Thomas et al., 2018).

El modelo RUSLE permite estimar la pérdida media anual de suelo en laderas, principalmente asociada con procesos de erosión laminar y en surcos. Por lo tanto, su resultado representa la remoción potencial del suelo antes de considerar la entrega efectiva de sedimentos hacia el cauce (Renard et al., 1997; Thomas et al., 2018). Para aproximar la fracción del material erosionado que puede alcanzar la red de drenaje se utiliza el coeficiente de entrega de sedimentos, conocido como *Sediment Delivery Ratio* (SDR), el cual relaciona la pérdida

potencial de suelo con el aporte sedimentario hacia un punto de control (Lim et al., 2005; Ebrahimzadeh et al., 2018).

La integración de RUSLE, SDR y SIG permite representar espacialmente la erosión potencial y estimar la fracción de sedimentos que puede ser transportada aguas abajo dentro de una cuenca hidrográfica (Thomas et al., 2018; Shekar y Mathew, 2024). Esta relación permite diferenciar la pérdida de suelo generada en las laderas de la producción de sedimentos entregada al sistema fluvial, evitando interpretar ambos resultados como variables equivalentes (Lim et al., 2005; Pennock et al., 2019).

2.2.4 Calibración y desempeño del modelo RUSLE

La calibración y el análisis de desempeño de modelos de erosión hídrica permiten examinar la coherencia entre los valores estimados por el modelo y la información observada en campo (Moriasi et al., 2015). En modelos empíricos como RUSLE, esta evaluación debe delimitar claramente el alcance de la comparación, debido a que el modelo fue desarrollado para estimar pérdida media anual de suelo bajo condiciones específicas de erosión laminar y en surcos (Renard et al., 1997). Cuando se incorpora el SDR, la evaluación se orienta hacia una producción de sedimentos estimada, lo que permite contrastar de forma referencial los resultados del modelo con información sedimentaria observada en puntos de control fluvial (Lim et al., 2005; Gray y Simões, 2008). Esta interpretación evita asumir una equivalencia directa entre la estimación espacial del modelo y la dinámica completa del transporte de sedimentos en el cauce (Thomas et al., 2018; Moriasi et al., 2015).

El análisis de desempeño puede apoyarse en indicadores cuantitativos que permiten valorar el sesgo y la magnitud del error entre valores observados y estimados (Legates y McCabe, 1999; Moriasi et al., 2015). El sesgo porcentual, o PBIAS, permite identificar si el modelo tiende a sobrestimar o subestimar los valores observados, por lo que resulta útil para interpretar la dirección del error en la estimación (Gupta et al., 1999; Moriasi et al., 2015). La raíz del error cuadrático medio, o RMSE, permite cuantificar la magnitud promedio del error entre los valores comparados, expresando la diferencia en las mismas unidades utilizadas en el análisis (Chai y Draxler, 2014; Moriasi et al., 2015). Estos indicadores permiten analizar el desempeño referencial del modelo, pero no constituyen pruebas de significancia estadística ni permiten demostrar diferencias significativas sin un diseño estadístico específico (Legates y McCabe, 1999; Moriasi et al., 2015).

La interpretación de la calibración debe ser prudente cuando el número de puntos de control o de datos observados es limitado, ya que una comparación reducida permite evaluar sesgo y error, pero no representar toda la variabilidad espacial y temporal del proceso sedimentario (Moriasi et al., 2015; Thomas et al., 2018). En este contexto, la comparación entre valores estimados mediante RUSLE + SDR y datos observados permite valorar el comportamiento general del modelo dentro del alcance definido por el estudio, sin asumir una validación integral de la dinámica sedimentaria de la cuenca (Gray y Simões, 2008; Lim et al., 2005). Por ello, los resultados provenientes del PBIAS y RMSE se deben interpretar como indicadores de desempeño referencial, ya que sirven de mucho, para comprender la coherencia de la estimación y así evitar conclusiones estadísticas que no estén respaldadas por la estructura de datos disponible (Moriasi et al., 2015).

2.3 Zonificación de la erosión hídrica

La zonificación del riesgo por erosión hídrica requiere un enfoque integrado que considere las características físicas de la cuenca y los factores de presión antrópica. Variables como la pendiente, el tipo de suelo, la cobertura vegetal y el régimen pluviométrico se deben analizar junto con procesos como la deforestación, el cultivo intensivo y la expansión urbana no regulada (Párraga, 2023; Fernández y Rodríguez, 2023). En las cuencas del río Mira y Ambuquí, los SIG han servido para modelar espacialmente la susceptibilidad a la erosión mediante la superposición de capas temáticas derivadas de sensores remotos, modelos digitales de elevación y mapas de uso del suelo (Benalcázar, 2017; Cueva, 2021). Estos enfoques resultan fundamentales para interpretar la distribución del riesgo edáfico en paisajes complejos con alta variabilidad topográfica y fuerte intervención humana (Rodríguez y Carvajal, 2024).

2.3.1 Priorización de áreas críticas

La priorización de áreas críticas permite reconocer los sectores donde la erosión hídrica puede requerir mayor atención dentro de una cuenca, ya que la pérdida de suelo no se distribuye de manera uniforme en todo el territorio (Jaramillo Veliz, 2015). En cuencas ecuatorianas, este tipo de identificación ha sido útil para distinguir zonas con mayor susceptibilidad a la degradación, especialmente cuando coinciden pendientes pronunciadas, cambios de cobertura vegetal y presión sobre el uso del suelo (Arias-Muñoz et al., 2023; Rodríguez y Carvajal, 2024). Estas áreas no siempre ocupan grandes superficies, pero pueden tener importancia ambiental por su aporte potencial de sedimentos, su cercanía a cauces o su relación con actividades

productivas desarrolladas en laderas (Casanova-Ruiz et al., 2024; Andrade-Carreño et al., 2025). Por esta razón, su reconocimiento permite orientar las medidas de conservación hacia puntos donde la intervención puede ser más necesaria y técnicamente justificable, evitando plantear acciones generales para toda la cuenca sin diferenciar niveles de prioridad (Jaramillo Veliz, 2015; Rodríguez y Carvajal, 2024).

2.3.2 Representación espacial de la erosión hídrica

Los sistemas de clasificación del riesgo deben construirse con criterios claros y accesibles para técnicos, autoridades y comunidades involucradas en la gestión territorial. En la cuenca del río Mira se ha evidenciado que el uso de escalas cualitativas como: riesgo bajo, medio y alto, junto con representaciones gráficas, facilita la comprensión y apropiación de los resultados por parte de los usuarios finales (Espinosa et al., 2022; Arias-Muñoz et al., 2023). Este tipo de información visual permite traducir los resultados del análisis espacial en un lenguaje operativo que favorece la toma de decisiones. La claridad en la simbología, el uso adecuado de colores y la incorporación de orientaciones prácticas han sido elementos clave en experiencias exitosas de comunicación del riesgo (Troya y Villarreal, 2022; Andrade-Carreño et al., 2025).

2.4 Estrategias de conservación del suelo

La gestión del riesgo por erosión hídrica requiere estrategias diferenciadas, debido a que las condiciones biofísicas, productivas y sociales del territorio no son homogéneas (Benalcázar, 2017; Rodríguez y Carvajal, 2024). Desde la literatura sobre conservación del suelo, estas medidas pueden organizarse en acciones de corrección, prevención, restauración, adaptación comunitaria y gobernanza ambiental, según el nivel de degradación y la función que cumplen en el manejo del territorio (Jaramillo Veliz, 2015; Andrade-Carreño et al., 2025). Las estrategias para el control de erosión de presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Estrategias para el control de erosión hídrica del suelo

Estrategia	Finalidad	Prácticas
Preventivas	Evitar que los procesos de erosión se intensifiquen y reducir la degradación del suelo.	• Labranza mínima • Abonos verdes • Zanjas de infiltración • Barreras vivas • Rotación de cultivos

Correctivas	Recuperar y mitigar las áreas afectadas por erosión que ya presentan degradación del suelo.	• Estabilización de surcos • Siembra en curvas de nivel • Construcción de terrazas • Barreras vegetales o de piedra

2.4.1 Restauración ecológica

La restauración ecológica es relevante en zonas con pérdida de cobertura vegetal, pendientes pronunciadas, presión antrópica o procesos avanzados de degradación, porque contribuye a estabilizar laderas y reducir la exposición del suelo a la escorrentía (Haro Prado, 2020; Vanacker et al., 2020). En estos procesos, la reforestación con especies nativas como *Alnus acuminata, Oreopanax* spp., *Baccharis latifolia, Buddleja* spp. *y Polylepis* spp. favorece la recuperación de cobertura vegetal, la regulación hídrica y la disminución de la pérdida de suelo (Haro Prado, 2020; Vanacker et al., 2020). Además, la restauración activa o pasiva puede complementarse con corredores biológicos y franjas ribereñas de amortiguamiento, ya que estas medidas fortalecen la conectividad ecológica, protegen los cuerpos hídricos y apoyan la recuperación de funciones ecosistémicas (Andrade-Carreño et al., 2025; Arias-Muñoz et al., 2023).

2.4.2 Participación y adaptación comunitaria

Las estrategias de adaptación buscan fortalecer la capacidad de las comunidades rurales para enfrentar los efectos de la erosión hídrica y del cambio climático en sus territorios (Quiñónez, 2022; Fernández y Rodríguez, 2023). La participación comunitaria y la socialización continua son importantes porque favorecen la apropiación de las medidas de conservación y mejoran su sostenibilidad en el tiempo (Quiñónez, 2022; Fernández y Rodríguez, 2023). Además, la articulación entre conocimientos técnicos y saberes locales permite que las intervenciones respondan mejor a las condiciones reales del territorio, incrementando su pertinencia cultural y la resiliencia comunitaria (Benalcázar, 2017; Espinosa et al., 2022).

2.4.3 Gobernanza para la conservación

La sostenibilidad de las estrategias de conservación requiere respaldo institucional, asistencia técnica, financiamiento, monitoreo y políticas públicas coherentes con la gestión del suelo y del agua (Andrade-Carreño et al., 2025; Arias-Muñoz et al., 2023). En experiencias desarrolladas en el país, la participación de gobiernos locales, organizaciones no gubernamentales y universidades ha permitido fortalecer procesos de conservación mediante

fondos ambientales, incentivos agroecológicos y esquemas de pago por servicios ecosistémicos (Andrade-Carreño et al., 2025; Troya y Villarreal, 2022). Estas alianzas favorecen la corresponsabilidad entre actores públicos, privados y comunitarios, lo que resulta necesario para mantener las medidas de manejo y conservación del suelo a largo plazo (Arias-Muñoz et al., 2023; Troya y Villarreal, 2022).

2.5 Marco legal

El marco legal de la investigación se organiza a partir de la jerarquía normativa aplicable a la gestión ambiental, la conservación del suelo y el manejo de cuencas hidrográficas. Esta organización permite relacionar los instrumentos legales de mayor jerarquía con las disposiciones nacionales y locales que respaldan la evaluación del riesgo de erosión hídrica en la cuenca del río Lita. En la Figura 1 se presenta la pirámide de Kelsen utilizada para sintetizar el orden de los instrumentos normativos considerados en el estudio.



Figura 1. Pirámide de Kelsen del marco legal aplicable al riesgo de erosión hídrica

2.5.1 Constitución del Ecuador

Este cuerpo normativo constituye la norma suprema del ordenamiento jurídico nacional y establece la base legal para la protección ambiental, la conservación del suelo y la gestión integral del agua. El artículo 14 reconoce el derecho de los ciudadanos en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, mientras que los artículos 71 y 73 reconocen los derechos de la naturaleza y el principio de precaución frente a actividades que puedan alterar los ciclos naturales. De igual forma, el artículo 318 reconoce al agua como patrimonio nacional estratégico, y los artículos 409 y 410 establecen la conservación del suelo y su capa fértil como prioridad nacional, especialmente frente a procesos de degradación como la erosión. De igual manera, el artículo 411 dispone la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos, lo que sustenta legalmente la evaluación del riesgo de erosión hídrica en la cuenca del río Lita (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

2.5.2 Instrumentos ambientales internacionales

El marco constitucional se complementa con instrumentos internacionales y la agenda global, que refuerzan la gestión ambiental desde un enfoque participativo y ecosistémico. El Acuerdo de Escazú promueve el acceso a la información ambiental, la participación social y el acceso a la justicia en temas ambientales, elementos que inciden directamente en la toma de decisiones en territorios vulnerables. El Convenio sobre la Diversidad Biológica respalda la conservación y el uso sostenible de los ecosistemas, y el Objetivo de Desarrollo Sostenible 15 plantea proteger, restaurar y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, detener la degradación de las tierras y conservar la biodiversidad. Estos instrumentos se relacionan con la presente investigación porque la erosión hídrica afecta la estabilidad del suelo, la cobertura vegetal, la calidad del agua y la funcionalidad ecológica de la cuenca (Convenio sobre la Diversidad Biológica, 1992; Naciones Unidas, 2015; CEPAL, 2018).

2.5.3 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua

Esta ley refuerza la gestión integrada de los recursos hídricos y la protección de las cuencas hidrográficas. El artículo 12 establece la corresponsabilidad del Estado, los gobiernos autónomos descentralizados, los usuarios y los propietarios de predios en la protección, recuperación y conservación de fuentes de agua. A su vez, los artículos 32, 33 y 34 incorporan la gestión pública y comunitaria del agua, la planificación hídrica por cuencas hidrográficas y el enfoque ecosistémico para la gestión integral del recurso. Estas disposiciones son pertinentes

para la cuenca del río Lita, ya que la erosión hídrica incrementa la pérdida de suelo, favorece el transporte de sedimentos y puede afectar la calidad y disponibilidad del agua en los cuerpos fluviales (Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, 2014).

2.5.4 Código Orgánico del Ambiente

Este código desarrolla los principios constitucionales sobre el derecho a un ambiente sano, los derechos de la naturaleza, la conservación de ecosistemas y la restauración ambiental, y establece la obligación de conservar, manejar de forma sostenible y recuperar el patrimonio natural, incluidos los recursos hídricos, las cuencas hidrográficas, los caudales ecológicos y el suelo. Por eso es aplicable a la evaluación del riesgo de erosión hídrica: previene la degradación del suelo y la pérdida de funcionalidad ambiental del territorio. Para la cuenca del río Lita, esto da sustento normativo a la identificación de zonas críticas y a la formulación de estrategias de conservación, restauración y manejo sostenible del suelo y del agua (Código Orgánico del Ambiente, 2017).

2.5.5 Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial

La normativa local y los instrumentos de planificación del territorial, como el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del GAD Municipal de San Miguel de Ibarra y el PDOT Parroquial de Lita, permiten articular el marco legal nacional con las necesidades específicas del territorio. El PDOT cantonal guía la planificación territorial enfocada a la conservación, uso y gestión de los recursos naturales, la prevención y reducción de riesgos, la gestión para el cambio climático y el ordenamiento del suelo. A escala parroquial, el PDOT de Lita permite vincular las estrategias de conservación con la realidad biofísica y socioambiental de la cuenca. Todos estos instrumentos en conjunto respaldan la aplicación de medidas locales para reducir la erosión hídrica, restaurar áreas degradadas, proteger cuerpos de agua y fortalecer la gestión sostenible del territorio (GAD Municipal de San Miguel de Ibarra, 2024; GAD Parroquial Rural de Lita, 2024).

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA

3.1 Descripción del área de estudio

La investigación se desarrolló en la cuenca del río Lita, localizada al norte del cantón Ibarra, en la provincia de Imbabura, dentro de la vertiente hidrográfica del Pacífico (Figura 2). Esta unidad hidrológica presenta una superficie de 63 766,59 ha y fue delimitada a partir de un modelo digital de elevación (DEM) con resolución espacial de 30 metros, procesado en el software ArcGIS Pro mediante herramientas hidrológicas como dirección y acumulación de flujo. El territorio abarca un rango altitudinal entre los 506 y 4 408 msnm, lo que evidencia una marcada heterogeneidad topográfica y ecológica. Para su caracterización se calcularon parámetros morfométricos como densidad de drenaje, longitud de cauce, índice de forma e índice de compacidad, con el propósito de interpretar la dinámica hidrológica y su relación con los procesos erosivos (Toro y Artos, 2024). Estas variables fueron representadas cartográficamente bajo el sistema de referencia WGS 1984 UTM zona 17S, permitiendo una adecuada integración espacial de los datos.

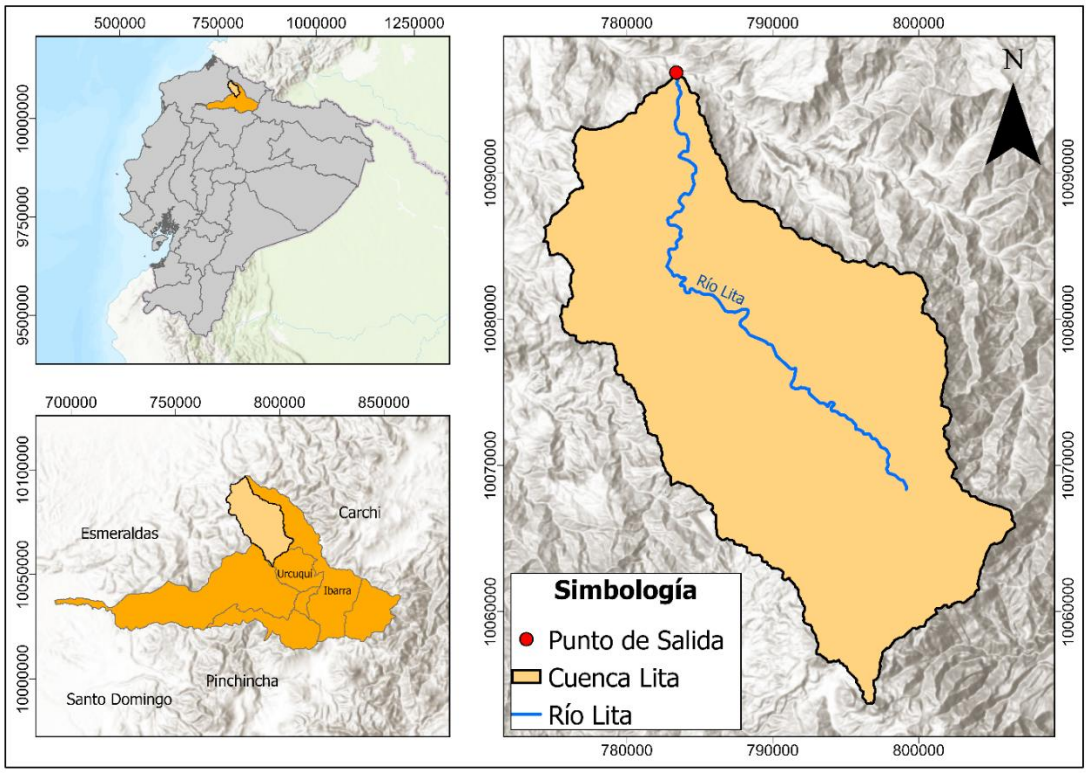


Figura 2. Ubicación de la cuenca del río Lita

Con la delimitación de la cuenca fue posible identificar sus extremos geográficos, lo que ayuda a describir con mayor precisión el área de estudio. Por ello, en la Tabla 3 se presentan las coordenadas UTM y la altitud de los puntos norte, sur, este y oeste.

Tabla 3. Límites de la cuenca hidrográfica del río Lita

Punto	X	Y	Altitud (msnm.)
Norte	783361,34	10097081,74	504
Sur	793533,16	10062299,46	4 385
Este	800175,50	10082886,83	1 983
Oeste	775559,38	10079452,16	1 844

Respecto a las condiciones climáticas, la cuenca presenta una precipitación media anual que varía entre 1 200 y 3 500 mm, con un régimen lluvioso concentrado principalmente entre octubre y mayo (GAD Parroquial Rural Lita, 2024). En cuanto a la cobertura vegetal del suelo, se identifican categorías como bosque, cultivos, páramo, pastizales, vegetación arbustiva y áreas sin cobertura vegetal, lo que evidencia distintos niveles de intervención antrópica sobre el territorio. En cuanto a la cobertura vegetal del suelo, se identifican categorías como bosque, cultivos, páramo, pastizales, vegetación arbustiva y áreas sin cobertura, que reflejan distintos niveles de intervención antrópica sobre el territorio. Estas condiciones de clima y cobertura importan para el estudio porque influyen en la generación de escorrentía superficial y en la susceptibilidad del suelo frente a la erosión hídrica.

La red hídrica de la cuenca del río Lita se forma a partir de los ríos Rumichaca y Tupiza y de la quebrada Tamales, que dan origen al cauce principal hacia las zonas de menor altitud. El sistema nace en áreas de alta montaña, con páramo y remanentes de bosque andino, y desciende hacia sectores donde predominan los usos agropecuarios. Esa variación de altitud condiciona la dinámica del escurrimiento superficial y la redistribución de sedimentos dentro de la cuenca. Los cambios progresivos de la cobertura vegetal, es asociada a la expansión agrícola y a las prácticas de manejo inadecuadas, ya que puede incrementar la exposición del suelo a la erosión, elevando la susceptibilidad a procesos de degradación en áreas intervenidas (Cueva, 2021; Arias-Muñoz et al., 2023).

3.2 Morfometría de la cuenca

Los parámetros morfométricos de una cuenca hidrográfica permiten caracterizar el escurrimiento superficial y la configuración del terreno, y por eso son clave para analizar su comportamiento frente a la erosión hídrica (Cárdenas y Pérez, 2021; Rodríguez y Carvajal, 2024). En la cuenca del río Lita, variables como la pendiente media, la longitud de ladera, la densidad de drenaje y la forma de la cuenca son determinantes para comprender su dinámica hidrológica (Giménez, 2008; Vanacker et al., 2020). Estos parámetros, además, son insumos clave para la estimación del factor topográfico LS del modelo RUSLE, el cual es altamente sensible a las variaciones de pendiente y longitud de ladera (García y Giménez, 2008; Saavedra, 2025).

Tabla 4. Características físicas de la cuenca del río Lita

PARÁMETROS DE FORMA		
PARÁMETRO	**CÁLCULO**	**INTERPRETACIÓN**
Área	En la tabla de atributos: A= 63 766,59 ha A= 637,67 km2	El área calculada corresponde a una: **Subcuenca** (Arias-Muñoz et al., 2023).
Perímetro	P = 135,25 km	Según el perímetro calculado se clasifica como: **Grande.**
Longitud axial	La = 41,28 km	Corresponde a la distancia máxima medida desde el punto de salida de la cuenca hasta el punto más alejado, siguiendo la trayectoria del cauce principal.
Ancho promedio	Ap = 15,45 km	Corresponde a la distancia transversal de la cuenca, medida perpendicular a su longitud axial. Ambos parámetros permiten representar la forma de la cuenca mediante un rectángulo equivalente.
Coeficiente de compacidad	Kc = 1,49	Permite identificar la forma de la cuenca en relación con un círculo. De acuerdo con el valor obtenido, la cuenca presenta una forma: **Oval redonda oval oblonga.**
Factor forma	Ff = 0,37	Indica la forma de la cuenca y su grado de alargamiento. De acuerdo con el valor obtenido, se clasifica como: **Alargada.**

PARÁMETROS DE RELIEVE		
PARÁMETRO	**CÁLCULO**	**INTERPRETACIÓN**
Altitud máxima	Hmáx = 4 408 msnm.	La cota máxima corresponde a la mayor altitud de la cuenca, ubicada en sus zonas más elevadas.
Altitud media	Hmed = 2 038 msnm.	La altitud media indica que la cuenca corresponde a una zona de montaña.

Altitud mínima	Hmín = 506 msnm.	La cota mínima corresponde a la menor altitud de la cuenca y se localiza en su punto de salida.
Desnivel	De = 3 902 m	El desnivel de la cuenca representa la diferencia de altitud entre su punto más alto y su punto más bajo.
Pendiente media	Pm = 38,16%	Según el valor calculado, la cuenca presenta un relieve montañoso.
Coeficiente de rugosidad	Cr = 8,37	El coeficiente de rugosidad refleja una superficie irregular del terreno que condiciona el desplazamiento de la escorrentía superficial.

PARÁMETROS HIDROLÓGICOS		
PARÁMETRO	**CÁLCULO**	**INTERPRETACIÓN**
Longitud del cauce principal	Lcp = 46,48 km	El cauce principal presenta una longitud: **Media.**
Pendiente del cauce principal	Pcp = 3,56 %	La pendiente del cauce principal indica una inclinación suave a lo largo de su recorrido.
Tiempo de concentración	Tc = 4,60 h	El tiempo de concentración indica cuánto tarda la escorrentía superficial en desplazarse desde donde inicia el río hasta su punto de salida.
Densidad de drenaje	Dd = 0,47 km/km2	La cuenca presenta una densidad de drenaje baja, lo que indica una red hídrica poco desarrollada y una menor concentración de afluentes en relación con su superficie.
Número de orden del río	Orden = 4	El sistema de drenaje de la cuenca corresponde al orden 4.

Los parámetros de relieve e hidrológicos evidencian que la cuenca del río Lita presenta condiciones propias de un sistema de montaña, con un amplio rango altitudinal, un desnivel pronunciado y una pendiente media elevada, lo que favorece la generación de escorrentía superficial. A esto se le suma la superficie irregular del terreno, reflejada en el coeficiente de rugosidad. Desde el punto de vista hidrográfico, la cuenca tiene una red de drenaje poco densa, un sistema de orden alto, un cauce principal de pendiente suave y un tiempo de concentración que refleja el recorrido de la escorrentía dentro de la cuenca. Estas características condicionan

la dinámica del escurrimiento superficial y la distribución del flujo, y con eso definen buena parte de la susceptibilidad de la cuenca a la erosión hídrica.

3.2.1 Edafología de la cuenca del río Lita

La caracterización edafológica de la cuenca del río Lita se realizó a partir de la información de suelos disponible en SIGTIERRAS, con el fin de identificar la distribución espacial de las principales clases texturales dentro del área de estudio. Para fines de representación cartográfica, las unidades edafológicas fueron reclasificadas en tres categorías generales: arenoso, franco y arcilloso, lo que permitió reducir la visualización de la información sin afectar el análisis utilizado en etapas posteriores. La textura del suelo es una propiedad fundamental, ya que influye de forma directa en procesos como la infiltración, la retención de humedad y la susceptibilidad a la erosión hídrica, siendo aspectos ampliamente considerados en estudios de degradación y pérdida del suelo (Renard et al., 1997; Pennock et al., 2019).

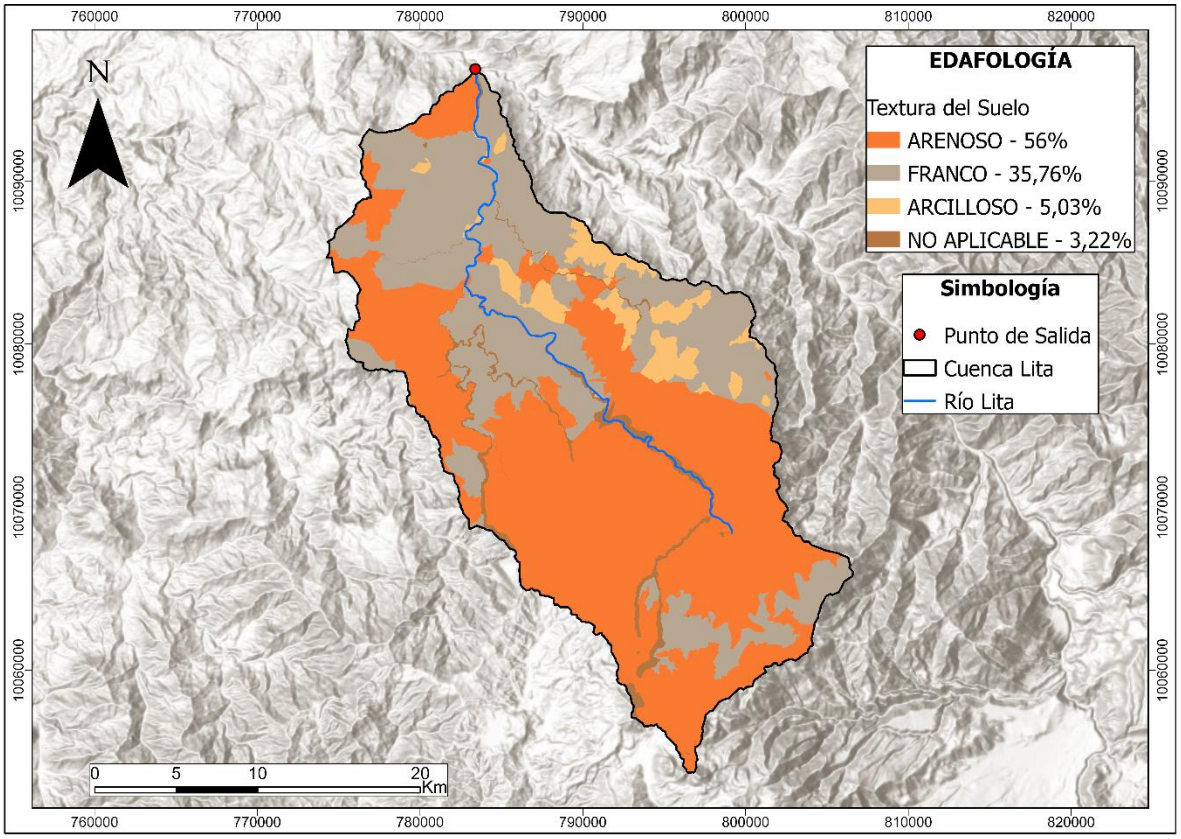


Figura 3. Edafología de la cuenca del río Lita

Se evidencia un claro predominio de suelos de textura arenosa, que abarcan aproximadamente el 56 % del área de la cuenca, seguidos por suelos de tipo franco con un 35,76 % y, en menor proporción, suelos arcillosos con un 5,03 % (Figura 3). Esta distribución indica una mayor presencia de materiales con baja cohesión, lo que puede afectar la estabilidad estructural del suelo frente a la erosión, sobre todo en condiciones de uso intensivo o baja cobertura vegetal. Los suelos francos aportan cierta estabilidad al sistema, mientras que la limitada cantidad de suelos arcillosos refleja una menor presencia de materiales compactos. La textura del suelo de la cuenca permite así identificar zonas con varia susceptibilidad a la erosión hídrica, un insumo clave para el análisis posterior del factor K en el modelo RUSLE.

3.3 Métodos

Esta investigación se desarrolló con un enfoque cuantitativo de tipo transversal, orientado a evaluar el riesgo de erosión hídrica en la cuenca del río Lita. Para ello se aplicó el modelo RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation),* que estima la pérdida media anual del suelo a partir de factores climáticos, edáficos, topográficos y de cobertura vegetal. El modelo permitió analizar la dinámica de los procesos erosivos en distintas condiciones de uso del suelo, como soporte técnico para evaluar la conservación del recurso edáfico y la gestión sostenible del territorio.

3.3.1 Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica

La estimación de la pérdida de suelo en la cuenca del río Lita se realizó mediante la aplicación de la ecuación del modelo RUSLE (Ecuación 1). Esta ecuación permite cuantificar la pérdida media anual de suelo en función de variables climáticas, edáficas, topográficas y de manejo del territorio. Este modelo constituye una herramienta ampliamente utilizada en estudios de erosión hídrica debido a su capacidad para integrar múltiples factores que influyen en los procesos erosivos y evaluar su comportamiento a escala espacial (Wischmeier y Smith, 1978; Renard et al., 1997).

Ecuación (1)

$$A = R * K * LS * C * P$$

Donde:

A: Pérdida media anual de suelo (t/ha/año)

R: Factor de erosividad de la lluvia (MJ*mm / ha*h*año)

K: Factor de erodabilidad del suelo (t*h*ha / ha*MJ*mm)

LS: Factor de longitud y pendiente del terreno (adimensional)
C: Factor de cobertura y manejo del suelo (adimensional)
P: Factor de prácticas de conservación (adimensional)

El factor de erosividad de la lluvia (R) representa la capacidad de la precipitación para generar procesos erosivos, siendo determinado a partir de la energía cinética de la lluvia y su intensidad máxima en intervalos de 30 minutos. El factor de erodabilidad del suelo (K) expresa la susceptibilidad del suelo a la erosión teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, tales como la textura, estructura, permeabilidad y contenido de materia orgánica. Por su parte, el factor topográfico (LS) integra los efectos de la longitud y la pendiente sobre la escorrentía y el transporte de sedimentos, mientras que el factor de cobertura (C) refleja la influencia de la vegetación y el uso del suelo con su respectiva protección. Finalmente, el factor de prácticas de conservación (P) representa la aplicación de medidas antrópicas orientadas a reducir la erosión, como terrazas, barreras vivas y cultivos en contorno (Renard et al., 1997; Morgan, 2005).

La implementación del modelo se realizó mediante la integración de herramientas de SIG, lo que permitió el procesamiento y análisis geoespacial de cada uno de los factores involucrados. Para ello, se generaron capas temáticas en formato ráster correspondientes a los factores R, K, LS, C y P, las cuales fueron posteriormente integradas mediante técnicas de álgebra de mapas, permitiendo estimar la distribución espacial de la pérdida de suelo y del riesgo de erosión hídrica en el área de estudio.

La secuencia metodológica comprendió la recopilación y validación de datos, el procesamiento geoespacial de la información, la generación de variables temáticas y la modelación espacial (Figura 4). Este enfoque permitió representar con detalle la variabilidad espacial del riesgo de erosión hídrica en la cuenca del río Lita, e identificar zonas críticas para orientar la toma de decisiones sobre conservación del suelo. Los apartados siguientes describen los procedimientos, las fuentes de información y los métodos de cálculo empleados para cada factor del modelo (Cueva, 2021; Quiñónez, 2022).

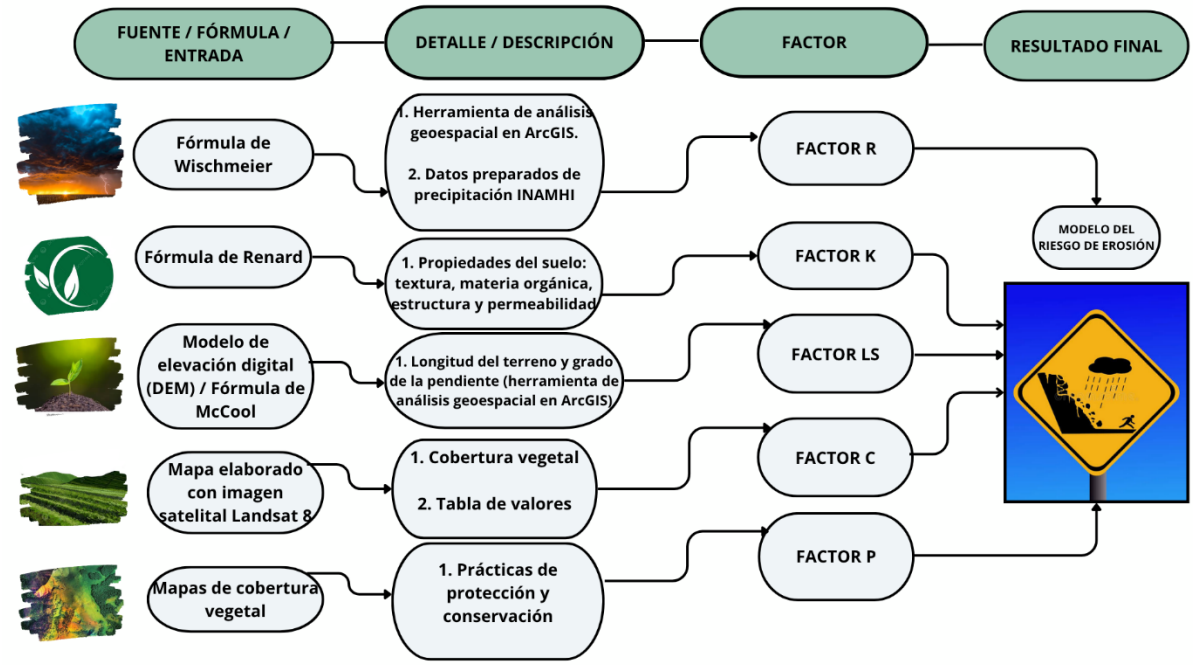


Figura 4. Esquema metodológico de la ecuación RUSLE

3.3.2 Determinación del factor R

El factor R (erosividad de la lluvia) indica el potencial erosivo de la precipitación según su distribución temporal y es un componente climático clave en el modelo RUSLE para estimar la pérdida de suelo. Integra la variabilidad estacional de la lluvia y su capacidad de generar escorrentía, influyendo directamente en el transporte de sedimentos. Ante la limitada disponibilidad de datos de precipitación, este factor se estimó mediante la fórmula de Wischmeier y Smith (1978), basada en la precipitación media mensual y anual, cuyo procedimiento de cálculo se presenta en la Ecuación 2, permitiendo determinar adecuadamente la agresividad climática de la lluvia.

El cálculo se expresa mediante la siguiente ecuación:

Ecuación (2)

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

Donde:

R (x, y): factor de erosividad en la celda (x, y), expresado en (MJ*mm/ha*h*año)

pi: precipitación media mensual en milímetros

P: precipitación media anual en milímetros

Para la estimación del factor R se utilizaron datos de precipitación mensual del INAMHI correspondientes al periodo 1990–2020. Esta información fue depurada para asegurar su consistencia temporal y reducir errores asociados a registros incompletos o inconsistentes. Luego, las estaciones meteorológicas disponibles fueron interpoladas para generar una superficie continua de precipitación que represente su variabilidad espacial en la cuenca del río Lita. Los resultados se trabajaron con ArcGIS Pro en formato ráster con resolución espacial de 30 m y proyectados al sistema UTM zona 17S, garantizando coherencia espacial con las demás variables del modelo RUSLE.

3.3.3 Determinación del factor K

El factor K expresa la susceptibilidad del suelo al desprendimiento y transporte de partículas por acción de la escorrentía, en función de sus propiedades físicas y químicas. Para su estimación se utilizaron datos de geopedología tomados del portal SIGTIERRAS del Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG] (2019), a escala 1:250 000, los cuales fueron complementados con muestreos de suelo en puntos representativos de la cuenca para su análisis en laboratorio, con el fin de validar y ajustar la información edáfica obtenida.

Para la aplicación de las ecuaciones del factor K, cada píxel fue caracterizado en función de su contenido de arena, limo, arcilla y carbono orgánico (SOC), utilizando información edáfica en formato ráster. El contenido de carbono orgánico, expresado originalmente en hg/kg, se convirtió a g/kg mediante la relación SOC/10, siguiendo el criterio de Andrade-Carreño et al. (2025), para garantizar la compatibilidad de unidades en los cálculos. Los vacíos de información en las capas edáficas se corrigieron mediante interpolación espacial, que permitió estimar valores en las zonas sin datos y mantener la continuidad de las propiedades del suelo. Este procesamiento permitió reducir sesgos en el análisis y mejorar la precisión en la estimación de la erodabilidad del suelo, esto se realizó mediante la ecuación del factor KUSLE que se presenta en la Ecuación 3.

Ecuación (3)

$$K_{USLE} = f_{sand} * f_{cl-si} * f_{orgc} * f_{hisand}$$

Donde:

KUSLE: erodabilidad del suelo en el modelo USLE

fsand: contenido de arena

fcl-si: contenido de arcilla y limo
forgc: contenido de carbono orgánico
fhisand: asociado a altos contenidos de arena

Para ajustar la ecuación KUSLE al modelo RUSLE, se aplicó un factor de conversión de 0,1317, con el propósito de expresar la erodabilidad del suelo en unidades compatibles con el modelo. De esta manera, el valor obtenido inicialmente para el factor K fue transformado mediante la Ecuación 4, donde K corresponde a la erodabilidad del suelo expresada en unidades compatibles con RUSLE (t*ha*h / ha*MJ*mm).

Ecuación (4)

$$K_{RUSLE} = K * 0{,}1317$$

Las ecuaciones empleadas para estimar los subfactores del factor K a partir de las propiedades físicas y químicas del suelo se detallan en las Ecuaciones 5,6,7 y 8. Estas expresiones permitieron calcular los componentes asociados al contenido de arena, limo, arcilla y carbono orgánico, los cuales intervienen directamente en la estimación de la erodabilidad del suelo.

Ecuación (5)

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

Ecuación (6)

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

Ecuación (7)

$$f_{orgc} = \left\{1 - \frac{0{,}25 * orgC}{orgC + \exp(3{,}72 - 2{,}95 * orgC)}\right\}$$

Ecuación (8)

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

Donde:

ms: porcentaje de arena
msilt: porcentaje de limo
mc: porcentaje de arcilla
orgC: porcentaje de carbono orgánico del suelo

Una vez obtenidos los valores del factor K para cada unidad de análisis, estos fueron interpolados para generar una superficie continua de erodabilidad del suelo, representando su variabilidad espacial en la cuenca del río Lita. Finalmente, los resultados fueron validados mediante comparación con observaciones de campo y datos de erodabilidad existentes en el área de estudio.

3.3.4 Determinación del factor LS

El factor LS representa el efecto combinado de la longitud de la pendiente (L) y su inclinación (S) sobre la erosión hídrica, constituyendo uno de los principales factores topográficos que controlan la pérdida de suelo por escorrentía. A medida que aumenta la longitud y la pendiente del terreno, se incrementa la velocidad del flujo superficial y su capacidad de transporte de sedimentos (Arias-Muñoz et al., 2023). Asimismo, este factor influye directamente en la concentración del flujo y en la energía cinética de la escorrentía, favoreciendo procesos de erosión laminar y en surcos incrementando la susceptibilidad del suelo en zonas con topografía más abrupta.

Para el cálculo del factor LS se utilizó un Modelo Digital de Elevación (DEM) con resolución espacial de 30 m, obtenido del portal *Earth Explorer* del USGS, el cual permitió representar la morfometría del terreno en la cuenca de estudio. Previamente, el DEM fue corregido mediante la herramienta *Fill* para eliminar errores y garantizar la continuidad del flujo superficial. Posteriormente, se generaron las capas de dirección de flujo *(Flow direction*), acumulación de flujo *(Flow accumulation*) y pendiente *(Slope*), necesarias para la aplicación del modelo. El factor LS se calculó mediante la ecuación propuesta por Moore y Wilson (1992), referenciada por Renard et al. (1997), la cual integra la acumulación de flujo y la pendiente en un entorno ráster tal y como se presenta en la ecuación 9.

Ecuación (9)

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

Donde:

Flow accumulation: número de celdas que aportan flujo a una celda determinada

Cell size: tamaño de cada celda del DEM (30 m)

22.13: longitud estándar de parcela usada por Wischmeier

sin (*Slope*): seno de la pendiente (expresada en radianes)

3.3.5 Determinación del factor C

El factor C cuantifica el efecto de la cobertura vegetal y el uso del suelo sobre la pérdida de suelo, comparando la erosión en condiciones reales con la que ocurriría en ausencia de cobertura (suelo desnudo). Este factor refleja la capacidad de la vegetación y las prácticas de manejo del territorio para reducir la acción erosiva de la lluvia y la escorrentía, siendo un componente clave en el modelo RUSLE para representar la variabilidad espacial de la protección del suelo frente a procesos erosivos.

Para su determinación, se utilizó una imagen satelital Landsat 8 correspondiente al mes de diciembre del 2025, a partir de la cual se realizó una clasificación supervisada del uso y cobertura del suelo mediante el algoritmo *Maximum Likelihood Classification*. Se georreferenciaron 1400 puntos en coordenadas UTM zona 17S, de los cuales el 75% se emplearon para la creación del modelo y el 25% restante para su validación, evaluada mediante una matriz de confusión para garantizar la precisión respecto a la realidad. A cada clase identificada se le asignó un valor del factor C con base en literatura científica regional y en las características de manejo del territorio (Cueva, 2021), estos valores se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Valores del Factor C

Cobertura	Valores asignados al factor C
Bosque natural	0,01
Cultivos	0,35
Páramo	0,040
Pastizales	0,037
Vegetación arbustiva	0,035
Suelo sin vegetación	0,43

Nota. Adoptado de Arias-Muñoz et al., (2023).

3.4 Calibración referencial del modelo RUSLE

La calibración se realizó mediante la comparación entre la producción de sedimentos simulada y la producción de sedimentos observada en campo. Para ello, se consideró que el modelo RUSLE estima la pérdida media anual de suelo en laderas, principalmente asociada a procesos de erosión laminar y en surcos, pero no calcula directamente la deposición final de sedimentos ni la carga total transportada por el río (Renard et al., 1997; Thomas et al., 2018). Por esta razón, se incorporó el coeficiente de entrega de sedimentos o *Sediment Delivery Ratio* (SDR), con el fin de relacionar la pérdida anual de suelo estimada por RUSLE con la fracción del material erosionado que podría alcanzar la red de drenaje o el punto de salida de la cuenca (Lim et al., 2005).

La producción de sedimentos simulada se calculó a partir de la pérdida anual de suelo estimada mediante RUSLE y el coeficiente SDR. Esta relación permitió transformar la pérdida potencial de suelo en una aproximación de producción de sedimentos a escala de cuenca, considerando que no todo el material erosionado en las laderas es transportado directamente hacia el cauce principal. Para este cálculo se empleó la Ecuación 10.

Ecuación (10)

$$SY = A * SDR$$

Donde:

SY: producción de sedimentos (t/ha/año)

A: pérdida anual de suelo estimada con RUSLE (t/ha/año)

SDR: fracción del suelo erosionado que es transportada aguas abajo

Para estimar el coeficiente SDR se aplicó una ecuación empírica basada en la superficie de la cuenca, debido a que la proporción de sedimentos entregados hacia la red hídrica tiende a disminuir conforme aumenta el área de drenaje. El cálculo del SDR se realizó mediante la Ecuación 11, siguiendo el criterio utilizado para relacionar la erosión bruta y la producción de sedimentos en cuencas hidrográficas (Lim et al., 2005).

Ecuación (11)

$$SDR = 0{,}5656 * S^{-0{,}11}$$

Donde:

SDR: coeficiente de entrega de sedimentos (adimensional)

S: superficie de la cuenca (ha)

0,5656 y -0,11: constantes empíricas de ajuste

Una vez obtenidos los valores observados y simulados, se evaluó el desempeño del modelo RUSLE acoplado al SDR mediante el sesgo porcentual (PBIAS) y la raíz del error cuadrático medio (RMSE). Para interpretar el PBIAS se consideró, de manera referencial, el intervalo satisfactorio de −25 % a +25 % establecido para sedimentos a escala de cuenca (Moriasi et al., 2015). El PBIAS se calculó mediante la Ecuación (12).

Ecuación (12)

$$PBIAS = \left[\frac{\sum(SY_{obs} - SY_{sim})}{\sum SY_{obs}}\right] * 100$$

Donde:

SYobs: producción de sedimentos observada (t/ha/año)

SYsim: producción de sedimentos simulada (t/ha/año)

La raíz del error cuadrático medio se utilizó para cuantificar la magnitud de las diferencias entre los valores simulados y observados, expresada en las mismas unidades de la producción de sedimentos. Este indicador complementó la interpretación del PBIAS, ya que el sesgo porcentual indica la tendencia general del modelo a sobrestimar o subestimar, mientras que el RMSE muestra la magnitud del error entre los pares comparados (Ecuación 13).

Ecuación (13)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(SY_{sim} - SY_{obs})^2}{n}}$$

Donde:

SYsim: producción de sedimentos simulada (t/ha/año)

SYobs: producción de sedimentos observada (t/ha/año)

n: número total de observaciones

No se aplicaron los indicadores R^2 ni Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), debido a que estas métricas requieren series observadas y simuladas comparables en escala temporal o espacial. En este estudio, la comparación se realizó entre dos valores observados de sedimentos

suspendidos y dos valores simulados derivados de medias RUSLE calculadas para dos delimitaciones hidrográficas cercanas. Además, de acuerdo con Moriasi et al. (2015), estos indicadores se emplean principalmente en la evaluación del desempeño de modelos hidrológicos y de calidad de agua, mas no como criterios específicos para validar modelos de dinámica sedimentaria completa.

3.4.1 Estimación de la producción de sedimentos observada

La producción de sedimentos observada se estimó a partir de muestras de agua recolectadas en dos puntos de control hidrológico del río Lita. El primero se ubicó en el punto de salida de la cuenca y el segundo, aproximadamente 100 m río arriba. La selección de estos sitios permitió obtener muestras correspondientes a dos áreas aportantes delimitadas con SIG y asociar cada valor observado con la producción de sedimentos simulada para su respectiva unidad hidrológica. Las muestras fueron identificadas según el punto de procedencia y trasladadas al laboratorio para la determinación de la concentración de sólidos suspendidos.

La concentración de sólidos suspendidos (CSS) y su relación con el caudal se utilizaron como referencia empírica del transporte sedimentario observado. Esta elección se fundamentó en que la carga suspendida constituye en la mayoría de los ríos una fracción predominante del transporte total de sedimentos, representando habitualmente entre el 80 % y el 90 %, o incluso más, del material transportado hacia las zonas de deposición (Babiński, 2005). También se señala que la carga suspendida suele representar una proporción mayoritaria del flujo sedimentario en los ríos (Walling y Fang, 2003). Sin embargo, en esta investigación no se asumió que dicha proporción representara de forma exacta las condiciones del río Lita, debido a que no se midieron la carga de fondo ni los sedimentos gruesos.

En laboratorio, la concentración de sólidos suspendidos se determinó mediante el método gravimétrico, el cual se basa en la diferencia entre el peso del filtro seco con sedimentos retenidos y el peso del filtro vacío. Este procedimiento permitió cuantificar la masa de partículas suspendidas que están presentes en un volumen conocido de agua, el resultado es expresado en mg/L. La concentración de sólidos suspendidos se calculó mediante la Ecuación (14).

Ecuación (14)

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

Donde:

CSS: concentración de sólidos suspendidos (mg/L)

Ws: peso del filtro con sedimentos secos (mg)

Wf: peso del filtro vacío (mg)

V: volumen de agua filtrada (L)

La carga de sedimentos en suspensión se estimó relacionando la concentración de sólidos suspendidos con el caudal medio anual, lo que permitió expresar el transporte sedimentario en unidades de masa por tiempo. Para ello, la CSS obtenida en laboratorio fue transformada a kg/m³ y multiplicada por el caudal correspondiente, obteniendo la carga de sedimentos en suspensión mediante la Ecuación (15), de acuerdo con el procedimiento para estimar descarga de sedimentos en sistemas fluviales (Gray y Simões, 2008).

Ecuación (15)

$$SS_{\left(\frac{kg}{s}\right)} = CSS * Q$$

Donde:

SS: carga de sedimentos en suspensión (kg/s)

CSS: concentración de sólidos suspendidos (kg/m³)

Q: caudal medio anual (m³/s)

Luego, la carga de sedimentos en suspensión fue transformada a toneladas por año, con el fin de obtener una estimación anual del transporte sedimentario observado. Para esta conversión se empleó el factor 31 536, que resulta de convertir kg/s a t/año, como se presenta en la Ecuación (16).

Ecuación (16)

$$SS_{\left(\frac{t}{año}\right)} = SS_{\left(\frac{kg}{s}\right)} * 31\,536$$

Donde:

SS: carga anual de sedimentos en suspensión (t/año)

31 536: factor de conversión de kg/s a t/año

Por último, la carga anual de sedimentos en suspensión fue dividida entre la superficie del área aportante correspondiente, con el propósito de expresar la producción observada de sedimentos en t/ha/año y hacerla comparable con la producción simulada mediante RUSLE + SDR. Este cálculo se realizó mediante la Ecuación (17).

Ecuación (17)

$$SY_{obs} = \frac{SS_{\left(\frac{t}{año}\right)}}{Área}$$

Donde:

SYobs: producción observada de sedimentos (t/ha/año)

SS: carga anual de sedimentos en suspensión (t/año)

Área: superficie de la cuenca (ha)

3.4.2 Estimación del volumen de suelo perdido por erosión hídrica

La estimación de la pérdida de suelo mediante el modelo RUSLE se expresa en unidades de masa por unidad de área y tiempo, generalmente en t/ha/año. Sin embargo, para interpretar este resultado en términos físicos, como el volumen o espesor de suelo perdido, fue necesario relacionar la masa de suelo estimada con la densidad aparente del suelo. Esta relación permitió complementar la interpretación de la erosión hídrica, debido a que el resultado del modelo no solo representa una tasa anual de pérdida superficial, sino también una aproximación física del suelo removido. Para ello, se aplicó la relación entre la masa de suelo perdido y la densidad aparente, como se indica en la Ecuación 18.

Ecuación 18

$$V = \frac{mss}{Da}$$

Donde:

V: Volumen de suelo perdido en cm

mss: Pérdida de suelo estimada mediante RUSLE en g/cm^2

Da: Densidad aparente en g/cm^3

La densidad aparente del suelo se define como la masa de suelo seco contenida en una unidad de volumen edáfico, considerando la fracción sólida y los espacios porosos del suelo. Esta propiedad se relaciona con la porosidad del suelo y permite interpretar su condición física frente a procesos de degradación (Agostini et al., 2014). Además, su determinación debe considerar el estado de consistencia del suelo, debido a que la densidad aparente puede variar en función del contenido de humedad y de las condiciones físicas del material edáfico (Hossne y Cedeño, 2012).

En esta investigación, la densidad aparente se determinó mediante información geoespacial secundaria y mediciones de campo. Para ello, se realizó una campaña de muestreo compuesta por seis calicatas distribuidas en la cuenca del río Lita, tres en la cuenca baja y tres en la cuenca media. La selección de estos sitios se realizó mediante un muestreo intencional estratificado, con el propósito de representar sectores diferenciados de la cuenca y caracterizar la variabilidad edáfica del área de estudio. La ubicación de las calicatas realizadas para la determinar la densidad aparente se presenta en la Figura 5.

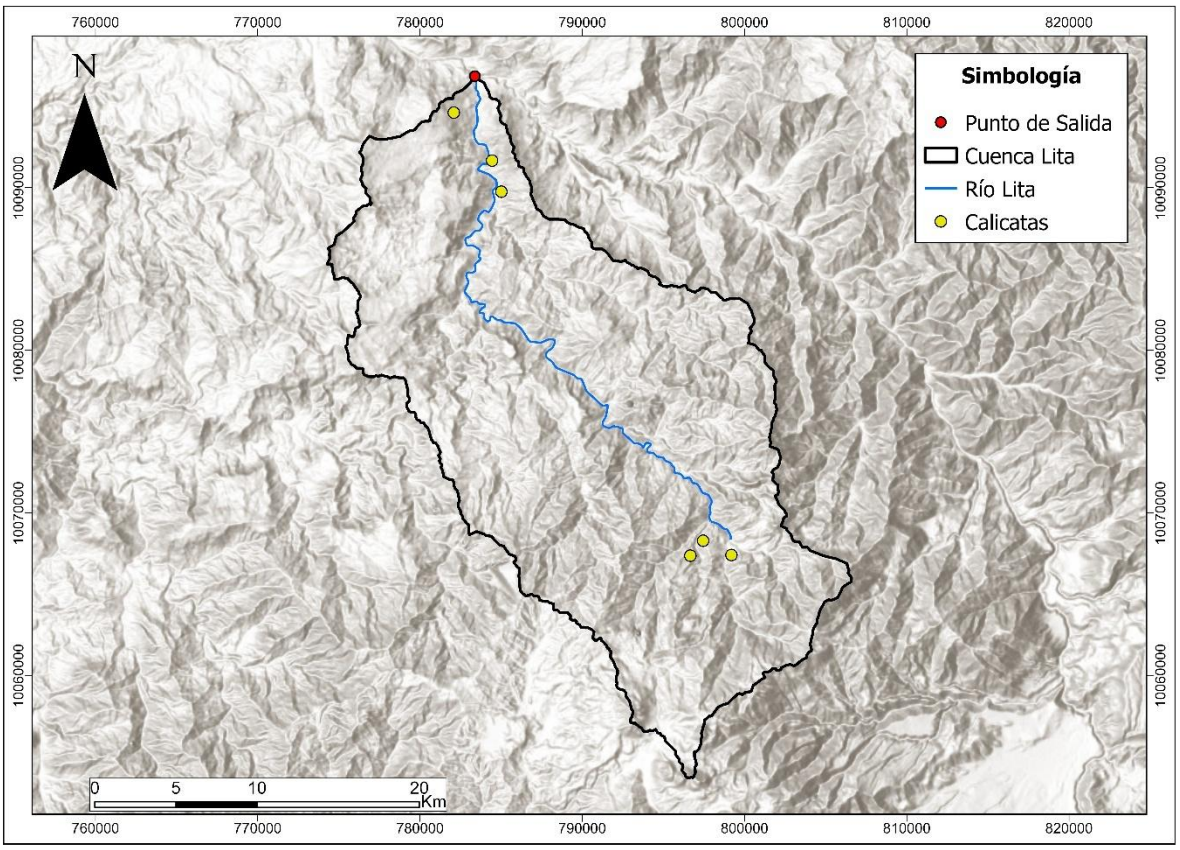


Figura 5. Ubicación de las calicatas para la determinación de la densidad aparente

Los datos geoespaciales de densidad aparente utilizados en esta investigación se obtuvieron del portal ISRIC–*World Soil Information*, mediante la plataforma *SoilGrids 2.0*. Esta fuente proporciona mapas globales de propiedades del suelo generados a partir de modelos de aprendizaje automático y covariables ambientales, con una resolución espacial aproximada de 250 m para distintas profundidades del perfil edáfico (Poggio et al., 2021). En este estudio, el ráster de densidad aparente fue recortado al límite de la cuenca del río Lita y se cambió a un tamaño de celda de 30 m, con el propósito de estandarizarlo espacialmente con la pérdida de suelo obtenido mediante RUSLE. De esta manera, la densidad aparente pudo integrarse con la pérdida de suelo estimada y compararse con los valores obtenidos en campo.

El muestreo intencional estratificado de calicatas se desarrolló considerando la distribución altitudinal y edáfica de la cuenca. Cada calicata presentó una profundidad de 50 cm y dimensiones aproximadas de 50 cm × 50 cm. La toma de muestras se realizó por intervalos de profundidad, utilizando un cilindro de volumen conocido de 5 cm de diámetro y 5 cm de altura. Las muestras recolectadas fueron trasladadas al laboratorio para determinar la masa de suelo seco y calcular la densidad aparente mediante la relación entre masa y volumen. El procedimiento que se hizo en laboratorio se presenta en la Figura 6.



Figura 6. Procedimiento para la determinación de la densidad aparente del suelo

La densidad aparente por calicata se calculó mediante la relación entre la masa del suelo seco y el volumen del cilindro utilizado en el muestreo, como se muestra en la Ecuación 19.

Ecuación 19

$$Da = \frac{mss}{V}$$

Donde:

Da: Densidad aparente, en g/cm³.
mss: Masa del suelo seco, en g.
V: Volumen del cilindro, en cm³

Con los valores de densidad aparente obtenidos en las calicatas se conformó una base de referencia de campo. Después mediante la herramienta *Extract Multi Values to Points* de ArcGIS Pro, se extrajo de cada punto de muestreo el valor correspondiente del ráster de *SoilGrids*. A partir de la comparación entre los valores determinados en laboratorio y los estimados mediante el ráster, se calculó el PBIAS para identificar la tendencia de *SoilGrids* a sobreestimar o subestimar la densidad aparente registrada en campo. Este indicador se aplicó como un contraste puntual entre ambas fuentes de información, sin asumir una validación general del producto geoespacial para toda la cuenca.

Por último, se transformaron las unidades del ráster de pérdida de suelo obtenida mediante RUSLE. Este ráster, expresado inicialmente t/ha/año, fue convertido a gramos por centímetro cuadrado por año (g/cm²/año), con el propósito de hacerlo compatible con la densidad aparente expresado en gramos por centímetro cúbico (g/cm³), como se muestra en la Ecuación 20.

Ecuación 20

$$1\frac{ton}{ha} \times\ 1000\frac{kg}{1}ton\ \times\ 1000\frac{g}{1}kg\ \times\ 1\frac{ha}{10000}m^2 \times\ 1\frac{m^2}{10000}cm^2\ =\ 1\frac{g}{100}cm^2$$

A partir de esta conversión, la pérdida de suelo expresado en g/cm²/año fue relacionado con el ráster de densidad aparente mediante la Ecuación 18. De esta manera, se obtuvo una

representación espacial del volumen o espesor de suelo perdido en cm/año en la cuenca del río Lita.

3.4.3 Evaluación del riesgo de erosión hídrica

La evaluación del riesgo de erosión hídrica se realizó mediante la integración espacial de los factores R, K, LS y C considerados en el modelo RUSLE, los cuales representan la erosividad de la lluvia, la erodabilidad del suelo, la influencia topográfica y la cobertura del suelo, respectivamente. La combinación de estos factores permitió determinar la pérdida potencial del suelo (A), expresada en t/ha/año, y así generar una superficie con la distribución espacial en la cuenca del río Lita. Este proceso tiene base en el modelo RUSLE, que estima la pérdida de suelo media anual por la acción de la lluvia y la escorrentía superficial (Renard et al., 1997)

Los valores que se obtuvieron se reclasificaron en cinco categorías de riesgo: muy baja, baja, media, alta y muy alta. Tal y como se presenta en la Tabla 6 de acuerdo con el rango de pérdida de suelo obtenido en la cuenca. Esto permitió interpretar los niveles de afectación del terreno e identificar zonas prioritarias para la implementación de medidas de conservación, restauración y manejo sostenible del suelo, siguiendo criterios empleados en estudios de erosión hídrica basados en USLE/RUSLE y análisis espacial (El Jazouli et al., 2017).

Tabla 6. Categorías de erosión hídrica y sus características

Tasa de erosión (t/ha/año)	Categoría	Característica
0 - 5	Muy Baja	Zonas muy estables con pérdida mínima de suelo y casi nula erosión hídrica.
5 - 10	Baja	Zonas estables, con pérdida mínima de suelo y baja necesidad de intervención.
10 - 20	Media	Zonas con pérdida apreciable de suelo, donde se recomienda mantener prácticas adecuadas de manejo.
20 - 50	Alta	Zonas con pérdida considerable de suelo, donde se requieren medidas de conservación.
50 - 95	Muy Alta	Zonas críticas, con pérdida de suelo severa, con prioridad para conservación y restauración.

Nota. Adoptado de El Jazouli et al. (2017).

3.5 Limitaciones metodológicas

El estudio presentó limitaciones relacionadas con la escala temporal del análisis, debido a que no se evaluaron las variaciones de la cobertura vegetal, la precipitación y la pérdida de suelo en diferentes años o periodos hidrológicos. Además, la estimación del transporte de sedimentos suspendidos se basó en muestras puntuales relacionadas con el caudal medio anual. Este tipo de estimaciones puede presentar incertidumbre, ya que la carga suspendida varía según el régimen hídrico, la frecuencia de muestreo y los eventos de crecida (De Girolamo et al., 2018; Slabon & Hoffmann, 2024). Por tanto, los resultados representan condiciones medias anuales y no la variabilidad temporal completa de los procesos erosivos y sedimentarios.

El levantamiento de información en campo estuvo condicionado por las dificultades de acceso y las condiciones de seguridad existentes en determinados sectores de la cuenca, lo que limitó el número de muestreos. En consecuencia, la comparación se efectuó únicamente en dos puntos de control hidrológico ubicados a corta distancia entre sí. Aunque estos permitieron establecer dos pares de valores observados y simulados, su número y proximidad limitan la representación de la variabilidad espacial de la producción de sedimentos en toda la cuenca.

Finalmente, la comparación se limitó a los sedimentos transportados en suspensión, debido a que no se determinaron la carga de fondo ni los sedimentos gruesos. Tampoco se evaluaron directamente los procesos de deposición y almacenamiento que pueden ocurrir antes de que el material erosionado alcance los puntos de control. Estos procesos pueden generar diferencias entre la pérdida de suelo estimada en las laderas y la cantidad de sedimentos registrada en la salida de la cuenca (Lim et al., 2005). Debido al número reducido de pares comparados, el PBIAS y el RMSE se interpretaron únicamente como indicadores referenciales del sesgo y de la magnitud del error, y no como una validación estadística integral del comportamiento sedimentario de la cuenca.

3.6 Propuesta de estrategias de conservación mediante el modelo Presión - Estado - Respuesta

Las estrategias de conservación del suelo se formularon mediante un enfoque de priorización territorial, siguiendo el modelo Presión–Estado–Respuesta (PER), el cual permite relacionar las presiones ejercidas sobre el ambiente, la condición del sistema evaluado y las respuestas planteadas para su gestión (OCDE, 1993). Este enfoque permitió vincular el diagnóstico biofísico y territorial de la cuenca con la condición erosiva estimada, con el propósito de definir acciones de manejo y conservación. La secuencia metodológica empleada para integrar los

componentes de presión, estado y respuesta se presenta en la Figura 7. En el componente de respuesta se aplicó el análisis FODA, a partir del cual se establecieron las combinaciones estratégicas FO, FA, DO y DA para relacionar los factores internos y externos y formular las estrategias de conservación (Weihrich, 1982).

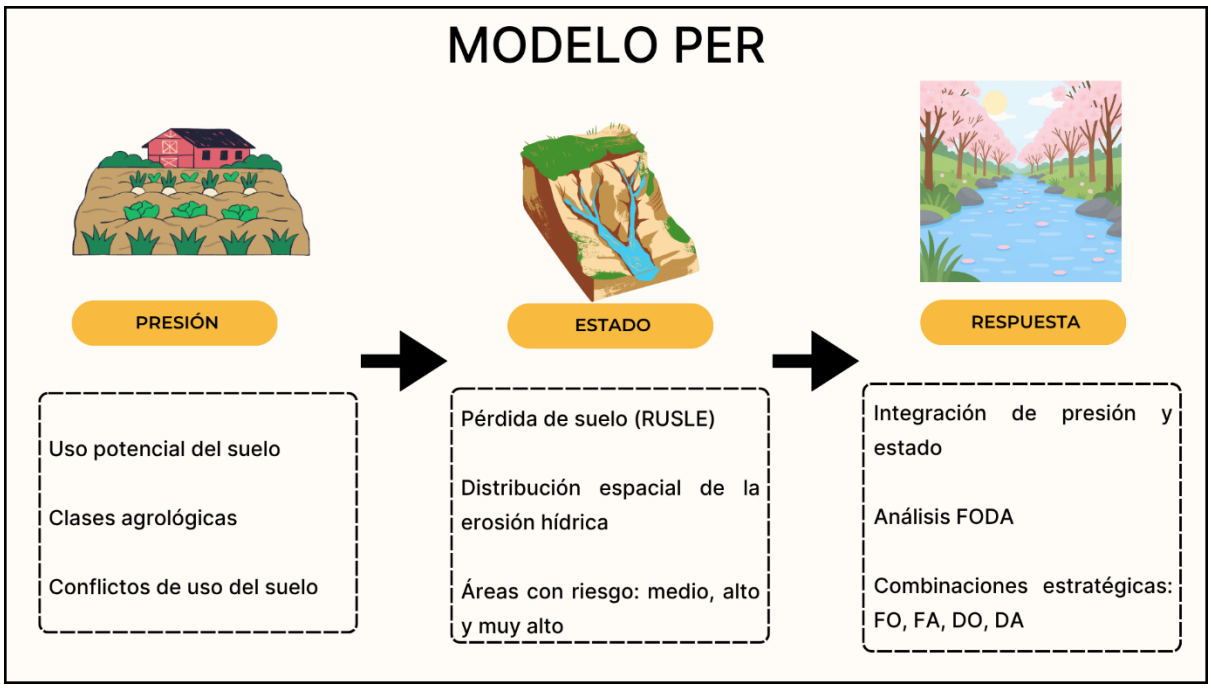


Figura 7. Esquema metodológico del modelo PER

3.6.1 Indicadores de presión: uso potencial, clases agrológicas y conflictos de uso

El componente de presión se definió mediante el análisis integrado del uso potencial del suelo, las clases agrológicas y los conflictos de uso. El uso potencial permitió identificar las formas de aprovechamiento más compatibles con las características biofísicas, la capacidad y las limitaciones del territorio para actividades agrícolas, pecuarias, forestales o de conservación. La evaluación de tierras establece la correspondencia entre las cualidades de una unidad territorial y los requerimientos de un uso determinado, con el propósito de orientar formas de aprovechamiento acordes con sus condiciones naturales (FAO, 1976).

Las clases agrológicas se analizaron para identificar las limitaciones, los riesgos de degradación y los requerimientos de manejo de las tierras. Esta clasificación constituye una base técnica para orientar la intensidad y el tipo de aprovechamiento del territorio (Klingebiel & Montgomery, 1961). En Ecuador, la capacidad de uso representa la aptitud de las tierras para

usos agrícolas generales o no específicos y permite diferenciar áreas con distintas condiciones y restricciones productivas (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2021).

Los conflictos de uso del suelo se analizaron mediante las categorías de uso adecuado, sobreutilización y subutilización. La sobreutilización se consideró la condición de mayor presión territorial, debido a que implica un uso que excede la capacidad del suelo y puede acelerar su degradación (CLIRSEN y MAGAP, 2011). La subutilización corresponde a sectores con un aprovechamiento inferior a su capacidad, mientras que el uso adecuado indica una condición compatible con las características y limitaciones del territorio (Molina y Portilla, 2022). La distribución espacial de estas categorías identificó los sectores con mayores incompatibilidades de uso y los relacionó, después, con la pérdida de suelo y las categorías de riesgo definidas en el componente de estado.

3.6.2 Indicadores de estado: pérdida de suelo y riesgo de erosión hídrica

El componente de estado se definió mediante la pérdida media anual de suelo estimada con RUSLE y las categorías de riesgo de erosión hídrica derivadas de su distribución espacial (Renard et al., 1997). La representación cartográfica de estos resultados permitió identificar los sectores con mayor afectación erosiva y establecer áreas prioritarias para la aplicación de medidas de manejo y conservación del suelo (Panagos et al., 2015). Posteriormente, las zonas clasificadas con riesgo medio, alto y muy alto se relacionaron con los indicadores de presión para formular las estrategias correspondientes al componente de respuesta.

3.6.3 Indicadores de respuesta: formulación de estrategias mediante la matriz FODA

El componente de respuesta se estructuró a partir de la integración de los resultados de los componentes de presión y estado. Esta información permitió identificar las condiciones territoriales que favorecen o limitan la conservación del suelo y orientar medidas para reducir la degradación asociada con la erosión hídrica. En el modelo PER, las respuestas comprenden decisiones y acciones dirigidas a prevenir, mitigar o revertir los impactos negativos sobre el ambiente y los recursos naturales (OCDE, 1993).

Los elementos identificados se organizaron mediante una matriz FODA, en la cual las fortalezas y debilidades correspondieron a condiciones internas de la cuenca, mientras que las oportunidades y amenazas representaron factores externos. A partir de su combinación se

formularon estrategias FO, orientadas a utilizar las fortalezas para aprovechar las oportunidades; FA, destinadas a emplear las fortalezas para reducir las amenazas; DO, dirigidas a aprovechar las oportunidades para superar las debilidades; y DA, enfocadas en disminuir las debilidades y evitar las amenazas (Weihrich, 1982). Las estrategias resultantes se adaptaron a las condiciones territoriales y a las zonas prioritarias identificadas, manteniendo una relación directa entre el diagnóstico de la cuenca y las acciones propuestas, como parte del proceso de planificación estratégica para la toma de decisiones (Armijo, 2011).

3.7 Materiales y equipos

Para el desarrollo de la investigación se emplearon materiales, equipos, insumos y herramientas digitales necesarios para la recopilación, procesamiento y análisis de la información relacionada con la erosión hídrica (Tabla 7). Estos recursos permitieron ejecutar las fases de trabajo de campo, análisis de laboratorio y procesamiento espacial requeridas para la aplicación del modelo RUSLE y la validación de sus resultados.

Tabla 7. Materiales, equipos, insumos y software utilizados

Materiales	**Equipos**	**Insumos**	**Software**
Imágenes Satelitales	Balanza analítica	Etiquetas	ArcGIS Pro
Cartografía Base	Bomba de vacío	Libreta de campo	Google Earth Pro
Filtros de fibra de vidrio	Horno de secado	Indumentaria de campo	Microsoft Excel
Probetas	Desecador	Recipientes - fundas	
Software de SIG	GPS		
Filtros de fibra de vidrio	Matraz Kitasato		
Cápsulas de porcelana	Cámara		
Barreno			
Cilindros metálicos			

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Pérdida de suelo causada por erosión hídrica en la cuenca hidrográfica

La distribución espacial de los factores RUSLE permitió identificar las condiciones ambientales que influyen en la pérdida de suelo dentro de la cuenca del río Lita. Como se observa en la Figura 8, los factores R, K, LS y C, correspondientes a la erosividad de la precipitación, erodabilidad del suelo, longitud e inclinación de la pendiente, y cobertura del suelo, respectivamente, presentan una respuesta espacial diferenciada dentro de la cuenca. Esto evidencia que la erosión hídrica no depende de una sola variable, sino de la interacción entre el régimen de precipitación, las características del suelo, la topografía y el tipo de cobertura presente en el territorio.

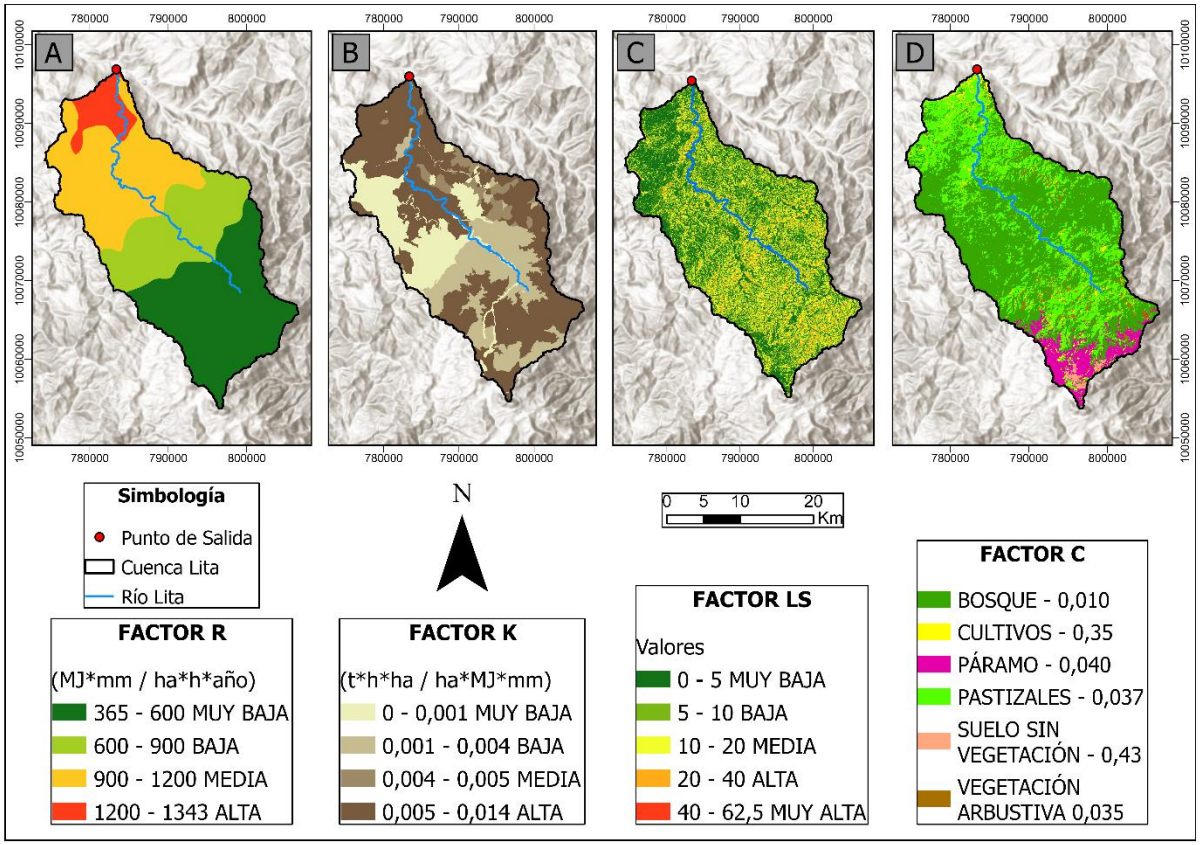


Figura 8. Factores del modelo RUSLE

El factor R presentó valores entre 365 y 1343 MJ*mm/ha*h*año, clasificados desde muy baja hasta alta erosividad (Figura 8A). Las zonas con menor erosividad se localizaron principalmente hacia el sector suroriental de la cuenca, mientras que los valores medios y altos

se concentraron hacia la parte alta y noroccidental. Esta distribución indica que la capacidad erosiva de la lluvia no es homogénea en el área de estudio, sino que también varía espacialmente según el comportamiento de la precipitación. Por tanto, los sectores con altos valores de R representan áreas donde la lluvia tiene mayor potencial para generar escorrentía superficial y desprendimiento de partículas del suelo.

El factor K registró valores entre 0 y 0,014 t*h*ha/h*ha*MJ*mm, con una distribución heterogénea en toda la cuenca (Figura 8B). Las categorías muy baja, baja y media abarcan una proporción importante del área, lo que indica que buena parte de los suelos tiene una susceptibilidad relativamente baja al desprendimiento por la lluvia y escorrentía. Sin embargo, hay zonas con valores altos de erodabilidad, ligados a variaciones locales en la textura, la estructura y la estabilidad del suelo. Esas áreas ganan relevancia cuando concuerdan con pendientes pronunciadas o coberturas vegetales con baja protección.

El factor LS presentó valores entre 0 y 62,5, clasificados desde muy bajos hasta muy altos (Figura 8C). La distribución espacial de este factor muestra una fuerte relación con la configuración topográfica de la cuenca, ya que los valores más elevados se concentran en sectores de relieve más irregular y pendientes pronunciadas. Estas condiciones favorecen el incremento de la velocidad de la escorrentía, incrementando la capacidad de transporte de sedimentos. En contraste, las zonas con valores bajos de LS se asocian con áreas de menor pendiente o menor acumulación de flujo superficial, donde la influencia topográfica sobre la erosión es menos intensa.

El factor C permitió identificar el efecto de la cobertura y uso del suelo sobre la protección superficial frente a la erosión hídrica (Figura 8D). En la cuenca se reconocieron coberturas como bosque, cultivos, páramo, pastizales, suelo sin vegetación y vegetación arbustiva. Las áreas con bosque y vegetación natural presentan mayor capacidad de protección, debido a que reducen el impacto directo de la lluvia y limitan el arrastre de partículas. Por el contrario, los cultivos, pastizales intervenidos y zonas sin vegetación presentan menor protección del suelo, por lo que pueden favorecer la erosión cuando se encuentran en áreas con pendientes fuertes o mayor acumulación de escorrentía.

El mapa generado mediante el modelo RUSLE representa la distribución continua de la pérdida media anual de suelo en la cuenca del río Lita, expresada en t/ha/año. Los valores obtenidos

oscilaron entre 0 y 95,44 t/ha/año, como se presenta en la Figura 9, evidenciando variaciones espaciales en la erosión hídrica. El gradiente de color permite visualizar el incremento de la pérdida de suelo, desde los tonos verdes asociados con valores menores hasta los tonos amarillos y anaranjados correspondientes a valores más elevados.

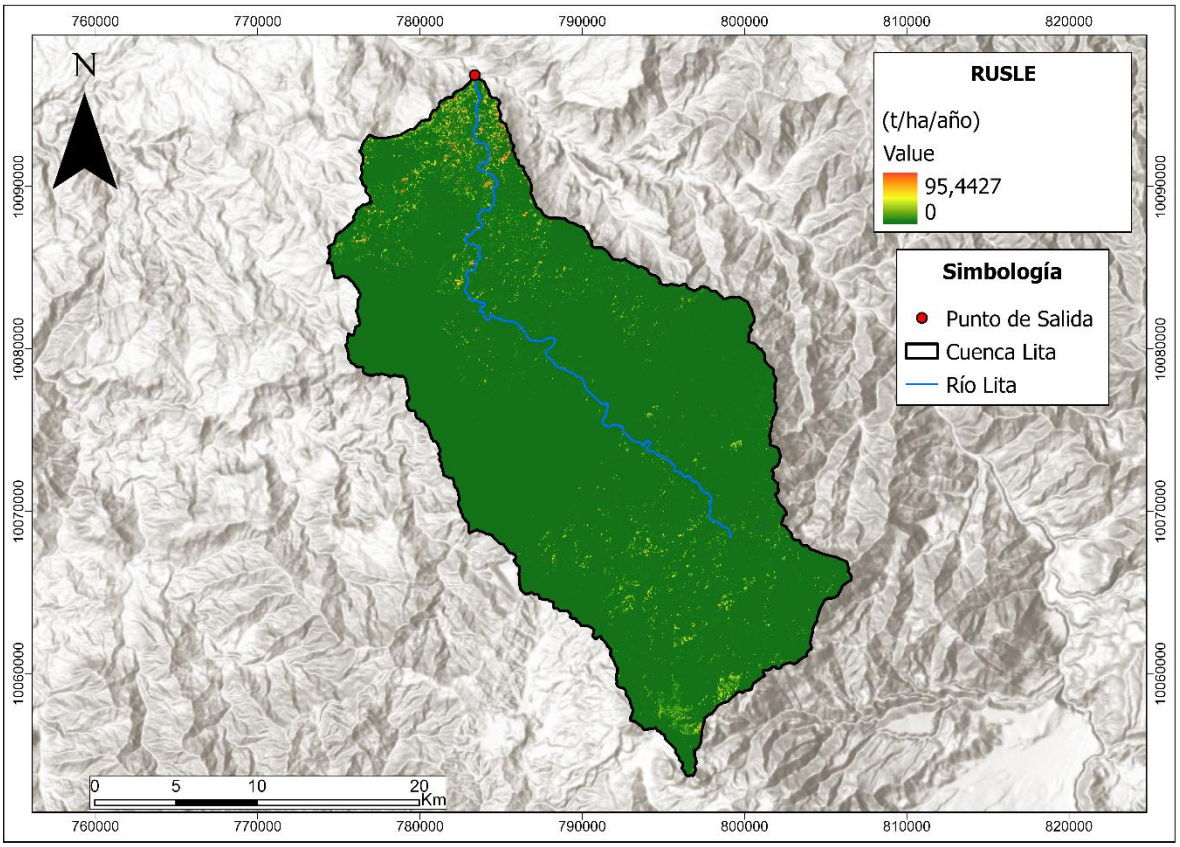


Figura 9. Erosión hídrica en la cuenca del río Lita

4.1.1 Producción de sedimentos observada y simulada

La integración de RUSLE y el SDR permitió estimar de manera referencial la producción de sedimentos en los dos puntos de control hidrológico analizados en la cuenca del río Lita. El SDR calculado fue de 0,1675, equivalente a una entrega potencial de sedimentos hacia el cauce del 16,75 %. En el punto de salida de la cuenca, la pérdida media anual de suelo estimada mediante RUSLE fue de 1,0408 t/ha/año, mientras que, en el segundo punto de control, ubicado aproximadamente 100 m río arriba, fue de 1,0366 t/ha/año. Las producciones de sedimentos observadas y simuladas en ambos puntos se presentan en la Tabla 8

Tabla 8. Sedimentos observados y simulados (t/ha/año)

Punto de control	SY Observado	SY Simulado
1	0,1600	0,1743
2	0,1536	0,1736

El contraste entre los valores observados y simulados presentó un PBIAS de −10,95 %, lo que indica una ligera sobreestimación de los valores simulados respecto a los observados. El RMSE fue de 0,0174 t/ha/año y representó la magnitud de las diferencias entre los pares comparados. En conjunto, estos indicadores permitieron interpretar de manera referencial el desempeño de RUSLE acoplado al SDR,

4.1.2 Volumen de suelo perdido a partir de la densidad aparente

El volumen de suelo perdido en la cuenca del río Lita presentó valores entre 0 y 0,86 cm/año, con un promedio de 0,009 cm/año. En la Figura 10 se observa que gran parte de la cuenca registró valores cercanos a cero, mientras que las pérdidas más altas se concentraron en sectores puntuales. La diferencia entre el promedio y el valor máximo indica que estos niveles elevados ocupan áreas reducidas y no se distribuyen de manera uniforme en la cuenca. La expresión de los resultados en cm/año permitió representar de forma más directa la cantidad de suelo removido anualmente.

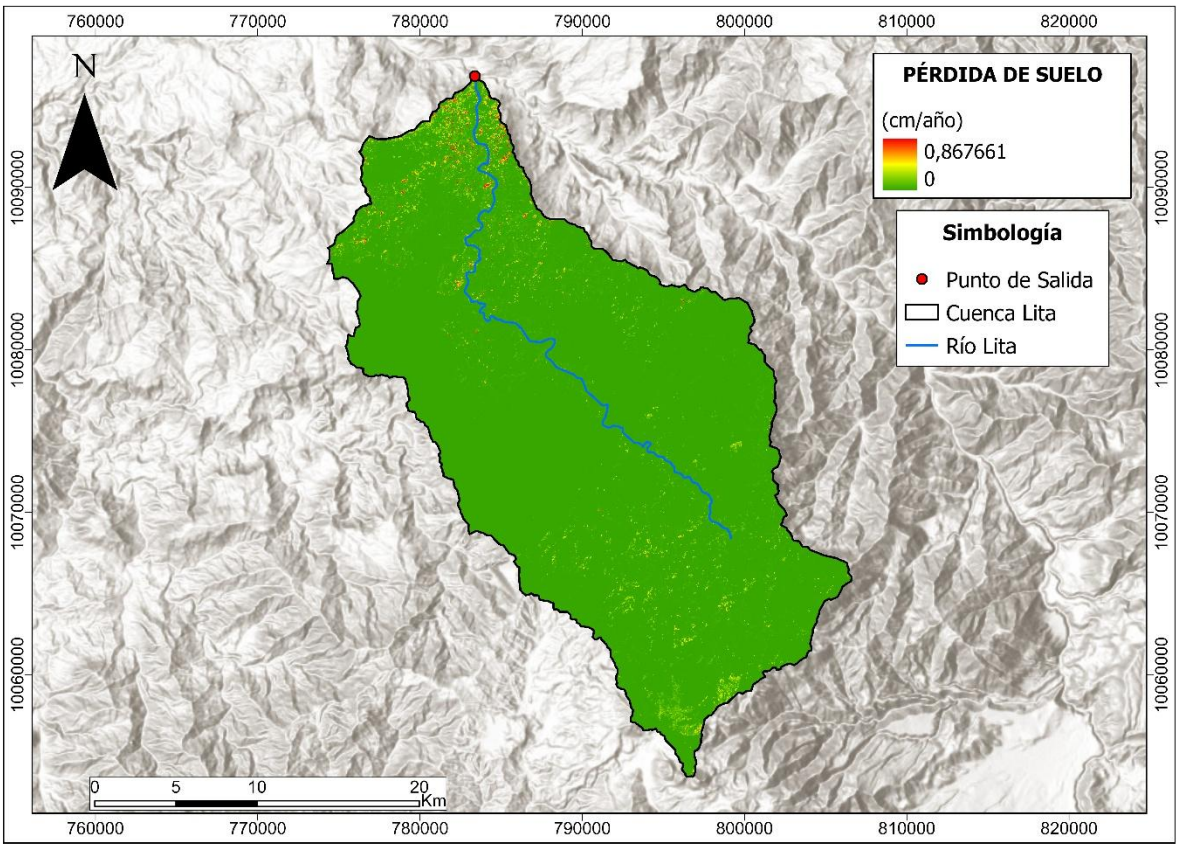


Figura 10. Suelo perdido en la cuenca del río Lita

Los valores de densidad aparente determinados en laboratorio y los correspondientes al ráster para las seis calicatas se presentan en la Tabla 9. La densidad aparente observada varió entre 1,30 y 1,92 g/cm³, mientras que los valores del ráster oscilaron entre 1,11 y 1,27 g/cm³. En todos los puntos, presentó valores inferiores a los registrados en campo, con las mayores diferencias en las calicatas CAL2_CB y CAL3_CB. El PBIAS obtenido fue de 23,40 %, lo que evidenció una tendencia de *SoilGrids* a subestimar la densidad aparente observada.

Tabla 9. Densidad aparente observada y simulada

Calicata	**Da-obs (g/cm³)**	**Da-sim (g/cm³)**
CAL1_CB	1,48	1,17
CAL2_CB	1,92	1,11
CAL3_CB	1,88	1,16
CAL1_CM	1,42	1,27
CAL2_CM	1,30	1,22
CAL3_CM	1,40	1,27

4.2 Zonificación del riesgo de erosión hídrica

La integración de los factores R, K, LS y C permitió obtener la zonificación de la erosión hídrica en la cuenca del río Lita. Los valores estimados de pérdida de suelo variaron entre 0 y 95,44 t/ha/año, lo que permitió clasificar el área de estudio en las categorías muy baja, baja, media, alta y muy alta como se presenta en la Figura 11. Esta clasificación evidencia que la mayor parte de la cuenca presenta niveles reducidos de erosión; sin embargo, existen sectores puntuales donde la pérdida de suelo aumenta de forma considerable debido a la combinación de pendientes pronunciadas, menor cobertura vegetal y condiciones favorables para la generación de escorrentía.

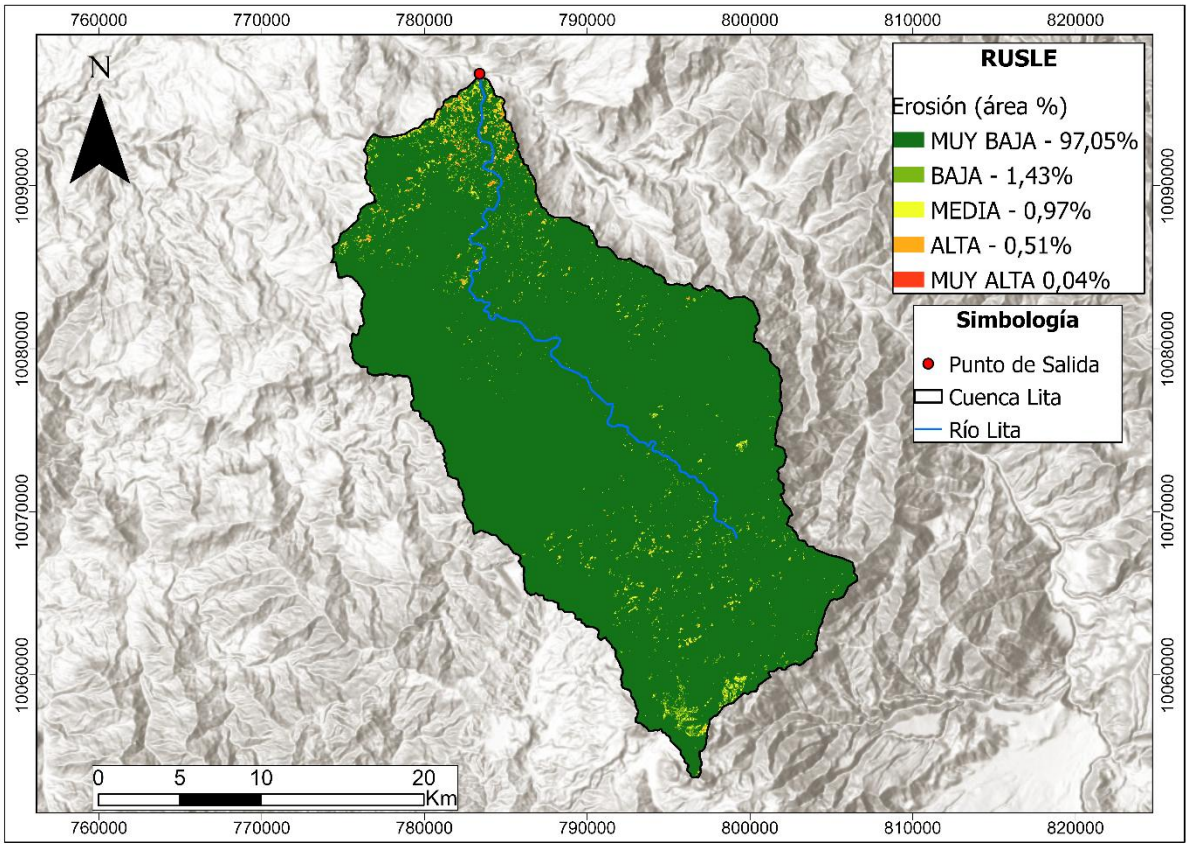


Figura 11. Zonificación de la erosión hídrica en la cuenca del río Lita

El mapa final de erosión hídrica muestra un predominio de las categorías baja y muy baja, distribuidas principalmente en sectores con cobertura vegetal más densa y menor incidencia topográfica. Las categorías media, alta y muy alta aparecen de forma más localizada, específicamente en áreas donde coinciden valores elevados del factor LS con coberturas menos protectoras. Esta distribución confirma que las zonas críticas no se extienden de manera uniforme en toda la cuenca, sino que se concentran en puntos específicos del territorio. Por ello, estas áreas deben considerarse prioritarias para la implementación de medidas de conservación de suelo, restauración de cobertura vegetal y manejo adecuado del uso del suelo

4.3 Modelo Presión – Estado – Respuesta aplicado a la cuenca del río Lita

El uso potencial del suelo evidenció que la cuenca presenta una vocación principalmente orientada a la protección, debido a que el 78,62 % de su superficie corresponde a esta categoría. En menor proporción se identificaron áreas con uso potencial pecuario, que representan el 17,36 %, y áreas agropecuarias, con el 3,22 %. Esta distribución indica que la conservación de cobertura vegetal, la protección de laderas y el manejo de zonas de importancia hídrica deben

ser criterios centrales en la planificación de acciones dentro de la cuenca. La distribución espacial de estas categorías se presenta en la Figura 12.

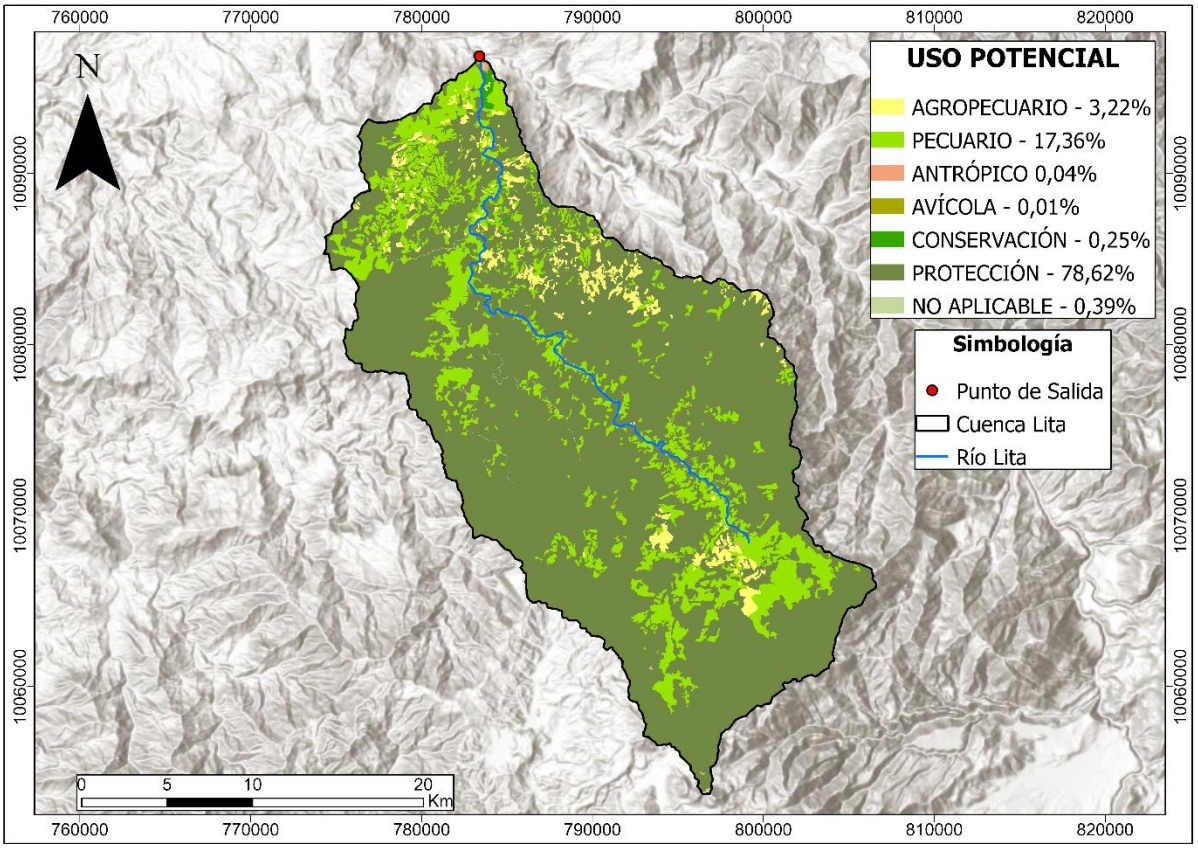


Figura 12. Uso potencial del suelo

Las clases agrológicas mostraron un marcado predominio de la clase VIII, que ocupó el 90 % de la superficie de la cuenca, seguida por la clase VII, con el 4,65 %, como se observa en la Figura 13. En conjunto, ambas clases representaron el 94,65 % del territorio, lo que evidencia que la mayor parte de la cuenca presenta limitaciones severas o muy severas para el desarrollo de actividades agropecuarias intensivas. Esta distribución es coherente con el predominio del uso de protección, ya que refleja la reducida aptitud de la mayoría del territorio para usos productivos intensivos.

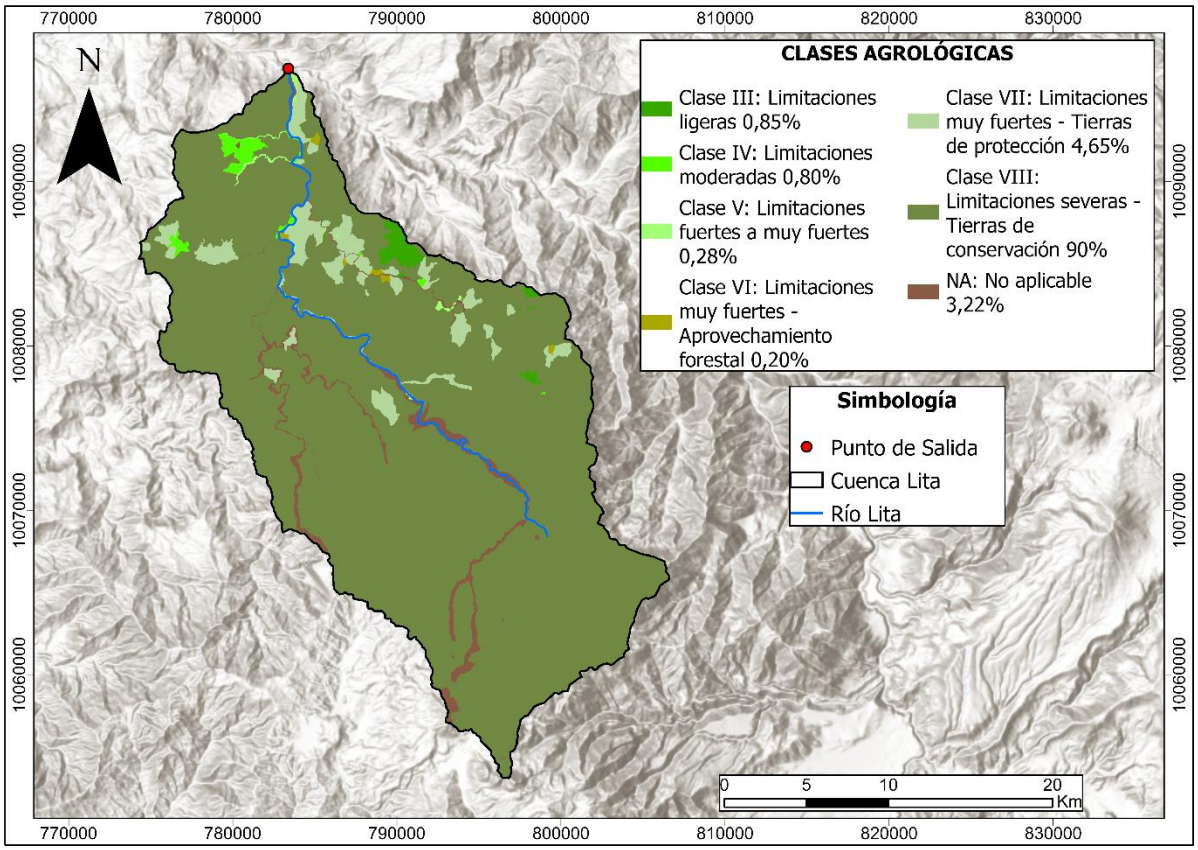


Figura 13. Clases agrológicas

El análisis de conflictos de uso identificó los sectores donde el uso actual no coincide con la capacidad de uso de la tierra. En la Figura 14, el 79,54 % de la cuenca corresponde a la categoría de uso adecuado, es decir, hay una compatibilidad predominante entre el aprovechamiento actual y las condiciones del territorio. En contraste, el 19,48 % presentó sobreutilización, condición que representa una presión territorial importante, debido a que las actividades desarrolladas exceden la capacidad de uso de la tierra. Estos sectores adquirieron mayor relevancia cuando coincidieron con clases agrológicas restrictivas y categorías de erosión media, alta o muy alta, por lo que fueron considerados dentro de la identificación de áreas prioritarias.

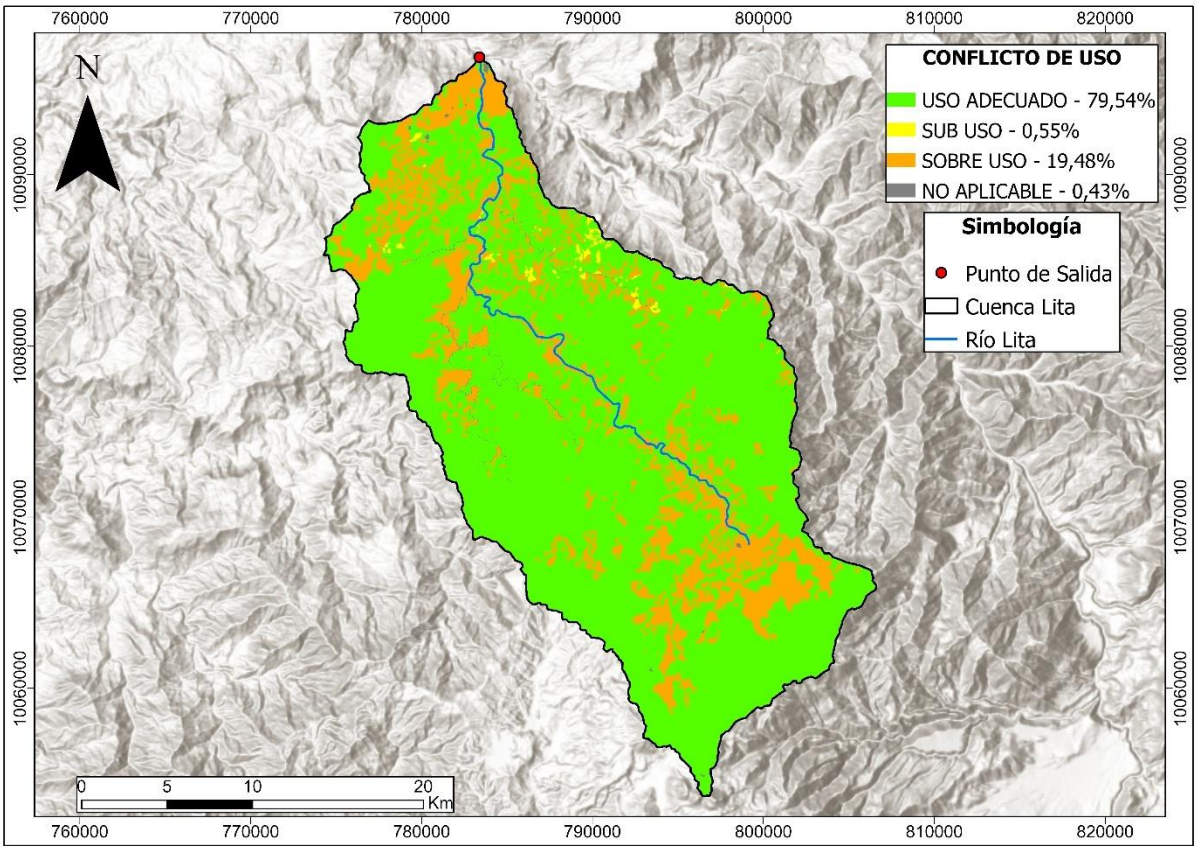


Figura 14. Conflictos de uso del suelo

La integración de los indicadores de presión territorial con las categorías de erosión hídrica permitió identificar áreas con distintos niveles de prioridad para la conservación del suelo, como se presenta en la Figura 15. Los sectores donde coincide la sobreutilización, las clases agrológicas restrictivas, el uso potencial de protección y las categorías de erosión media, alta o muy alta se consideraron de mayor importancia, debido a la concurrencia de limitaciones territoriales y una mayor afectación erosiva. Por último, las áreas con uso adecuado, baja pérdida estimada de suelo y uso potencial compatible con la protección presentaron condiciones más favorables. Esta integración constituyó la base para organizar el análisis FODA y formular las estrategias correspondientes al componente de respuesta.

4.3.1 Análisis FODA para la propuesta de estrategias

La integración de los indicadores de presión y estado permitió identificar los factores internos y externos que condicionan la conservación del suelo en la cuenca del río Lita. El diagnóstico mostró como principal fortaleza el predominio de erosión hídrica muy baja, junto con la alta proporción de uso adecuado y de uso potencial de protección. Entre las limitaciones destacaron la sobreutilización del suelo, las restricciones agrológicas y algunos focos puntuales de mayor

afectación erosiva. La incorporación de información geoespacial en la planificación territorial representa la principal oportunidad, mientras que la expansión de usos incompatibles, el posible aumento de los procesos erosivos y el transporte de sedimentos hacia el cauce principal son las amenazas más relevantes. Estos factores se presentan en la Tabla 10 y fueron la base para formular las estrategias FO, FA, DO y DA.

Tabla 10. Matriz de análisis FODA

Fortalezas	**Oportunidades**
F1. Predominio de erosión hídrica muy baja con el 97,05% de toda la cuenca, evidenciando una pérdida baja actual del suelo que permite tomar acciones hacia la prevención.	O1. Incorporación de los resultados RUSLE, uso potencial, clases agrológicas y conflictos de uso en instrumentos de planificación territorial, como el PDOT Parroquial Rural Lita
F2. Presencia del 79,54% del área con uso adecuado, es decir sin conflicto, lo que indica una relación favorable entre el uso actual y la capacidad natural del terreno.	O2. Posibilidad de fortalecer programas de conservación y restauración ecológica en áreas de protección, especialmente en laderas, zonas ribereñas y áreas de recarga hídrica.
F3. Alto índice de conservación y protección, reflejado en el 90% de tierras con Clase VIII y el 4,65% con clase VII, que en conjunto representan el 94,65% de la cuenca	O3. Implementar prácticas para el manejo sostenible en áreas agropecuarias y pecuarias, como barreras vivas, cobertura permanente, cultivos en contorno y sistemas agroforestales.
F4. Predominio del uso potencial de protección, con el 78,62 %, lo que favorece priorizar medidas de conservación del suelo, la cobertura vegetal y las fuentes hídricas.	O4. Uso de la información espacial como base técnica para priorizar intervenciones, monitorear áreas críticas y sustentar un manejo adecuado de la cuenca.

Debilidades	**Amenazas**
D1. Existencia de 19,48% en condición de sobreuso, lo que indica presión sobre áreas cuya capacidad natural presenta restricciones para usos intensivos.	A1. Incremento de erosión hídrica se localizó en sectores con riesgo medio, alto y muy alto, que en conjunto representan el 1,52% de área en la cuenca.

D2. Predominio de tierras con limitaciones severas, principalmente la Clase VIII que restringe la aptitud del territorio para actividades agrológicas o pecuarias.	A2. Expansión de actividades agropecuarias que se dirigen hacia las zonas de protección y conservación, aumentando los conflictos de uso y la degradación del suelo.
D3. Presencia de usos pecuarios y agrológicas en una cuenca con vocación mayoritaria de protección, lo que puede generar presión sobre laderas, cobertura vegetal y áreas vulnerables.	A3. Aumento del transporte de sedimentos hacia el río Lita en zonas puntuales con mayor pendiente, menor cobertura vegetal y zonas con intervención antrópica.
D4. Existencia de áreas con erosión hídrica alta y muy alta, aunque reducidas, equivalentes al 0,55% de la cuenca, que requieren atención prioritaria para evitar su expansión.	A4. Pérdida progresiva de la capacidad ecológica y productiva del suelo en áreas de sobreuso, especialmente si no se aplican prácticas de conservación y restauración.

4.3.2 Propuesta de estrategias de manejo y conservación

A partir de los factores internos y externos identificados en la matriz FODA se formularon cuatro estrategias de manejo y conservación para la cuenca del río Lita. Cada estrategia se vinculó con una combinación FO, FA, DO o DA y con las condiciones territoriales identificadas mediante el uso potencial del suelo, las clases agrológicas, los conflictos de uso y la erosión hídrica. Las estrategias resultantes y los factores que sustentan su formulación se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Matriz de estrategias combinadas derivadas del análisis FODA

Tipo	Combinación	Estrategia Derivada
FO	F4 + O2	Reforestación con especies nativas en áreas de protección y conservación, aprovechando la vocación protectora del territorio para fortalecer la cobertura vegetal y conservar zonas con función hídrica y ecológica.
FA	F3 + A2	Restricción del uso productivo intensivo en clases agrológicas VII y VIII, utilizando la vocación de conservación y protección del territorio para prevenir la expansión de actividades incompatibles con la capacidad natural del suelo.
DO	D1 + O3	Manejo sostenible de zonas en sobreuso mediante barreras vivas, orientado a reducir la presión antrópica sobre áreas con conflicto de

		uso mediante prácticas que disminuyan la escorrentía superficial y retengan sedimentos.
DA	D4 + A3	Control localizado de focos erosivos mediante zanjas de infiltración, priorizando zonas con erosión media, alta y muy alta para reducir la pérdida de suelo y el aporte de sedimentos hacia el río Lita.

Nota. Elaborado a partir de la matriz FODA y mapas temáticos de la cuenca del río Lita.

La distribución espacial de las estrategias propuestas se presenta en la Figura 15. Esta representación permite relacionar cada medida de conservación con los sectores priorizados de la cuenca, de acuerdo con los resultados de erosión hídrica, uso potencial del suelo, clases agrológicas y conflictos de uso.

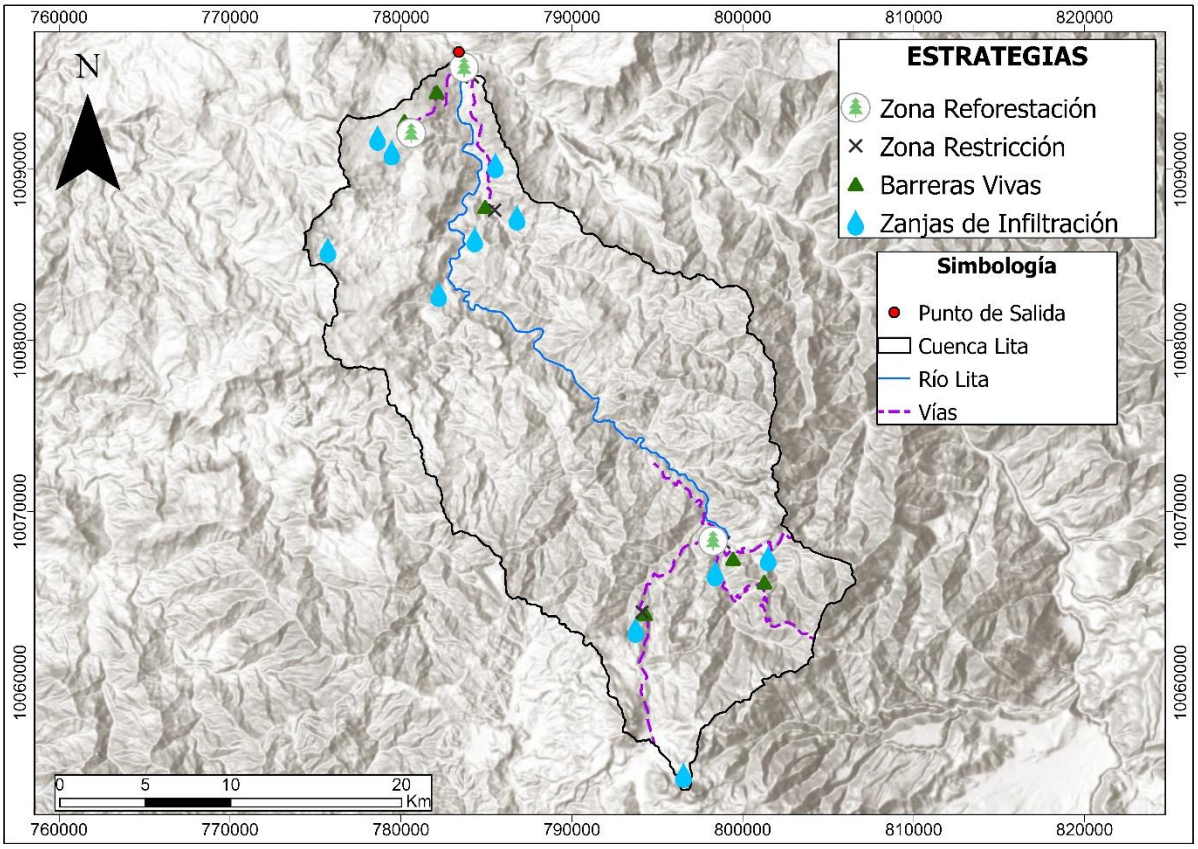


Figura 15. Estrategias de conservación propuestas en la cuenca del río Lita

4.3.2.1. Estrategia 1: Reforestación con especies nativas en áreas de protección y conservación

Ubicación:

Sitios priorizados dentro de áreas clasificadas con uso potencial de protección y conservación, seleccionados por su cercanía a centros poblados y condiciones de accesibilidad.

Justificación

Las áreas con uso potencial de protección y conservación son clave para la estabilidad del suelo, la regulación hídrica y el mantenimiento de la cobertura vegetal. La reforestación con especies nativas fortalece estas zonas, reduce la escorrentía superficial y protege las áreas de mayor importancia ambiental dentro de la cuenca del río Lita.

Objetivos

Implementar reforestación con especies nativas en las áreas de protección y conservación para conservar la cobertura vegetal y reducir la vulnerabilidad del suelo frente a procesos de erosión hídrica.

Meta

Reforestar áreas priorizadas de protección y conservación dentro de la cuenca del río Lita, mediante actividades de selección de especies, establecimiento vegetal y mantenimiento, como se detalla en la Tabla 12.

Tabla 12. Matriz operativa estrategia 1

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Seleccionar especies nativas adecuadas para las condiciones ambientales de la cuenca.	Lista de especies nativas seleccionadas.	Fichas técnicas de especies e informe técnico.	Áreas de protección y conservación.	MAE, GAD Parroquial Rural Lita, universidades.
Preparar sitios priorizados para el establecimiento de especies nativas.	Número de sitios preparados para reforestación.	Fotografías georreferenciadas y fichas de campo.	Zonas con vocación protectora.	GAD Parroquial Rural Lita, comunidades locales.
Establecer especies nativas en las áreas de protección y conservación.	Número de plantas establecidas o superficie reforestada.	Registros de plantación, fotografías y recorridos de campo.	Áreas priorizadas para reforestación.	MAE, GAD Parroquial Rural Lita, comunidades locales.
Realizar mantenimiento y reposición de	Porcentaje de supervivencia de plantas.	Informes de seguimiento y	Áreas reforestadas.	GAD Parroquial Rural Lita,

plantas en las áreas reforestadas.	fichas de monitoreo.	comunidades locales.

4.3.2.2 Estrategia 2: Restricción del uso productivo intensivo en clases agrológicas VII y VIII

Ubicación:

Sitios priorizados dentro de zonas clasificadas como clases agrológicas VII y VIII, seleccionados en sectores cercanos a poblados y teniendo en cuenta la accesibilidad vial.

Justificación

Las clases agrológicas VII y VIII presentan limitaciones severas para actividades productivas intensas, por ello, su manejo debe orientarse principalmente hacia la protección y conservación. Restringir estos usos ayuda a prevenir la degradación del suelo, evitar la pérdida de cobertura vegetal y mantener la capacidad natural en estas áreas.

Objetivos

Restringir el uso productivo intenso en áreas clasificadas como clases agrológicas VII y VIII para conservar su función protectora y evitar la degradación del suelo en zonas con limitaciones agrológicas severas.

Meta

Establecer lineamientos de restricción para actividades productivas que son intensas en áreas de clases VII y VIII, promoviendo usos compatibles con la vocación protectora del suelo, como se detalla en la Tabla 13.

Tabla 13. Matriz operativa estrategia 2

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Formular lineamientos para restringir actividades productivas intensivas en clases VII y VIII.	Número de lineamientos técnicos propuestos.	Documento técnico e informe de estrategia.	Áreas con clases agrológicas VII y VIII	GAD Municipal de Ibarra, GAD Parroquial Rural Lita, MAG.

Socializar las restricciones de uso con comunidades y actores locales.	Número de talleres o reuniones realizadas.	Actas, fotografías y listas de asistencia.	Comunidades vinculadas a zonas de restricción.	GAD Parroquial Rural Lita, MAG, comunidades locales.
Promover usos compatibles con la vocación protectora del suelo.	Número de sectores orientados hacia usos de protección o conservación.	Informes técnicos, registros de campo y acuerdos comunitarios.	Zonas con limitaciones agrológicas severas.	GAD Parroquial Rural Lita, MAE, MAG.
Realizar seguimiento a cambios de uso en zonas con restricción productiva.	Número de verificaciones o reportes de seguimiento.	Mapas de seguimiento, fotografías y recorridos de campo.	Áreas con restricción productiva.	GAD Municipal de Ibarra, GAD Parroquial Rural Lita.

4.3.2.3. Estrategia 3: Manejo sostenible de zonas en sobreuso mediante barreras vivas

Ubicación:

Sitios priorizados en áreas identificadas con sobreuso, seleccionados en sectores accesibles y vinculados a actividades productivas.

Justificación

Las zonas en sobreuso reflejan presión del uso actual en la capacidad natural del suelo. En estos sectores, las barreras vivas constituyen una medida adecuada para reducir la escorrentía superficial, retener sedimentos y mejorar el manejo del suelo sin eliminar necesariamente las actividades productivas que ya existen.

Objetivos

Implementar barreras vivas en zonas identificadas con sobreuso para disminuir la escorrentía superficial, retener sedimentos y mejorar el manejo del suelo en áreas donde el uso actual supera la capacidad natural del territorio.

Meta

Establecer barreras vivas en sectores priorizados con sobreuso dentro de la cuenca del río Lita, mediante la selección de especies, instalación y mantenimiento, como se detalla en la Tabla 14.

Tabla 14. Matriz operativa estrategia 3

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Seleccionar especies adecuadas para barreras vivas en zonas de sobreuso.	Lista de especies seleccionadas.	Fichas técnicas e informe técnico.	Zonas en sobreuso.	MAG, GAD Parroquial Rural Lita, universidades.
Establecer barreras vivas en sectores con presión productiva.	Longitud de barreras vivas implementadas o superficie intervenida.	Fotografías georreferenciadas, fichas de campo y reportes técnicos.	Sectores con presión productiva.	MAG, GAD Parroquial Rural Lita, productores locales.
Capacitar a productores sobre mantenimiento y función de las barreras vivas.	Número de productores capacitados.	Listas de asistencia, fotografías y actas de capacitación.	Productores de zonas en sobreuso.	MAG, GAD Parroquial Rural Lita.
Realizar mantenimiento y seguimiento de las barreras vivas establecidas.	Porcentaje de barreras vivas conservadas.	Informes de seguimiento, fotografías y visitas de campo.	Barreras vivas implementadas.	Productores locales, MAG, GAD Parroquial Rural Lita.

4.3.2.4 Estrategia 4: Control localizado de focos erosivos mediante zanjas de infiltración

Ubicación:

Sitios priorizados en zonas con erosión hídrica media, alta y muy alta, seleccionados por su accesibilidad, vulnerabilidad y cercanía a poblados.

Justificación

Las áreas con erosión media, alta y muy alta son focos prioritarios de intervención por su mayor susceptibilidad a la pérdida de suelo. Implementar zanjas de infiltración permite disminuir la velocidad de la escorrentía, favorece la infiltración y reduce el transporte de sedimentos hacia el cauce del río Lita.

Objetivos

Implementar zanjas de infiltración en zonas clasificadas con erosión media, alta y muy alta por el modelo RUSLE para así reducir la escorrentía superficial y controlar la pérdida de suelo en focos de erosión en la cuenca.

Meta

Construir zanjas de infiltración en focos erosivos priorizados por el modelo RUSLE, mediante acciones de trazado, implementación y mantenimiento, como se detalla en la Tabla 15.

Tabla 15. Matriz operativa estrategia 4

Actividades	Indicadores	Medios de Verificación	Alcance	Responsables
Identificar en campo los sitios adecuados para implementar zanjas de infiltración	Número de sitios verificados para intervención.	Fichas de campo, fotografías georreferenciadas y mapa de ubicación.	Focos erosivos priorizados.	GAD Parroquial Rural Lita, MAG, universidades.
Trazar zanjas de infiltración siguiendo criterios técnicos de pendiente y escorrentía.	Número de zanjas trazadas.	Croquis, fichas técnicas y registros de campo.	Laderas con erosión media, alta y muy alta.	MAG, GAD Parroquial Rural Lita, comunidades locales.
Construir zanjas de infiltración en los sectores priorizados.	Número de zanjas implementadas o superficie intervenida.	Fotografías, reportes técnicos y actas comunitarias.	Sectores críticos de erosión.	GAD Parroquial Rural Lita, MAG, comunidades locales.
Verificar la funcionalidad de las zanjas después de eventos de lluvia.	Número de zanjas funcionales verificadas.	Informes de monitoreo, fotografías y recorridos de campo.	Zanjas de infiltración implementadas.	GAD Parroquial Rural Lita, comunidades locales.

4.4 Discusión

Los resultados obtenidos en la cuenca del río Lita mostraron pérdidas de suelo entre 0 y 95,44 t/ha/año, con una media de 1,04 t/ha/año y un predominio de niveles bajos de erosión, aunque con sectores críticos localizados. Esta distribución heterogénea se relacionó con la interacción espacial entre la erosividad de la lluvia, la erodabilidad del suelo, la topografía, la cobertura y

el manejo del territorio. En la cuenca media-alta del río Mira se reportaron valores entre 0 y 812,30 t/ha/año, superiores a los estimados en Lita, pero con un patrón semejante de concentración de las mayores pérdidas en sectores con pendientes pronunciadas y coberturas sin protección (Arias-Muñoz et al., 2023). No obstante, esta comparación debe interpretarse considerando las diferencias metodológicas, espaciales y temporales entre ambos estudios. Asimismo, las tasas de 0,06 a 190,49 t/ha/año registradas en Manabí muestran que la magnitud de la erosión puede variar ampliamente entre cuencas con condiciones fisiográficas y climáticas diferentes (Andrade-Carreño et al., 2025).

El predominio de niveles bajos de erosión en la cuenca del río Lita puede asociarse con la presencia de coberturas naturales, como bosque, páramo y vegetación arbustiva, que contribuyen a reducir el impacto directo de la lluvia y la generación de escorrentía superficial. Este comportamiento es similar con lo reportado por Arias-Muñoz et al. (2023), ya que identificaron valores medios de erosión inferiores al umbral aceptable de 10 t/ha/año en áreas cubiertas por bosque y páramo de la cuenca media-alta del río Mira. Ochoa-Cueva et al. (2015) muestran que la cobertura vegetal reduce la erosión en cuencas andinas, sobre todo frente al cambio de uso del suelo. En Lita, esta influencia se refleja espacialmente en el factor C, cuyos valores bajos corresponden a las coberturas con mayor capacidad de protección del suelo.

Las zonas con erosión alta y muy alta se asocian espacialmente con sectores de pendientes pronunciadas y mayor longitud de flujo. En estas áreas, el factor LS tuvo una influencia significativa, debido a que el incremento de la pendiente y del recorrido de la escorrentía favorece una mayor capacidad de desprendimiento y transporte de partículas del suelo. Este comportamiento es similar al reportado por Al-Hasn et al. (2024) en la cuenca del río Al-Sanaoubar, en Siria, donde las mayores tasas de erosión se concentraron en sectores montañosos con pendientes elevadas. En la cuenca del río Lita, la influencia topográfica permitió explicar la presencia localizada de valores altos, a pesar del predominio general de niveles bajos de erosión.

El análisis de la producción de sedimentos mostró una ligera sobreestimación de los valores simulados respecto a los observados, expresada en un PBIAS de −10,95 %. Este resultado se está dentro del intervalo referencial de −25 % a +25 % considerado satisfactorio para sedimentos a escala de cuenca (Moriasi et al., 2015). El RMSE de 0,0174 t/ha/año representó la magnitud de las diferencias entre los dos pares comparados. Sin embargo, estos indicadores

deben interpretarse con cautela, debido a que el contraste se realizó únicamente en dos puntos de control y no incluyó monitoreo temporal continuo. Además, RUSLE estima la pérdida media anual de suelo en las laderas, mientras que los valores observados corresponden a sedimentos suspendidos transportados por el cauce, por ello la relación obtenida mediante el SDR constituye una aproximación referencial y no una validación integral de la dinámica sedimentaria de la cuenca.

El predominio del uso potencial de protección y de las clases agrológicas VII y VIII indica que la mayor parte de la cuenca presenta condiciones más alineadas con la conservación que con actividades productivas intensas. Sin embargo, hay sitios sobre utilizados donde el uso actual excede la capacidad de uso de la tierra, lo que puede aumentar la presión sobre el suelo. Esa situación se empeora cuando coincide con pendientes pronunciadas, coberturas poco protegidas y áreas de mayor riesgo de erosión. Esto concuerda con lo observado en otras cuencas ecuatorianas, donde los conflictos de uso y la incompatibilidad entre el aprovechamiento actual y la capacidad de la tierra son criterios relevantes para orientar el manejo y la conservación del territorio (Quiñónez, 2022; Rodríguez y Carvajal, 2024).

La integración del diagnóstico territorial con el análisis FODA facilitó formular estrategias que varían según las condiciones de la cuenca, evitando aplicar medidas uniformes en todo el territorio. La reforestación con especies nativas y la regulación de usos productivos intensos resultan coherentes con el predominio de áreas de protección y tierras con limitaciones agrológicas, mientras que las prácticas de manejo sostenible y el control detectado de focos de erosión responden a los sectores con sobreutilización y mayor riesgo de pérdida de suelo. Este enfoque coincide con estudios realizados en cuencas ecuatorianas, donde las medidas de conservación se priorizan de acuerdo con la capacidad de uso de la tierra, la cobertura vegetal y la presión humana (Quiñónez, 2022; Rodríguez y Carvajal, 2024). Por tanto, la propuesta no se limita a reducir la erosión actual, sino que también busca prevenir el deterioro de las áreas que aún mantienen condiciones favorecen la conservación.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La aplicación del modelo RUSLE permitió estimar la pérdida de suelo y analizar de manera referencial su relación con la producción de sedimentos en la cuenca del río Lita. El PBIAS de −10,95 % indica una ligera sobreestimación de los valores simulados respecto a los observados, mientras que el RMSE de 0,0174 t/ha/año representó la magnitud de las diferencias entre los pares comparados. Estos resultados permitieron evaluar el desempeño del modelo RUSLE acoplado al SDR de manera referencial, sin constituir una validación estadística integral de la dinámica sedimentaria de la cuenca.

La pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Lita se manifestó predominantemente en niveles bajos de afectación, debido a que el 97,05 % del área evaluada correspondió a erosión muy baja y el 1,43 % a erosión baja, concentrando en conjunto el 98,48 % de la superficie total. Las zonas con erosión media, alta y muy alta se localizaron cerca de los poblados Buenos Aires, San Francisco, Río Verde Bajo, Cristal Alto, El Bareque y Lita, lo que evidencia una distribución espacial localizada del riesgo erosivo. Por tanto, la pérdida de suelo no constituye un proceso general de degradación severa en toda la cuenca, más bien representa una condición predominantemente baja con focos localizados que necesitan atención prioritaria.

Las estrategias de conservación del suelo propuestas para mitigar los efectos de la erosión hídrica en la cuenca del río Lita se orientaron a intervenir las principales condiciones territoriales identificadas en el área de estudio. Estas fueron: 1) reforestación con especies nativas en áreas de protección y conservación; 2) regulación del uso productivo intensivo en tierras de clases agrológicas VII y VIII; 3) manejo sostenible de las áreas sobreutilizadas, con barreras vivas; y 4) control localizado de los focos erosivos, con zanjas de infiltración. En conjunto buscan reducir la pérdida de suelo y fortalecer la cobertura vegetal, lo que a su vez ayuda a frenar la escorrentía y el aporte de sedimentos hacia el cauce principal.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda incorporar los resultados de erosión hídrica, uso potencial del suelo, clases agrológicas, conflictos de uso y estrategias de conservación en los procesos de planificación

territorial del GAD Parroquial Rural de Lita y del GAD Municipal de Ibarra. Esta información puede servir como insumo técnico para futuras actualizaciones del PDOT, especialmente para identificar áreas con uso potencial de protección, sectores sobre utilizados y zonas puntuales con mayor riesgo de erosión hídrica. Con estos resultados se puede direccionar mejor las decisiones sobre la conservación del suelo, la regulación de actividades productivas en zonas frágiles y la priorización de áreas que requieren manejo dentro de la cuenca del río Lita.

Estas estrategias deberían implementarse de forma comunitaria en los sectores priorizados de la cuenca del río Lita, mediante capacitación, acompañamiento técnico y proyectos participativos que apunten a la reforestación con especies nativas, el establecimiento de barreras vivas, el manejo de las áreas sobreutilizadas y, donde el terreno lo permita, la construcción de zanjas de infiltración. La idea es avanzar de forma progresiva, con la población local y las instituciones competentes, para que el suelo se conserve, la cobertura vegetal se recupere y las medidas se sostengan a lo largo del tiempo.

CAPÍTULO VI
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agostini, M. de los Á., Monterubbianesi, M. G., Studdert, G. A., & Maurette, S. (2014). Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente. *Ciencia del Suelo, 32*(2), 171–176. https://ojs.suelos.org.ar/index.php/cds/article/view/109

Al-hasn, R., Alghamaz, F., Dikkeh, M., & Idriss, Y. (2024). Water soil erosion modeling with RUSLE, GIS & remote sensing: A case study of the AL-Sanaoubar River basin (Syria). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 23*(7), 474–484. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2024.05.004

Almoza, Y., Medina, H., Schiettecatte, W., Alonso, G., & Rúiz, M. E. (2008). El uso de datos pluviométricos para la determinación del factor erosividad de las precipitaciones en el modelo RUSLE. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 17*(1), 38-43. https://www.redalyc.org/pdf/932/93217108.pdf

Amorim, R. S. S. (2003). *Avaliação dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para condições edafoclimáticas brasileiras*. https://doi.org/10.1590/S0100-69162010000600006

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

Arias-Muñoz, P., Saz, M. A., & Escolano, S. (2023). *Estimación de la erosión del suelo mediante el modelo RUSLE. Caso de estudio: cuenca media alta del río Mira en los Andes de Ecuador*. Investigaciones Geográficas, (79), 207–230. https://doi.org/10.14198/INGEO.22390

Armijo, M. (2011). *Planificación estratégica e indicadores de desempeño en el sector público* (Serie Manuales No. 69; LC/L.3319-P). Comisión Económica para América Latina y el Caribe. https://hdl.handle.net/11362/5509

Babiński, Z. (2005). The relationship between suspended and bed load transport in river channels. En D. E. Walling & A. J. Horowitz (Eds.), *Sediment budgets 1: Proceedings of Symposium S1 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguaçu, Brazil, April 2005* (IAHS Publication No. 291, pp. 182–188). IAHS Press.

Ballesteros Sánchez, T. A., & Ñacato Pincay, V. F. (2020*). Análisis de la deforestación en la erosión hídrica del suelo y sedimentación de la microcuenca del Rio Blanco, Carchi* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10583

Benalcázar Chandi, C. G. (2017). *Evaluación de los procesos erosivos en la microcuenca de la Quebrada Ambuquí - Cochapamba, norte del Ecuador* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6874

Cárdenas, R., Pérez, O. (2021). *Aplicación del modelo rusle utilizando el programa arcgis para evaluar el cambio morfológico en la cuenca del Río Mayo, San Martín - 2021* [Universidad César Vallejo]. https://hdl.handle.net/20.500.12692/97514

Casanova-Ruiz, G., Delgado, D., & Panchana, R. (2024). *Estimación de volúmenes de sedimentos por erosión hídrica empleando el modelo RUSLE en cuencas de la provincia de Manabí, Ecuador.* Revista de Teledetección, (63), 1-21. https://doi.org/10.4995/raet.2024.20147

Cecílio, R. A., del Giudice Rodriguez, R., Baena, L. G. N., de Oliveira, F. G., & Pruski, F. F. (2009). Aplicação dos modelos rusle e wepp para a estimativa da erosão hídrica em microbacia hidrográfica de Viçosa, MG. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 4*(2), 9.

Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos, Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, & Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (2011*). Memoria técnica: Conflictos de uso de la tierra, cantón Guayaquil. Proyecto Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional, escala 1:25 000.* https://www.geoportaligm.gob.ec/geodescargas/guayaquil/mt_guayaquil_conflictos_uso_de_la_tierra.pdf

Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE) Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development, 7*, 1247–1250. https://doi.org/10.5194/gmd-7-1247-2014

Código Orgánico del Ambiente. (2017). Registro Oficial Suplemento No. 983, 12 de abril de 2017. República del Ecuador. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf

Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2018). Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas. https://www.cepal.org/es/publicaciones/43595-acuerdo-regional-acceso-la-informacion-la-participacion-publica-acceso-la

Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Registro Oficial No. 449, 20 de octubre de 2008*. Recuperado de https://www.gob.ec/regulaciones/constitucion-republica-ecuador-2008

Convenio sobre la Diversidad Biológica. (1992). Convenio sobre la Diversidad Biológica. https://www.cbd.int/convention/text/default.shtml

Cueva Jiménez, N. A. (2021). *Efectos del cambio de uso de suelo en la erosión de la cuenca alta del Río Mira para el periodo 1996-2017* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10837

De Girolamo, A. M., Di Pillo, R., Lo Porto, A., Todisco, M. T., & Barca, E. (2018). Identifying a reliable method for estimating suspended sediment load in a temporary river system. *Catena, 165*, 442–453. https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.02.015

Ebrahimzadeh, S., Motagh, M., Mahboub, V., & Harijani, F. M. (2018). An improved RUSLE/SDR model for the evaluation of soil erosion. *Environmental Earth Sciences, 77*, Article 454. https://doi.org/10.1007/s12665-018-7635-8

El Jazouli, A., Barakat, A., Ghafiri, A., El Moutaki, S., Ettaqy, A., & Khellouk, R. (2017). Soil erosion modeled with USLE, GIS, and remote sensing: A case study of Ikkour watershed in Middle Atlas (Morocco). Geoscience Letters, 4, Article 25. https://doi.org/10.1186/s40562-017-0091-6

Espinosa, J., Moreno, J., & Bernal, G. (Eds.). (2022). *Suelos del Ecuador: Clasificación, uso y manejo.* Instituto Geográfico Militar. Recuperado de https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/estudios-geograficos/

Fernández Párraga, A. J., & Rodríguez Tejena, Á. A. (2023). *Análisis de la distribución espacial de la erodabilidad del suelo en la cuenca del río Esmeraldas-Ecuador*. https://doi.org/10.23857/pc.v8i2.5178

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1976). *A framework for land evaluation* (FAO Soils Bulletin No. 32). https://www.fao.org/4/x5310e/x5310e00.htm

García Rodríguez, J., & Giménez Suárez, M. (2008). *Determinación del factor topográfico LS en los modelos RUSLE y RUSLE3D mediante el SIG Sextante*. Cuadernos del CURIHAM, 14, 67–74. https://doi.org/10.35305/curiham.v14i0.77

Giménez Suárez, Martín Cruz (2008). *Metodología de cálculo del factor topográfico, LS, integrado en los modelos Rusle y Usped. Aplicación al arroyo del lugar, Guadalajara (España)*. Tesis (Doctoral). https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.1914

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra. (2024). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial PDOT 2024–2027. GAD Municipal de San Miguel de Ibarra. https://www.ibarra.gob.ec/site/download/plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial-pdot-2024-2027/

Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural "Lita". (2024). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Lita*. Registro Oficial, Edición Especial No. 1933.

Gray, J. R., & Simões, F. J. M. (2008). *Estimating sediment discharge: Appendix D. In M. H. Garcia (Ed.), Sedimentation engineering: Processes, measurements, modeling, and practice* (ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 110, pp. 1065–1086). American Society of Civil Engineers. https://doi.org/10.1061/9780784408148.apd

Gupta, H. V., Sorooshian, S., & Yapo, P. O. (1999). Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. *Journal of Hydrologic Engineering, 4*(2), 135–143. https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(1999)4:2(135)

Haro Prado, R. (2020). *Estimación de la erosión actual de la sierra norte del Ecuador, utilizando Geo-información*. Quito: UCE. Disponible en: http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/22854

Helsel, D. R., Hirsch, R. M., Ryberg, K. R., Archfield, S. A., & Gilroy, E. J. (2020). *Statistical methods in water resources* (Techniques and Methods, Book 4, Chapter A3). U.S. Geological Survey. https://doi.org/10.3133/tm4A3

Hill, M., García Prechac, F., Terra, J., & Sawchik, J. (2008). Efecto del contenido de agua del suelo en el modelo USLE/RUSLE para estimar la erosión en Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 12(2), 57–67. https://doi.org/10.31285/AGRO.12.735

Hossne García, A. J., & Cedeño Campos, H. J. (2012). Comparación de tres métodos para determinar densidad aparente y solidez en tres suelos franco arenosos de sabana. Revista Científica UDO Agrícola, 12(4), 861–872. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6104322

Jaramillo Veliz, J. (2015). *Estudio del riesgo por erosión hídrica del suelo utilizando el modelo U.S.L.E. mediante herramientas S.I.G. aplicando en la subcuenca río Portoviejo, provincia de Manabí. Quito*: UCE. Disponible en: http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/4235

Klingebiel, A. A., & Montgomery, P. H. (1961). *Land-capability classification* (Agriculture Handbook No. 210). U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. https://www.govinfo.gov/content/pkg/GOVPUB-A-PURL-gpo20777/pdf/GOVPUB-A-PURL-gpo20777.pdf

Legates, D. R., & McCabe, G. J., Jr. (1999). Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Resources Research, 35*(1), 233–241. https://doi.org/10.1029/1998WR900018

Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua. (2014). Registro Oficial Suplemento No. 305, 6 de agosto de 2014. República del Ecuador. https://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/2019/06/Ley-Org%C3%A1nica-de-Recursos-H%C3%ADdricos-Usos-y-Aprovechamiento-del-Agua.pdf

Lianes, E., Marchamalo, M., & Roldán, M. (2009*). Evaluación del factor C de la RUSLE para el manejo de coberturas vegetales en el control de la erosión en la cuenca del río Birrís, Costa Rica.* Agronomía Costarricense, *33*(2). https://doi.org/10.15517/rac.v33i2.6722

Lim, K. J., Sagong, M., Engel, B. A., Tang, Z., Choi, J., & Kim, K. S. (2005). GIS-based sediment assessment tool. *Catena*, *64*(1), 61–80. https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.06.013

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2019). Cartografía temática de geopedología del Ecuador continental, escala 1:250 000. Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica. http://www.sigtierras.gob.ec/geoportal/

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2021). *Mapa de capacidad de uso de las tierras del Ecuador continental, escala 1:25 000, año 2021* [Conjunto de datos]. Datos Abiertos Ecuador. https://www.datosabiertos.gob.ec/dataset/mapa-de-capacidad-de-uso-de-las-tierras-del-ecuador-continental-escala-1-25-000-ano-2021

Molina Portilla, M. S., & Villalva Salazar, V. A. (2022). *Determinación de los conflictos de uso del suelo a partir de su aptitud física en el cantón Cotacachi* [Trabajo de titulación de pregrado,

Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte. https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12629

Moore, I. D., & Wilson, J. P. (1992). Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. Journal of Soil and Water Conservation, 47(5), 423–428.

Morgan, R. P. C. (2005). *Soil erosion and conservation* (3rd ed.). Blackwell Publishing.

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

Naciones Unidas. (2015). Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. https://sdgs.un.org/es/2030agenda

Ochoa-Cueva, P., Fries, A., Montesinos, P., Rodríguez-Díaz, J. A., & Boll, J. (2015). *Spatial estimation of soil erosion risk by land-cover change in the Andes of southern Ecuador*. Land Degradation & Development, 26(6), 565–573. https://doi.org/10.1002/ldr.2219

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (1993). *OECD core set of indicators for environmental performance reviews: A synthesis report by the Group on the State of the Environment* (Environment Monographs No. 83; OCDE/GD (93)179). https://one.oecd.org/document/OCDE/GD(93)179/en/pdf

Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., & Alewell, C. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy, 54*, 438–447. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.012

Párraga Borja, E. M. (2023). *Estimación de la erosión hídrica en la microcuenca del río Quevedo con el modelo Rusle.* Estimación de la erosión hídrica en la microcuenca del río Quevedo con el modelo Rusle

Pennock, D., Lefevre, C., & Vargas, R. (2019*). Soil erosion: The greatest challenge for sustainable soil management. Food and Agriculture Organization of the United Nations.* https://openknowledge.fao.org/items/6c070e1e-6533-4b7e-ba5f-a2f21a0e59ff

Peñafiel Bravo, R. A. (2023). *Delimitación de áreas con riesgo de erosión del suelo como herramienta para la implementación de técnicas agroecológicas para su recuperación en la comunidad Babarcote, Biblián – Cañar* [Tesis de licenciatura, Universidad de Cuenca]. Repositorio DSpace. https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/40608

Poggio, L., de Sousa, L. M., Batjes, N. H., Heuvelink, G. B. M., Kempen, B., Ribeiro, E., & Rossiter, D. (2021). SoilGrids 2.0: Producing soil information for the globe with quantified spatial uncertainty. *SOIL*, 7(1), 217–240. https://doi.org/10.5194/soil-7-217-2021

Quiñonez Marret, P. M. (2022). *Evaluación de riesgos por erosión hídrica en el suelo de la microcuenca de la quebrada Quitumbe, provincia de Imbabura* [Tesis de maestría, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12305

Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., & Yoder, D. C. (1997). *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE).* U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. Agriculture Handbook No. 703. Disponible en: https://www.tucson.ars.ag.gov/unit/publications/PDFfiles/717.pdf

Rodríguez Tituaña, A. M., & Carvajal Caluguillin, M. M. (2024). *Modelamiento de la erosión hídrica en la Cuenca Hidrográfica del Río Ambi* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/16666

Rosales Enríquez, O. A. (2020). *Aplicación del modelo RUSLE para estimar pérdidas de suelo por erosión hídrica: Caso de estudio de la cuenca del río Chota, Ecuador* [Tesis de maestría, UNIGIS América Latina, Universidad de Salzburgo]. Recuperado de https://www.arcgis.com/sharing/rest/content/items/5f737a66647748aca43a2465f8b12ca5/data

Saavedra Durán, J. S. (2025). *Determinación de la metodología óptima para cuantificar parámetros del modelo RUSLE según factores topográficos, climáticos y geológicos en cuencas hidrográficas* [Tesis de maestría, Universidad de los Andes]. Recuperado de https://hdl.handle.net/1992/75877

Secretaría Nacional de Planificación. (2024). Plan de Desarrollo para el Nuevo Ecuador 2024–2025. Gobierno del Ecuador. https://planificacion.presidencia.gob.ec/plan-de-desarrollo-para-el-nuevo-ecuador-2024-2025/

Shekar, P. R., & Mathew, A. (2024). Assessment of soil erosion and sediment yield in the Peddavagu watershed, India, using a revised universal soil loss equation model (RUSLE) and GIS techniques. *Journal of Water and Climate Change, 15(*7), 3138–3157. https://doi.org/10.2166/wcc.2024.010

Slabon, A., & Hoffmann, T. (2024). Uncertainties of annual suspended sediment transport estimates driven by temporal variability. *Water Resources Research, 60*(1), e2022WR032628. https://doi.org/10.1029/2022WR032628

Thomas, J., Joseph, S., & Thrivikramji, K. P. (2018). Assessment of soil erosion in a tropical mountain river basin of the southern Western Ghats, India using RUSLE and GIS. *Geoscience Frontiers, 9*(3), 893–906. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2017.05.011

Toro Espinoza, A. A., & Artos Usuay, C. D. (2024). *Evaluación de la calidad ambiental ecosistémica mediante herramientas de teledetección en la cuenca del río Lita* [Trabajo de titulación de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/16305

Troya Medina, N. L., & Villarreal Pinchao, D. A. (2022). *Análisis de la variación de erosión hídrica por efectos de cambio de uso de suelo en la cuenca media-alta del Río Mira* [Tesis de pregrado,

Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11874

Vanacker, V., Guns, M., Clapuyt, F., Balthazar, V., Tenorio, G., & Molina, A. (2020). *Distribución espacio-temporal de los deslizamientos y erosión hídrica en una cuenca Andina tropical*. Pirineos, 175, e051. https://doi.org/10.3989/pirineos.2020.175001

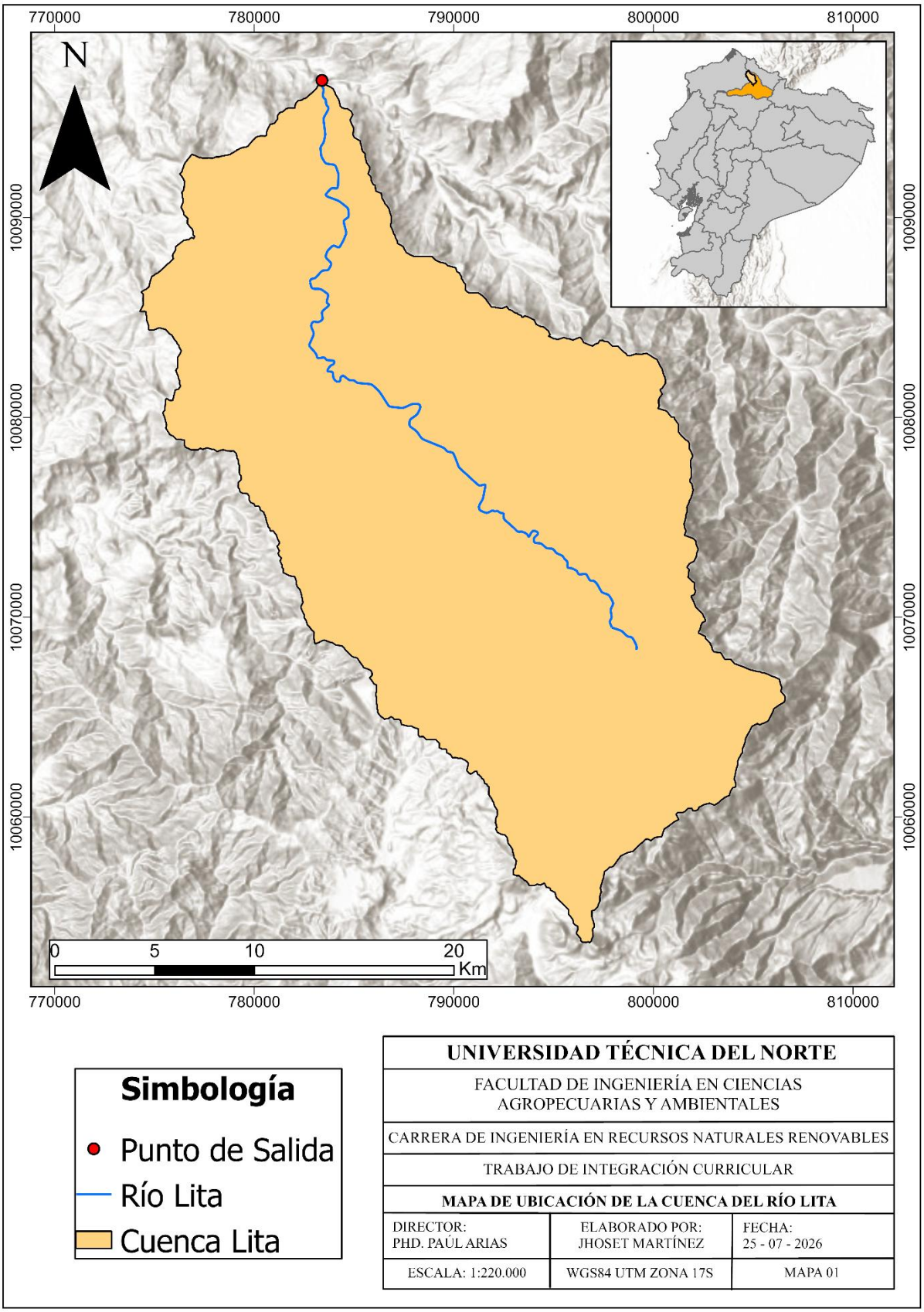
Walling, D. E., & Fang, D. (2003). Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers. Global and Planetary Change, 39(1–2), 111–126. https://doi.org/10.1016/S0921-8181(03)00020-1

Weihrich, H. (1982). The TOWS matrix—A tool for situational analysis. *Long Range Planning*, *15*(2), 54–66. https://doi.org/10.1016/0024-6301(82)90120-0

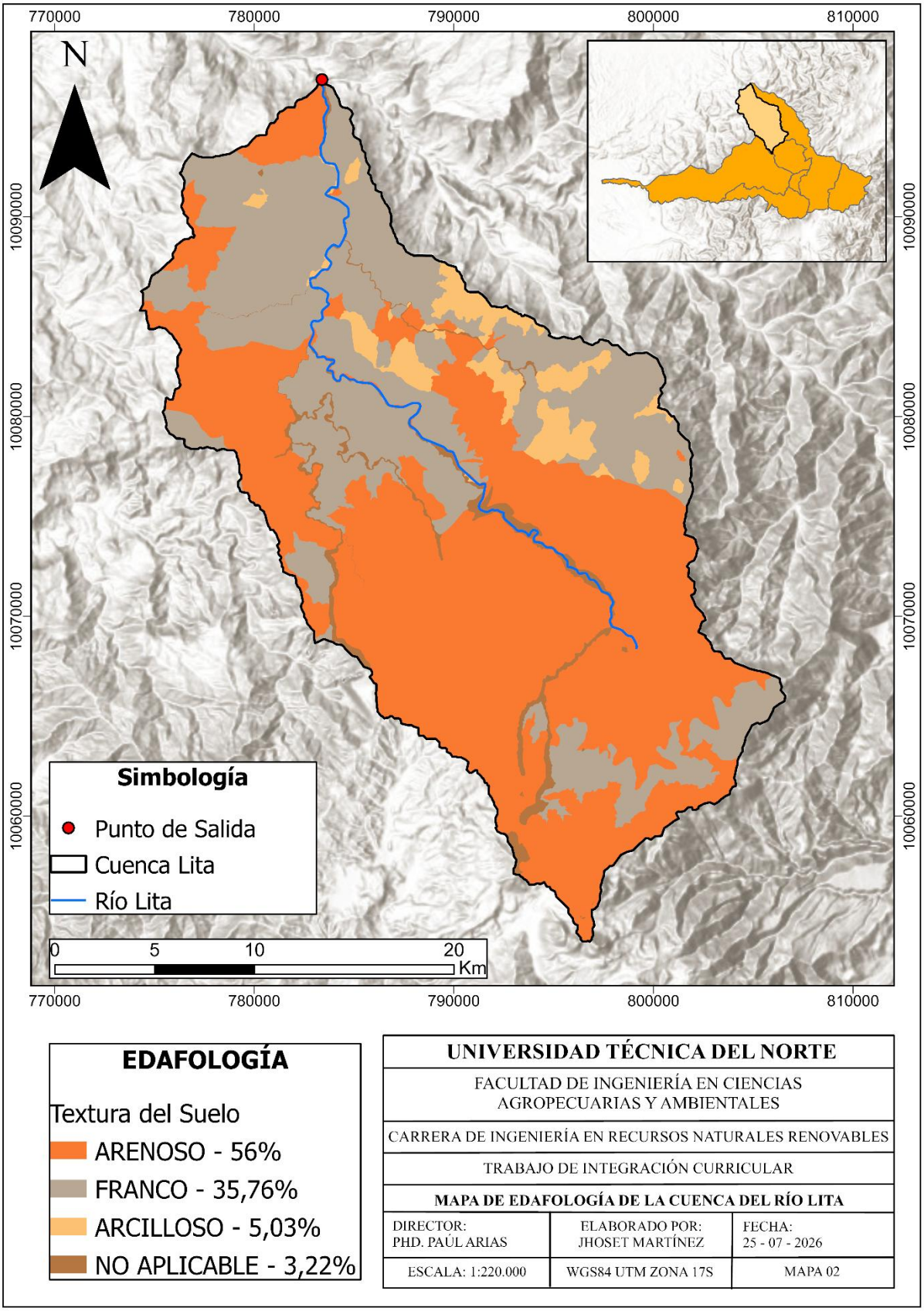
Wischmeier, W. H., & Smith, D. (1978). USLE. *Agriculture Handbook*, 67.

ANEXOS

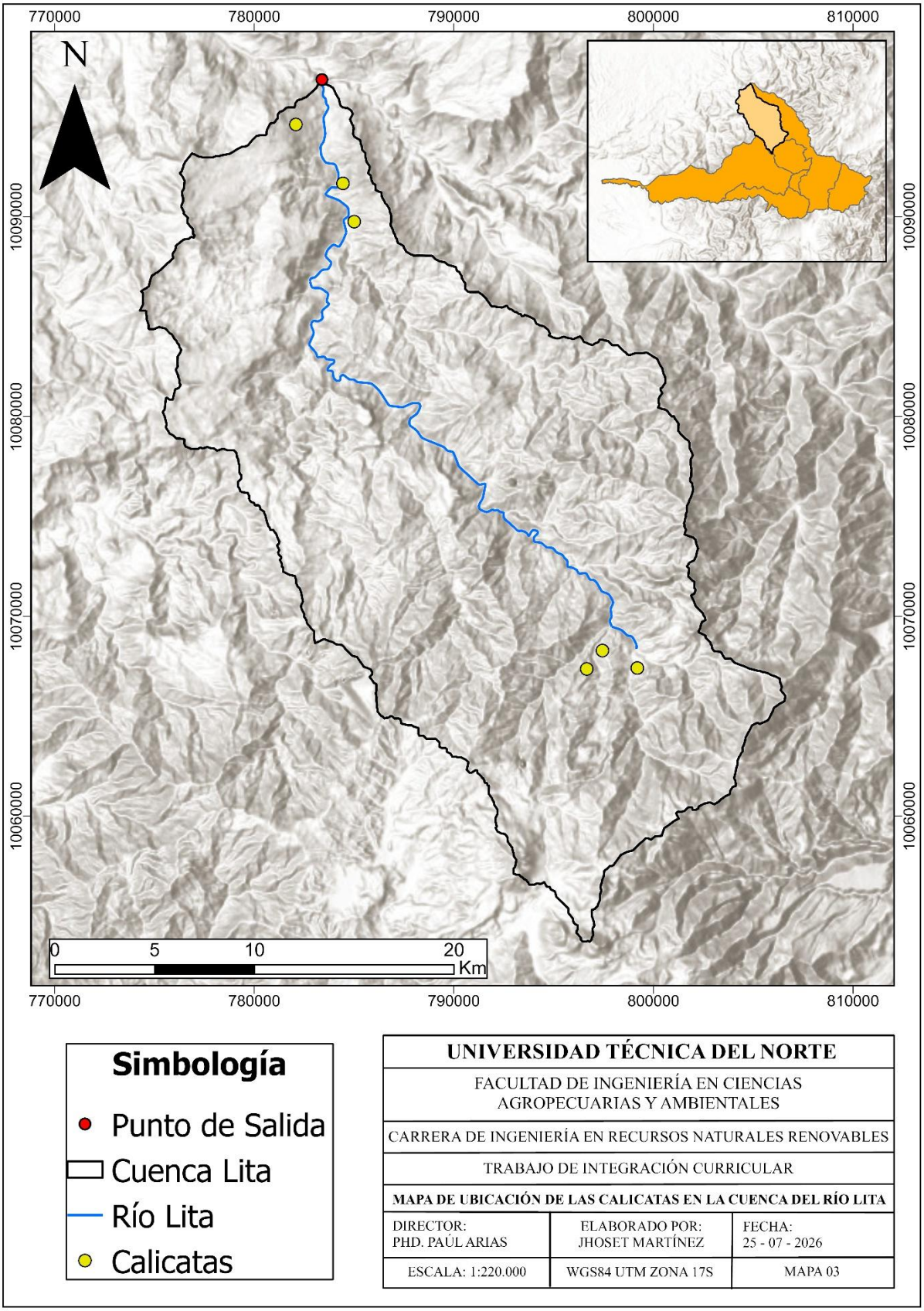
Anexo 1. Ubicación de la cuenca del río Lita



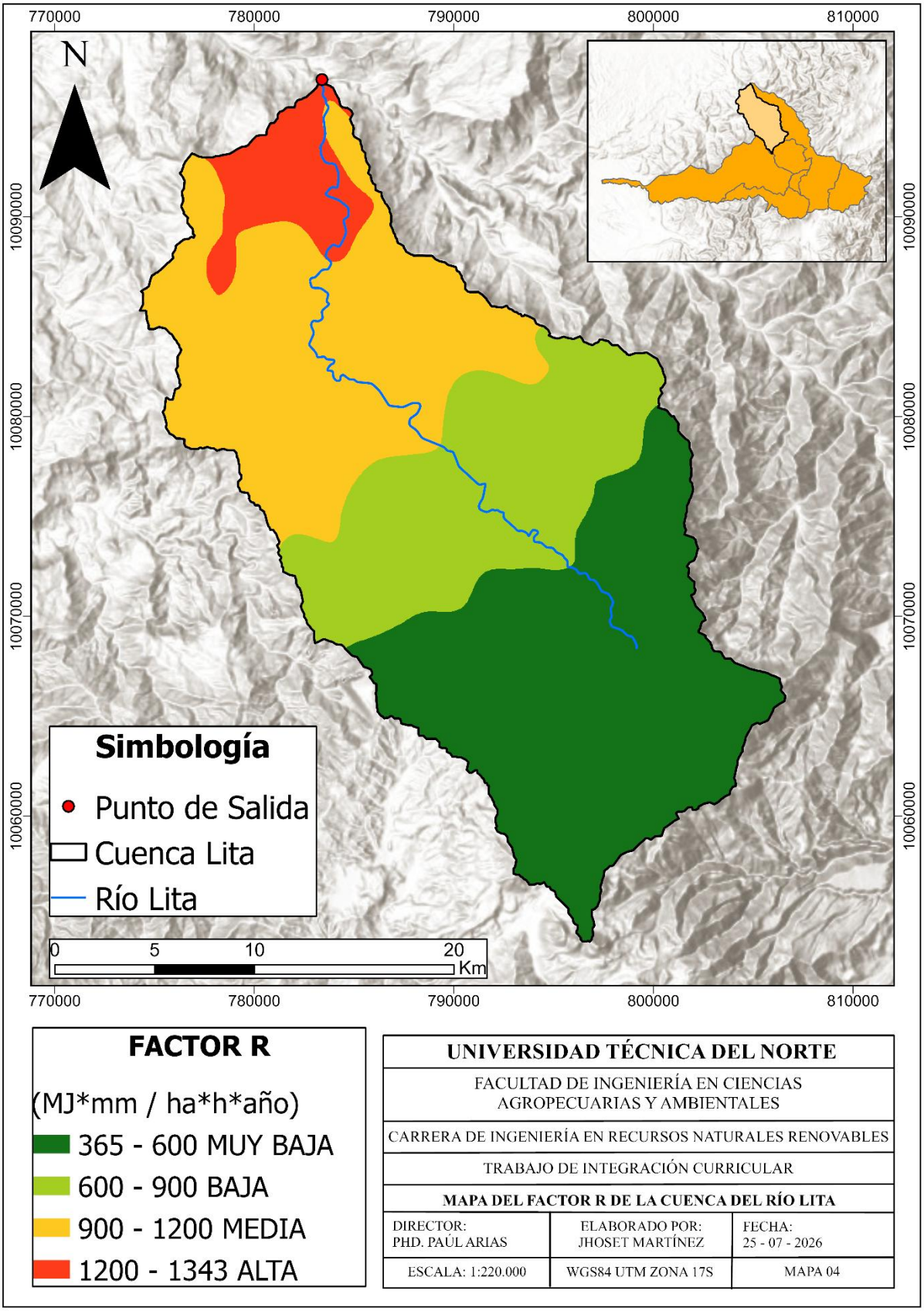
Anexo 2. Edafología de la cuenca del río Lita



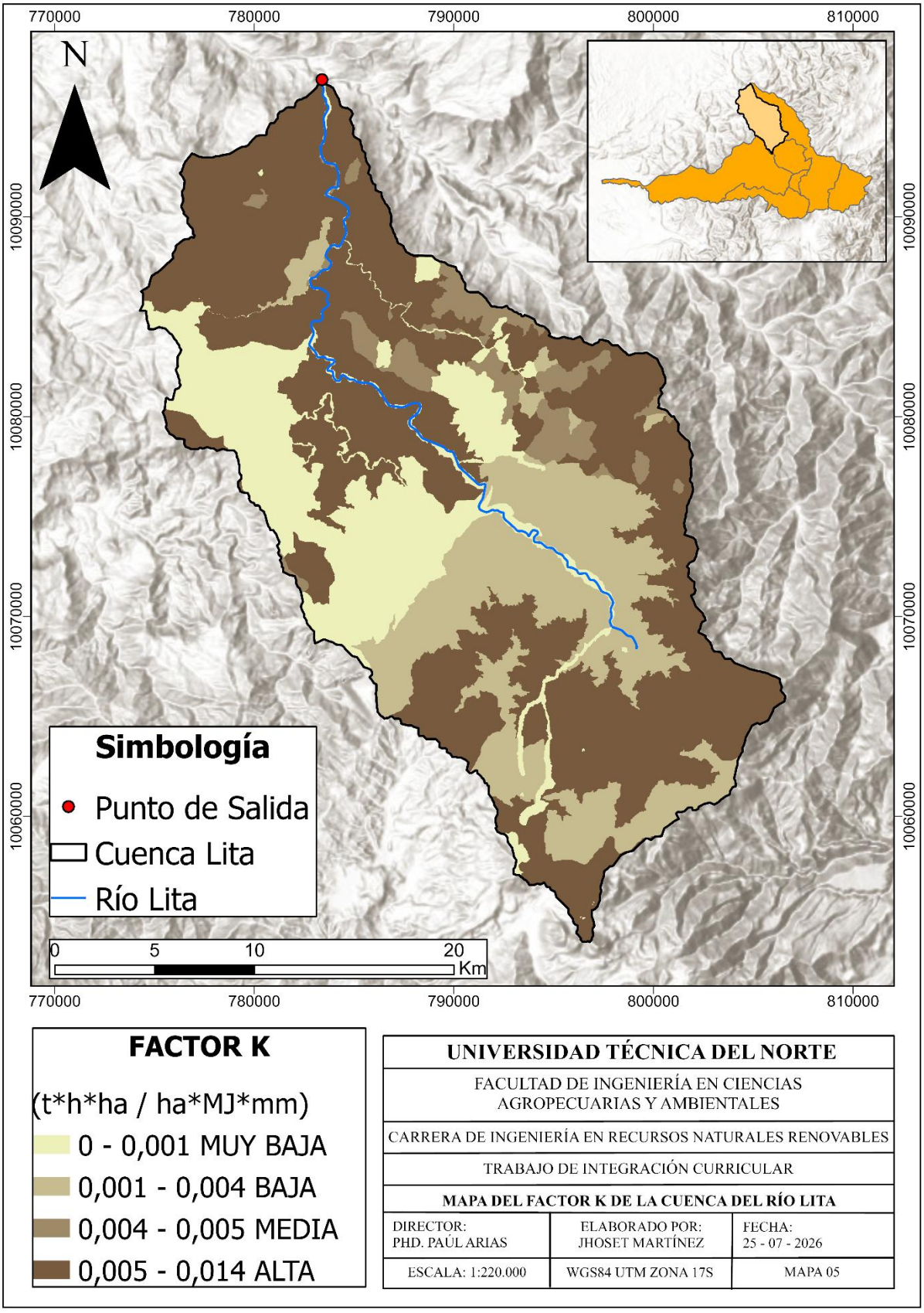
Anexo 3. Muestreo de calicatas en la cuenca del río Lita



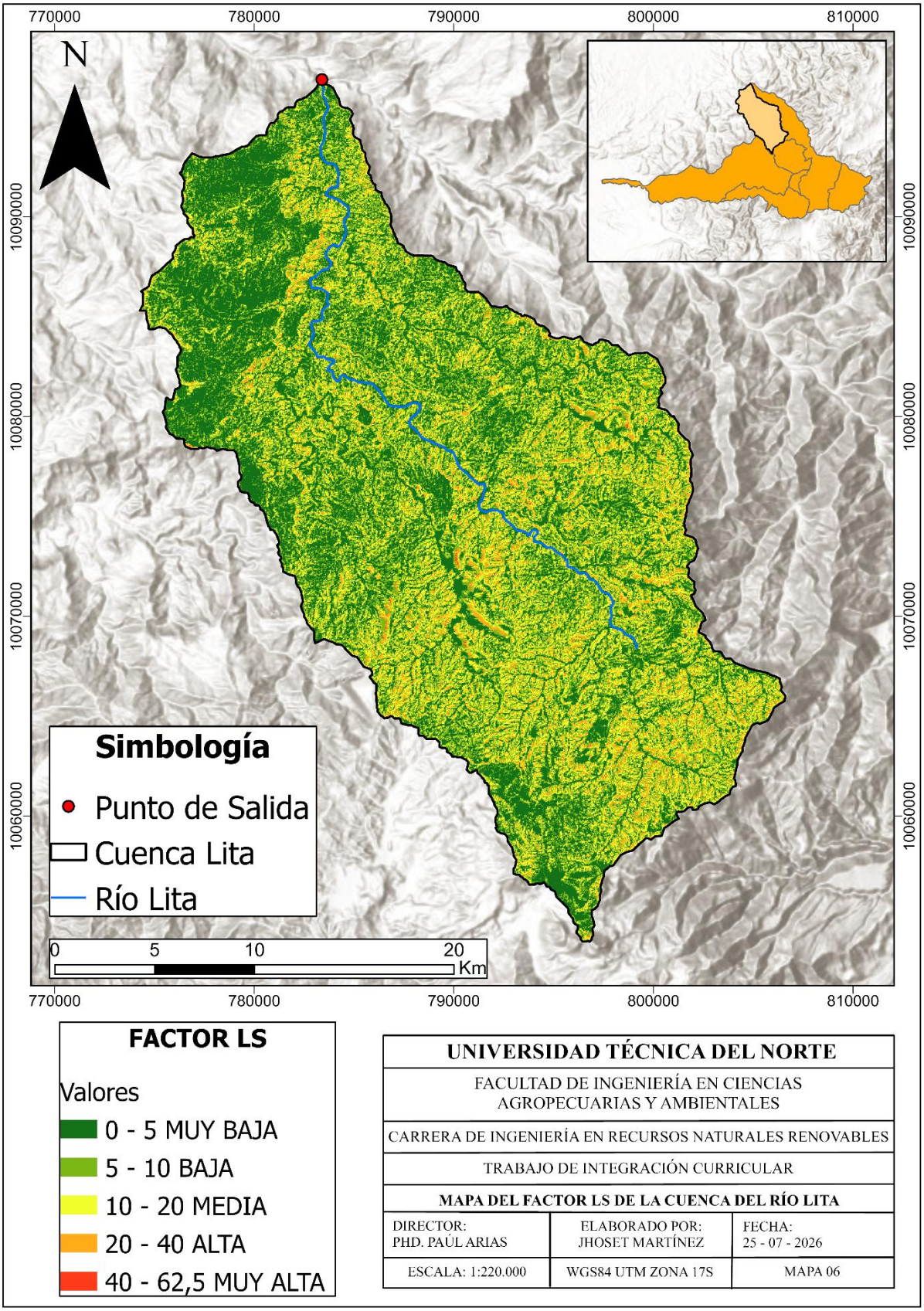
Anexo 4. Factor R de la cuenca del río Lita



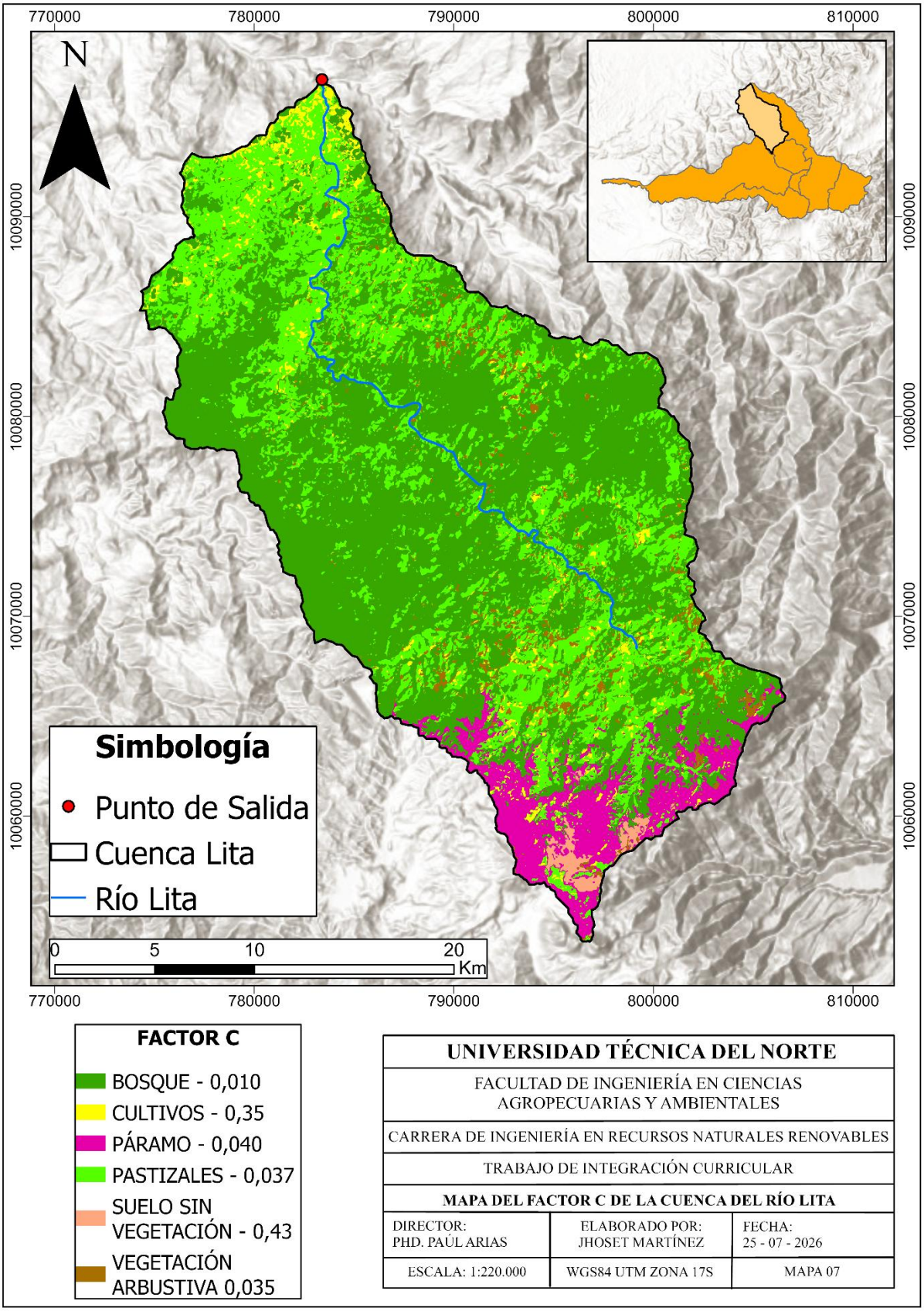
Anexo 5. Factor K de la cuenca del río Lita



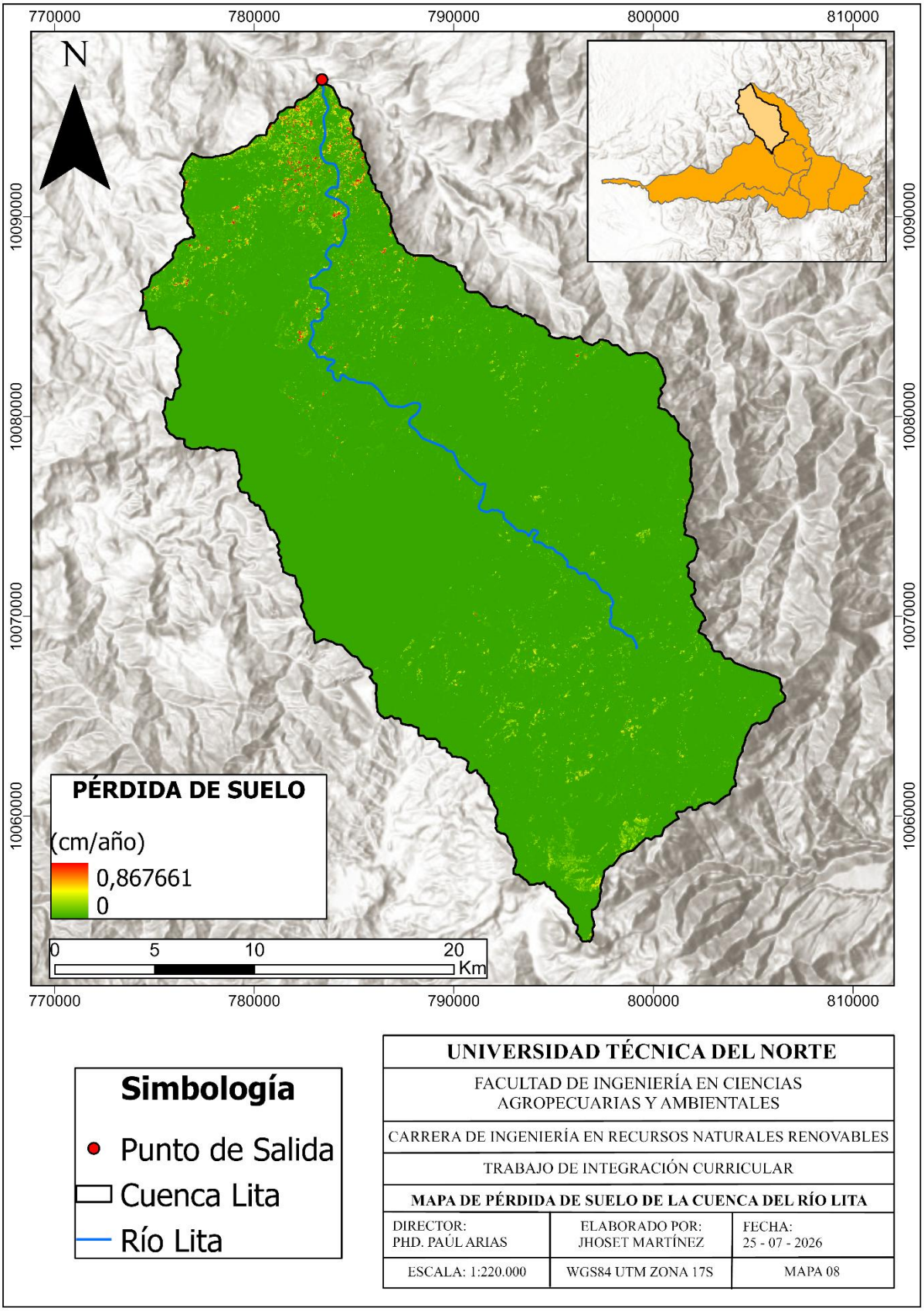
Anexo 6. Factor LS de la cuenca del río Lita



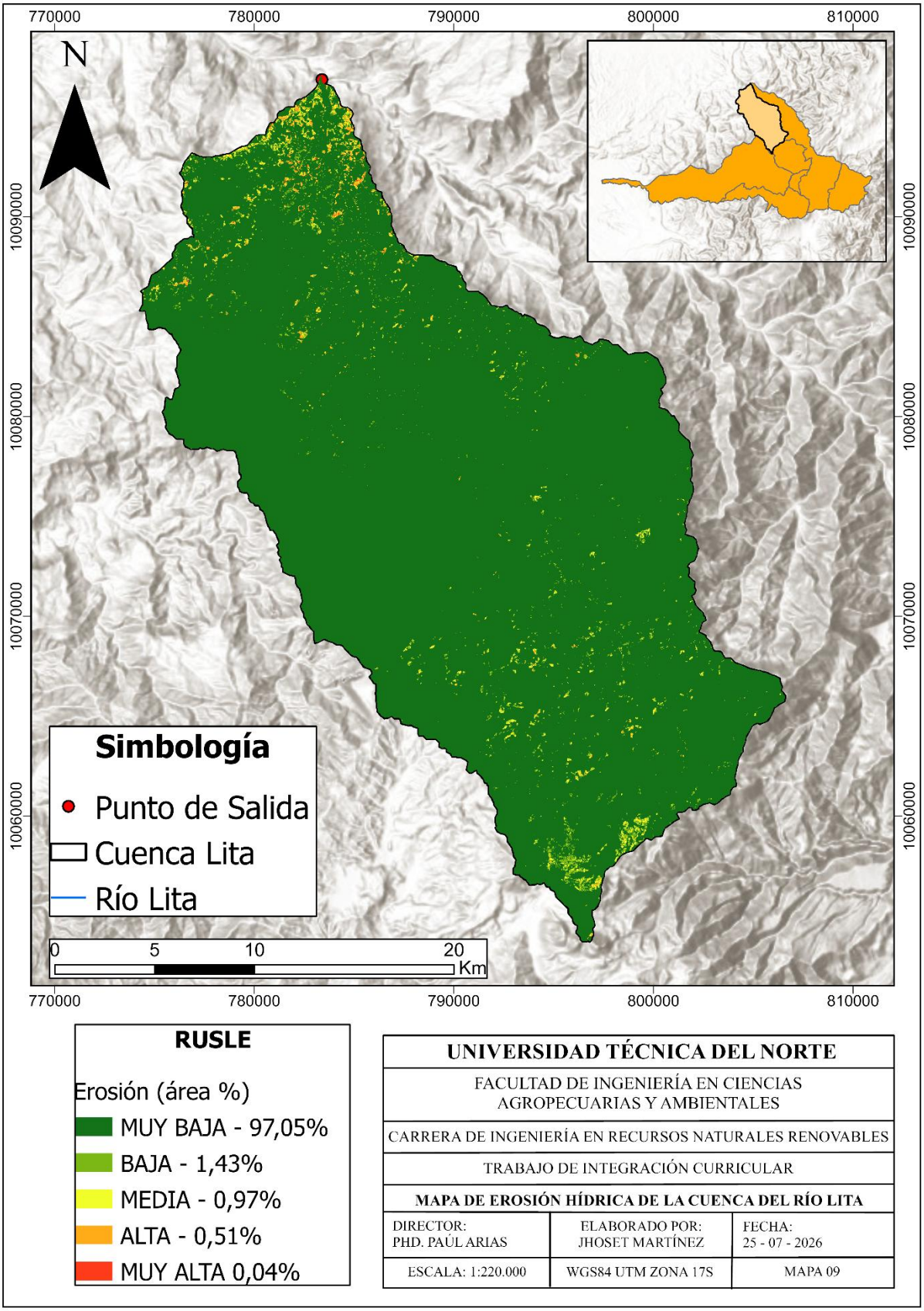
Anexo 7. Factor C de la cuenca del río Lita



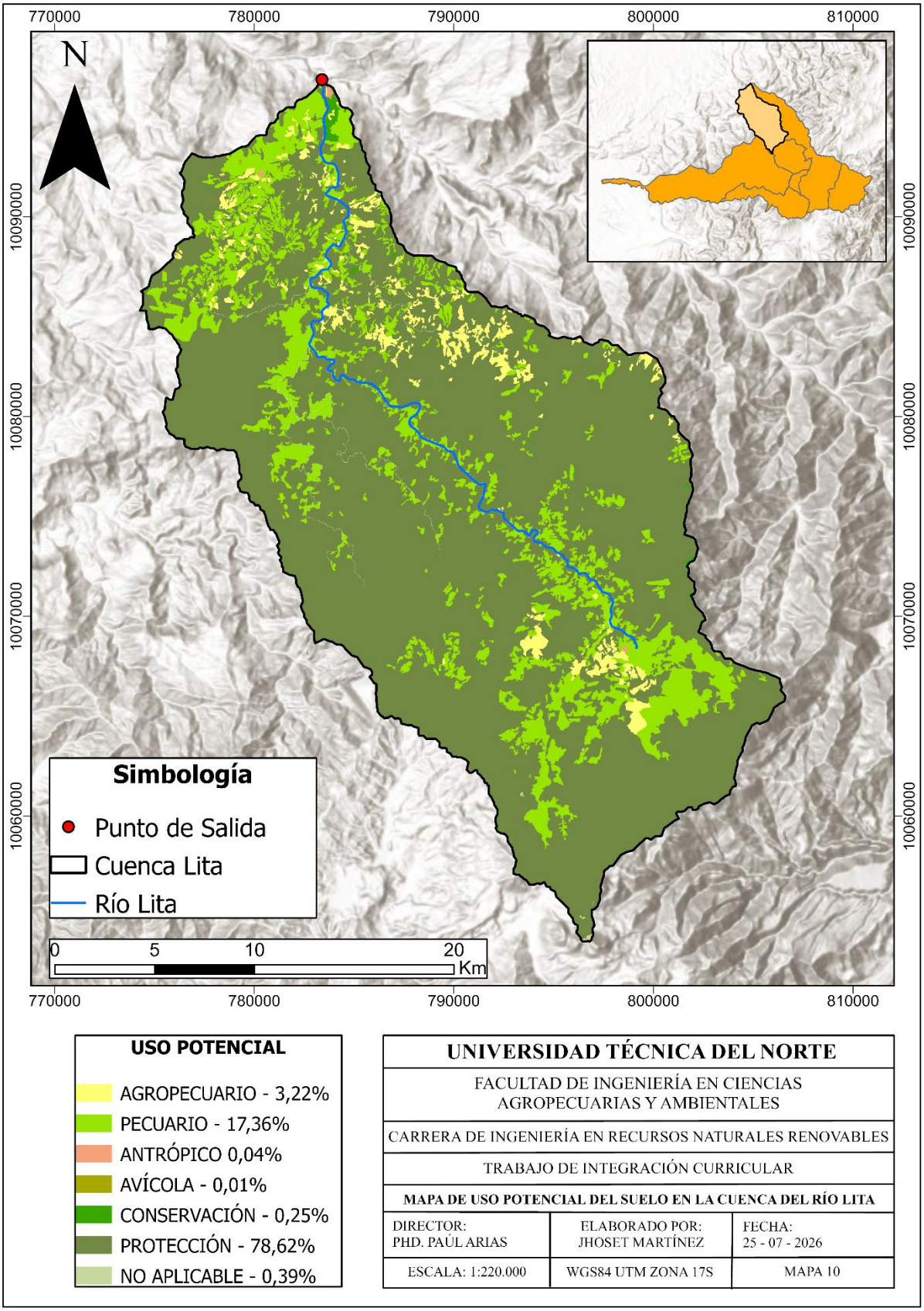
Anexo 8. Pérdida de suelo en la cuenca del río Lita



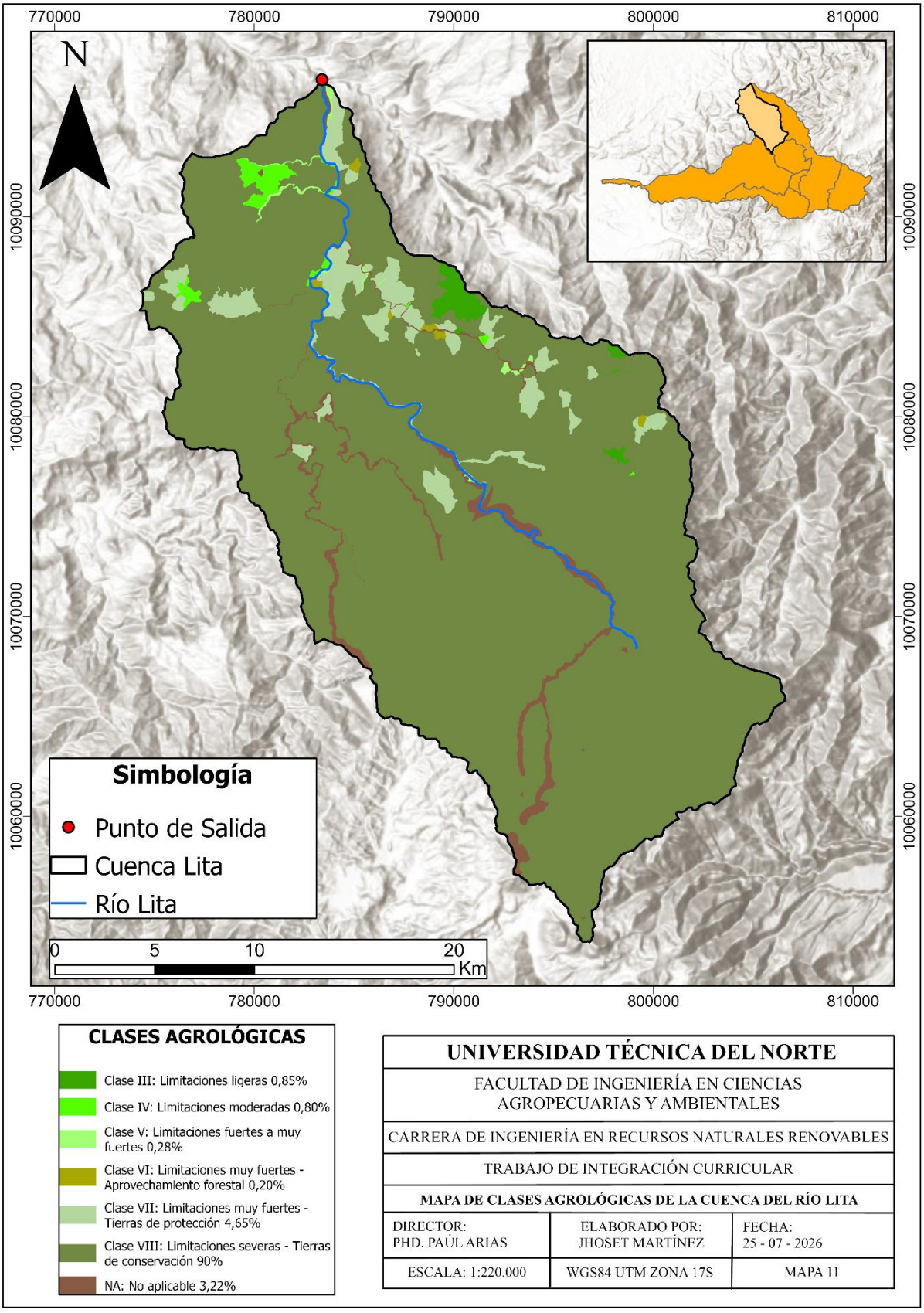
Anexo 9. Erosión hídrica en la cuenca del río Lita



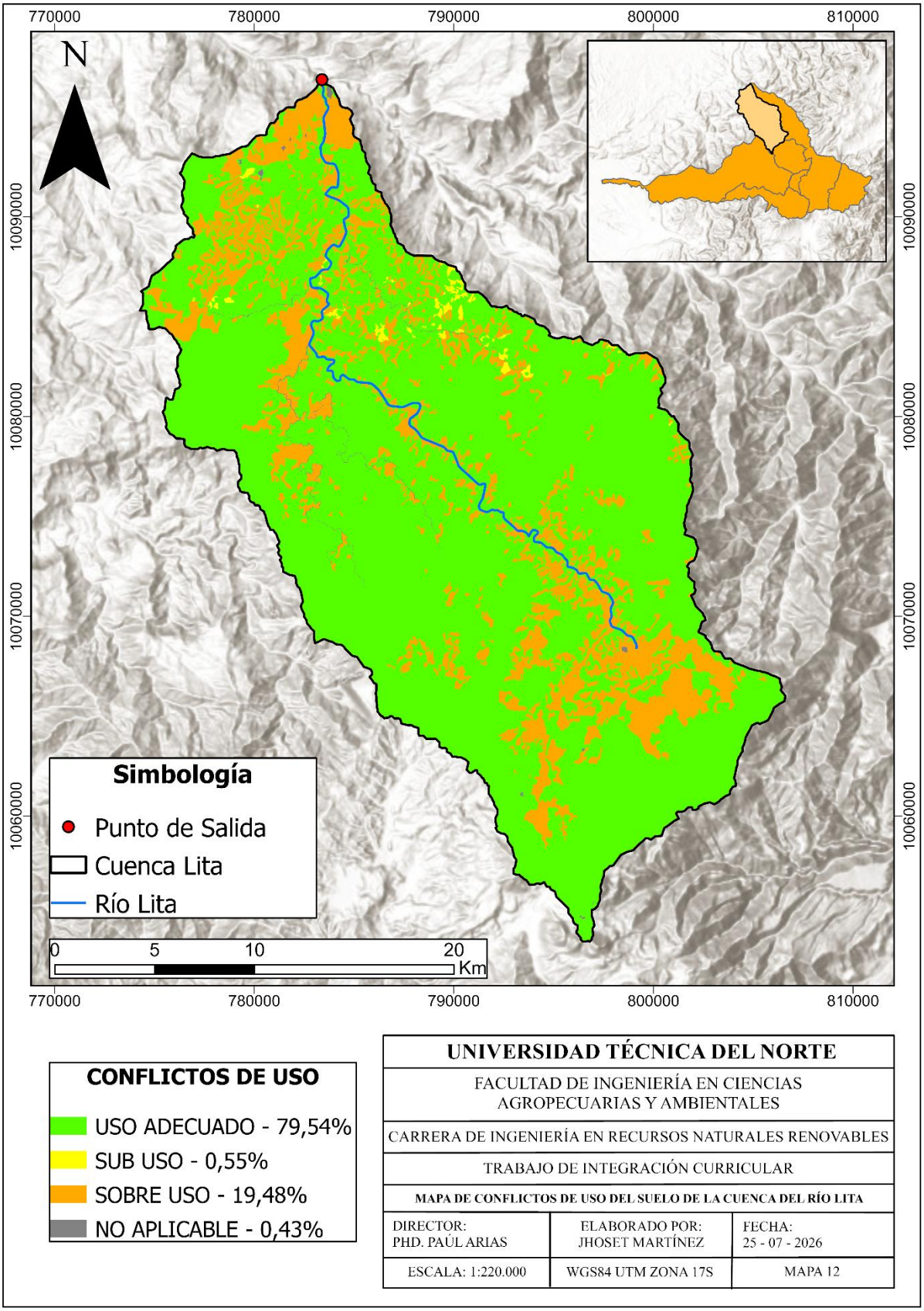
Anexo 10. Uso potencial del suelo de la cuenca del río Lita



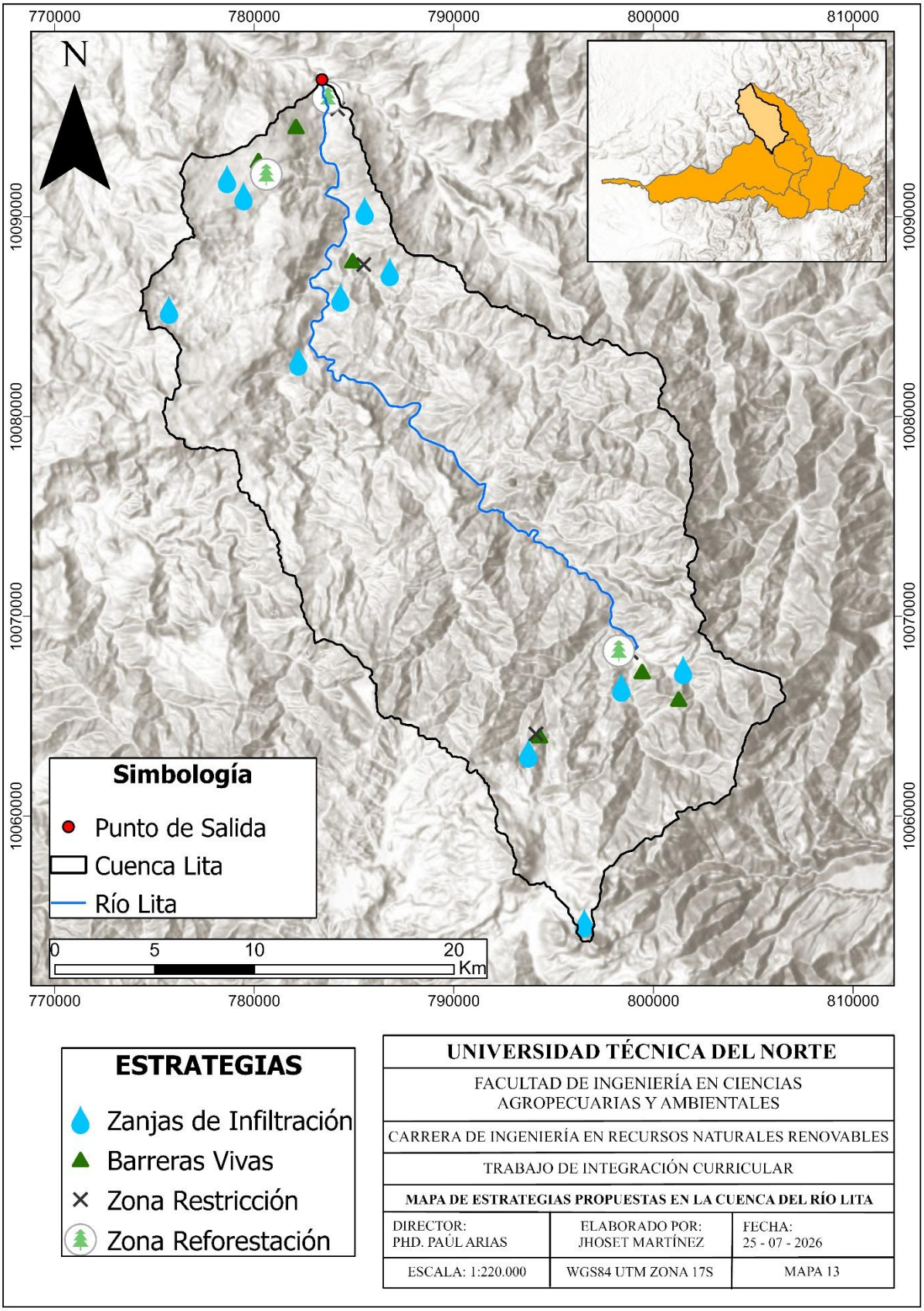
Anexo 11. Clases agrológicas de la cuenca del río Lita



Anexo 12. Conflictos de uso del suelo en la cuenca del río Lita



Anexo 13. Estrategias propuestas en la cuenca del río Lita



Anexo 14. Matriz de confusión



Calculadora de matriz de confusión en línea

Página principal

Dibuja la matriz de confusión para 7 las clases.

Datos de verdad

Resultados de clasificadores	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	Clase 6	Clase 7	Clasificación general	Precisión del usuario
Clase 1	50	0	0	0	0	0	0	50	100%
Clase 2	0	50	1	0	0	0	0	51	98.039%
Clase 3	0	0	49	3	0	0	0	52	94.231%
Clase 4	0	0	0	47	0	0	0	47	100%
Clase 5	0	0	0	0	49	0	0	49	100%
Clase 6	0	0	0	0	1	50	0	51	98.039%
Clase 7	0	0	0	0	0	0	50	50	100%
Verdad en general	50	50	50	50	50	50	50	350	
Precisión del productor (Retirada)	100%	100%	98%	94%	98%	100%	100%		

Precisión general (OA): 98.571%

Kappa 1: 0.983

Anexo 15. Fotografías salidas de campo

