



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

MODELAMIENTO DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA
HIDROGRÁFICA DEL RÍO PALACARA, IMBABURA

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERAS EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTORAS: POSSO GUEVARA ANAHI ESTEFANIA
IMBAQUINGO ACERO MARITZA JOHANNA

DIRECTOR:
ING. OSCAR ARMANDO ENRIQUEZ ROSALES, MSc.

JULIO DE 2025

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

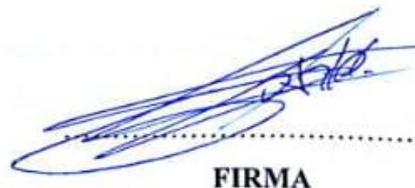
“MODELAMIENTO DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA
HIDROGRÁFICA DEL RÍO PALACARA, IMBABURA”

Trabajo de integración curricular revisado por el comité Asesor, previo a la obtención del Título
de:

INGENIERAS EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADA:

Ing. Oscar Rosales
DIRECTOR



FIRMA

PhD. Paul Arias
ASESOR



FIRMA

IBARRA- ECUADOR
JULIO DE 2025

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	1003880364	
APELLIDOS Y NOMBRES	Posso Guevara Anahi Estefania	
DIRECCIÓN:	Cotacachi- Imbabura	
EMAIL:	aepossog@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0995253294

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	1726114059	
APELLIDOS Y NOMBRES	Imbaquingo Acero Maritza Johanna	
DIRECCIÓN:	Otón-Cayambe-Pichincha	
EMAIL:	mjimbaquingo@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0980544550

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	MODELAMIENTO DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO PALACARA, IMBABURA
AUTORAS:	Posso Guevara Anahi Estefania Imbaquingo Acero Maritza Johanna
FECHA:	2025 - 07 - 24
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingenieras en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	Ing. Oscar Rosales

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 24 días del mes de julio de 2025

LAS AUTORAS

.....

 Posso Guevara Anahi Estefania
 CI.: 1003880364

.....

 Imbaquingo Acero Maritza Johanna
 CI. 1726114059

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: 24 de julio de 2025

ANAHI ESTEFANIA POSSO GUEVARA

MARITZA JOHANNA IMBAQUINGO ACERO

**MODELAMIENTO DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA
HIDROGRÁFICA DEL RÍO PALACARA, IMBABURA**

TRABAJO DE GRADO

Ingenieras en Recursos Naturales Renovables, Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, Ibarra, 24 de julio de 2025.

DIRECTOR: Ing. Oscar Rosales.

El objetivo de esta investigación evaluó la pérdida de suelo por erosión hídrica mediante el modelo RUSLE, para establecer estrategias de manejo.

Ibarra, 24 de Julio de 2025

AUTORAS

.....


Anahi Estefania Posso Guevara

.....


Imbaquingo Acero Maritza Johanna

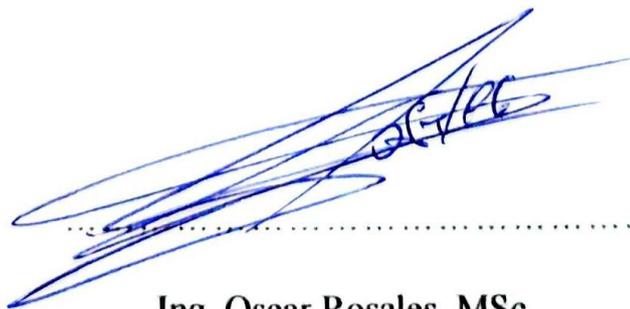
DIRECTOR

.....


Ing. Oscar Rosales

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por las señoritas ANAHI ESTEFANIA POSSO GUEVARA, con cédula de identidad Nro. 100388036-4 y MARITZA JOHANNA IMBAQUINGO ACERO con cedula de identidad Nro. 172611405-9, bajo mi supervisión en calidad de director.



Ing. Oscar Rosales, MSc.

DIRECTOR

AGRADECIMIENTO

Con profundo aprecio y reconocimiento, extiendo mi más sincero agradecimiento al director de tesis, el Ing Oscar Rosales, MSc. Su ayuda y apoyo han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo, siendo nuestra inestimable guía y el pilar fundamental en la dirección de esta investigación. Gracias por ser más que un docente y convertirse en un fiel acompañante en cada salida de campo y sobre todo por el conocimiento que nos transmitió sin esperar nada a cambio.

Agradecemos infinitamente a nuestro asesor Ing. Paul Arias, PhD, quien compartió su conocimiento constantemente, siempre brindándonos las herramientas necesarias para llevar nuestro trabajo de forma adecuada y correcta. Cada observación realizada fue indispensable para la consolidación de este trabajo.

A la Ing. Tatiana Delgado, quien siempre nos brindó las herramientas necesarias para los análisis de laboratorio y las instalaciones de los laboratorios de Química y Física. Al Ing. Santiago Cabrera e Ing. Gabriel Chimbo quienes nos proporcionaron acompañamiento e información invaluable para cumplir con nuestro propósito.

A la Universidad Técnica del Norte por la excelencia académica que nos brindó, además de las herramientas necesarias para el desarrollo de nuestras habilidades personales y profesionales. Gracias a todos los docentes que formaron parte de nuestra formación, cada uno aportó con su granito de arena para que nosotros alcancemos esta meta.

Este logro refleja el compromiso de la universidad y de todos los que conforman la comunidad, brindándonos una educación de calidad.

***Posso Guevara Anahi Estefania
Imbaquingo Acero Maritza Johanna***

DEDICATORIA

El reconocimiento no es solo para el autor, sino también para los que lo impulsan a crear grandes obras. Por eso este trabajo va dedicado a mis motores. A Dios, por ser mi guía y mi fortaleza, siempre sintiendo su presencia en los días de cansancio, voy de su mano con sus principios y entiendo que "El que habita al abrigo del Altísimo se acoge a la sombra del Todopoderoso".

A mi padre Faustino Posso y a mi madre Patricia Guevara, quienes juntos me acompañaron, sostuvieron mi mano y me levantaron de ser necesario, gracias a su esfuerzo y trabajo tengo el honor de presentar este trabajo, siempre serán los pilares de mi vida, me han enseñado a ser perseverante, responsable, empática y sobre todo agradecida. A mis hermanas, Maribel, Josselin, Lauri por ser mi ejemplo y siempre estar pendientes de mí, a mi hermana Britani y mi sobrino Alejandro por ser mi soporte y apoyo emocional. A quien hoy no está en presencia física, pero confió en mí desde el primer día y que seguramente está orgullosa de verme finalizar esta etapa de mi vida. A mi pareja Israel Espinoza por ser mi compañero en absolutamente todo este trabajo, por acompañarme siempre a campo y ayudarme en todo lo que se pudo, por su apoyo emocional y por cada vez que me animó a avanzar y no rendirme.

A mis amigos, por apoyarme siempre, de manera especial a Richard P, Alejandra R, Jefferson P, Anahi B, Lenin A, Germán C y Camila M, quienes de alguna u otra forma son parte de mi travesía universitaria, cada uno aportó un granito de arena para que yo pueda escalar mi montaña. A mis amigos Daniela Betancourt y Daniel Intriago, por dar pasos a la par en este proceso, a pesar de no formar parte formal del trabajo, su amistad y acompañamiento fueron muy importantes, gracias por ser más que amigos y ser un equipo.

A quienes estuvieron en el papel, pero no en el camino, esta tesis también les recuerda que el verdadero mérito nace del esfuerzo genuino, no de la presencia nominal.

Finalmente, a mí, por mi esfuerzo, perseverancia y sacrificio, que, con ayuda de cada uno de ustedes, se tornó más llevadero, "El genio inicia grandes obras; solo el trabajo las concluye" - Joseph Joubert

Posso Guevara Anahi Estefania

DEDICATORIA

Agradezco a Dios, quien me ha guiado en cada paso de este viaje académico, dándome fortaleza y sabiduría para superar cada obstáculo y alcanzar mis objetivos. A mis padres, Segundo Imbaquingo y María Acero, por ser un ejemplo de humildad, perseverancia y lucha constante. A mis hermanos Susana, Kleber y Carolina, porque, a pesar de la distancia siempre estuvieron presentes en todo momento y confiaron en mí, impulsándome siempre a seguir adelante. Gracias por todo lo que han hecho por mí y por demostrarme que, con su amor y apoyo todo es posible.

A mi tía Carmen, mi segunda madre, por ser un ejemplo de perseverancia constante demostrándome que cada día tenemos la oportunidad de luchar y lograr todo lo que nos proponemos. A mis primas por estar presentes en mi vida con su cariño incondicional, por cada gesto y cada palabra de aliento.

A mis queridas amigas Jeimy, Abigail, Jeniffer, María Fernanda, Anahí por convertirse en ese lugar seguro para una foránea en una ciudad desconocida, por su compañía constante haciendo que todo sea más llevadero en momentos difíciles.

A mis amigos Alexander y Agustín, por brindarme su tiempo, por sus palabras de aliento y su apoyo incondicional. Por sostenerme cuando dudaba de mí misma. Su presencia me hizo más fuerte sin dejar de ser fiel a la esencia de mi corazón.

A Anahi, mi compañera de tesis, por su paciencia y compromiso, que hicieron posible superar cada desafío y los momentos de estrés durante este largo camino.

Este logro es de cada uno de ustedes que estuvieron a mi lado durante todo el camino. Está dedicado con todo mi corazón, porque su apoyo, cariño y confianza en mí, fueron fundamentales para hacer esto posible. Mi gratitud hacia ustedes es infinita.

Maritza Johanna Imbaquingo Acero

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Revisión de antecedentes.....	1
1.2. Problema de investigación y justificación.....	4
1.3. Objetivos	7
1.2.1 Objetivo general	7
1.2.2 Objetivos específicos.....	7
1.2.3 Preguntas directrices de la investigación.....	7
2.1 Marco Teórico Referencial.....	8
2.1.1 Erosión hídrica en cuencas hidrográficas en las zonas tropicales andinas.....	8
2.1.2 Causas naturales y antrópicas de la erosión	9
2.1.3 Relación de la cobertura vegetal y la erosión del suelo	10
2.1.4 Perturbaciones ocasionadas por la erosión hídrica acelerada.....	11
2.1.5 Producción de sedimentos como producto de la erosión hídrica	11
2.1.6 Modelamiento de la erosión hídrica, modelos empíricos y no empíricos.	13
2.1.7 Método RUSLE para la cuantificación de la erosión del suelo.....	14
2.2 Marco legal.....	15
2.2.1 Constitución del Ecuador	16
2.2.2 Leyes orgánicas	17
2.2.3.Ordenanzas	19
3. METODOLOGÍA	20
3.1 Descripción del área de estudio.....	20
3.1.1 Morfometría de la cuenca del río Palacara.....	22
3.1.2 Clima	26
3.1.3 Uso del suelo	27
3.1.4 Actividades económicas	27
3.2 Metodología	27
3.2.1 <i>Etapa 1: Cálculo de los factores del modelo RUSLE de la cuenca del río Palacara</i>	28

3.2.2 Etapa 2: Cálculo de la pérdida de suelo por erosión hídrica mediante el modelo <i>RUSLE</i> .	33
3.2.3 Etapa 3: Establecimiento de estrategias para el manejo del recurso suelo	38
3.3 Materiales y equipos	41
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1 Cálculo de los factores del modelo <i>RUSLE</i> de la cuenca del río Palacara	42
4.2 Simulación de la Erosión Hídrica en la Microcuenca del río Palacara mediante la Aplicación del Modelo Hidrológico <i>RUSLE</i>	44
4.2.1 Cálculo de la pérdida de suelo en mm	47
4.2.2 Validación del Modelo <i>RUSLE</i> mediante datos de Producción de Sedimentos <i>SY</i>	49
4.3 Establecer estrategias para el manejo del recurso suelo en la microcuenca Hidrográfica del río Palacara	51
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
6. REFERENCIAS	67
7. ANEXOS	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los modelos según los datos que utiliza y la forma de generarlos... ..	13
Tabla 2. Clasificación de los modelos según el tipo de información	14
Tabla 3. Características físicas de la subcuenca del río Palacara	22
Tabla 4. Tipos de textura de suelo en el área de estudio	23
Tabla 5. Tipos de Relieves en el área de estudio.....	25
Tabla 6. Valores del Factor C para cuencas hidrográficas tropicales.....	32
Tabla 7. Estructura de la Matriz FODA	39
Tabla 8. Materiales y equipo para determinar la Erosión Hidrográfica del suelo.....	41
Tabla 9. Superficie que abarca cada rango de erosión hídrica en la microcuenca.....	46
Tabla 10. Categorías de erosión y sus principales características	46
Tabla 11. Cálculo de la pérdida de suelo.....	47
Tabla 12. Sedimentos en suspensión (SYobservados)	50
Tabla 13. Matriz FODA del área de estudio.....	53
Tabla 14. Clases agrológicas de la microcuenca del río Palacara	55
Tabla 15. Programa de prácticas de restauración del suelo.....	57
Tabla 16. Programa de preventivo agroecológico.....	60
Tabla 17. Programa comunitario de conservación preventiva y uso de abonos verdes.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pirámide de Kelsen	16
Figura 2. Ubicación de la microcuenca del río Placara.....	20
Figura 3. Ubicación y principales suministros hídricos de la microcuenca del río Palacara.	21
Figura 4. Edafología de la microcuenca del río Palacara	24
Figura 5. Geomorfología de la microcuenca del río Palacara	26
Figura 6. Flujograma de metodología de la Ecuación RUSLE	29
Figura 7. Punto de muestreo de agua en la microcuenca del río Palacara	35
Figura 8. Esquema de la validación del modelo RUSLE	38
Figura 9. Factores de riesgo asociados a la erosión hídrica	42
Figura 10. Suceptibilidad de la Erosión hídrica en el área de estudio	45
Figura 11. Distribución espacial de los factores que comprenden la pérdida de suelo en mm.....	48
Figura 12. Clases Agrológicas de la microcuenca del río Palacara	54
Figura 13. Ubicación geográfica de la estrategia 1: Programa de implementación de prácticas de restauración	58
Figura 14. Ubicación geográfica de la estrategia 2: Programa preventivo agroecológico... ..	61
Figura 15. Ubicación geográfica de la estrategia 3: Programa comunitario de conservación preventiva y uso de abonos verdes.	64

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Pendientes en la microcuenca del río Palacara.....	75
Anexo 2. Cobertura y uso de suelo en la microcuenca del río Palacara ...	76
Anexo 3. Grangrupo de suelo en la microcuenca del río Palacara y puntos de muestreo de suelo para la densidad aparente.....	77
Anexo 4. Distribución espacial del Factor R	78
Anexo 5. Distribución espacial del factor K	79
Anexo 6. Distribución espacial del Factor LS	80
Anexo 7. Distribución del Factor C	81
Anexo 8. Distribución espacial de la erosión hídrica_RUSLE	82
Anexo 9. Distribución de las clases agrológicas en la microcuenca.....	83
Anexo 10. Distribución del programa de mplementacion de la Estrategia 1.....	84
Anexo 11. Distribución del programa de la estrategia 2.....	85
Anexo 12. Distribución del programa de la estrategia 3.....	86
Anexo 13. Análisis de muestras de suelo tomadas en la zona media y baja de la microcuenca.....	87
Anexo 14. Análisis de datos tomados en campo para determinar la densidad aparente en el río Palacara.....	88
Anexo 15. Fotografías de las salidas de campo para toma de muestras de agua en el río Palacara.....	89
Anexo 16. Fotografías de salidas de campo para toma de muestras de suelo.....	90
Anexo 17. Fotografías del análisis del agua en el laboratorio de Física UTN.....	91
Anexo 18. Resultados del análisis del agua, valores del SYrg y del SYsg	92
Anexo 19. Datos de los caudales medios del INAMHI	93

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

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

MODELAMIENTO DE LA EROSIÓN HÍDRICA DE LA CUENCA
HIDROGRÁFICA DEL RÍO PALACARA, IMBABURA

Trabajo de integración curricular

Nombres de las estudiantes: Posso Guevara Anahi, Imbaquingo Acero Maritza

RESUMEN

La erosión del suelo es un problema de interés global, ya que exagera el proceso de degradación ambiental actual. El presente estudio tiene lugar en la microcuenca del río Palacara, ubicada en Imbabura, se presenta como objetivo cuantificar la erosión hídrica y analizar su distribución espacial dentro de la microcuenca mediante la aplicación del modelo RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation). El modelo necesitó datos de clima, topografía, suelo, cobertura vegetal y prácticas de conservación del suelo, los cuales generan los factores requeridos por la ecuación. La validación se realizó mediante la comparación entre los datos simulados y los datos observados de producción de sedimentos obtenidos mediante el análisis de 12 muestras de agua tomadas en campo. Para ello, se implementó el uso del sesgo porcentual (Pbias) y el error medio cuadrático (RMSE). La erosión promedio en la microcuenca del río Palacara es de 3.56 tn/ha/año y puede llegar en algunos sectores a valores máximos de 109.96 tn/ha/año. La erosión hídrica de valores moderados y altos se encuentra especialmente en áreas de pastoreo y de uso agrícola ubicadas en pendientes pronunciadas. En la validación del modelo, el índice Pbias da un valor de -4.62% lo que indica que el modelo tiene una ligera sobreestimación de un 4.62 y sugiere una alta precisión ya que se encuentra dentro de los rangos aceptables (<15%). Asimismo, el RMSE fue de 0.72, lo que implica que el modelo presenta una desviación mínima, y se ajusta de forma adecuada a los datos observados. Estos datos confirman la capacidad predictiva del modelo RUSLE para la simulación de la erosión hídrica. Las estrategias de manejo adecuado del suelo propuestas son la restauración, prácticas agroecológicas, conservación preventiva y uso de abonos verdes.

Palabras clave: sedimentos, erosión hídrica, cuenca hidrográfica, validación, RUSLE.

ABSTRACT

Soil erosion is a problem of global concern, as it exacerbates the current process of environmental degradation. This study, conducted in the Palacara River micro-basin, located in Imbabura, aims to quantify water erosion and analyze its spatial distribution within the micro-basin by applying the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) model. The model required data on climate, topography, soil, vegetation cover, and soil conservation practices, which generate the factors required by the equation. Validation was performed by comparing simulated data with observed sediment yield data obtained through the analysis of 12 water samples taken in the field. For this purpose, the percentage bias (Pbias) and root mean square error (RMSE) were implemented. Average erosion in the Palacara River microbasin is 3.56 tn/ha/year and can reach maximum values of 109.96 tn/ha/year in some sectors. Moderate and high-water erosion is especially found in grazing and agricultural areas located on steep slopes. In the model validation, the Pbias index gave a value of -4.62%, indicating a slight overestimation of 4.62 and suggesting high accuracy, as it is within acceptable ranges (<15%). Likewise, the RMSE was 0.72, implying that the model presents minimal deviation and adequately fits the observed data. These data confirm the predictive capacity of the RUSLE model for simulating water erosion. The proposed appropriate soil management strategies are restoration, agroecological practices, preventive conservation, and the use of green manure.

Keywords: sediments, water erosion, watershed, validation, RUSLE.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Revisión de antecedentes

La erosión del suelo es un problema ambiental de interés global, ya que a través de los años este recurso ha sido utilizado por actividades humanas como la ganadería, agricultura, asentamientos humanos, entre otros. Mientras que la acción natural incluye factores como el viento, agua y la gravedad. Esto ha generado un desgaste del recurso y la disminución de sus propiedades, además, ha modificado gravemente su estructura y composición (Cajamarca-Llauca et al., 2023). La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura) menciona que para el año 2050 existiría una pérdida de 75.000 millones de toneladas de suelo, lo cual afectará drásticamente a la producción de alimentos, reduciendo en un 10% la obtención de cultivos.

El suelo actúa como una reserva de carbono, regulador de nutrientes y agua, filtrador de contaminantes y regulador del clima (FAO, 2021). Su deterioro implica la contaminación del recurso hídrico, la liberación de carbono a la atmósfera y contribución al cambio climático, además, se vuelve una amenaza para la seguridad alimentaria, el desarrollo económico y la viabilidad del ambiente (Panagos et al., 2020). En Ecuador, la erosión es la causa principal del desgaste del suelo y se encuentra en aumento debido al uso excesivo del recurso suelo, la deforestación, la agricultura y la ganadería. En la cordillera de los Andes la expansión de la frontera agrícola ha generado un aumento de la erosión en la región interandina (Arias-Muñoz et al., 2023). La erosión hídrica es un problema ambiental grave, se estima que para el 2050 el 90% del suelo a nivel mundial se deteriorará, generando grandes cantidades de sedimentos (Casanova et al., 2024).

Ecuador cuenta con suelos volcánicos y una extensa variedad de climas, por ende, tiene un alto potencial para la producción de cultivos, haciéndolos vulnerables ante la degradación. La erosión en Ecuador se caracteriza por tener una extensa magnitud e intensidad, de acuerdo con el estudio realizado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y el Instituto francés de investigación científica para el desarrollo en cooperación (ORSTOM), donde dan a conocer que el 50% de la superficie se ha visto afectada por este fenómeno (De Noni y Trujillo, 2015).

La erosión se produce por distintos factores, sin embargo, una de los más importantes es la erosión hídrica, debido al impacto que genera en las cuencas hidrográficas. La causa principal de pérdida de suelo es la erosión hídrica, siendo responsable de la erosión de 440 millones de hectáreas de suelo al año. Este fenómeno implica la disgregación, separación, transporte y sedimentación de partículas por acción hídrica, además, su intensidad depende de dos factores que son la erodabilidad y la erosividad. El clima, el relieve, el uso y cobertura del suelo son factores importantes que inciden en menor o mayor intensidad de la erosión (De Noni y Trujillo, 2015). En las cuencas hidrográficas, la sedimentación que es producto de la erosión es un problema, ya que más del 50% de la capacidad de almacenar agua en las reservas se reduce por la acumulación de sedimentos (Brea y Balocchi, 2010).

La erosión hídrica es intensificada por la expansión agrícola generando notables pérdidas del suelo y se ha identificado como un problema significativo en las cuencas de la Sierra Ecuatoriana debido a diversos factores. Estos factores pueden ser creadores o condicionantes, los factores climáticos, precipitación y viento actúan como generadores de la erosión, mientras que las pendientes del terreno, formaciones superficiales y actividades humanas que alteran la cobertura vegetal son factores que condicionan la erosión. Los indicadores estadísticos del grado de erosión de las cuencas hidrográficas en la Sierra Ecuatoriana señalan que un 39,13% es muy crítica, 28,26% crítica, 4,35% moderada, 26,09% potencial y 2,17 % normal, causando la pérdida de biodiversidad, degradación de suelos, alta

sedimentación de los principales reservorios de agua y graves inundaciones de la parte baja (Espinosa, 1993 citado en Chela et al., 2008).

Ante esta situación, es fundamental estimar las pérdidas de suelo debido a la erosión hídrica, ya que la disminución de este fenómeno puede favorecer a conservar la productividad de los suelos, lo que a su vez promueve la sostenibilidad de este recurso (Echavarría-Cháirez et al., 2020). Para cuantificar la pérdida de suelo se han desarrollado numerosos modelos matemáticos, estos modelos comprender los distintos procesos que intervienen en la erosión (Pijl et al., 2020). Por lo general, los modelos de erosión hídrica se encuentran principalmente clasificados en tres categorías: 1) conceptuales, 2) físicos y 3) empíricos. La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE por sus siglas en inglés), inicialmente propuesto por Wischmeier y Smith en 1978 y modificado con el tiempo, como en el caso del modelo USLE modificado (MUSLE) propuesto por Williams y Berndt en 1977, y el USLE-RUSLE propuesto por Renard en 1997 (Arias-Muñoz et al., 2023).

La Revisión de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (RUSLE) es un método completamente empírico que calcula la erosión multiplicando seis factores fundamentales que son la erosividad de la precipitación (R), la erodabilidad del suelo (K), la longitud de la pendiente (L), la inclinación de la pendiente (S), la cobertura vegetal (C) y las prácticas de control de la erosión (P) (Tauta-Muñoz et al., 2018). Una técnica para modelar los procesos de erosión hídrica es el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales facilitan la aplicación de los diferentes factores de la RUSLE y permiten un análisis más exhaustivo, así como la identificación geográfica de las áreas más afectadas (Carvajal-Aguirre y Montoya-Gómez, 2020).

1.2. Problema de investigación y justificación

En la actualidad, la erosión del suelo se destaca como uno de los fenómenos más preocupantes a nivel mundial que afecta la sostenibilidad de los ecosistemas agrícolas y la productividad de la tierra. En Latinoamérica, aproximadamente 123 millones de hectáreas de suelo están degradadas de un total de 243 millones, representando un 57,8% de afectación a nivel mundial. En el Ecuador el 25% de los suelos de la sierra se encuentran en procesos de erosión y el 15% en la región costa (Jaramillo, 2015). La erosión, al contribuir al aumento de los puntos de contaminación difusa en otros ecosistemas, intensifica la dispersión de nutrientes y la disminución de la materia orgánica. Además, puede ocasionar cambios en la productividad agrícola, posiblemente incrementar la presencia de elementos traza tóxicos y causar contaminación en cuerpos de agua (Arias-Muñoz et al., 2023).

Los efectos desfavorables se intensifican debido al mal uso del suelo y actividades como la agricultura en pendientes, el sobrepastoreo, la deforestación y el crecimiento poblacional. El cambio de cobertura y uso de suelo no solo aumenta el riesgo de erosión (Arias-Muñoz et al., 2023), sino que también deteriora la calidad del hábitat territorial, al afectar la calidad de los ecosistemas y la calidad de vida humana. En el Ecuador, la erosión constituye la principal causa de la degradación del suelo (De Noni, 1986). Los factores antrópicos que contribuyen al aumento de la erosión van desde la deforestación, la intensificación del uso de suelo y el limitado desarrollo tecnológico agrícola (Espinosa, 2014 citado en Arias-Muñoz et al., 2023). En la década de los 80s, en un estudio realizado se determinó que en la región interandina se encontraba el 60% de la superficie del país afectada por la erosión (De Noni y Trujillo, 2015).

La presente investigación es importante para la protección del suelo contra la erosión. En el año 2015, se establecieron los Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS) que son aplicados a nivel mundial y que deben ser cumplidos hasta el año 2030. Los ODS buscan mantener un equilibrio entre el bienestar de la población y

la preservación del ambiente, asegurando la calidad de vida de las personas, la seguridad y la protección del entorno. El ser humano ha aprovechado los recursos naturales de forma desmedida, alterando y acelerado los procesos naturales dentro de los ecosistemas, generando una serie de repercusiones en el ambiente, en consecuencia, afectando al cumplimiento de los ODS (Organización de las Naciones Unidas, 2023).

El Objetivo 2 (hambre cero), se enfoca en la seguridad alimentaria y la erradicación del hambre en todo el mundo. El Objetivo 6 (Agua limpia y saneamiento) trata de garantizar que todas las personas tengan acceso al agua potable, cuidar, reestablecer y proteger los ecosistemas que tengan fuentes hídricas. En el Objetivo 14 (Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos) se establece la conservación y uso sostenible de los mares, océanos y recursos marinos, promoviendo una gestión adecuada y consciente, minimizando y evitando su contaminación. El Objetivo 15 (Vida de ecosistemas terrestres) consiste en minimizar la degradación y deforestación de los ecosistemas terrestres, para conservar la biodiversidad de flora y fauna, manteniendo en equilibrio la estructura y las interacciones ambientales (Organización de las Naciones Unidas, 2023).

La actividad antrópica, el desconocimiento y la falta de políticas y normas adecuadas son las causas principales del aumento de la erosión del suelo, la cual tiene una implicación indirecta con el incumplimiento de los ODS. La erosión genera una alteración en la calidad del suelo, disminuyendo la producción de alimentos, generando un desequilibrio en la seguridad alimentaria haciendo que el Objetivo 2 no se cumpla. La erosión altera la calidad del agua y genera grandes cantidades de sedimentos que incrementa los niveles de contaminación en las fuentes hídricas, limitando la accesibilidad del agua en algunas poblaciones y disminuyendo la calidad del recurso, lo cual afecta indirectamente al cumplimiento de los Objetivos 6 y 14. El Objetivo 15 se ve afectado directamente, ya que la

erosión del suelo influye en la pérdida de tierra fértil, la desertificación, disminución de micro fauna (Organización de las Naciones Unidas, 2023).

El suelo contiene microorganismos, nutrientes y agua, esenciales para la subsistencia del ser humano. Es un recurso finito, se necesita cientos de miles de años para la formación de un centímetro de profundidad, esto depende del clima, factores biológicos, topografía, entre otros. Proteger el suelo de la erosión es necesario para a) Preservar la seguridad alimentaria a nivel global, b) Mantener el equilibrio, la salud y la biodiversidad de los ecosistemas, c) Mitigar el cambio climático, d) Conservar la fertilidad y Mantener la calidad de las fuentes del recurso hídrico. Los factores mencionados son fundamentales para mejorar la calidad de vida de la población y mantener el equilibrio en el ambiente. Proteger el suelo contra la erosión, evitará sucesos alarmantes en el futuro como la escasez de alimento, contaminación potencial del agua, desequilibrio ambiental, aumento del cambio climático, pobreza extrema y desastres naturales (De Noni y Trujillo, 2010).

En Ecuador el modelamiento de la erosión hídrica en cuencas hidrográficas se ha realizado en un número limitado de lugares, como en la cuenca media alta del río Mira y en cuencas de la provincia de Manabí. Es de alta relevancia que se genere la simulación de la erosión hídrica en la microcuenca del río Palacara, ya que esta área de estudio carece de información sobre el manejo del suelo. Conocer sobre la erosión en esta zona permitirá establecer posibles soluciones ante esta problemática. El modelamiento y recolección de estos datos, permitirá estimar la distribución espacial de la erosión hídrica. En definitiva, el presente estudio generará una línea base de la erosión hídrica de la cuenca hidrográfica, que necesaria para la toma de decisiones de las autoridades y útil para solventar la carencia de datos en el país para proyectar un desarrollo óptimo y sustentable, en beneficio de la población y el ambiente (Arias-Muñoz et al., 2023).

1.3. Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Evaluar la pérdida de suelo por erosión hídrica mediante el modelo RUSLE, para establecer estrategias de manejo.

1.2.2 Objetivos específicos

- Modelar la erosión hídrica en la cuenca hidrográfica del río Palacara.
- Determinar la pérdida de suelo por erosión hídrica.
- Establecer estrategias para el manejo del recurso suelo.

1.2.3 Preguntas directrices de la investigación

- ¿Qué factores críticos influyen en la erosión hídrica de la cuenca hidrográfica del río Palacara?
- ¿Cuál es la distribución espacial de la erosión hídrica en la cuenca hidrográfica?
- ¿Cuál es la tasa de pérdida de suelo causada por la erosión hídrica en la cuenca hidrográfica?
- ¿Cómo influye la erosión hídrica en el aporte de sedimentos en la cuenca hidrográfica?

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Marco Teórico Referencial

2.1.1 Erosión hídrica en cuencas hidrográficas en las zonas tropicales andinas

La erosión del suelo comprende diversas funciones como el desprendimiento de partículas de suelo debido a agentes erosivos, transporte y acumulación. Existen varias maneras en las se puede generar la erosión, ya sea por la energía física como el agua y viento, la gravedad, meteorización y sobre todo por acción antrópica (como por ejemplo la sobre explotación del suelo, pérdida de suelo por labranza profunda) (Tayupanta, 1993). La erosión hídrica es ocasionada por la precipitación, la cual a través del agua corriente y las gotas de lluvia desprenden las partículas de suelo y las transporta. La interacción del clima, el suelo, el relieve, uso de suelo y la cobertura superficial dan como resultado la erosión hídrica. La erosividad, se describe típicamente considerando la intensidad y cantidad de la precipitación, factores que determinan la capacidad para crear erosión (Hoyos et al., 2005).

La erosión hídrica amenaza la conservación del suelo y el agua en las zonas escarpadas en los trópicos. En las zonas Tropicales Andinas los movimientos en masa tienden a ser más comunes, debido a que la superficie de estas áreas tiene pendientes pronunciadas (Hoyos et al., 2005). La erosión acelerada del suelo en estas zonas tropicales afecta a la producción de cultivos, además los aspectos externos como la sedimentación, deslizamientos e inundaciones tienen como proceso inicial la aceleración de la erosión. En los trópicos los resultados de predicción de la erosión hídrica a partir de modelos empíricos o mediciones directas en parcelas de erosión no han sido satisfactorios, principalmente cuando la erosión da paso a los procesos de movimientos de masa potenciales (Pla-Sentís, 1997).

En un estudio realizado en la microcuenca tropical del río Muchacho, la tasa de erosión presenta una pérdida de suelo de 74,4 tn/ha/año, que corresponde a erosión alta. En la cabecera de la microcuenca, debido a la relación que existe entre la escasa vegetación, el pastoreo, las pendientes pronunciadas y las frecuentes lluvias, existe una erosión media a muy alta que es mayor a 25 tn/ha/año. En las áreas con una densidad considerable de vegetación, escasa precipitación y pendiente moderada presentan una tasa de erosión baja de 0 a 25 tn/ha/año las cuales se encuentran principalmente en la zona media y baja de la cuenca (Jaya, 2023).

Esta cuenca presenta una pérdida considerable de biodiversidad, incidencia a inundaciones, pérdida de suelo fértil y reducción de la disponibilidad y calidad del agua, que está relacionado con la erosión. La precipitación es un factor activo importante que influye en este caso a la erosión hídrica del suelo, al igual que el tipo y abundancia de la vegetación (Rosales y García, 2015). La compactación del suelo, la deforestación, el uso intensivo del suelo y las malas prácticas agrícolas son responsables de la erosión en la microcuenca del río Muchacho (Jaya, 2023).

2.1.2 Causas naturales y antrópicas de la erosión

La erosión geológica son una serie de procesos lentos que permiten la creación de nuevo suelo de forma natural, mientras que la erosión antrópica es acelerada, generando un desequilibrio en los procesos naturales de los ecosistemas (De Noni y Trujillo, 2010). La erosión del suelo en las cuencas hidrográficas se da de forma natural, sin embargo, debido a las actividades antrópicas ha existido una aceleración del proceso, aumentando potencialmente la tasa de erosión del suelo (Casanova et al., 2024). Las causas antrópicas se concentran principalmente en la deforestación, la urbanización, embalsamiento de los ríos, expansión de la frontera agrícola, y causas naturales como el viento, la precipitación y grado de la pendiente.

Ecuador es un territorio en el que más del 50 % del suelo se ha visto afectado y degradado por los procesos erosivos (Jaya, 2023). En Ecuador el avance de la

erosión en el callejón Interandino es alarmante, en los últimos años se ha extendido en cantidades considerables generando áreas de suelo infértil. En este aspecto la erosión hídrica es el principal factor que causa este fenómeno. El uso inadecuado del suelo, agua y las prácticas agrícolas mal ejecutadas aporta a la degradación y pérdida del suelo, generando desequilibrio en los ecosistemas debido a la pérdida de fertilidad de este recurso, además influyendo en el avance de la frontera agrícola en las zonas Interandinas. (Tayupanta, 1993).

2.1.3 Relación de la cobertura vegetal y la erosión del suelo

La cobertura vegetal es un factor que se relaciona directamente con la intensidad de erosión hídrica que puede existir en una zona. El suelo con escasa vegetación tiende a ser más vulnerable ante la erosión hídrica, a diferencia de los suelos con abundante vegetación que tienen una incidencia mínima de erosión. La vegetación es una cubierta que protege al suelo del impacto directo de las gotas de la precipitación, disminuyendo la fuerza con la que cae el agua, siendo capaz de captar e infiltrar el agua sin degradar el suelo (Tayupanta, 1993). La disminución de erosión de impacto por parte de la vegetación depende de la continuidad y altura de la copa de las especies forestales y de la densidad de la cobertura vegetal. Las copas de los árboles captan el agua, las especies frondosas con copas bajas y ramas horizontales son efectivas para disminuir la erosión de impacto (Brea y Balocchi, 2010).

La deforestación está relacionada con el cambio de uso de suelo, en el cual se sustituye la cobertura vegetal sustentable y de alto valor ecológico por otros usos sin valor ecológico, esto se da con frecuencia en las regiones andinas. Los suelos de paramos y bosques nublados que son ecosistemas con capacidad de captación y almacenamiento del recurso hídrico han sido cambiados por potreros, cultivos (Brea y Balocchi, 2010). La deforestación amenaza al ambiente ya que influye en la destrucción de recursos naturales, entre ellos el suelo, en la mayoría de los casos deja el suelo al descubierto, permitiendo que la lluvia caiga con mayor potencial

erosivo, al no tener un amortiguamiento natural, tiende a desprender las partículas de suelo en gran cantidad, generando un nivel de erosión potencial (Llerena, 2024).

2.1.4 Perturbaciones ocasionadas por la erosión hídrica acelerada

La erosión hídrica genera varias perturbaciones, entre las cuales se encuentra la pérdida de suelo fértil que afecta a la producción de alimentos, el aumento de acumulación de sedimentos en los cuerpos de agua que alteran la calidad del recurso hídrico, además se estima que el calentamiento global puede aumentar o agravarse debido a la erosión del suelo, este fenómeno puede llegar a reducir en un 50% la producción de los cultivos, afectando a la seguridad alimentaria. El suelo es considerado uno de los mayores sumideros de carbono, al existir erosión del suelo, este carbono es emitido a la atmósfera por ende incide en el aumento del calentamiento global (González y Mendoza, 2016).

La producción de sedimentos es una de las perturbaciones más importantes que causa la erosión hídrica, representa una amenaza para la población e infraestructuras cercanas. El 90% de los suelos a nivel global pueden llegar a deteriorarse debido a la erosión hídrica a nivel global, cuyos sedimentos serán acumulados en fuentes hídricas, representando un problema en la calidad del agua y amenazando a las especies de flora y la fauna acuática, además se alterará de forma drástica la calidad de agua para las generaciones futuras (Casanova et al., 2024).

2.1.5 Producción de sedimentos como producto de la erosión hídrica

La erosión hídrica tiene un impacto significativo en el suelo de las cuencas hidrográficas, afectando tanto los ecosistemas como las actividades humanas. Entre los principales impactos se encuentra la pérdida de suelo fértil, ya que la erosión arrastra las capas superficiales del suelo, ricas en nutrientes y materia orgánica, lo que disminuye la fertilidad del suelo y afecta la productividad agrícola y la

capacidad de sostener vegetación natural (Ramos- Castillo y Orozco- Medina, 2020). Además, el suelo erosionado pierde su capacidad de retener agua, aumentando la escorrentía superficial y reduciendo la infiltración, lo que puede llevar a una mayor frecuencia y severidad de inundaciones y sequías (Mantilla- Jara, 2021).

El arrastre de sedimentos aporta al deterioro de la calidad del agua, ya que estos transportan contaminantes como fertilizantes y pesticidas hacia las fuentes hídricas, afectando gravemente los ecosistemas acuáticos y la calidad del agua destinada para el uso humano. Asimismo, la acumulación de sedimentos en ríos, lagos y embalses reduce su capacidad de almacenamiento y eficiencia operativa, generando un aumento en los costos de mantenimiento, acortando la vida útil de las infraestructuras hidráulicas y su deterioro a corto plazo (Álvarez y Jumbo- Flores, 2015).

Uno de impactos más significativos de la erosión es la pérdida de la fertilidad del suelo, lo que conlleva gastos económicos significativos a los agricultores y entidades públicas, ya que en los procesos operativos para recuperar la fertilidad del suelo y la implementación de acciones correctivas generan gastos adicionales. Por otro lado, la alteración del equilibrio en los terrenos incrementa el riesgo de deslizamientos de tierra y otros movimientos de masa, lo que constituye una amenaza directa para infraestructuras, viviendas y especialmente para la seguridad de las poblaciones que habitan en la zona. Asimismo, la pérdida de la cobertura vegetal reduce la capacidad del suelo para capturar carbono, contribuyendo al avance del cambio climático. Además, los suelos erosionados tienden a liberar mayores cantidades de gases de efecto invernadero, intensificando el deterioro ambiental (Mantilla- Jara, 2021).

2.1.6 Modelamiento de la erosión hídrica, modelos empíricos y no empíricos

Los modelos se pueden clasificar según los datos que utiliza y la forma de generarlos (Tabla 1). El primer método consiste en medir la erosión en diferentes localidades utilizando dispositivos de medida, pero sin ofrecer una evaluación espacial. El segundo método emplea parcelas de campo que replican el proceso erosivo, proporcionando datos cuantitativos y cualitativos mediante mediciones repetidas, aunque está limitado en áreas extensas y requiere supervisión continua. El tercero y más común utiliza modelos que integran datos espaciales de factores de erosión. Los modelos empíricos son más aplicables a problemas a gran escala y donde hay menos datos disponibles (Regoyos- Sanz, 2003).

Tabla 1.

Clasificación de los modelos según los datos que utiliza y la forma de generarlos

TIPO DE MODELO	DESCRIPCIÓN
Físicos	Son modelos construidos en laboratorios a escalas reducidas y que necesitan asumir la similitud de las dinámicas del modelo y la realidad.
Analógicos	Emplea sistemas eléctricos analógicos o mecánicos a los investigados, p. ej. Para simular los flujos de agua se usa el fluido eléctrico.
Digital	Cuando hay grandes cantidades de datos implementa el uso de ordenadores
a) con base física	Describe los procesos adjuntos en el modelo por medio de ecuaciones matemáticas tomando en cuenta las leyes de conservación de la masa energía.
b) estocásticos	Se fundamenta en la creación de series sintéticas de datos a partir de las características estadísticas de datos simples existentes; es funcional para generar secuencias de entrada para los modelos de base física y empírica cuando los datos son disponibles sólo para periodos de observación cortos.

c) empíricos	<p>Establecida en la identificación de relaciones estadísticas significativas entre las variables importantes, estimadas, cuando se dispone de una base de datos razonable. Se ejecutan tres tipos de análisis:</p> <ul style="list-style-type: none"> • De caja negra: sólo se estudian las entradas y salidas principales. • De caja gris: se conocen algunos detalles de cómo funciona el sistema. • De caja blanca: se conocen todos los detalles de cómo operar el sistema.
--------------	---

Nota: Tomado de Regoyos- Sanz (2003). Clasificación de los modelos según los datos que utiliza y la forma de generarlos

2.1.7 Método RUSLE para la cuantificación de la erosión del suelo

Para cuantificar la pérdida de suelo existen numerosos modelos matemáticos, los cuales van de acuerdo con la información e insumos que emplean (Tabla 2). Estos modelos se crean con el fin de comprender los procesos que se asocian a la erosión (Muñoz-Gómez et al., 2022). Una de las herramientas más usadas es el modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Este modelo cuantitativo es capaz de evaluar el impacto del uso y manejo de la tierra sobre la producción y calidad del agua y el movimiento de sedimentos y nutrientes en cuencas hidrológicas (Arnold et al., 1998).

Tabla 2.

Clasificación de los modelos según el tipo de información

CUALITATIVOS: Establecen una gradación ordinal en la magnitud del proceso erosivo en un área determinada.	Formas de erosión	
	Grados de erosión	
CUANTITATIVOS: permiten la estimación numérica de la erosión, y definiendo rangos, establecer estados erosivos.	Evaluación directa: medidas en el terreno: ensayos o medidas de parámetros asociados a los sedimentos	
	Evaluación indirecta: con relaciones empíricas entre factores o parámetros	Físicos
		Estadísticos
		Parámetros

Nota: Tomado de Regoyos- Sanz (2003). Clasificación de los modelos según el tipo de información que se obtiene.

El modelo SWAT combina componentes físicos, conceptuales y métodos empíricos para la simulación de procesos hidrológicos de una cuenca. A través del uso de información topográfica para delimitar y subdividir la cuenca en subcuencas, dentro de las cuales se generan unidades de respuesta hidrológica (URH). Estas unidades incorporan datos sobre el tipo y uso del suelo, así como de las pendientes del terreno. Esta subdivisión permite al modelo representar de forma más precisa las condiciones hidrológicas, como la evapotranspiración, en función de las diferentes coberturas del suelo, cultivos y características edáficas presentes en cada área (Torres-Benites et al., 2005).

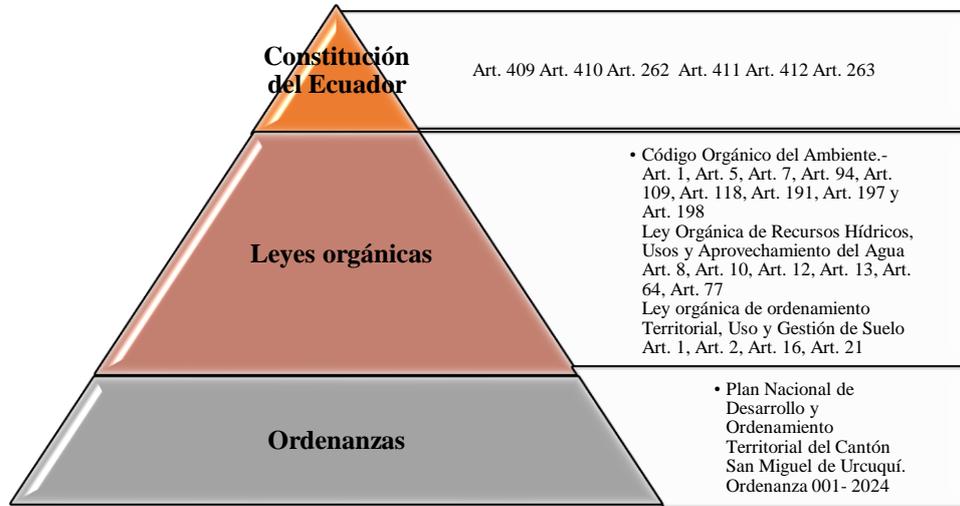
Sin embargo, la Revisión de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (RUSLE por sus siglas en inglés) es el modelo empírico con mayor acogida y el más empleado para la simulación de la erosión hídrica. Esta ecuación se fundamenta en la premisa de que las precipitaciones son el principal agente de erosión superficial, estableciendo que las pérdidas anuales de suelo son directamente proporcionales al índice de erosividad de las lluvias, relacionado la intensidad máxima de precipitación y con la energía cinética tomando en cuenta también la escorrentía superficial (González, 1991).

2.2 Marco legal

Dentro del marco legal se tomaron en cuenta normas, Leyes y documentos importantes que se han establecido por las políticas internacionales y nacionales en beneficio de la naturaleza, para su cuidado, preservación y restauración.

Figura 1.

Pirámide de Kelsen



2.2.1 Constitución del Ecuador

En el Título VII- Régimen del Buen Vivir, en el capítulo segundo que trata de la biodiversidad y recursos naturales, en la sección quinta referente al suelo, se menciona en el **Art. 409** que se debe priorizar la conservación del suelo, en especial la capa fértil. Se generan normas y políticas para el uso sustentable y la protección del suelo ante la degradación que es ocasionada principalmente por la erosión, desertificación y contaminación. El Estado Ecuatoriano debe brindar las herramientas y el apoyo necesario para que las personas dedicadas a la agricultura apliquen prácticas sustentables y gestionen de forma adecuada el suelo tal cual se reglamenta en el **Art. 410**. En los **Art. 411** y **Art. 412** de la sección sexta referente al recurso agua, se indica que el Estado este encargado de mantener la calidad y cantidad del agua, todos sus componentes, estructuras y funciones en todos las afluentes, principalmente en las zonas recarga. Las autoridades que están a cargo de la gestión del agua son responsables de la planificación, control y regulación del recurso (Presidencia de la República, 2008).

En el Título V que trata de la Organización Territorial del Estado en el capítulo IV del Régimen de competencias, se reglamenta en el **Art. 262** y en el **Art. 263** que los gobiernos regionales autónomos deben tener competencias exclusivas, sin alterar o perjudicar a las demás leyes. Entre las competencias se encuentra la gestión del ordenamiento de las cuencas hidrográficas y la generación de consejos de cuenca de acuerdo con lo establecido por la ley. Los gobiernos provinciales están encargados de una serie de competencias exclusivas, una de ellas es la realización de manera coordinada con el gobierno regional de obras en microcuencas y cuencas. Una de las actividades de las que están encargados son el desarrollo de sistemas de riego, la fomentación de actividades agropecuarias y actividades productivas provinciales (Presidencia de la República, 2008).

2.2.2 Leyes orgánicas

Código Orgánico del Ambiente

Código Orgánico del Ambiente en el **Art. 1**, **Art. 5** y **Art. 7** se reglamenta que este código tiene como objetivo garantizar un ambiente sano a las personas y hacer cumplir los derechos de la naturaleza que son reconocidos por la Constitución. Son deberes de interés público, respetar la integridad de la naturaleza, el cuidado, protección y restauración de los componentes, funciones y estructuras de los ecosistemas, la implementación de medidas de mitigación ante el cambio climático, etc. En el Título VI Régimen forestal Nacional en el **Art. 94** se menciona que esta denegado cambiar el uso de suelo por intereses agropecuario algunas áreas entre ellas los ecosistemas frágiles En el **Art. 109** se reglamenta la sostenibilidad en el manejo forestal, se establece algunos aspectos importantes, entre los cuales se encuentra la protección y recuperación de los recursos hídricos y la prevención de la degradación o erosión del suelo (Presidencia de la República, 2017).

En el Capítulo VI en el **Art. 118** se menciona que toda acción de restauración ecológica del suelo deber ser priorizada la regeneración natural cuando

sea viable, además los GADS son encargados de priorizar los suelos afectados. En el Libro III de Calidad Ambiental, en el **Art. 191** reglamenta el cumplimiento del monitoreo de la calidad del, suelo, agua y aire, con el fin de recolectar información sobre la contaminación para la creación de soluciones ante esos problemas. Con respecto al tratamiento de las aguas residuales, el **Art. 196** menciona que los GADS Municipales tienen que contar con un sistema adecuado de alcantarillado y tratamiento de estas aguas. En el **Art. 197** y **Art. 198** se reglamenta que toda actividad que perjudique la calidad del suelo y pueda erosionarlo, debe ser regulada o restringida de ser el caso. Son de mayor importancia las zonas altas ubicadas en pendientes pronunciadas y alrededor de cuerpos de agua. Se debe tener un seguimiento y monitoreo de la calidad de sedimentos para tener información sobre la calidad ambiental (Presidencia de la República, 2017).

Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua

En el **Art. 8** y **Art. 10** se menciona que la Autoridad Única del Agua está encargada de la gestión integral e integrada del agua en cuencas o sistemas de cuencas, además que los ríos son de dominio hídrico público. El **Art. 12** y **Art. 13** establecen el cuidado, la conservación, protección, recuperación de fuentes hídricas y las formas en que se debe realizar. En el **Art. 64** se reglamenta que el agua debe ser conservada, sus componentes, estructuras, funciones deben ser respetadas y protegidas, tanto las zonas altas, medias y bajas de una cuenca hidrográfica como cualquier fuente de recurso hídrico. En el **Art. 77** se indica que los caudales ecológicos en todas las cuencas hidrográficas deben contar con un caudal constante de agua que es intangible (Asamblea Nacional, 2014).

Ley orgánica de ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo

En el **Art. 1** y **Art. 2**, se menciona que como objetivo esta Ley tiene el establecer principios y reglas con respecto al ordenamiento territorial, uso y gestión

del suelo, y su aplicación debe ser ejecutada en todo proceso de uso de suelo. En el **Art. 16** y **Art. 21** se reglamenta que el suelo debe ser usado de manera sostenible en el desarrollo de actividades de la población, siguiendo la destinación que ha sido asignada conforme la Ley (Asamblea Nacional, 2016).

2.2.3. Ordenanzas

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal San Miguel de Urcuquí (2023), por medio de la ordenanza 001- 2024, renovó el plan de Nacional de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón San Miguel de Urcuquí. Esta ordenanza busca impulsar la conservación y uso sostenible de los Recursos Naturales para el desarrollo territorial, promoviendo una gestión integral de los recursos hídricos. Además, incluye políticas dirigidas a fomentar modelos de desarrollo sostenible mediante la aplicación de medidas de adaptación y mitigación al cambio climático, así como la conservación, protección y difusión del patrimonio natural y los servicios ambientales mediante una gestión sostenible, así como una adecuada planificación y regulación del uso de riberas y cauces de cuerpos de agua.

CAPÍTULO III

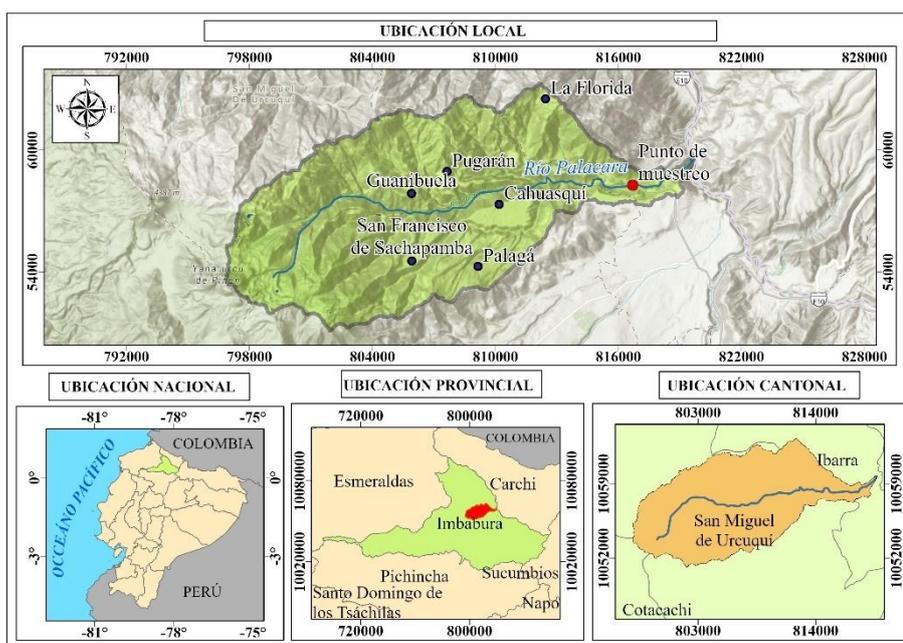
3. METODOLOGÍA

3.1 Descripción del área de estudio

La microcuenca del río Palacara se encuentra ubicada en la zona norte del Ecuador, a 45 km de la ciudad de Ibarra, específicamente en el cantón San Miguel de Urcuquí. Limita al sur con Pablo Arenas y parte de San Blas, al oeste con Buenos Aires, al norte con la parroquia La Carolina, y al este con Pablo Arenas. La altitud varía entre los 1.760 a 3.317 msnm. El área de la cuenca es de 14.575 hectáreas e incluye los poblados de Cahuasquí, Pugará, Palagá, La Florida y San Francisco de Sachapamba, como se muestra en la (Figura 2). El desnivel altitudinal es de 3.044 msnm, el punto más bajo se encuentra ubicado a 1 410 msnm y el más alto a 3.066 msnm (Tabla 3). En el área de estudio la pendiente se encuentra distribuido en un 33,20% montañoso, 26,6% escarpado, 23,6% muy montañoso, 11,9% ondulado, 3,9% ligeramente ondulado y tan solo el 0,66% tiene relieve plano (Anexo 1)

Figura 2.

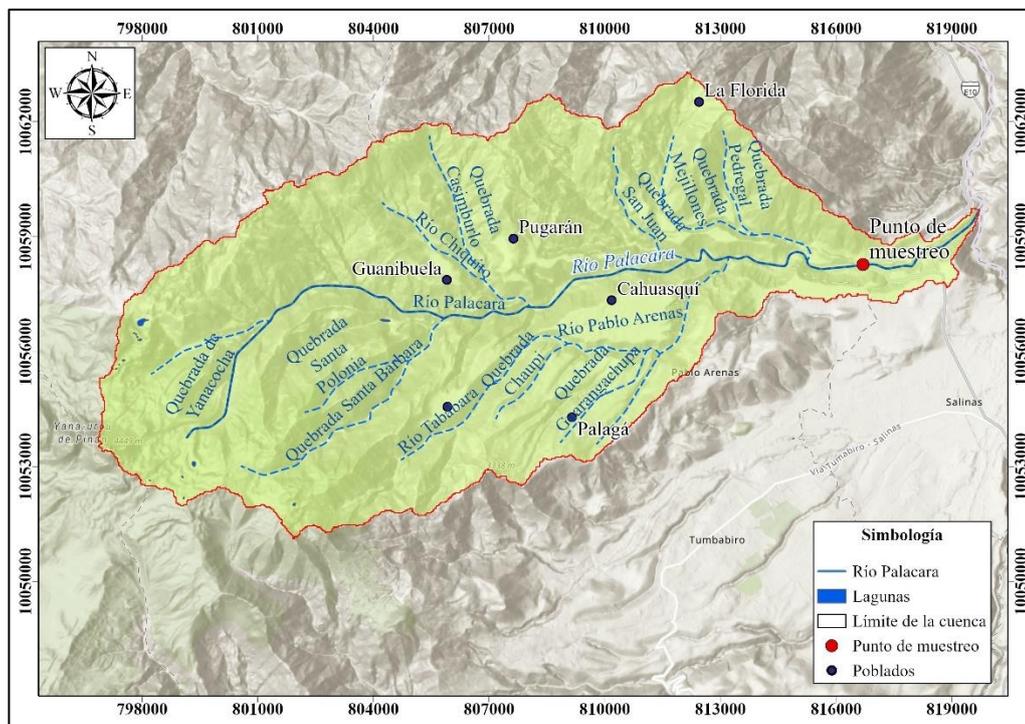
Ubicación de la microcuenca del río Palacara



La principal fuente de suministro hídrico dentro de la parroquia Cahuasqui proviene de la microcuenca Palacara, la cual está conformada por dos ríos principales, el río Pablo Arenas y el río Chiquito como se muestra en la Figura 3, además de varias quebradas, como la quebrada de San Guillermo, Santa Barbara, Pichavi, entre otras (Instituto Geográfico Militar, 2024). Existe en el área problemas de déficit hídrico en las comunidades de la Florida y Pugarán, debido a la falta de un sistemas de riego, por ende las épocas de lluvia son tomadas para la producción y también las vertientes pequeñas (Vásquez, 2019).

Figura 3.

Ubicación y principales suministros hídricos de la microcuenca del río Palacara



Según datos del INEC (2010), la actividad predominante en la parroquia con un 36,02% de la población dedicada es la agricultura. El clima templado de la zona favorece el cultivo de ciertos cereales, legumbres, hortalizas, frutales y muchos otros productos. Los ecosistemas que conforman esta cuenca incluyen el bosque montano alto, arbustal montano y páramo y presenta 7 grandes grupos taxonómicos de suelo (Anexo 3).

3.1.1 Morfometría de la cuenca del río Palacara

Los parámetros morfométricos de la cuenca son las características físicas que rigen el comportamiento de esta, a través del estudio del relieve, la forma y el drenaje. Los parámetros morfométricos de la subcuenca del río Palacara se encuentran en la Tabla 3.

Tabla 3.

Características físicas de la subcuenca del río Palacara

Parámetros iniciales			
Parámetros	Simbología	Cálculo	Interpretación
Área	(A)	A= 14.575,19 ha	Es una Microcuenca.
Perímetro	(P)	P= 63,47 km	Es una microcuenca media.
Longitud Axial	(La)	La= 23,24 km	Es la distancia que existe desde el lugar de confluencia hasta la parte más lejana de la red.
Ancho promedio	(Ap)	Ap= 6,27 km	Es relación que existe entre el área y la longitud de la cuenca.
Coefficiente de compacidad	(Kc)	Kc= 1,4	La cuenca es Oval redonda a oval-oblonga.
Factor forma	(Ff)	Ff= 0,26	La cuenca tiende a ser alargada, baja susceptibilidad a las avenidas.
Parámetros de relieve			
Altitud media	(Hmed)	2.958,97 m	La altitud media corresponde a una cuenca de montaña.
Desnivel	(De)	De= 3.044 msnm	Es la variación de la altitud de la cuenca.
Pendiente media	(Pmed)	Pmed = 51,18 % Pmed = 25,88°	La cuenca cuenta con un relieve muy montañoso.
Cota máxima	(CM)	CM= 3.066 msnm	Es la altitud máxima donde se encuentra la divisora.
Cota mínima	(Cm)	Cm= 1.410 msnm	Es la altitud mínima donde se encuentra la desembocadura del río.
Parámetros hidrológicos			
Longitud del cauce principal	(Lcp)	Lcp = 21,03 km Lcp = 21.039,1 m	El cauce principal tiene una longitud media.
Pendiente del cauce principal	(Pcp)	Pcp= 7,87 %	La pendiente media del cauce principal corresponde a ríos de montaña.
Tiempo de concentración	(Tc)	Tc= 1,84 h	Tiempo que tarde en llegar la escorrentía superficial desde la parte más lejana hasta punto de salida.

La morfometría indica que es una microcuenca ya que cuenta con una extensión de 14.575,19 ha, el cauce principal tiene una longitud media de 21,03, es oval redonda a oval-oblonga con una forma alargada lo que implica una baja susceptibilidad a las avenidas. Tiene una altitud media de 2.958,97 y una pendiente media de 51,18% por lo que pertenece a una cuenca con relieve montañoso. La divisora de agua se encuentra a una altitud máxima de 3.066 msnm y la desembocadura del río a una altitud mínima de 1.410 msnm. La escorrentía superficial tarda en llegar desde la parte más lejana del punto de salida de la microcuenca hasta el mismo 1,84 h.

- **Edafología**

La textura del suelo se compone de la cantidad de arena, arcilla y limo, lo cual influye en la erosión del suelo, cuando existe una mayor proporción de arena los suelos tienen mayor susceptibilidad a la erosión ya que disminuye la capacidad de retener agua ante lluvias intensas aumentando la escorrentía y el arrastre de partículas se suelo, de igual forma los suelos que tienen una mayor proporción de arcilla son vulnerables ante la erosión ya que el agua no tiene una adecuada infiltración, por ende los suelos que tienen un equilibrio en su composición de limo, arena y arcilla son más resistentes a la erosión, como son los suelos con texturas Franco (Sevillano, 2012). En el área de estudio existen 7 tipos de textura de suelo como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4.

Tipos de textura de suelo en el área de estudio

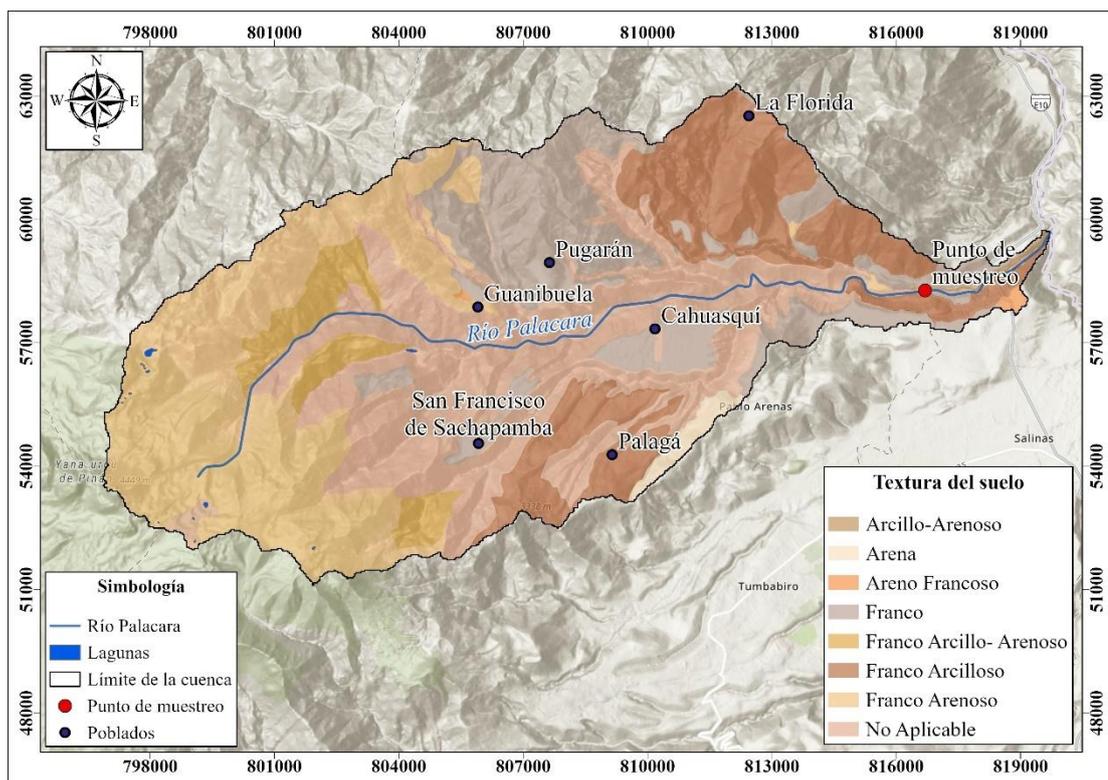
Textura	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Arcillo-Arenoso	38,1	0,26
Arena	144,32	0,99
Areno Francoso	35,86	0,24
Franco	2.544,48	17,45
Franco Arcillo-Arenoso	716,27	4,91

Franco Arcilloso	2.563,76	17,58
Franco Arenoso	3.902,71	26,77
No aplicable	4.629,69	31,76
Total	14.575,19	100

En la microcuenca del río Palacara predominan suelos de tipo Franco, como son Franco Arcilloso con una extensión superficial de 2.563,76 ha, seguido de suelo Franco con 2.544,48 ha, y en menor cantidad suelos de tipo de textura de Arena, Arcillo-Arenoso y Areno Francoso, como se puede observar su distribución en la Figura 4.

Figura 4.

Edafología de la microcuenca del río Palacara



- **Geomorfología**

En la microcuenca del río Palacara existen 21 tipos de relieve, entre los que abarcan una mayor extensión son el relieve volcánico montañoso con 8.129,71 ha

(55,77%), Valle en V con 4.278,09 ha (29,35%) que juntos contienen un 85,12% de la microcuenca, el otro 14,88% constituye diversos tipos de relieve como se presenta en la Tabla 5 y se puede visualizar su extensión en la Figura 5.

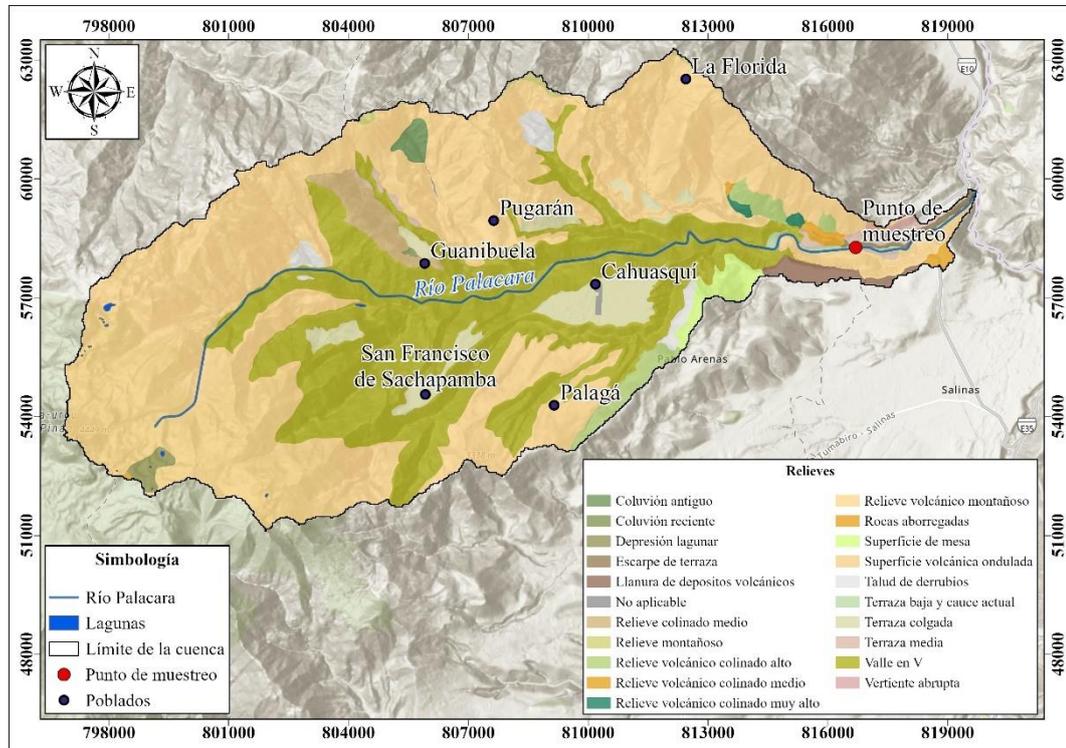
Tabla 5.

Tipos de Relieves en el área de estudio

Relieve	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Coluvión antiguo	70,01	0,48
Coluvión reciente	6,86	0,04
Depresión Lagunar	60,63	0,41
Escarpe de terraza	38,1	0,26
Llanura de depósitos volcánicos	119,15	0,81
Relieve colinado medio	242,48	1,66
Relieve montañoso	52,32	0,35
Relieve volcánico colinado alto	239,79	1,64
Relieve volcánico colinado medio	77,28	0,53
Relieve volcánico colinado muy alto	30,62	0,21
Relieve volcánico montañoso	8.129,71	55,77
Rocas aborregadas	3,11	0,02
Superficie de mesa	157,4	1,07
Superficie volcánica ondulada	18,55	0,12
Talud de derrubios	169,14	1,16
Terraza baja y cause actual	62,69	0,43
Terraza colgada	619,99	4,25
Terraza media	112,34	0,77
Valle en V	4.278,09	29,35
Vertiente Abrupta	30,85	0,21
No aplica	56,01	0,38
Total	14.575,19	100

Figura 5.

Geomorfología de la microcuenca del río Palacara



3.1.2 Clima

En la microcuenca del río Palacara se encuentra diversos tipos de microclimas como templado de valle en la zona baja y frío en las zonas altas, bosque montano y pajonal, dichos climas favorecen la diversidad agrícola en el área. El clima con mayor predominancia es ecuatorial mesotérmico seco, ecuatorial mesotérmico semihúmedo y ecuatorial de alta montaña. En Cahuasquí, Guañibuela, San Francisco de Sachapamba y Pugarán se presenta un clima templado. La temperatura va de 5 a 19 °C con una precipitación anual promedio de 950 mm (Vásquez, 2019).

3.1.3 Uso del suelo

Estas tierras incluyen pendientes pronunciadas o suelos poco profundos, que se degradan debido al sobreuso y a la falta de prácticas adecuadas de conservación de suelos (Ordóñez- Pozo y Ortiz-Pabón, 2018). El uso del suelo va direccionado principalmente a la agricultura y la ganadería, ya que más del 40% de uso de tierras está conectado con estas dos causas, además existes conflictos de uso de suelo debido a que los moradores tienden a realizar sus actividades en laderas y en áreas de pajonal, lo que perjudica de forma directa la zona alta del río Palacara (Vásquez, 2019).

3.1.4 Actividades económicas

Las personas se dedican a la agricultura, la ganadería, se establece que 75% de la población está involucrada en dichas actividades económicas. Los principales productos que se cultivan son la granadilla y maíz (Guañibuela, Cahuasquí, Sachapamba, Pugarán y la Florida), frejol palo gema (Cahuasquí, Guañibuela), tomate de árbol (Guañibuela, Pugarán y la Florida), arveja (Sachapamba, Pugarán y la Florida), habas (Pugarán y la Florida), espárragos, tomate riñón (Cahuasquí), aguacate (Sachapamba), eucalipto (Pugarán y la Florida). Con respecto a la ganadería, la población se dedica a la crianza de ganado vacuno, cerdos, cuyes, aves de corral (Vásquez, 2019).

3.2 Metodología

Los métodos que se aplicaron en este estudio se realizaron acorde con los objetivos específicos planteados.

3.2.1 Etapa 1: Cálculo de los factores del modelo *RUSLE* de la cuenca del río Palacara

Se realizó la caracterización de la microcuenca del río Palacara donde se evaluó el área, tamaño, forma, tipo de drenaje y la importancia ecológica del ecosistema. Posteriormente, se realizó el análisis del impacto de la erosión hídrica en el área, utilizando la ecuación *RUSLE*. Mediante herramientas de Sistemas de Información Geográficos (SIG) se creó entidades geográficas para generar mapas detallados que mostraron los riesgos por erosión hídrica en el área.

La información base se recopiló por medio de datos bibliográficos sobre erosión hídrica, entidades gubernamentales, software y páginas web como: SIG Tierras (<http://www.sigtierras.gob.ec/geoportal/>), Earth explore (<https://earthexplore.usgs.gov/>), SPAW Hydrology. Instituto Geográfico Militar (<https://www.gob.ec/igm>). La información copiada de estas fuentes es acerca de características edáficas, cobertura y uso de suelo, topografía, clima, entre otros.

3.2.1.1 Modelo matemático *RUSLE*

Para calcular los factores de riesgo asociados a la erosión hídrica, se empleó el modelo matemático *RUSLE* (Ecuación 1) propuesto por Wischmeier, (1978). Este modelo es eficaz para simular la erosión hídrica de la subcuenca del río Palacara, tal como se presenta en la siguiente ecuación:

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

Dónde:

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

R= Factor erosividad de las precipitaciones (Mj·mm)/(ha/año)

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

L= Factor de longitud del terreno (adimensional)

S= Factor pendiente del terreno (adimensional)

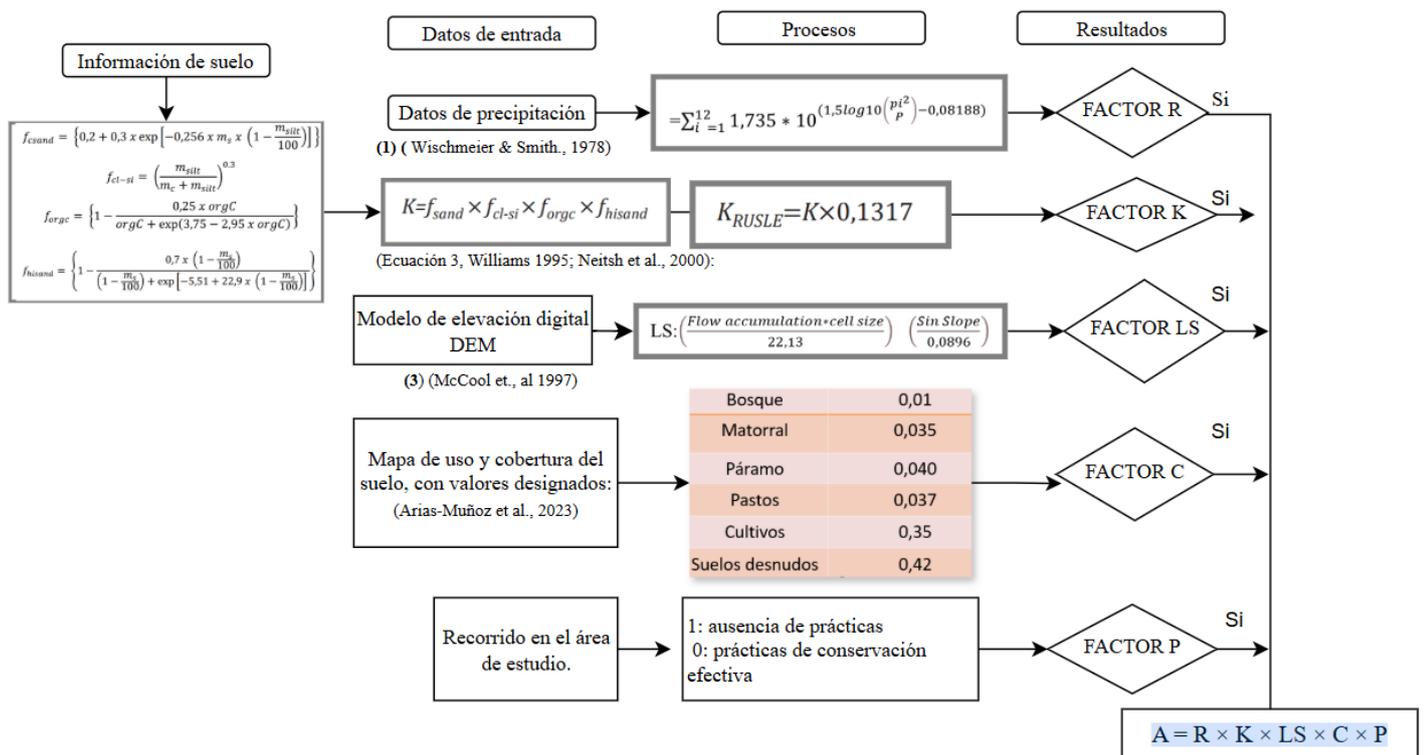
C= Cobertura y manejo de la vegetación (adimensional)

P= Prácticas de conservación (adimensional)

Para el cálculo de la erosión hídrica se presenta los insumos, el proceso, las ecuaciones y herramientas que se emplean para generar los factores mencionados en la Figura 6.

Figura 6.

Flujograma de metodología de la Ecuación RUSLE



A continuación, se presenta la forma de aplicación y las fórmulas que se implementaron para el cálculo de cada uno de los factores de riesgos asociados a la erosión hídrica:

3.2.1.1 Factor de erosividad de la precipitación (R)

El factor R refleja el efecto de la intensidad de la precipitación en la erosión del suelo, cuantifica el impacto de intensidad de la lluvia, así como la duración y

velocidad de la escorrentía que se produce. Se requiere de un periodo de datos de aproximadamente de 20 a 25 años. Para realizar el cálculo, se empleó la ecuación 2 propuesta por (Wischmeier, 1978).

Es importante destacar que el factor R es el más relevante para estimar la erosión del suelo, ya que la pérdida de tierras agrícolas está vinculada tanto a la intensidad como a la energía de la precipitación (Ganasri y Ramesh, 2016).

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

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

3.2.1.2 Factor de erodabilidad del suelo (K)

El factor K representa la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica (Wischmeier, 1978). Se calculó utilizando información sobre las características edáficas, como la textura superficial, materia orgánica, estructura del suelo y permeabilidad (Zapata- Campaña, 2015). Para obtener esta información, se elaboró mapas de tipos de suelo de la cuenca hidrográfica del río Palacara, mediante la recolección de información de características del suelo en la microcuenca obtenidas en páginas oficiales de SIG TIERRAS (<http://geoportala.agricultura.gob.ec/>) y empleando el software SPAW Hydrology para conocer el contenido de limo, arena y arcilla. Finalmente se aplicó las siguientes ecuaciones Ecuación 3.

$$\text{KRUSLE} = K \times 0,1217 \quad (3)$$

$$(1) K = f_{\text{sand}} \times f_{\text{cl-si}} \times f_{\text{orgc}} \times f_{\text{hisand}}$$

$$(2) f_{\text{csand}} = \{0,2 + 0,3 \times \exp[-0,256 \times ms \times (1 - (msilt/100))]\}$$

$$(3) f_{\text{cl-si}} = (msilt / (mc + msilt))^{0.3}$$

$$(4) f_{\text{orgc}} = \{1 - ((0,25 \times \text{orgC}) / (\text{orgC} + \exp(3,75 - 2,95 \times \text{orgC})))\}$$

$$(5) f_{hisand} = \{1 - ((0,7 \times (1 - (ms/100))) / (1 - (ms/100))) + \exp[-5,51 + 22,9 \times (1 - (ms/100))]\}$$

Donde:

ms= % de arena

msilt= % de limo

mc= % de arcilla

orgC= % de carbono orgánico

3.2.1.3 Factor topográfico (LS)

El factor topográfico LS representa la inclinación de la pendiente (S) y la longitud de la pendiente (L) en las pérdidas del suelo (Tamayo- Malacatus, 2026). Para calcular este factor, se obtuvo un modelo digital de elevación (DEM) con una resolución de 30 metros a través del Portal web de Open Topography, además se implementó el uso de la Ecuación 4 la cual fue establecida por McCool et al. (1997).

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

Donde:

LS: Longitud e inclinación de la pendiente

Cell size: Tamaño de la celda

Flow accumulation: Flujo de la celda

Sin Slope: Seno de la pendiente en radianes

22,13: Constante de la longitud

3.2.1.4 Cobertura del suelo (C)

El factor C corresponde a la interacción entre la pérdida de los suelos y los diversos tipos de vegetación (Wischmeier, 1978). Para el cálculo el factor C, se realizó un mapa de uso y cobertura del suelo con ayuda del SIG y la implementación

de una imagen satelital Landsat 7 con correcciones atmosféricas descargada en el sitio web EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) y se desarrolló la clasificación supervisada en el software ArcGIS Pro. La clasificación consto de áreas de entrenamiento para 6 tipos de cobertura de suelo, posteriormente se asignó valores al Factor C según las clases de vegetación que fueron bosque natural, páramo, pastos, cultivos, zonas urbanas y cuerpos de agua de acuerdo con la Tabla 6 propuesta de Arias-Muñoz et al., (2023) . Para la validación de la clasificación se aplicó la matriz de confusión tomando en cuenta el valor del índice Kappa.

Tabla 6.

Valores del Factor C para cuencas hidrográficas tropicales

Tipo de cobertura	Valores (Factor C)
Bosque	0,01
Páramo	0,04
Pastos	0,037
Cultivos	0,35
Cuerpos de agua	0
Zona urbana	0

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

3.2.1.8 Factor prácticas de conservación (P)

El factor P corresponde a las prácticas de control de erosión y refleja el impacto que tienen sobre la tasa de erosión (Tamayo- Malacatus, 2026). Los valores varían entre 0 y 1, donde el valor cero (0) representa prácticas de conservación efectivas, mientras que el valor uno (1) indica la ausencia de prácticas de conservación que ayuden a prevenir y mitigar la erosión (Vijith et al., 2018).

3.2.2 Etapa 2: Cálculo de la pérdida de suelo por erosión hídrica mediante el modelo RUSLE.

Con base a los resultados obtenidos de los factores que conforman la ecuación, se aplicó el modelo RUSLE. En este proceso se multiplicó cada uno de los factores para generar un archivo vectorial que indicó la cantidad de erosión hídrica en unidades de tn/ha/año para la cuenca hidrográfica del río Palacara.

3.2.2.1 Cálculo de la pérdida de suelo en mm en sectores puntuales y promedio en la microcuenca

Para calcular la pérdida de suelo en mm por erosión hídrica se necesita conocer la densidad aparente del suelo en sectores puntuales, para ello se aplicó el método del Cilindro de Volumen Conocido, a partir de eso se distribuyó 6 puntos de muestreo, 3 puntos en la zona baja y 3 puntos en la zona media de la microcuenca del río Palacara (Anexo 3), se elaboró calicatas con una dimensión de 50cm x 50cm x 50cm (Anexo 16), en cada calicata se tomó 4 muestras de suelo, dando un total de 24 muestras. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio donde se tomó datos de su peso inicial (muestra en bruto), peso del cilindro con suelo seco y peso del cilindro vacío (Anexo 14). Se aplicaron dos ecuaciones, la Ecuación 5 para determinar el volumen del cilindro.

$$\text{Volumen de cilindro} = \pi * r^2 * h \quad (5)$$

Donde:

$$\pi = 3,1416$$

r = radio del cilindro

h = altura del cilindro

Para calcular la densidad aparente las muestras de suelo pasaron por un proceso de secado en un horno a una temperatura de 70 °C durante 48 horas, se toman los datos de pesos y se aplicó la Ecuación 6

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{Pesos suelo seco (gr)}}{\text{Volumen de cilindro (cm}^3\text{)}} \quad (6)$$

Para obtener el valor de pérdida de suelo en porcentaje en mm se multiplica la erosión media ($\text{g/cm}^2 \cdot \text{año}$) de la microcuenca estimada por el modelo RUSLE con la densidad aparente (g/cm^3) y se obtiene el volumen del suelo (mm), valor que se multiplica con la formación de suelo ($\text{mm} \cdot \text{año}$) y se obtiene la pérdida de suelo sobre el umbral (mm), finalmente para obtener la pérdida de suelo en porcentaje se multiplica la pérdida de suelo sobre el umbral (mm) por 100 y se divide para la formación de suelo ($\text{mm} \cdot \text{año}$). Para el cálculo de la pérdida media de suelo en mm en la microcuenca se empleó un ráster de densidad y el ráster de la erosión RUSLE.

3.2.2.2 Validación del modelo hidrográfico RUSLE

La validación se efectuó mediante la comparación de los aportes de sedimentos en suspensión en la cuenca a través de los datos de la concentración de sólidos en suspensión obtenidos en el análisis de cada muestreo del río Palacara, con los datos de sedimentos en suspensión (SY) obtenidos del RUSLE.

3.2.2.2.1. Sedimentos en suspensión a partir de datos obtenidos en el análisis de las muestras tomadas en campo

Se presenta las etapas de campo y laboratorio aplicadas para la obtención de los sedimentos en suspensión de las muestras de agua del río Palacara

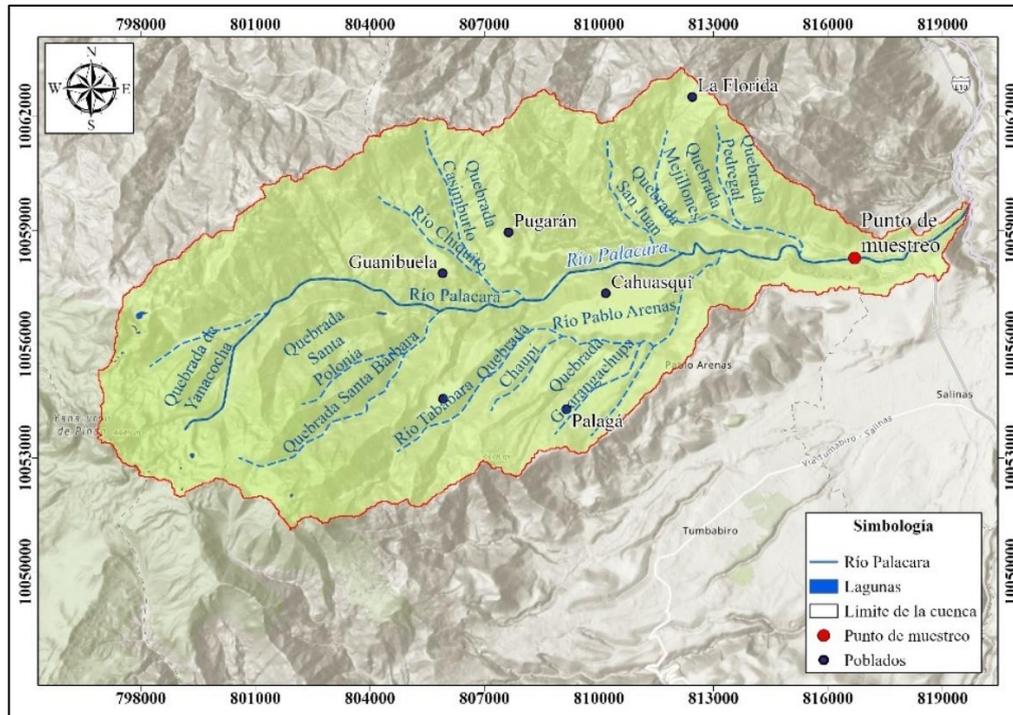
- **Cálculo de la concentración de sólidos suspendidos en la microcuenca del río Palacara**

Para obtener las muestras de agua se estableció un punto de aforo ubicado en las coordenadas 17 S 81669766E 5827064N (Figura 7), se tomaron 12 muestras de agua entre época seca y lluviosa aplicando el muestreo puntual. Para tomar las

muestras de agua se usó envase de plástico limpias, se tomó 2 litros de agua por cada muestra.

Figura 7.

Punto de muestreo de agua en la microcuenca del río Palacará



En el análisis de laboratorio se empleó el método B (Filtración) descrito en métodos de prueba estándar establecidos en la norma ASTM D3977-97 publicada en el año 2000 la cual sirve para determinar la concentración de sedimentos (ASTM International, 2019). Este proceso consta primero de una etapa de secado del papel filtro de fibra de vidrio (1micra) durante 1 h a una temperatura de 105 °C para obtener el peso inicial, luego se filtra 500 ml de la muestra con un equipo de filtración, esto depende de la cantidad de sedimentos que existan, en el caso de que se identifique alta presencia de partículas de suelo se reduce el volumen de agua para filtrar.

El último paso es poner al horno el papel filtro ya con los sedimentos durante 24 horas a una temperatura de 105 °C, luego se pesa y se obtiene el peso 2, se aplica la diferencia y se obtiene el peso final de la Concentración de sólidos suspendidos (mg/l). En las dos etapas de secado, para evitar que las muestras tomen humedad se empleó un desecador con sílice gel.

- **Cálculo del caudal del río Palacara**

Para obtener este dato se aplicó el método por Relación de Áreas (Ecuación 7), respectivamente se empleó información de los caudales medios anuales de la estación H0015 Chota en Pte. Carretera del INAMHI desde el año 1978 hasta el año 2014 tomando en cuenta los años en los que existen datos completos (Anexo 19), a partir de eso se obtuvo un caudal promedio. Se toma en cuenta la superficie de la microcuenca del río Palacara y la de la estación H0015.

$$Qx = \frac{Ax}{Ao} * Qo \quad (7)$$

Donde:

Qx = Caudal de la cuenca interna

Qo = Caudal inicial de la cuenca contenedora

Ax = Área de la cuenca interna

Ao = Área de la cuenca contenedora

- **Cálculo de sedimentos en suspensión (tn/ha/año) de datos tomados en el área de estudio.**

Para obtener esta información se usa el valor de la concentración de sólidos suspendidos (kg/m³) de las 12 muestras de agua y se multiplicó de forma individual con el caudal del río (m³/s), después se multiplicó el resultado por 3600*24*365 y se dividió para 1.000 y finalmente se multiplicó con la superficie (ha) de la

microcuenca y se obtuvo el valor de los sedimentos en suspensión (tn/ha/año) (Anexo 18).

3.2.2.2.2. Sedimentos en suspensión a partir de datos obtenidos en el modelo matemático RUSLE

Para la obtención de los sedimentos en suspensión (SY), se aplicó primero la (Ecuación 8) para obtener la cantidad estimada de suelo erosionado por medio del modelo matemático RUSLE.

$$SDR = 0,627 * SLP^{0.403} \quad (8)$$

Donde:

SLP = Pendiente del río (%)

El valor numérico es una constante

Posteriormente, mediante la Ecuación 9 se calculó la producción de sedimentos.

$$SY = A * SDR \quad (9)$$

Donde:

A= Pérdida anual del suelo (mm)

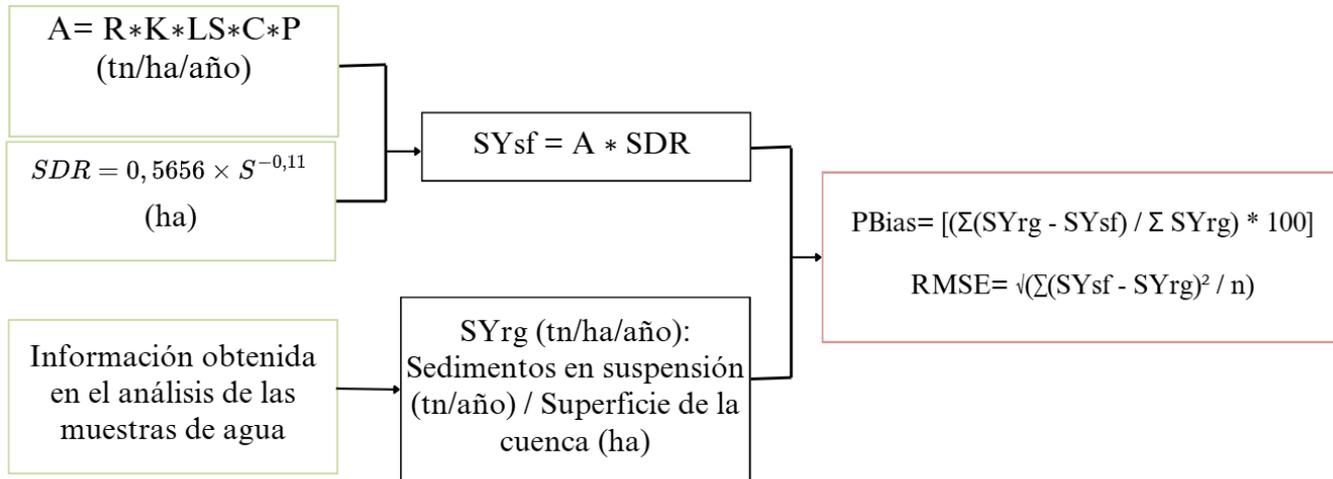
SDR= Cantidad estimada de suelo erosionado (mm)

SY= Producción total de sedimentos (mm)

En la Figura 8 se describe la primera sección del proceso de validación, a través de la aplicación de las ecuaciones mencionadas anteriormente.

Figura 8.

Esquema de la validación del modelo RUSLE



La validación se realizó mediante la comparación entre los datos simulados y los datos observados de producción de sedimentos obtenidos mediante el análisis de 12 muestras de agua tomadas en campo. Para ello, se implementó el uso del sesgo porcentual (Pbias) y el error medio cuadrático (RMSE). Con base a esto se validó los datos obtenidos del modelo RUSLE para conocer si existe subestimación, sobreestimación o es adecuado. Se realizó la comparación de los valores obtenidos en la Ecuación 9 con el valor de sedimentos obtenido en mediciones de campo.

3.2.3 Etapa 3: Establecimiento de estrategias para el manejo del recurso suelo.

Se plantearon estrategias para moderar la degradación física del suelo en la cuenca del río Palacara, mediante la aplicación de la matriz FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas), una herramienta de análisis estratégico para identificar factores internos y externos que influyen en el manejo del recurso suelo. A partir de los valores de erosión en el área, se identificaron los principales problemas asociados a la erosión hídrica, permitiendo desarrollar estrategias más estructuradas y adaptadas tanto a la situación actual como a posibles escenarios

futuros, facilitando la toma de decisiones y la planificación de acciones efectivas orientadas a la conservación del suelo y la sostenibilidad de los ecosistemas de la cuenca, además se implementó el uso de las clases agrológicas en la microcuenca que sirven como base para la ubicación de las estrategias de acuerdo a la capacidad del suelo y sus aptitudes (Ponce Talancón & Santo Tomás, 2007).

El análisis FODA consiste en la construcción de una matriz que clasifica los factores internos como fortalezas y debilidades y los factores externos como oportunidades y amenazas, los cuales influyen significativamente en la determinación estratégica de una entidad (Tabla 7). Este enfoque estructurado permite a las organizaciones evaluar su posicionamiento estratégico dentro de un entorno competitivo, facilitando la toma de decisiones fundamentadas en el conocimiento de sus capacidades dentro de sus capacidades internas y del contexto en el que operan (Nikulín & Becker, 2015).

Tabla 7.

Estructura de la Matriz FODA

	<p>OPORTUNIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> - Transformación en ámbitos sociales, económicos, políticos y tecnológicos - Incorporación de nuevas tecnologías y mejoras en los procesos productivos - Satisfacer nuevas demandas emergentes 	<p>AMENAZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Oposición al cambio - Aumento de competencia - Riesgos elevados y obstáculos significativos para el desempeño
<p>FORTALEZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Recursos con potencial alto - Capacidades especializadas propias - Condiciones naturales favorables 	<p>Estrategias ofensivas:</p> <p>Usar las fuerzas para aprovechar las oportunidades</p>	<p>Estrategias defensivas:</p> <p>Aprovechar las fortalezas como estrategia para enfrentar las amenazas</p>

DEBILIDADES	Estrategias	Estrategias de supervivencia:
- Puntos vulnerables - Falencias internas -Recursos, humanos, técnicos y económicos insuficientes	Adaptativas: Superar las debilidades mediante el aprovechamiento de oportunidades externas.	Minimizar las debilidades actuales mediante la prevención y evitar amenazas

Nota. Tomado de Nikulin & Becker, 2015

Existen varios métodos para controlar la erosión y conservar el recurso suelo. Después de obtener los resultados mediante este modelo, se aplicó estrategias de conservación como: barreras vivas, terrazas, zanjas de infiltración, abonos verdes, labranza de conservación y siembra directa, rotación de cultivos, abandono de fertilizantes y pesticidas sintéticos, agricultura de contorno, cultivo en franjas, cortavientos, cultivos de cobertura, franjas de protección, manejo integrado de plagas, entre otros.

3.3 Materiales y equipos

Se presenta en la Tabla 8 todos los materiales y equipos que fueron empleados para la elaboración del estudio para determinar la erosión hídrica en la microcuenca del río Palacara.

Tabla 8.

Materiales y equipo para determinar la Erosión Hidrográfica del suelo

Materiales y Equipos	
Materiales	Cartografía digital en diferentes escalas. Software ArcGIS Base de datos del INAMHI Base de datos IGM
Equipos	GPS Computador Vehículo Disco extraíble Flash memory Cámara fotográfica Cilindros Envases plásticos
Insumos	Imágenes satelitales landsat 7 Fotografías aéreas Base de datos del modelo RUSLE

CAPÍTULO IV

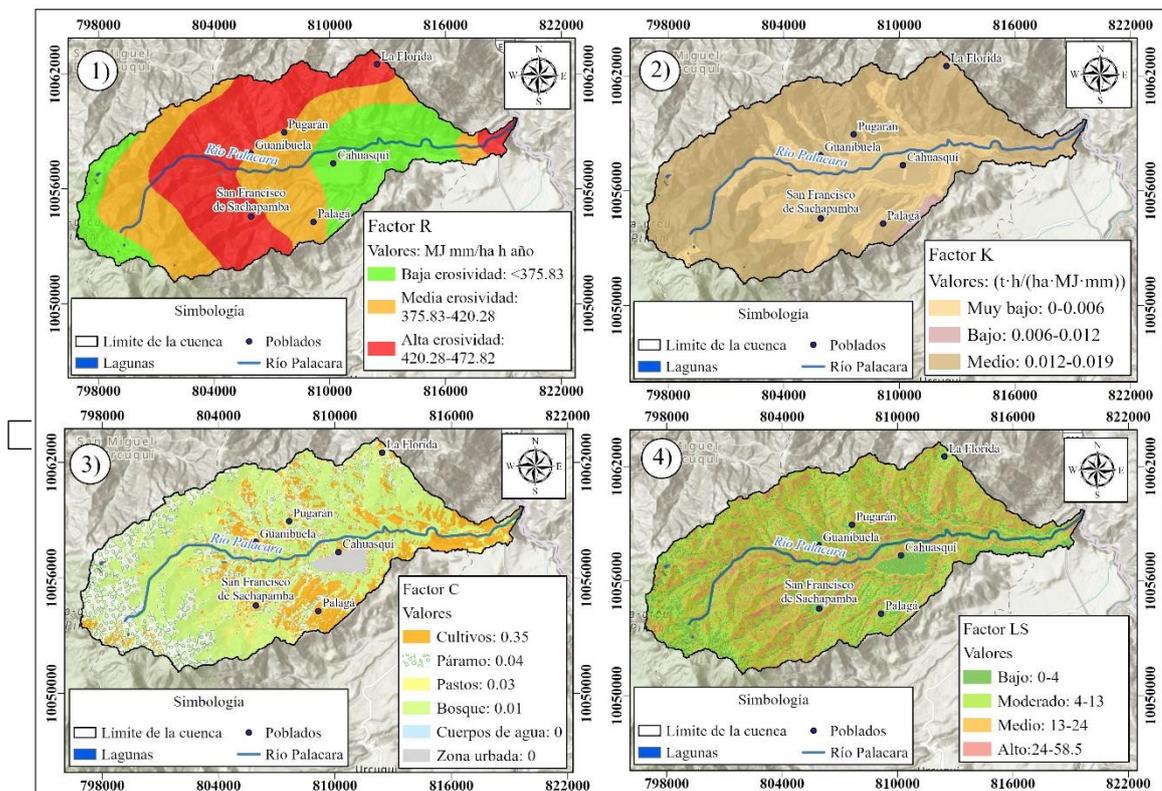
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Cálculo de los factores del modelo RUSLE de la cuenca del río Palacara

Se especifica cada uno de los resultados obtenidos de los factores que comprenden el Modelo matemático RUSLE y su distribución espacial (Figura 9)

Figura 9.

Factores de riesgo asociados a la erosión hídrica



1. **Factor de Erosividad de la lluvia (R):** A través de la aplicación de la fórmula propuesta por Wischmeier (1978) y los datos obtenidos se muestra la distribución espacial de la erosividad de la lluvia en la microcuenca del río Palacara

en la Figura 9. La microcuenca hidrográfica del río Palacara cuenta con tres categorías (baja, media, alta) que representan la erosividad de la lluvia en el área, la Figura 9 enseña cómo se encuentra distribuido geográficamente el factor R, las áreas que cuentan un valor menor a 375,83 son zonas en que la lluvia es de baja intensidad erosiva, a diferencia de las zonas donde el valor va desde 420,28 a 472,82 que significa que la lluvia en esa área tiene una alta intensidad erosiva, siendo valores significativos para la generación de erosión hídrica en la microcuenca.

2. Factor de Erodabilidad de Suelo (K): En el área de estudio el tipo de suelo que predomina es Durustoll el cual posee una textura franco-arenosa, valor obtenido a través del análisis de laboratorio, en los cuales se destaca que en la cuenca media existe un valor de 57,60% de arena, 31,60% de limo, 10,80% de arcilla, y en la cuenca baja un 61,60% de arena, 30% de limo y 8,40% de arcilla, los cuales cuentan con una textura Franco arenosa. Los valores de la distribución espacial del factor K que se presentan en la microcuenca oscilan entre un rango de 0 a 0,019 t /ha/MJ-1 mm-1ha-1 (Figura 9). Los valores de este factor se agrupan en tres categorías, que son de 0 a 0,0065 (Bajo), 0,0065 a 0,012 (Medio), 0,012-0,019 (Alto), en la mayor parte de la cuenca predomina el rango más alto, y en menor cantidad los rangos de medio y bajo. Los valores que se encuentran en esta cuenca corresponden a una erodabilidad natural (0,01) (Ramírez et al., 2009).

3. Factor Topográfico (LS): En el área de estudio se cuenta con rangos que oscilan entre 0,4 (Bajo) el cual tiene predominancia dentro de la microcuenca, 4-13 (Moderado), 13-24 (Medio) y 24-58,5 (Alto) que es el segundo en prevalecer en las áreas con relieves montañosos y las partes altas de la microcuenca (Figura 9). El área de estudio cuenta con zonas escarpadas, con laderas montañosas en su mayoría los cuales presentan valores altos de erodabilidad, siendo áreas con mayor susceptibilidad al desprendimiento de partículas de suelo, pérdida de materia orgánica por la intensidad de la lluvia, mientras que en las pocas zonas planas se presenta un valor bajo de erodabilidad, sin embargo, en estas zonas es donde tienden a acumularse los sedimentos, sobre todo en las laderas del río Palacara. Los valores

del LS van en un rango de 0 a 58,5, los cuales son similares a los valores (0,01 a 0,067) a los obtenidos en la cuenca del río Mira.

4. Factor de Cobertura del Suelo (C): En la microcuenca del río Palacara se identificaron 6 tipos de cobertura vegetal (Figura 9), Dentro de la microcuenca del río Palacara se encuentra distribuida espacialmente la cobertura del suelo, de tal forma que en la zona alta predomina el páramo, seguido de bosques, vegetación arbustiva, y pastos, en la zona media se encuentran en la mayoría los cultivos, en la zona baja predomina la zona urbana. La clasificación de la cobertura está establecida en base al modelo Morgan, para establecer los valores del Factor C en la microcuenca del río Palacara se tomó como base el estudio realizado por (Arias-Muñoz et al., 2023), en el cual se evaluó los tipos de cobertura con el territorio, estableciendo valores estandarizados para la aplicación en nuevas investigaciones.

5. Factor de Prácticas de Conservación (P): En la microcuenca del río Palacara no existe prácticas de conservación por ende el valor a este factor es de 1, tomando en cuenta lo mencionado. Como menciona De Noni & Trujillo (2010), en el callejón interandino se presenta una erosión acelerada debido a la elevación en la cordillera de los Andes, sobre todo en la Sierra Ecuatoriana, a diferencia de la Costa y el Oriente donde baja representativamente el riesgo de aceleración de la erosión.

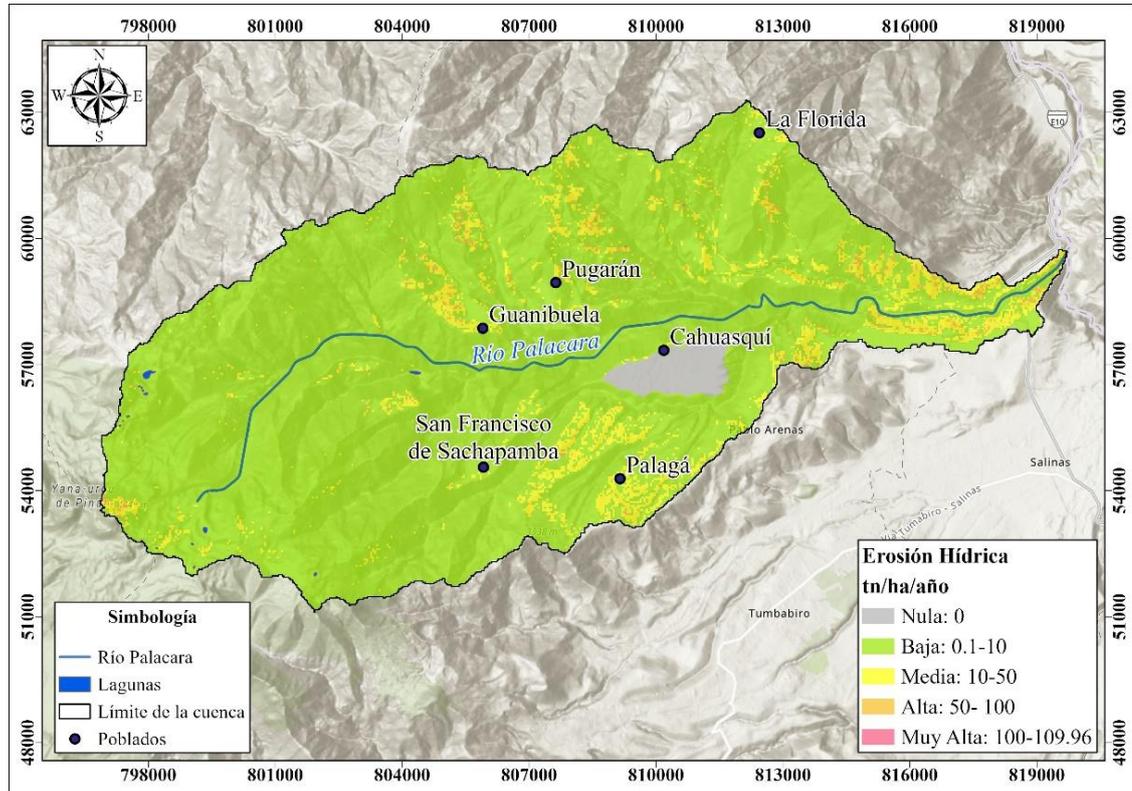
4.2 Simulación de la Erosión Hídrica en la Microcuenca del río Palacara mediante la Aplicación del Modelo Hidrológico RUSLE

Los valores de erosión presentes en la microcuenca del río Palacara se encuentran en un rango de 0 a 109,961 tn/ha/año (Figura 10). La erosión tiene una relación estrecha con la pendiente del terreno, los rangos altos y muy alto se ubican en zonas con pendiente montañosa, como afirma Koirala et al. (2019) que en la región de los Andes al ser un área montañosa los rangos de erosión pueden variar de entre 514 y 873,3 tn/ha/año, esto se confirma con el estudio realizado por Arias-

Muñoz et al. (2023), donde los valores obtenidos de erosión fueron de 812,30 tn/ha/año para la cuenca media alta del río Mira.

Figura 10.

Suceptibilidad de la Erosión hídrica en el área de estudio



Los rangos que presenta la microcuenca del río Palacara son siete, que van desde erosión nula (0) a muy alta (100-109,961), en las áreas donde se presenta un rango de erosión alta y muy alta, corren el riesgo de ascender a erosión crítica en caso de no mitigar el problema con la aplicación de estrategias adecuadas para generar prácticas de conservación. Dentro del área de estudio los rangos que predomina es la erosión Baja (0,1-10) como se puede observar en la Tabla 9, donde se encuentra el área que abarca cada rango, esto se debe a que los factores del modelo RUSLE alcanzan valores medios, estos definidos por el tipo de suelo, la precipitación, la cobertura y la pendiente.

Tabla 9.*Superficie que abarca cada rango de erosión hídrica en la microcuenca*

Erosión hídrica	Valores (tn/ha/año)	Área (ha)
Nulo	0	295,85
Bajo	0-10	13.041,7
Media	10-50	1.056,39
Alta	50-100	119,39
Muy Alta	100- 109,96	0,31

El valor promedio de la erosión que presenta el área de estudio es de 3.56 tn/ha/año, el cual corresponde al rango de tasa de erosión muy baja con una caracterización de ser un área con procesos de erosión muy bajos y pérdidas de suelo tolerables. Este valor tiene que ver con las pendientes, el factor de precipitación, las características y tipo de suelo, las prácticas de conservación y la cobertura vegetal (Koirala et al., 2019). En la Tabla 10 se presenta la descripción de las categorías de erosión que están presentes en la microcuenca.

Tabla 10.*Categorías de erosión y sus principales características*

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

Nota: Tomado de González et al. (1997).

4.2.1 Cálculo de la pérdida de suelo en mm

- **Sectores puntuales**

La densidad aparente del suelo varía en varios puntos en la microcuenca del río Palacara, la formación de suelo que es de 0,083 mm/año tomando en cuenta que para la formación de 25 mm de suelo es necesario que trascurren 300 años, ya que es un proceso lento para su generación (Hudson, 1982). Tomando en cuenta la densidad aparente y la formación del suelo, la microcuenca del río Palacara en los sectores puntuales de Pugarán y San Francisco de Sachapamba, la pérdida de suelo supera en gran dimensión a la formación de suelo, en el caso de Pugarán la pérdida de suelo es 16 veces más que la formación de suelo y en San Francisco de Sachapamba 3,7 veces más. En los sectores puntual de la Mina-Imbavial, Pablo Arenas, Cahuasqui y Guanibuela la erosión de suelo no supera la formación de suelo (Tabla 11).

Tabla 11.

Cálculo de la pérdida de suelo

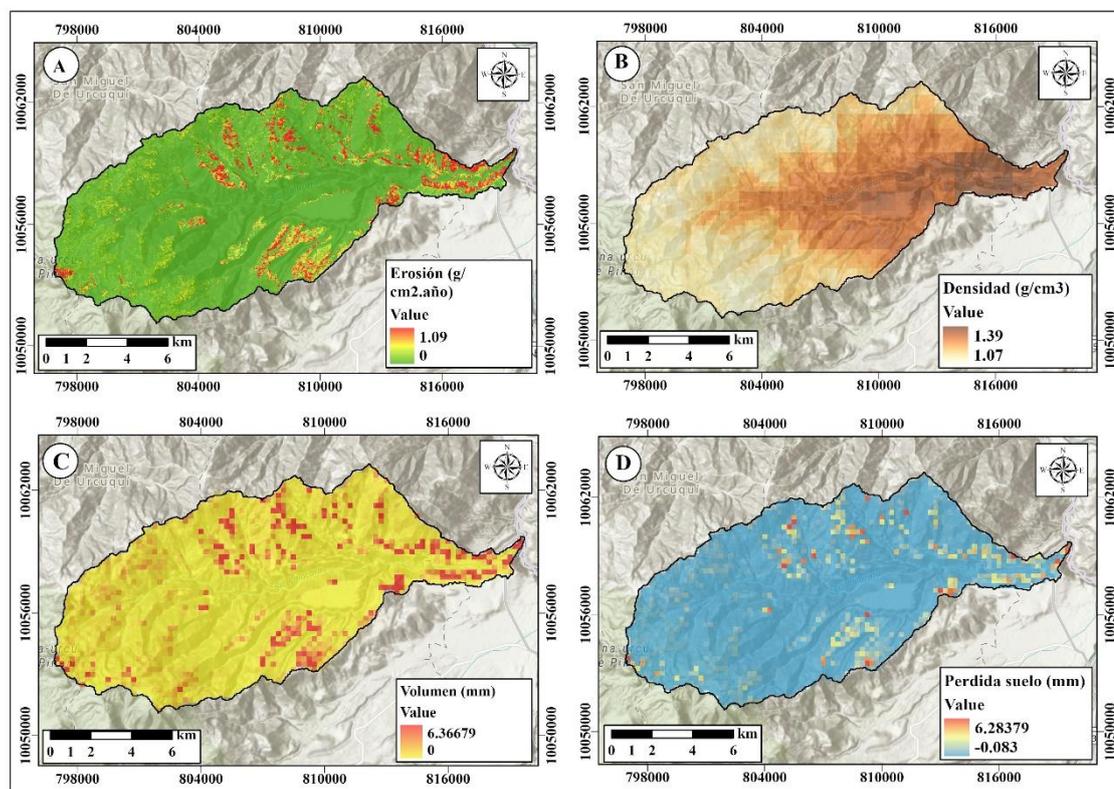
Sectores Puntuales	Erosión ton/ha/año	Erosión g/cm ² .año	Densidad aparente (g/cm ³)	Volumen Suelo (cm)	Volumen Suelo (mm)	Formación de suelo en mm durante un año (mm)	Pérdida de suelo sobre el umbral (mm)	Porcentaje pérdida de suelo (%)
MINA-IMBAVIAL	0,5	0,005	1,54	0,0032	0,03	0,083	-0,05	-61
Pablo Arenas	0,000034	3,40E-07	1,74	0,00000020	0,0000020	0,083	-0,08	-100
Cahuasqui	0,000081	0,00000081	1,88	0,00000043	0,0000043	0,083	-0,08	-100
Pugarán	19,336391	0,19336399	1,36	0,14	1,42	0,083	1,34	1606
Guanibuela	0,00012069	1,2069E-06	1,31	0,00000092	0,0000092	0,083	-0,08	-100
San Francisco	5,218190	0,0521819	1,32	0,04	0,40	0,083	0,31	374

- **Pérdida media de suelo en mm**

La densidad aparente media del suelo en la microcuenca del río Palacara es de 1,22 y la formación de suelo que es de 0,083 mm/año. Tomando en cuenta la densidad aparente, la formación del suelo y la erosión media, la microcuenca del río Palacara tiene una pérdida de suelo de 0,21 mm que representa una pérdida de suelo porcentual de 250%, dando a entender que la pérdida de suelo es 2,5 veces más en comparación de la formación del recurso (Figura 11).

Figura 11.

Distribución espacial de los factores que comprenden la pérdida de suelo en mm



Nota: La imagen A comprende el modelo RUSLE que es la erosión de suelo en unidades $g/cm^2 \cdot año$, la imagen B corresponde a la densidad del suelo en g/cm^3 , la imagen C es el volumen de suelo (mm) que es el resultado de la división de la imagen A/B multiplicada por 10 y finalmente la imagen D que es la pérdida de suelo sobre el umbral (mm) y comprende la resta del volumen del suelo (mm) menos 0.083 que es la formación de suelo en mm durante un año.

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

Se presenta los resultados de los SY de campo y el SY calculados y la validación con los datos.

4.2.2.1. Carga sedimentaria a partir de datos obtenidos en el análisis de las muestras tomadas en campo

Se presenta los resultados de los análisis de las muestras de agua obtenidos en laboratorio.

- **Cálculo de la concentración de sólidos en suspensión en la microcuenca del río Palacara**

Se obtuvo 36 valores que corresponden a tres repeticiones de cada muestra, los resultados obtenidos se detallan en el Anexo 18.

- **Cálculo del caudal del río Palacara**

El caudal promedio que tiene la estación H0015 Chota en Pte. Carretera del INAMHI es de 23,69 y su extensión superficial es de 183.232,41 ha y la microcuenca del río Palacara tiene una superficie de 14.575,19 ha, dando como resultado que el caudal de la microcuenca del río Palacara es de 1,88 m³/s.

- **Cálculo de sedimentos en suspensión (tn/ha/año) de datos tomados en el área de estudio.**

Se obtuvieron 36 valores, cada uno fue multiplicado por el caudal que es de 1,88 m³/s y por la superficie de la microcuenca que es de 14.575,19 ha los cuales

fueron el promediados de las tres repeticiones que se realizaron por cada muestra llegando a consolidarse en 12 valores, se detalla el cálculo en el Anexo 18.

Tabla 12.

Sedimentos en suspensión (SYobservados)

Nro de muestra	SY observados
Muestra 1	0,52
Muestra 2	0,04
Muestra 3	0,79
Muestra 4	0,14
Muestra 5	0,08
Muestra 6	0,09
Muestra 7	0,16
Muestra 8	0,12
Muestra 9	0,86
Muestra 10	1,46
Muestra 11	0,49
Muestra 12	2,59

En la Tabla 12 se presenta los promedios de las tres repeticiones de cada muestra de agua.

4.2.2.2. Carga sedimentaria a partir de datos obtenidos en el modelo matemático RUSLE

En la microcuenca del río Palacara la cantidad de suelo erosionado (SDR) es de 0,197 ha y el valor de la producción de sedimentos (SY) es de 0,64 tn/ha/año. El Pbias es un indicador de sesgo que se empleó para evaluar y validar el modelo con respecto a la producción de sedimentos, en este caso el modelo sobreestima un 4,62% entre los valores simulados y observados, lo que infiere que el modelo es muy bueno tomado en cuenta lo establecido por Moriasi et al. (2007) en un estudio en el cual menciona que los valores menores a 15% representan un modelo considerado muy bueno y una simulación más precisa.

El valor determinado en la raíz del error cuadrático medio (RMSE), presenta un rango de error de 0,72, lo que da a entender que existe una alta precisión del modelo predictivo RUSLE con respecto a la simulación de la erosión hídrica en el área de estudio, como menciona en un estudio realizado por Singh et al. (2005) en el que expresa que los valores cercanos a cero indican un buen ajuste del modelo e indica la precisión predictiva del mismo.

4.3 Establecer estrategias para el manejo del recurso suelo en la microcuenca Hidrográfica del río Palacara

Se plantean estrategias para prevenir la erosión hídrica en la microcuenca del río Palacara, tomando en cuenta que es un área con pendientes pronunciadas que tienden a aumentar los niveles de erosión. Estas acciones responden a la carencia de programas de conservación y a la ausencia de prácticas adecuadas para la explotación sostenible del recurso suelo, una problemática evidenciada en la región.

Entre los factores naturales más significativos observados se identifican pendientes pronunciadas, que exigen una protección adicional contra la erosión causada por la lluvia. Para mitigar este problema, se propone implementar un **programa de manejo sostenible del suelo** que integre las siguientes prácticas:

- **Cultivos de cobertura:** Ayudan a proteger el suelo, reducir la escorrentía y aumentar la infiltración de agua (Onelia et al., 2002).
- **Barreras vivas:** Consisten en el uso de vegetación para interceptar el flujo del agua y estabilizar el terreno (Castillo & Iriarte, 2014).
- **Cultivos en terrazas:** Reduce la velocidad de la escorrentía en pendientes y promueven un uso más eficiente del suelo (Altieri & Nicholls, 2000).

Además, se evidencia un manejo inadecuado en las prácticas agrícolas a gran escala en cultivos como granadilla, maíz y café, los cuales requieren sistemas de riego por goteo constante, acelerando así la erosión del suelo. Este problema exige la implementación de un **programa de conservación del suelo** que esté acompañado de una **estrategia de educación ambiental** para fomentar un uso racional del recurso y sensibilizar a los productores sobre las consecuencias del mal manejo agrícola.

Importancia de las Estrategias para la Cuenca del Río Palacara

La cuenca hidrográfica del río Palacara es un sistema natural interdependiente, donde la estabilidad de las pendientes es fundamental para mantener el equilibrio hídrico y minimizar el riesgo de desastres naturales. Las estrategias planteadas buscan mitigar los procesos que generan erosión y también promover la sostenibilidad ambiental, a través de la restauración y conservación de los ecosistemas naturales. Estas medidas son indispensables para garantizar la funcionalidad ecológica de la cuenca del río Palacara y asegurar el bienestar de las comunidades que dependen directamente de sus recursos hídricos.

4.3.1. Matriz FODA

En la Tabla 13 se detallan las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que presenta el área de estudio.

Tabla 13.*Matriz FODA del área de estudio*

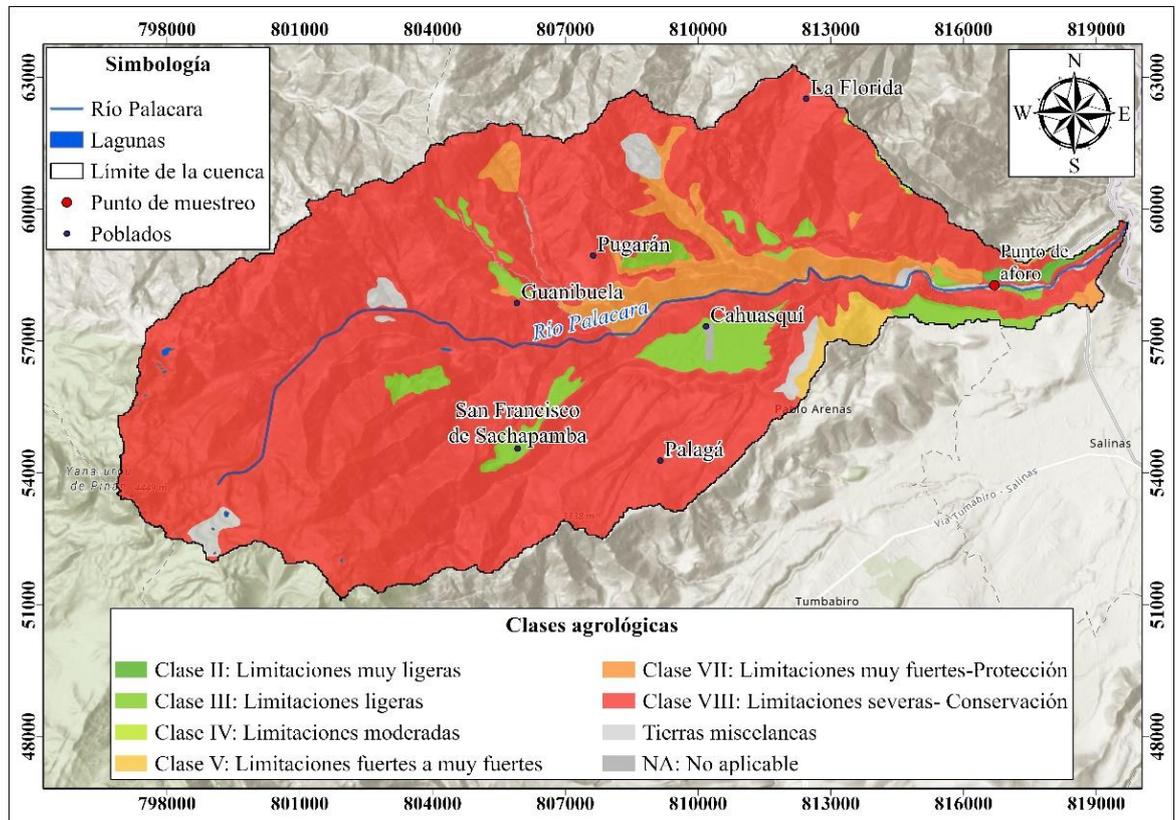
Fortalezas	Oportunidades
F1: Disponibilidad de base de las clases agrológicas, cuenta con un 0.36% de clase agrológica I.	O1: Posibilidad de implementar programas de manejo sostenible del suelo.
F2: Conciencia creciente sobre el impacto de la erosión en la producción agrícola y calidad del agua	O2: Futuros consensos para la conservación de los recursos suelo e hídrico.
F2: Predominancia de erosión baja en la microcuenca.	O3: Avances tecnológicos que facilitan el modelamiento y monitoreo de la erosión del suelo.
Debilidades	Amenazas
D1: El 86,6% de la superficie de la microcuenca son de clases agrológicas no aptas para usos agrícolas.	A1: Cambio climático que puede alterar los patrones de lluvia y erosión.
D2: Dificultades de acceso a zonas de la parte alta de la cuenca.	A2: Avance de la frontera agrícola
D3: Pendientes pronunciadas	A3: Conflictos socioambientales por el uso del agua y del suelo.

4.3.2 Identificación de estrategias

En la Figura 12 se observa cómo se encuentra distribuida las clases agrológicas del suelo en toda la microcuenca del río Palacara.

Figura 12.

Clases Agrológicas de la microcuenca del río Palacara



En la microcuenca del río Palacara se encuentran 6 clases agroecológicas, conocer la clasificación es muy importante ya que permite tener una planificación adecuada del uso del suelo con respecto a sus capacidades y así aprovechar de forma sostenible y apropiada este recurso sin comprometer a las generaciones futuras (Klingebiel y Montgomery, 1961). Cada clase que se presenta en la Tabla 14 tiene sus limitaciones con respecto a la capacidad productiva.

Tabla 14.*Clases agrológicas de la microcuenca del río Palacara*

Limitaciones	Clase	Característica	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Limitaciones moderadas	Clase II	Riesgo de erosión moderados	53.502	0.367
Importantes limitaciones	Clase III	Serios riesgos de erosión	804.041	5.517
Limitaciones permanentes y severas	Clase IV	Intensa erosión	12.756	0.088
Limitaciones fuertes y permanentes	Clase V	Ligeros riesgos de erosión	157.407	1.080
Limitaciones permanentes y severas	Clase VII	Severa erosión	896.610	6.152
Limitaciones extremas	Clase VIII	Nula erosión (Suelo de conservación)	12297.800	84.375
Limitaciones extremas	Tierras misceláneas	Limitaciones extremas (Factores restrictivos)	297.276	2.040
Limitaciones extremas	No aplicable	No aplicable	55.781	0.383
			14575.173	100%

4.3.3. Diseño de estrategias

En la microcuenca del río Palacara existe un inadecuado uso del suelo lo que conlleva a generar grandes desprendimientos de partículas de suelo, deteriorando el recurso y los ecosistemas asociados al mismo, por lo cual se implementan tres estrategias enfocadas en tres clústeres de niveles de erosión que presenta el área de estudio, aplicando la metodología FODA. Para establecer las estrategias se usó el FA (Fortalezas-Amenazas), como Fortalezas internas se tiene las clases agrológicas y el conocimiento de los niveles de erosión y como amenazas externas el avance de la frontera agrícola, el uso de químicos que generan la pérdida de fertilidad del suelo. Las estrategias basadas al FO (Fortalezas-Oportunidades) se enfocan en el interés de los pobladores a querer conservar en buen estado sus suelos y el conocimiento de la erosión en el área.

- **Estrategia 1: Programa de implementación de prácticas de restauración del suelo en zonas con alto nivel de erosión hídrica**

Ubicación: Cahuasqui, Guanibuela, Pugarán, San Francisco de Sachapamba, La Florida, Palagá.

Justificación

En la microcuenca del río Palacara la erosión alta y muy alta intercepta con las clases agrológicas II, III, IV, V, VII y VIII, tomando en cuenta que solamente la clase agrológica II son suelos adecuados para la agricultura la cual ocupa solo un 0,36% de la superficie de la microcuenca y se encuentra en procesos de erosión que van de bajo a alta con predominación de la moderada, las demás clases agrológicas también se encuentran en procesos de erosión de moderada a alta y muy alta, siendo zonas que se han destinado a cultivos intensos genera una alta tendencia a ascender a erosión crítica o severa, además pone en riesgo la sustento de la comunidad dedicada a la agricultura.

Las estrategias de restauración que se proponen para estas áreas son terrazas de infiltración barreras vivas y las zanjas de infiltración ya que permiten reducir la escorrentía superficial, minimizar significativamente la pérdida de suelo fértil y disminuir el arrastre de sedimentos. Estas prácticas permiten una mayor adaptabilidad al relieve montañoso de la zona y contribuyen al incremento de la humedad del suelo, evitando su compactación y mejorando su capacidad productiva, con el fin de fortalecer la sostenibilidad del ecosistema y mejorar el bienestar de las comunidades (Tabla 15).

Objetivo general

Proponer prácticas de restauración del suelo en comunidades rurales ubicadas en zonas críticas de la cuenca del río Palacara, con un mayor énfasis en zonas de alta erosión y clase agrológica II a través de la difusión de información especializada que permita concienciar sobre los riesgos asociados a la erosión hídrica y promover prácticas de conservación del suelo con el fin de minimizar la pérdida de suelo fértil y proteger los recursos hídricos.

Meta

Capacitar a los residentes locales en aspectos elementales relacionados con adecuadas prácticas de restauración, así como en las estrategias para su gestión adecuada, con la finalidad de mantener la clase agrológica II apta para subsistir en el tiempo y no afectar la generación de productos agrícolas a futuro, además de que las demás clases recuperen sus propiedades y estructura de suelo minimizando la erosión y evitar que siga incrementando (Figura 13).

Tabla 15.

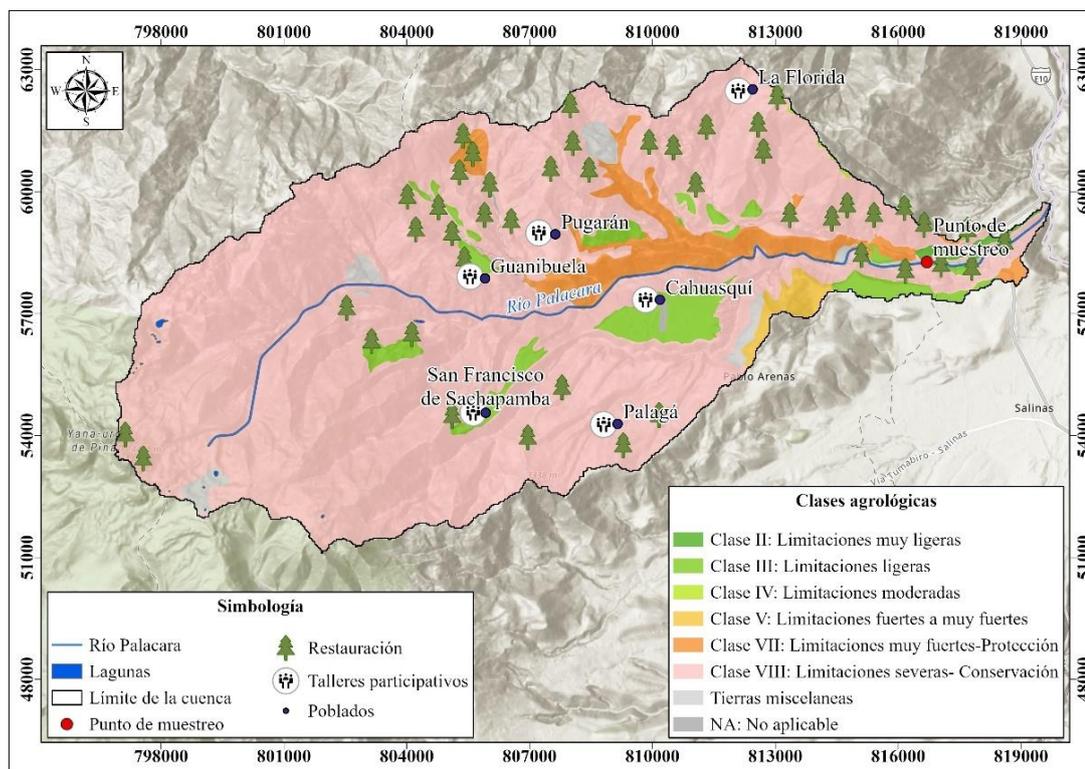
Programa de prácticas de restauración del suelo

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Diagnóstico participativo con las comunidades locales	Número de talleres realizados y comunidades involucradas	Actas de reuniones, listas de asistencia	Al menos 5 comunidades rurales involucradas	<ul style="list-style-type: none">▪ GAD parroquial▪ Promotores comunitarios▪ técnicos agropecuarios, universidades
Generar una guía física y didáctico para promover la cultura de las prácticas de restauración en temas agrícolas.	Número de reproducciones y folletos entregados.		Fomentar la concientización de la comunidad acerca de las prácticas adecuadas para el manejo del recurso suelo.	
Organizar charlas informativas sobre la importancia de la restauración y conservación de suelo.	Número de capacitaciones. Número de asistentes.	Registro de asistencias. Fotografías	Unidades educativas.	

Implementación de cultivos en terrazas en laderas de fuerte pendiente.	Número de terrazas construidas.	Fotografías georreferenciadas, fichas técnicas de implementación	Zonas con pendientes >25° y erosión >80 tn/ha/año.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ GAD parroquial ▪ Ministerio de Agricultura ▪ Comunidad organizada
Aplicación de cultivos en franjas intercaladas con vegetación perenne.	Número de hectáreas intervenidas con franjas.	Registros de campos, croquis de diseños de parcela.	Predios agrícolas ubicados en zonas de erosión alta.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Técnicos agropecuarios ▪ Productores locales ▪ Universidades
Capacitación práctica sobre conservación de suelos en zonas críticas	Número de capacitaciones realizadas.	Lista de asistencia, material didáctico distribuido.	Productores de al menos 3 sectores de riesgo muy alto.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Extensionistas rurales ▪ Promotores comunitarios
Monitoreo comunitario de la efectividad de las terrazas y franjas	Número de monitoreos participativos.	Informes, encuestas de percepción.	Seguimiento semestral en zonas tratadas.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ GAD parroquial ▪ Organizaciones locales

Figura 13.

Ubicación geográfica de la estrategia 1: Programa de implementación de prácticas de restauración



Nota: Las prácticas de restauración se encuentran ubicadas en áreas donde la erosión va de alta a muy alta.

- **Estrategia 2: Programa preventivo agroecológico para la conservación del suelo en zonas de erosión moderada y media**

Ubicación: Cahuasqui, Guanibuela, Pugarán, Palagá, San Francisco de Sachapamba, La Florida.

Justificación

En la zona media de la cuenca del río Palacara, las áreas con niveles de erosión moderada y media se presentan una mayor incidencia en la clase agrológica VIII y en menor intensidad en la clase II. Aunque la pérdida de suelo aún no es crítica, el manejo inadecuado del recurso suelo junto con actividades agrícolas intensivas e inadecuadas, podría intensificar el proceso erosivo. Estas zonas presentan una textura franco-arenosa, alta erodabilidad y pendientes que oscilan entre 13° y 24°, condiciones que las hacen vulnerables a la escorrentía y al arrastre de sedimentos. Por ello, se propone un programa que actúa con un enfoque preventivo mediante la aplicación prácticas agroecológicas. Asimismo, la educación ambiental comunitaria es indispensable para sensibilizar a los productores y fomentar la adopción de técnicas sostenibles con el fin de mantener su capacidad productiva a largo plazo (Tabla 16).

Objetivo General

Diseñar e implementar un programa preventivo para el manejo sostenible del suelo, que beneficie a las comunidades rurales, especialmente a las que están situadas en áreas con niveles moderados y medios de erosión dentro de la cuenca del río Palacara. Promoviendo prácticas agroecológicas como la rotación de cultivos, la incorporación de cultivos de cobertura y el uso de abonos orgánicos, con el fin de conservar la fertilidad del suelo, disminuir su desgaste y asegurar la producción agrícola a futuro.

Meta

Capacitar a las comunidades rurales en el uso de técnicas agroecológicas que mejoren la fertilidad del suelo, fomenten la cobertura vegetal permanente y eviten el avance de la erosión, logrando la adopción de al menos tres prácticas por cada unidad productiva intervenida en los diferentes sitios de la microcuenca (Figura 14).

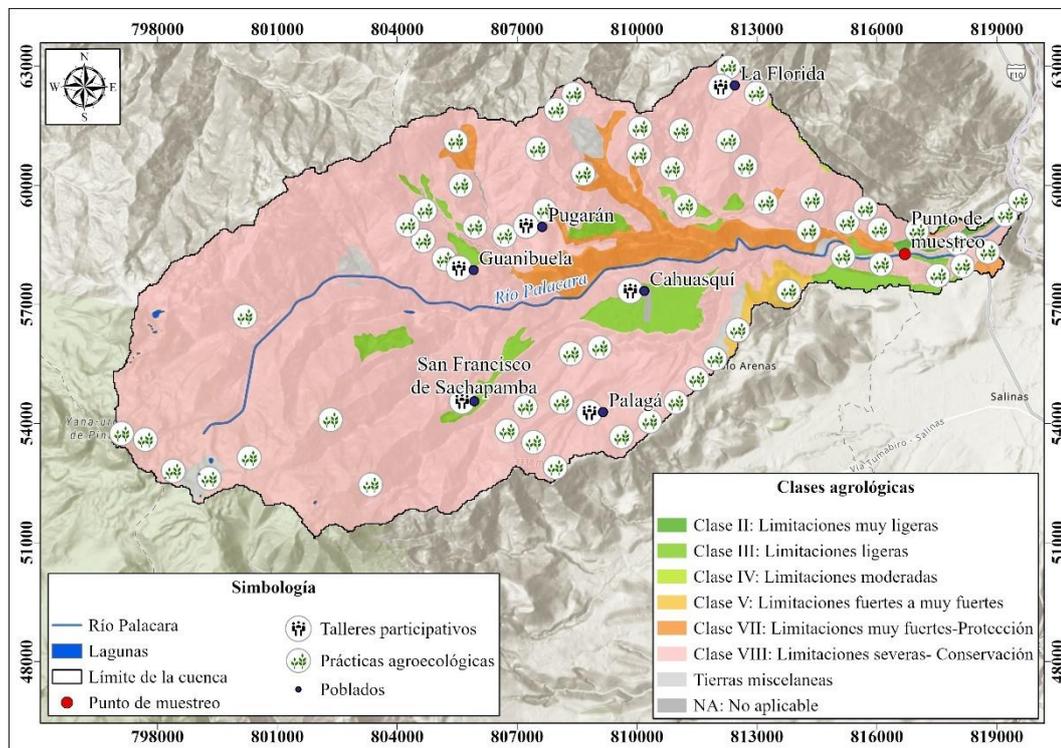
Tabla 16.

Programa de preventivo agroecológico

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Diagnóstico participativo de prácticas agrícolas actuales en zonas con erosión media y moderada.	Número de comunidades y parcelas evaluadas.	Actas de reuniones, fichas técnicas.	Comunidades de la zona media de la cuenca.	<ul style="list-style-type: none">▪ GAD parroquial▪ Técnicos agropecuarios
Capacitación en cultivos de cobertura y rotación de cultivos para la protección del suelo.	Número de capacitaciones y hectáreas intervenidas.	Listas de asistencia, fotografías,	Parcelas familiares en zonas agrícolas activas.	<ul style="list-style-type: none">▪ Ministerio de Agricultura▪ Promotores rurales
Implementación de abonos orgánicos (compost, bocashi) y prácticas de fertilización natural.	Cantidad de compost producido/aplicado.	Registros técnicos, visitas de seguimiento.	Grupos comunitarios organizados.	<ul style="list-style-type: none">▪ Organizaciones comunitarias▪ ONG ambiental
Talleres de educación ambiental comunitaria sobre prevención de la erosión y conservación del suelo.	Número de talleres y participantes.	Registros de asistencia, material entregado.	Comunidades rurales priorizadas.	<ul style="list-style-type: none">▪ Universidades▪ GAD cantonal
Difusión de resultados y buenas prácticas exitosas a nivel local.	Número de publicaciones y eventos de socialización.	Fotografías, testimonios comunitarios	Productores y familias beneficiarias.	<ul style="list-style-type: none">▪ Coordinación interinstitucional

Figura 14.

Ubicación geográfica de la estrategia 2: Programa preventivo agroecológico



Nota: El programa preventivo agroecológico para la conservación del suelo está enfocado a las zonas de erosión moderada y media

- **Estrategia 3: Programa comunitario de conservación preventiva y el uso de abonos orgánicos en zonas con erosión hídrica baja**

Ubicación: Cahuasqui, Guanibuela, Pugarán, San Francisco de Sachapamba, La Florida, Palagá.

Justificación

Las zonas con erosión hídrica baja representan áreas que aún conservan su funcionalidad ecológica y se encuentra en la mayor parte de la microcuenca y en todas las clases agrológicas sobre todo en la clase VII donde existe limitaciones extremas y solo pueden ser usadas para pastoreo controlado y la clase VIII (Tierras misceláneas) que son solo para conservación de fauna silvestre y reservas naturales,

además tiene incidencias mínimas en la clase agrológica II. Sin embargo, existen zonas de cultivos en las clases no aptas para esta actividad, por ende, pueden acelerar los procesos de erosión. Ante esta situación, es fundamental la implementación del programa que se describe en la Tabla 17 que está orientado al uso de abonos orgánicos en la clase agrológica II y en áreas de cultivos y pastos, como una herramienta efectiva y accesible para conservar el recurso suelo, reducir la escorrentía, fortalecer la capacidad productiva de los agricultores y minimizar la dependencia de insumos de insumos químicos.

Las prácticas de conservación y protección se encuentran ubicadas en la clase agrológica VII y VIII (Tierras misceláneas), ya que constituyen gran parte de los bosques, páramo y vegetación arbustiva (Figura 15)

Objetivo general

Promover el cuidado del suelo, mediante la implementación prácticas de conservación, áreas de protección y el uso de abonos orgánicos como estrategia preventiva sustentada en la participación comunitaria en las comunidades rurales de la cuenca del río Palacara.

Meta

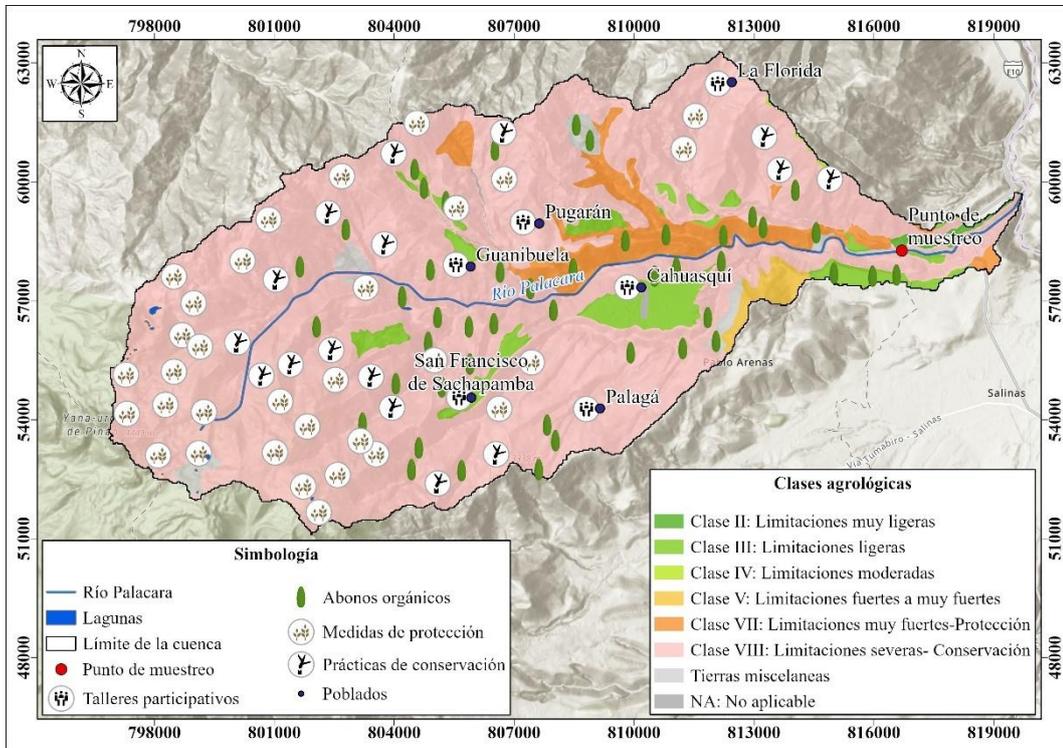
Capacitar a las comunidades locales en prácticas de conservación, protección y uso de abonos orgánicos con el fin de concientizar, reducir el uso de fertilizantes sintéticos y el uso inadecuado del suelo (avance de la frontera agrícola).

Tabla 17.*Programa comunitario de conservación preventiva y uso de abonos verdes*

Actividades	Indicadores	Medios de verificación	Alcance	Responsables
Diagnóstico inicial sobre conocimientos y prácticas agrícolas actuales	Número de encuestas aplicadas y comunidades evaluadas	Informes de diagnóstico, bases de datos	comunidades rurales evaluadas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ GAD parroquiales, técnicos agroambientales
Talleres de elaboración y uso de abonos orgánicos.	Número de talleres. Número de asistentes.	Registro de asistencias. Material didáctico Fotografías	Mínimo 100 agricultores locales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ MAATE ▪ Técnicos ambientales ▪ líderes comunitarios. ▪ GAD cantonal
Entrega de incentivos (insumos, semillas, herramientas)	Número de beneficiados listado de incentivos entregados.	Registros de entrega. Fichas de seguimiento fotografías.	Agricultores Familias rurales 1 parcela por comunidad	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Comunidades Promotores ambientales
Establecimiento de parcelas demostrativas	Numero de parcelas instaladas y practicas aplicadas	Fotografías Informes y técnicos		
Monitoreo del impacto del suelo	Numero de evaluaciones realizadas	Informes técnicos comparativos	100 % de las parcelas piloto	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Técnicos del MAATE ▪ Universidades
Campañas de difusión y conservación preventiva	Numero de material didáctico	Boletines, trípticos, numero de campañas	5 comunidades rurales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ GADS parroquiales

Figura 15.

Ubicación geográfica de la estrategia 3: Programa comunitario de conservación preventiva y uso de abonos verdes.



CAPITULO VI

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La erosión hídrica en la microcuenca del río Palacara presenta valores que oscilan entre 0 y 109,96 tn/ha/año, con un valor promedio de 3,56 tn/ha/año. Esto demuestra que en el área de estudio la erosión es muy baja y presenta pérdidas tolerables de suelo. Al relacionarse la erosión hídrica con varios factores, se evidencia que la erosión es nula en zonas donde la erodabilidad del suelo es baja, en las áreas de páramo y bosque el rango de erosión va de Nulo a Bajo y donde existe procesos de erosión que van de moderada hasta muy alta son áreas donde se encuentra la presencia de cultivos, áreas de pastoreo y pendientes pronunciadas, por ende, es esencial fomentar el equilibrio entre las actividades productivas y la protección del medio ambiente con el fin de evitar y disminuir los niveles de erosión en el área.

- En la validación del modelo, el índice Pbias da un valor de -4.62% lo que indica que el modelo tiene una ligera sobreestimación de un 4.62 entre los valores calculados sobre los valores observados, sin embargo, sugiere una alta precisión ya que se encuentra dentro de los rangos aceptables (<15%). Asimismo, el RMSE fue de 0.72, lo que implica que el modelo presenta una desviación mínima, y se ajusta de forma adecuada a los datos observados. Estos datos confirman la capacidad predictiva del modelo RUSLE para la simulación de la erosión hídrica en la microcuenca del río Palacara.

- Las estrategias son enfocadas al beneficio de los pobladores como al medio ambiente, ayudando a generar productos de calidad y fomentando las practicas adecuadas de producción, mediante los programas de conservación ambiental, producción respetuosa con el ambiente, la educación ambiental y socialización de temas de interés con las comunidades y actores claves se puede mitigar y prevenir la erosión hídrica en la microcuenca del río Palacara. Además, se tomo en cuenta las clases agrológicas ya que

rigen las actividades pertinentes que corresponden a cada área de terreno y la capacidad que tiene el suelo para la producción o realización de actividades antrópicas.

Recomendaciones

- Es fundamental ampliar los campos de información en las estaciones con respecto a los caudales de los ríos con el fin de crear una base datos sólida para la aplicación del modelo RUSLE, fomentando nuevas investigaciones que ayuden a extender la línea base de datos sobre la erosión hídrica en las cuencas hidrográficas del Ecuador.
- Modificar la metodología estándar para la medición de sedimentos, para facilitar las investigaciones futuras, logrando incentivar a nuevas personas a realizar estudios sobre la estimación de la erosión en todas las cuencas hidrográficas del país, además usar equipos de seguridad adecuados para las tomas de muestras de agua en los ríos.
- Se deberían aplicar encuestas a los pobladores de la comunidad a cerca de su interés para colaborar en la creación de programas o campañas de concientización sobre el uso de suelo y la adecuada gestión de este recurso tomando en cuenta los niveles de erosión y las clases agrológicas que tiene la microcuenca del río Palacara

6. REFERENCIAS

- Altieri, M., & Nicholls, C. I. (2000). *AGROECOLOGÍA Teoría y práctica para una agricultura sustentable 1 a edición*.
- Alvarez, P., & Jumbo- Flores, D. C. (2015). *Metales pesados en sedimentos riverinos de cuencas hidrográficas impactadas por minería en la región sur del Ecuador*.
- Andrés Ramírez-Ortiz, F., Hincapié-Gómez, ; Edgar, & Sadeghian-Khalajabadi, S. (2009). *erodabilidad de los suelos de la zona central cafetera del departamento de caldas 1*. 60(1), 58–71.
- Arias-Muñoz, P., Saz, M. A., & Escolano, S. (2023). Estimación de la erosión del suelo mediante el modelo RUSLE. Caso de estudio: cuenca media alta del río Mira en los Andes de Ecuador. *Investigaciones Geográficas*, 79. <https://doi.org/10.14198/ingeo.22390>
- Arnold, J. G., Srinivasan, R., Mutiah, R. S., & Williams, J. R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1). <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x>
- Asamblea Nacional. (2014). *Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua*. [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Ley%20Org%C3%A1nica%20de%20Recursos%20H%C3%ADdricos,%20Usos%20y%20Aprovechamiento%20del%20Agua%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Ley%20Org%C3%A1nica%20de%20Recursos%20H%C3%ADdricos,%20Usos%20y%20Aprovechamiento%20del%20Agua%20(1).pdf)
- Asamblea Nacional. (2016). *Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo*. [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Ley%20Org%C3%A1nica%20de%20Ordenamiento%20Territorial,%20Uso%20y%20Gesti%C3%B3n%20de%20Suelo%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Ley%20Org%C3%A1nica%20de%20Ordenamiento%20Territorial,%20Uso%20y%20Gesti%C3%B3n%20de%20Suelo%20(1).pdf)
- ASTM International. (2019). *Test Methods for Determining Sediment Concentration in Water Samples*. <https://doi.org/10.1520/D3977-97R19>

- Belasri, A., Lakhouili, A., Belasri, A., & Lakhouili, A. (2016a). Estimation of Soil Erosion Risk Using the Universal Soil Loss Equation (USLE) and Geo-Information Technology in Oued El Makhazine Watershed, Morocco. *Journal of Geographic Information System*, 8(1), 98–107. <https://doi.org/10.4236/JGIS.2016.81010>
- Belasri, A., Lakhouili, A., Belasri, A., & Lakhouili, A. (2016b). Estimation of Soil Erosion Risk Using the Universal Soil Loss Equation (USLE) and Geo-Information Technology in Oued El Makhazine Watershed, Morocco. *Journal of Geographic Information System*, 8(1), 98–107. <https://doi.org/10.4236/JGIS.2016.81010>
- Brea, D. J., & Balocchi, F. (2010). *Procesos de erosión- sedimentación en cauces y cuencas*. <http://www.unesco.org.uy/phi>
- Brea, J., & Balocchi, F. (2010). *Procesos de erosión, sedimentación en cauces y cuencas, volumen 1* (J. Brea & F. Balocchi, Eds.). UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000216338>
- Cajamarca Llauca, J. B., Hidalgo Pozo, M. J., Maldonado Reyes, F. B., Martínez Vergara, A. L., Méndez Vélez, F. S., Peñaherrera Lozada, C., Torres Criollo, L. M., Ulloa Castro, A. F., & Yambay Bautista, X. R. (2023). *Determinantes de salud ambiental*. Red Editorial Latinoamericana de investigación contemporánea. <https://doi.org/10.58995/lb.redlic.8>
- Carvajal Aguirre, L. F., & Montoya Gómez, M. (2020). *Spatial modeling of erosion factors from use of geographic information systems*.
- Casanova, G., Delgado, D., & Panchana, R. (2024). Estimation of sediment volumes due to rainfall erosion using RUSLE model in basins of the province of Manabí, Ecuador. *Revista de Teledeteccion*, 2024(63), 1–21. <https://doi.org/10.4995/raet.2024.20147>
- 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. <https://doi.org/10.4995/raet.2024.20147>

- Castillo, D. S., & Iriarte, T. C. (2014). *Alternativas de agricultura de conservación de suelos a través de la incorporación de leguminosas. 1(7)*.
- Chela, E., Monar, C., Valverde, F., & Cruz, E. (2008). Caracterización por erosión de las cuencas hidrográficas de la sierra ecuatoriana. *Congreso Ecuatoriano de La Ciencia Del Suelo*.
- De Noni, G. (1986). Breve visión histórica de la erosión en el Ecuador. *Documentos de Investigación, 6*, 15–22.
- De Noni, G., & Trujillo, G. (2010). Degradación del suelo en el Ecuador. *Revista Cultura, January 1986*.
- De Noni, G., & Trujillo, G. (2015). Degradación del suelo en el Ecuador: Principales causas y algunas reflexiones sobre la conservación de este recurso. *Revista Cultura, January 1986*.
- Echavarría-Cháirez, F. G., Medina-García, G., & Ruiz-Corral, J. A. (2020). Efecto en la erosión hídrica del suelo en pastizales y otros tipos de vegetación por cambios en el patrón de lluvias por el calentamiento global en Zacatecas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 11*. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11s2.4694>
- FAO. (2021, January 28). *Suelos sanos para una población y un planeta sanos: la FAO reclama que se revierta la degradación de los suelos*. <https://www.fao.org/newsroom/detail/agriculture-soils-degradation-FAO-GFFA-2022/es>
- Ganasri, B. P., & Ramesh, H. (2016). Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers, 7(6)*, 953–961. <https://doi.org/10.1016/J.GSF.2015.10.007>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal San Miguel de Urququí. (2023). *Segunda ordenanza que reforma a la ordenanza que aprueba la actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del Cantón San Miguel de Urququí exposición de motivos*.
- González, L., & Mendoza, M. (2016). *Estimación y evaluación de la erosión hídrica como factor clave en el marco del cambio climático*. https://www.researchgate.net/publication/309590131_estimacion_y_evaluaci

on_de_la_erosion_hidrica_como_factor_clave_en_el_marco_del_cambio_climatico

- González, M. (1991). La ecuación universal de pérdidas de suelo. Pasado, presente y futuro. *Ecología*, 5.
- González, M. J., Marauri, P., Merino, A., & Edeso, J. M. (1997). Determinación de la tasa de erosión hídrica en función del manejo forestal: la cuenca del río Santa Lucía (Gipuzkoa). *Lurralde: Investigación y Espacio*, ISSN 0211-5891, No 20, 1997, Págs. 67-104, 20(20), 67–104. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=300964>
- Hoyos, N., Waylen, P. R., & Jaramillo, Á. (2005). Seasonal and spatial patterns of erosivity in a tropical watershed of the Colombian Andes. *Journal of Hydrology*, 314(1–4), 177–191. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2005.03.014>
- (Instituto Geográfico Militar, [IGM]. (2024). *Instituto Geográfico Militar – Ecuador*. <http://www.geograficomilitar.gob.ec/>
- Hudson, N. (1982). *Conservación del suelo* (Reverté, Ed.). https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=u137pQPxYGAC&oi=fnd&pg=PA1&dq=25+mm+de+suelo+en+300+a%C3%B1os&ots=qe3ZLc32Zr&sig=PeFijyzvnTmJllc216KdHkv1smo&redir_esc=y#v=onepage&q=25%20mm%20de%20suelo%20en%20300%20a%C3%B1os&f=false
- Jaramillo, J. J. (2015). Estudio del riesgo por erosión hídrica del suelo utilizando el modelo USLE mediante herramientas SIG aplicando en la subcuenca río Portoviejo, provincia de Manabí. In *Master's thesis, Quito: UCE*.
- Jaya, J. (2023). Altos niveles de erosión hídrica en una microcuenca tropical calculado mediante el modelo USLE. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 15(1), 26–39. <https://doi.org/10.29166/REVFIG.V15I1.4269>
- Kebede, Y. S., Endalamaw, N. T., Sinshaw, B. G., & Atinkut, H. B. (2021). Modeling soil erosion using RUSLE and GIS at watershed level in the upper beles, Ethiopia. *Environmental Challenges*, 2, 100009. <https://doi.org/10.1016/J.ENVC.2020.100009>

- Klingebiel, & Montgomery. (1961). *Sistemas de evaluación de capacidades de uso categóricos: Clases agrológicas USDA, Soil Fertility Capability Classification* (FCC).
<http://www.edafologia.net/evaluacion/tema2/agrologicas.htm>
- Koirala, P., Thakuri, S., Joshi, S., & Chauhan, R. (2019). Estimation of Soil Erosion in Nepal using a RUSLE modeling and geospatial tool. *Geosciences (Switzerland)*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/GEOSCIENCES9040147>
- Llerena, S. C. (2024). *Impactos Ambientales y Socioeconómicos de la Deforestación: Una Revisión Sistemática*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21759.62888>
- Mantilla- Jara, T. S. (2021). Impactos negativos de la erosión hídrica mediante el aporte de sedimentos en la cuenca alta del río moche, la libertad, 2020. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(6).
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1267
- McCool, D. K., Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., & Yoder, D. C. (1997). *Predicting soil erosion by water : a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)*. U.S. Dept. of Agriculture, Agricultural Research Service : For sale by the U.S. G.P.O., Supt. of Docs.
- Moriasi, D., Arnold, J., Van, M., Bingner, R., Harmel, R., & Veith, T. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885–900.
<https://doi.org/10.13031/2013.23153>
- Muñoz-Gomez, F. A., Rengifo-Rengifo, I. Y., & Toro-Trochez, O. A. (2022). Modelo USLE para estimar la erosión hídrica en siete municipios de la zona andina colombiana. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 20(2). <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v20.n2.2022.1738>
- Nikulin, C., & Becker, G. (2015). Una metodología Sistémica y creativa para la gestión estratégica: Caso de Estudio Región de Atacama-Chile. *Journal of Technology Management & Innovation*, 10(2), 127–144.
<https://doi.org/10.4067/S0718-27242015000200009>

- Nikulín, C., & -Becker, G. (2015). Una metodología Sistémica y creativa para la gestión estratégica: Caso de Estudio Región de Atacama-Chile A Systematic and Creative Methodology to Drive Strategic Management: Chilean Case Study in Atacama-Region. In *J. Technol. Manag. Innov* (Vol. 10, Issue 1). <http://www.jotmi.org>
- Onelia, D. C., Andrade, B., & Rodríguez, O. S. (2002). Evaluación de la eficiencia de barreras vivas como sistemas de conservación de suelos en ladera. *Bioagro*, 14(3), 123–133.
- Ordóñez- Pozo, V. E., & Ortiz-Pabón, E. A. (2018). *Estrategias de Gestión Hídrica: un enfoque desde la seguridad hídrica en la Microcuenca Palacara* [Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8407>
- Organización de las Naciones Unidas. (2023). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. ONU. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Ortiz, A., María, A., & la Cruz, D. (2019). Variaciones físico-químicas de la calidad del agua del río Carrizal en Manabí. *Enfoque UTE*, 10(3), 30–41. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v10n3.423>
- Panagos, P., Borrelli, P., & Robinson, D. (2020). FAO calls for actions to reduce global soil erosion. In *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* (Vol. 25, Issue 5, pp. 789–790). Springer. <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09892-3>
- Pijl, A., Reuter, L. E. H., Quarella, E., Vogel, T. A., & Tarolli, P. (2020a). GIS-based soil erosion modelling under various steep-slope vineyard practices. *Catena*, 193. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104604>
- Pijl, A., Reuter, L. E. H., Quarella, E., Vogel, T. A., & Tarolli, P. (2020b). GIS-based soil erosion modelling under various steep-slope vineyard practices. *CATENA*, 193, 104604. <https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2020.104604>
- Pla Sentís, I. (1997). A soil water balance model for monitoring soil erosion processes and effects on steep lands in the tropics. *Soil Technology*, 11(1). [https://doi.org/10.1016/S0933-3630\(96\)00112-2](https://doi.org/10.1016/S0933-3630(96)00112-2)

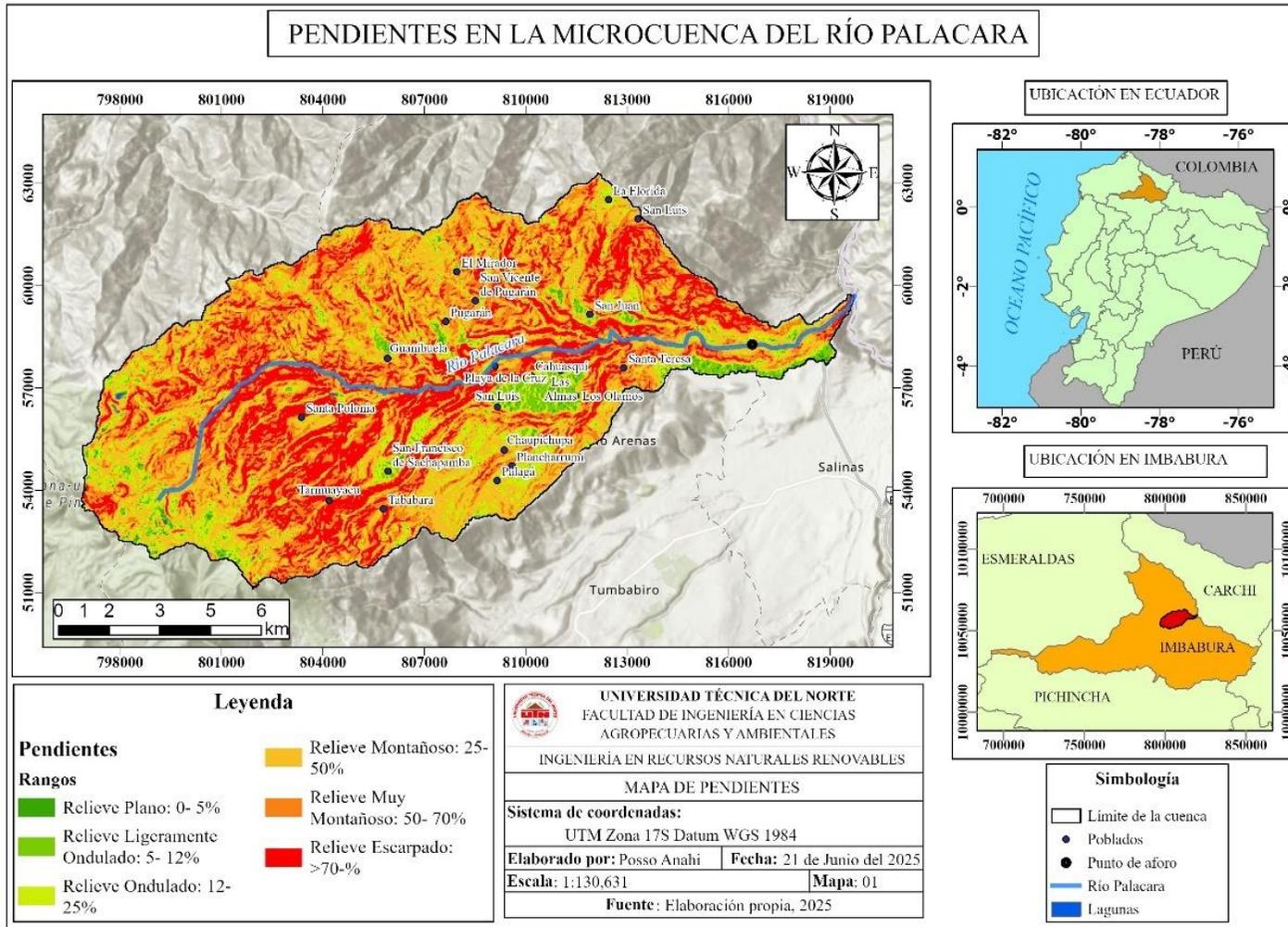
- Ponce Talancón, H., & Santo Tomás, U. (2007). *La matriz FODA: alternativa de diagnóstico y determinación de estrategias de intervención en diversas organizaciones Matrix Swot: An alternative for diagnosing and determining intervention strategies in organizations*. 12.
- Presidencia de la República. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*.
<https://www.fielweb.com/Index.aspx?157Rabf6ik65998>
- Presidencia de la República. (2017). *Código Orgánico del Ambiente*.
<https://www.fielweb.com/Index.aspx?157Rabf6ik65998>
- Ramos- Castillo, L. A., & Orozco- Medina, I. (2020). Sediment production modelling in a basin with little information including the potential effects of climate change and land use change. *Acta Universitaria*, 30(2020).
- Regoyos- Sanz, M. (2003). *Metodología para la evaluación de la erosión hídrica con modelos informáticos*.
- Rosales, A., & García, P. (2015). *Degradación de las cuencas hidrográficas*.
<https://grupoorinoco.org/wp-content/uploads/2017/03/las-cuencas-hidrograficas-y-su-degradacion.pdf>
- Sevillano, G. (2012). *Amenaza a erosión hídrica*.
https://www.geoportaligm.gob.ec/geodescargas/san_vicente/mt_san_vicente_amenaza_erosion_hidrica.pdf
- Singh, J., Knapp, H. V., Arnold, J. G., & Demissie, M. (2005). Hydrological modeling of the Iroquois River watershed using HSPF and SWAT. *Journal of the American Water Resources Association*, 41(2), 343–360.
<https://doi.org/10.1111/J.1752-1688.2005.TB03740.X>
- Tamayo- Malacatus, M. E. (2026). *Determinación de zonas susceptibles a erosión hídrica en los cantones de zapotillo y Pindal de la provincia de Loja utilizando sistemas de información geográfica y teledetección*. [Universidad Nacional de Loja].
chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11255/1/Magno%20Emanuel%20Tamayo%20Malacatus.pdf

- Tauta Muñoz, J. L., Camacho Tamayo, J. H., & Rodríguez Borray, G. A. (2018). Estimación de erosión potencial bajo dos sistemas de corte de caña panelera utilizando la ecuación universal de pérdida de suelos. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.1074>
- Tayupanta, J. (1993). La erosión hídrica: Proceso, factores y forma. *Instituto Nacional Autónomo de Investigación Agropecaria*, 229, 15. <https://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/bitstream/41000/271/4/iniapscbd229.pdf>
- Torres-Benites, E., Mejía-Sáenz, E., Cortés-Becerra, J., Palacios-Vélez, E., & Exebio-García, A. (2005). Adaptación de un modelo de simulación hidrológica a la cuenca del Río Laja, Guanajuato, México. *Agrociencia*, 39(5).
- Vásquez, J. (2019). *Cahuasquí Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. www.cahuasqui.gob.ec
- Vijith, H., Hurmain, A., & Dodge-Wan, D. (2018). Impacts of land use changes and land cover alteration on soil erosion rates and vulnerability of tropical mountain ranges in Borneo. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 12, 57–69. <https://doi.org/10.1016/J.RSASE.2018.09.003>
- Wischmeier. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning (No. 537). Department of Agriculture, Science and Education Administration, Washington, DC, USA. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(12), 7034–7044.
- Zapata- Campaña, F. D. (2015). *aplicación del modelo rusle para el cálculo de erosión hídrica en la microcuenca del río perlaví*. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/6f04028f-1284-48c4-839c-2fe2ced9a5b8/content>

7. ANEXOS

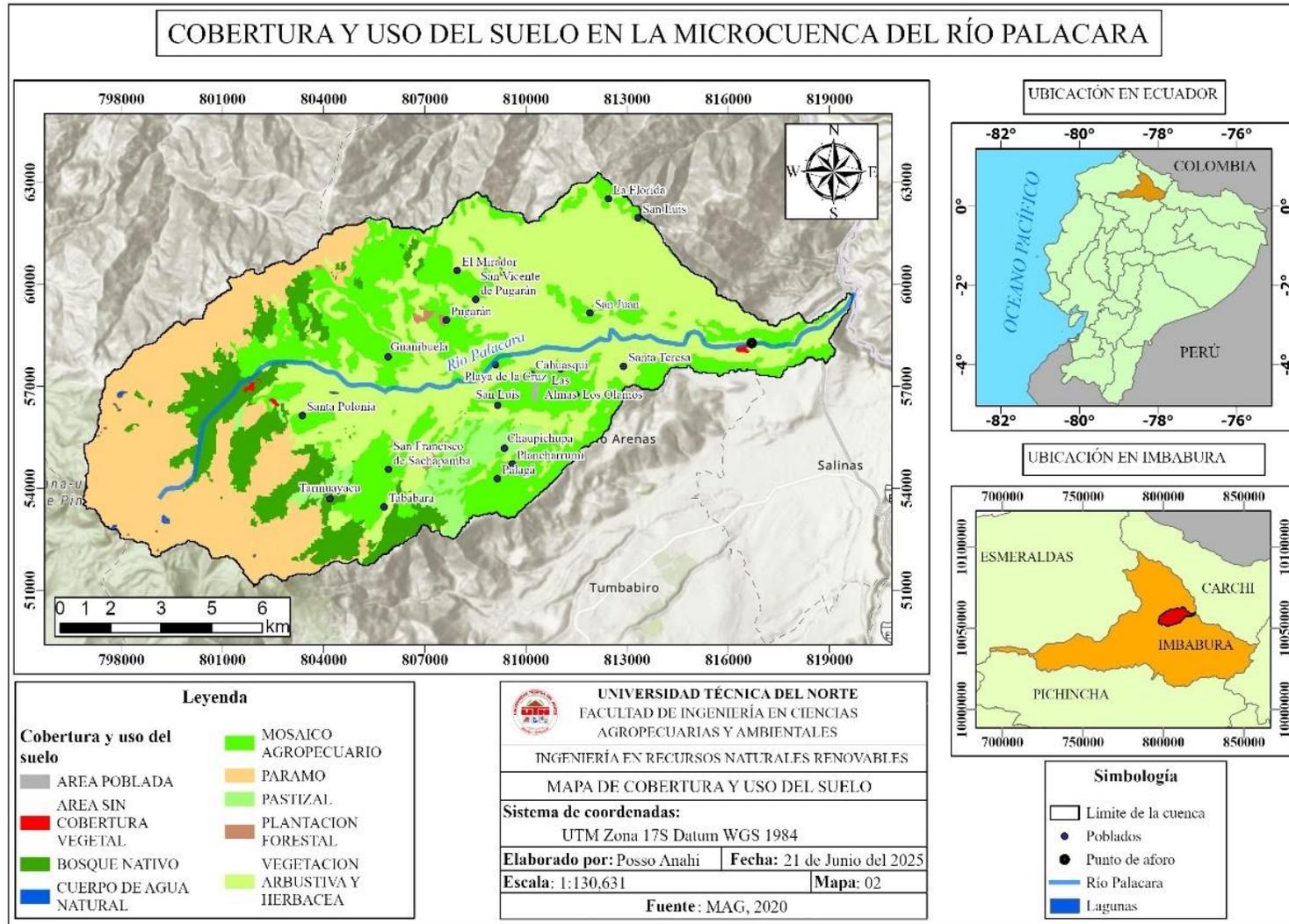
Anexo 1.

Pendientes en la microcuenca del río Palacara



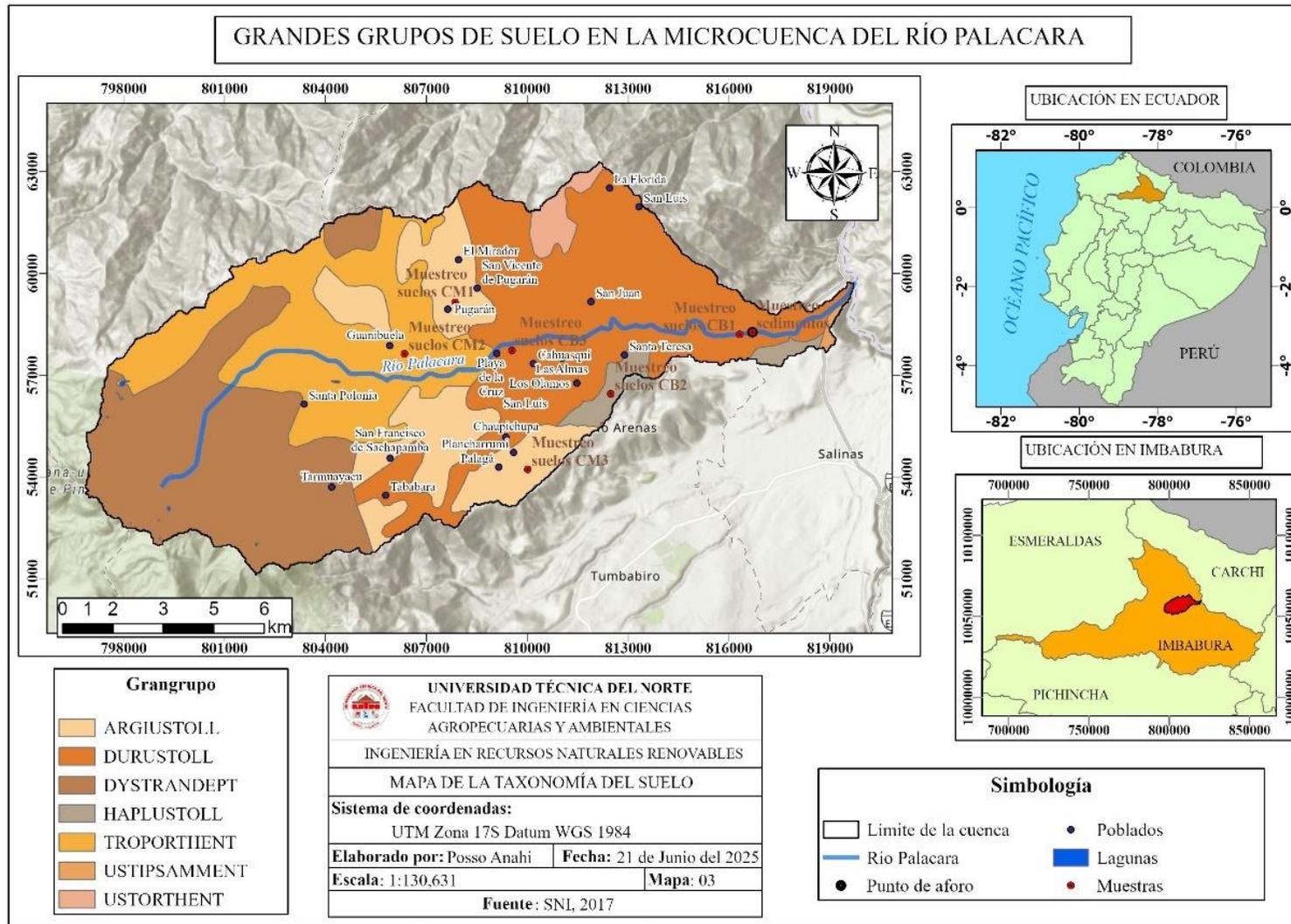
Anexo 2.

Cobertura y uso de suelo en la microcuenca del río Palacara



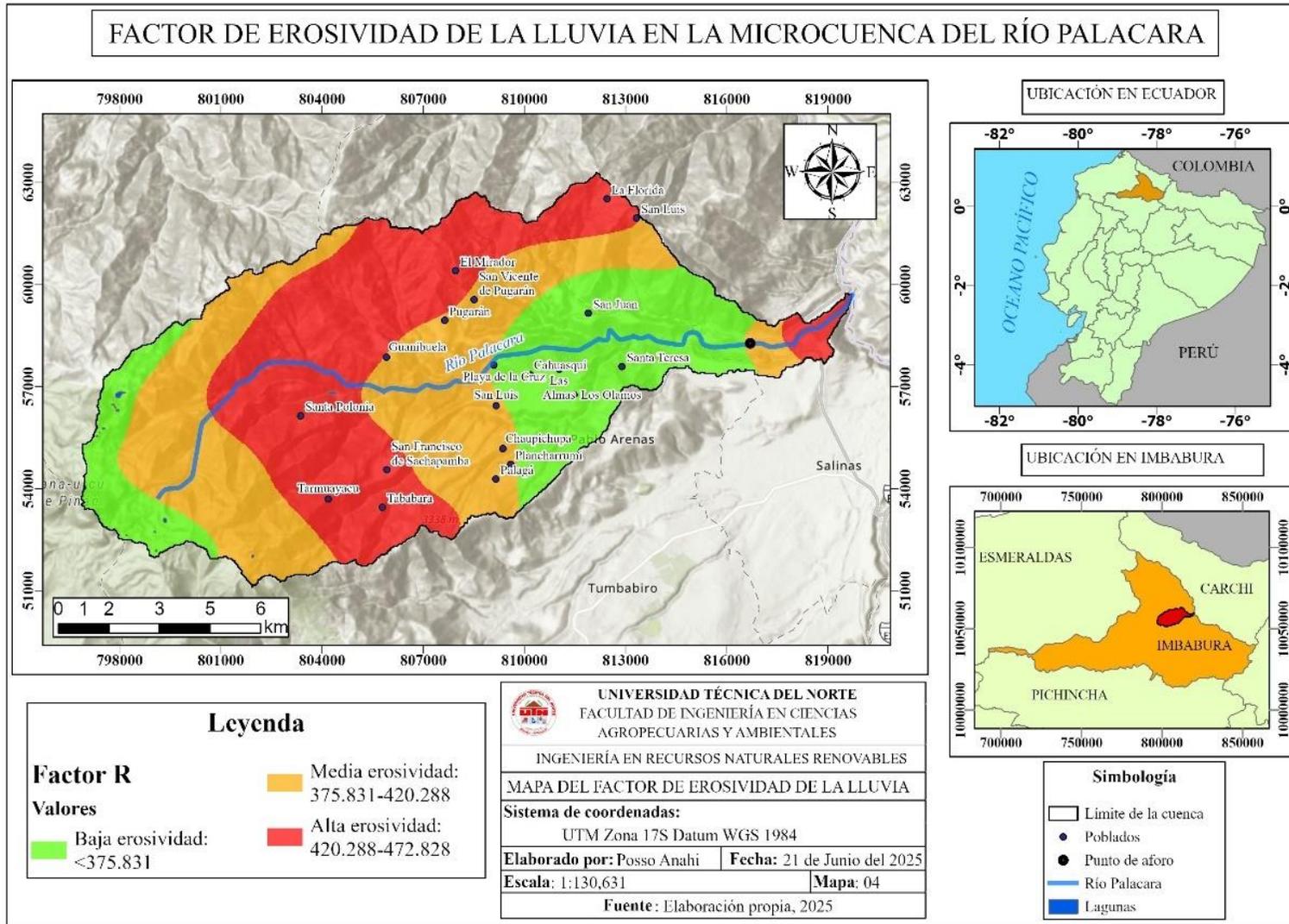
Anexo 3.

Grangrupo de suelo en la microcuenca del río Palacara y puntos de muestreo de suelo para la densidad aparente.



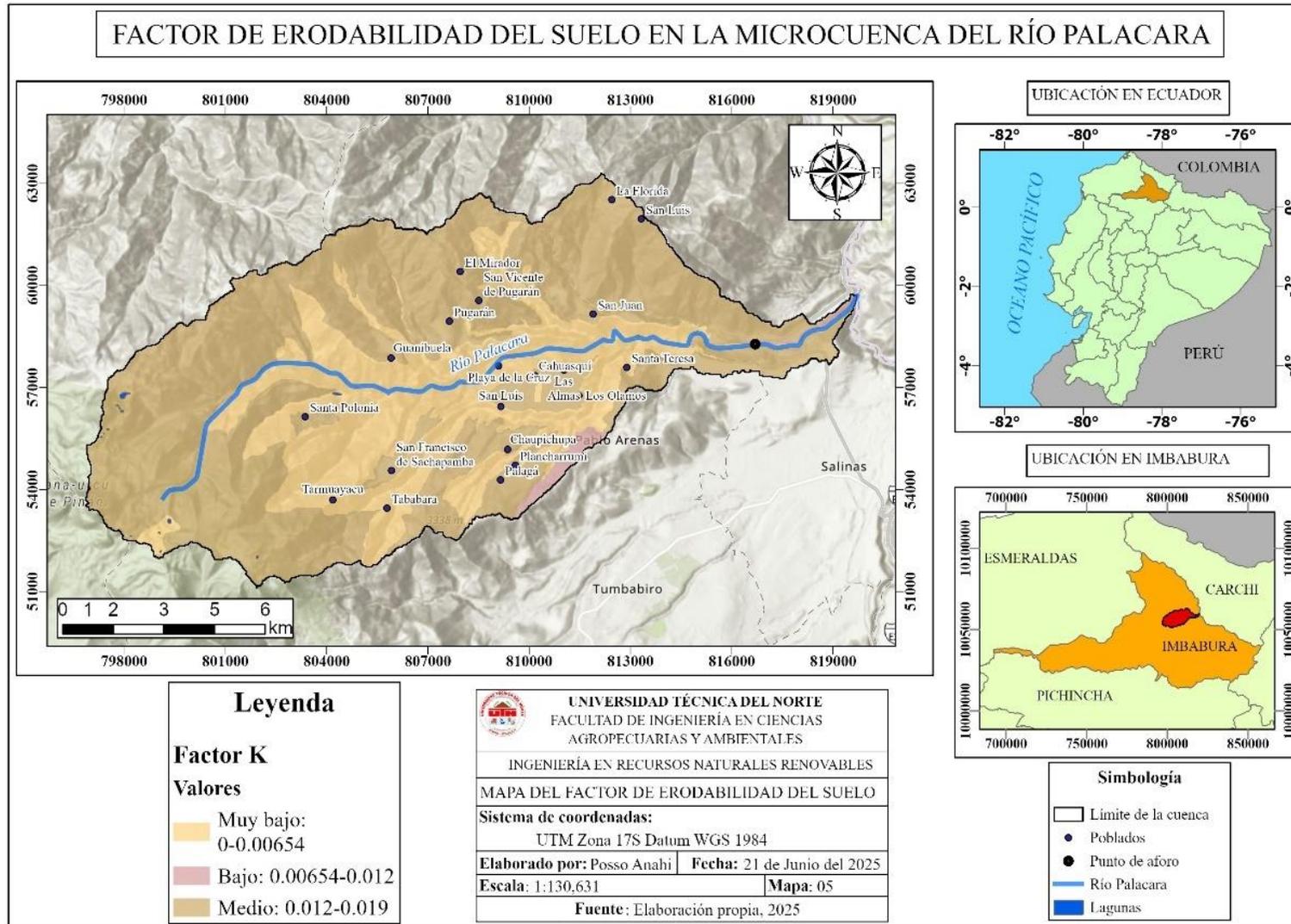
Anexo 4.

Distribución espacial del Factor R



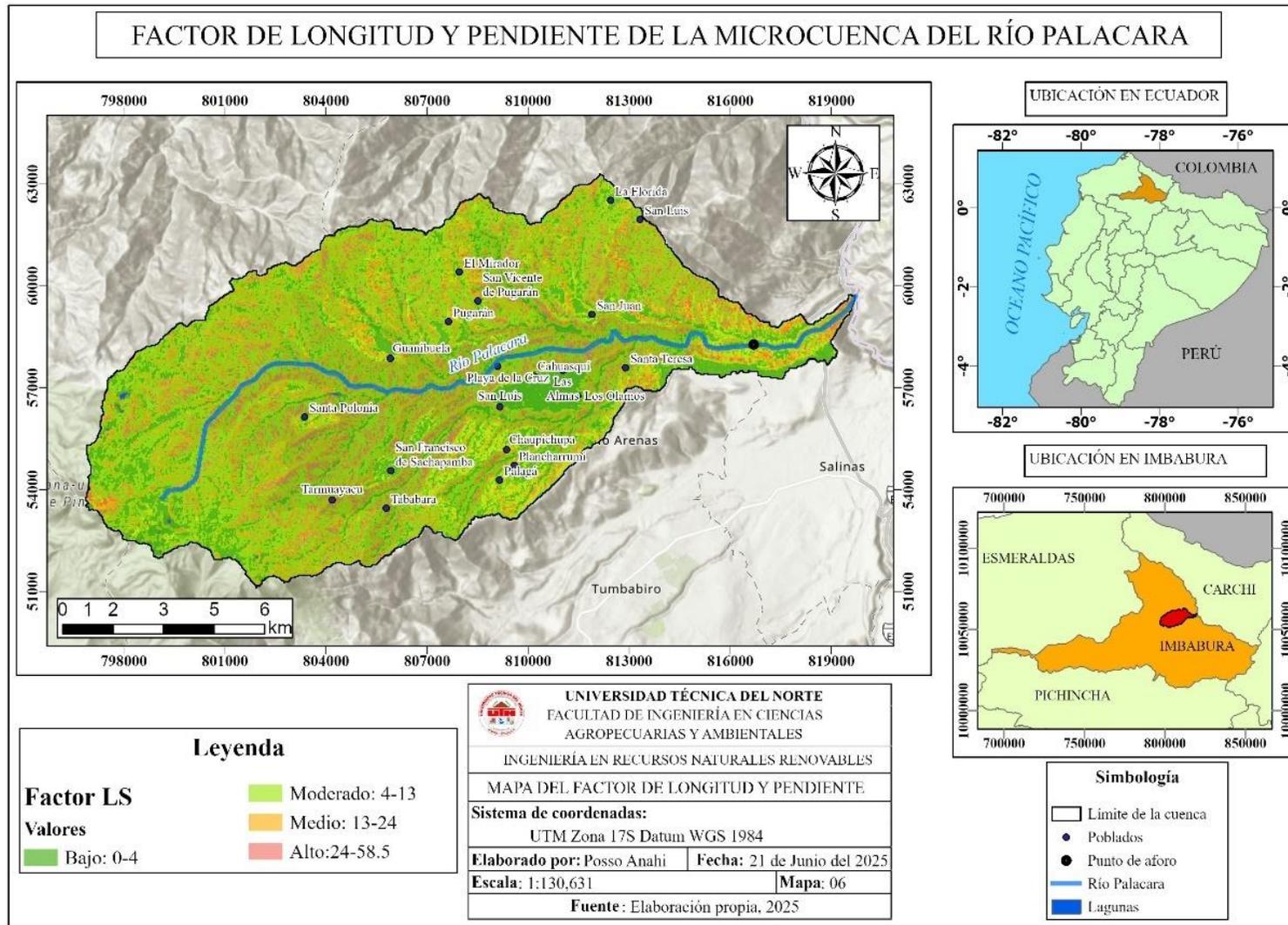
Anexo 5.

Distribución espacial del factor K



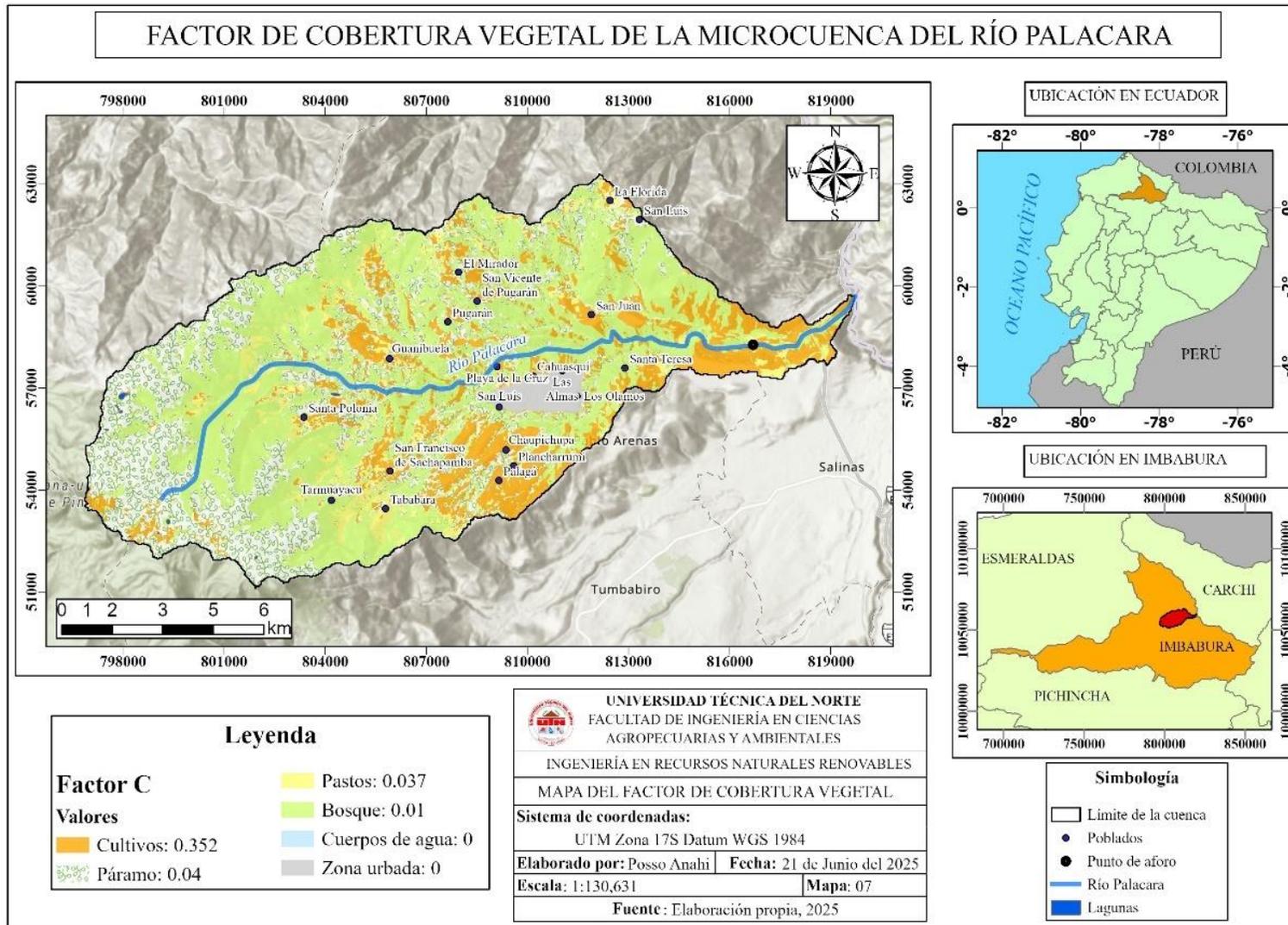
Anexo 6.

Distribución espacial del Factor LS



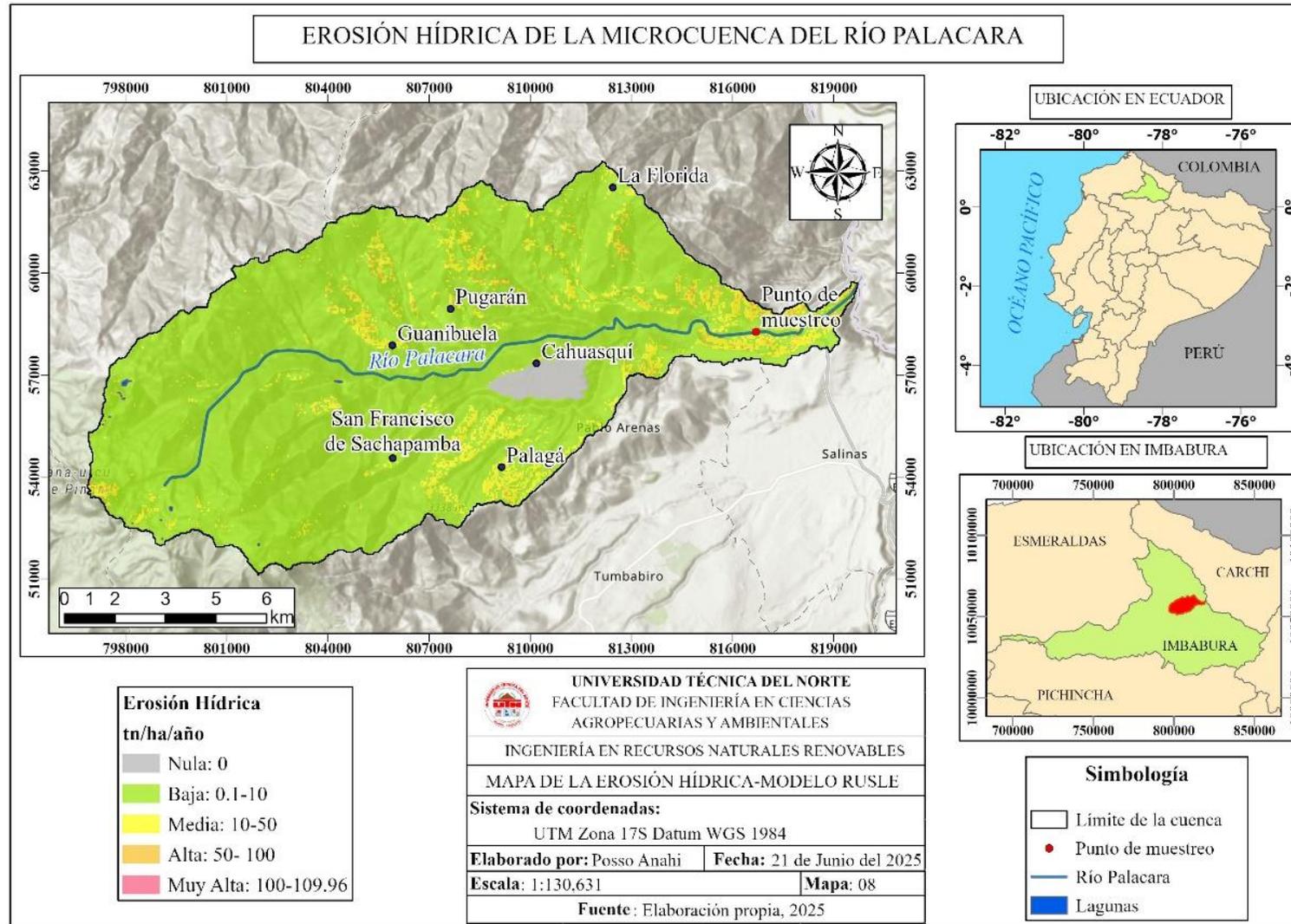
Anexo 7.

Distribución del Factor C



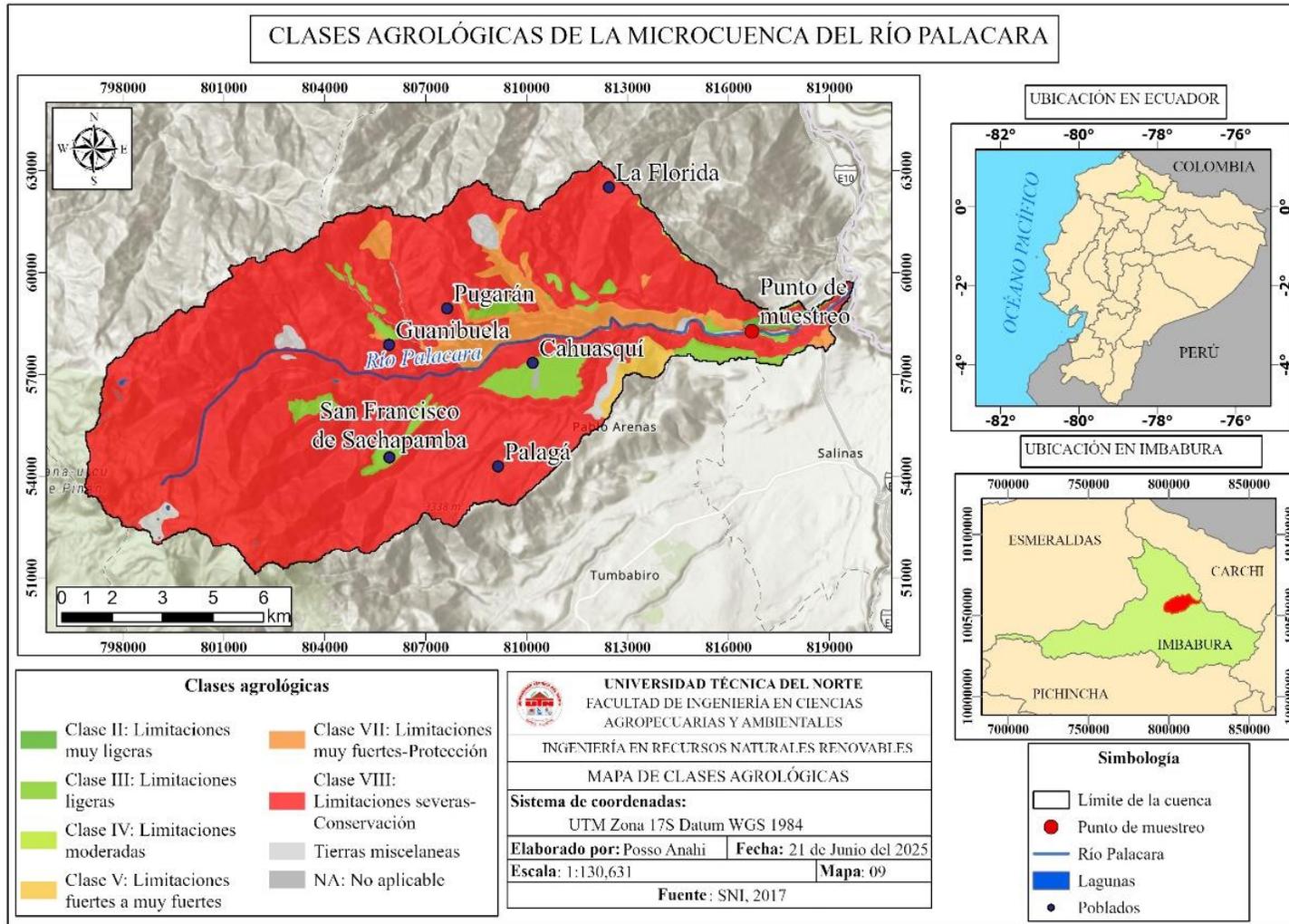
Anexo 8.

Distribución espacial de la erosión hídrica_RUSLE



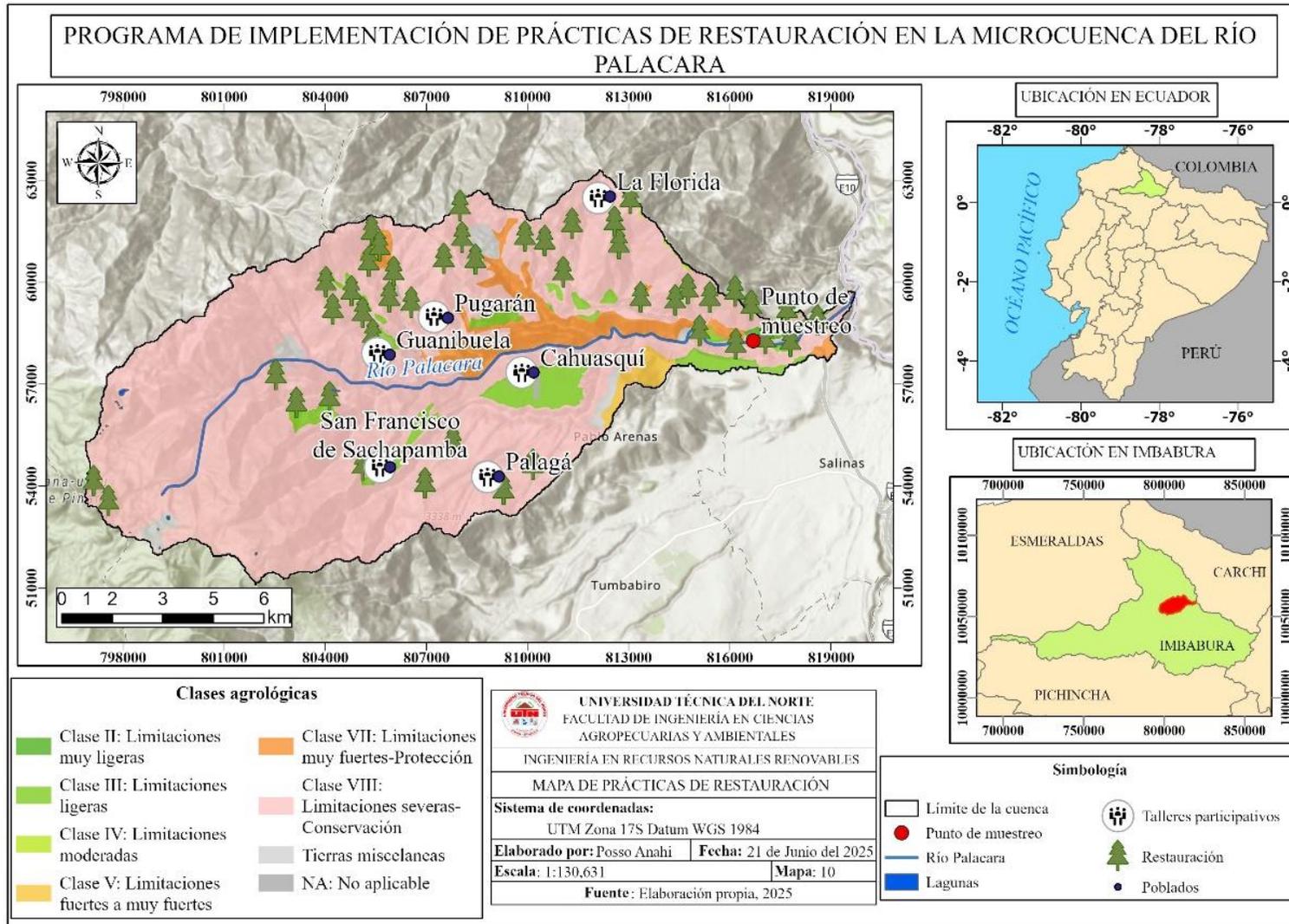
Anexo 9.

Distribución de las clases agrológicas en la microcuenca



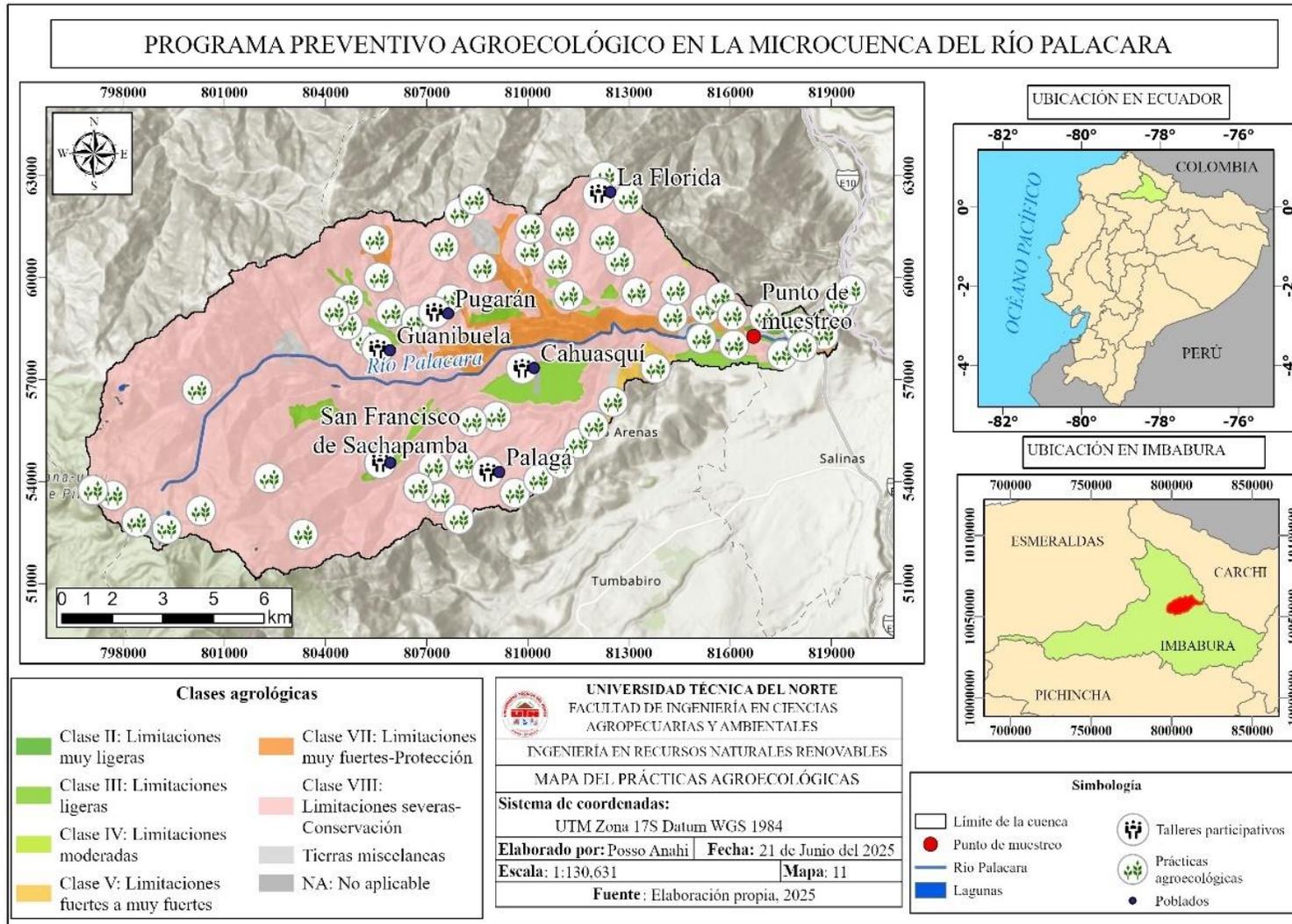
Anexo 10.

Distribución del programa de implementación de la Estrategia 1



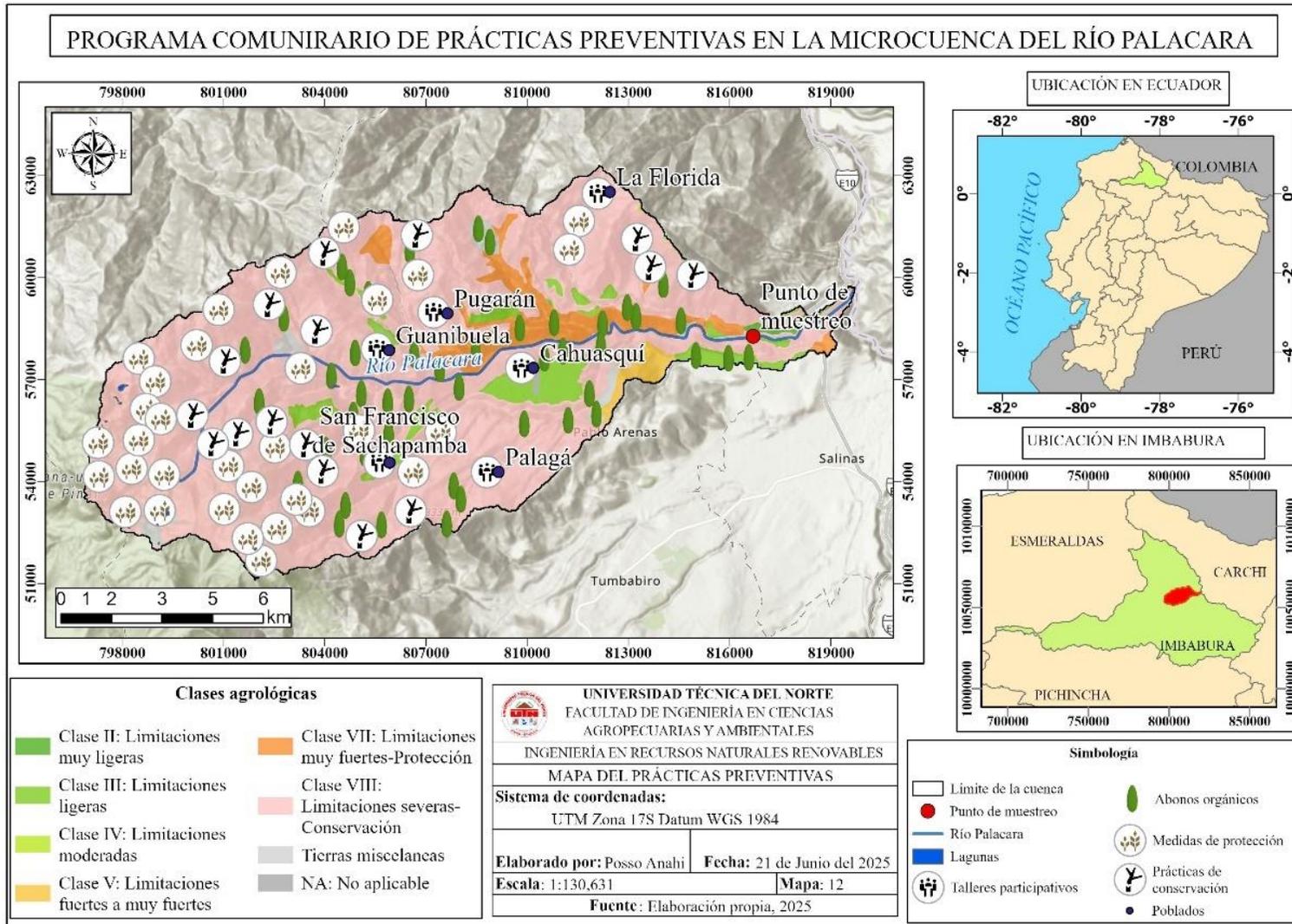
Anexo 11.

Distribución del programa de la estrategia 2



Anexo 12.

Distribución del programa de la estrategia 3



Anexo 13.

Análisis de muestras de suelo tomadas en la zona media y baja de la microcuenca

LABONORT LABORATORIOS NORTE Juan Hernández y Jaime Roldos (M. Mayorista) Ibarra-Ecuador. Telf. cel. 0996591056	
---	--

REPORTE ANÁLISIS DE TEXTURA

DATOS DEL PROPIETARIO NOMBRE : ANAHI POSSO CIUDAD : TELÉFONO : 0995253294 E-MAIL : aepossog@utn.edu.ec	DATOS DE LA PROPIEDAD PROVINCIA : Imbabura CANTÓN : PARROQUIA : SITIO :
DATOS DE MUESTRA SITIO : MUESTRA : Suelos	DATOS DE LABORATORIO No REPORTE : R 12055- 56 No MUES.LAB : L 12055- 56 FECHA DE INGRESO : 2025 01 14 FECHA DE REPORTE : 2025 01 17

RESULTADOS:

MUESTRA	# CAMPO	% MO	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	CLASE TEXTURAL
12055	Ce5-CM2	3,62 M	57,80	31,60	10,80	Franco arenoso
12056	Ce3-Ce	3,30 M	61,80	30,00	8,40	Franco arenoso

Métodos :

Textura: Bouyoucos(análisis granulométrico por densimetría).

Materia orgánica(%): Walkley y Black.

Contenido %MO: A= alto; M=medio; B= bajo

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



Anexo 14.

Análisis de datos tomados en campo para determinar la densidad aparente en el río Palacara

<i>Muestra</i>	<i>Cilindro humedo (g)</i>	<i>Cilindro seco (g)</i>	<i>Diámetro (cm)</i>	<i>h (cm)</i>	<i>radio</i>	<i>área (cm²)</i>	<i>Volumen (cm³)</i>	<i>Cilindro vacio (g)</i>	<i>Suelo seco (g)</i>	<i>Densidad (g/cm³)</i>
B_Cal1-Sub1	258.3	254.7	4.70	5.82	2.35	120.634	100.974	105.3	149.4	1.48
B_Cal1-Sub2	284.7	276.0	4.75	5.97	2.375	124.529	105.792	108.9	167.1	1.58
B_Cal1-Sub3	281.3	272.8	4.72	5.99	2.36	123.817	104.810	107.9	164.9	1.57
B_Cal1-Sub4	278.0	270.6	4.70	5.96	2.35	122.701	103.403	109.1	161.5	1.56
CB_C2-Sub1	285.8	276.4	4.10	5.73	2.05	100.211	75.651	131.4	145	1.92
CB_C2-Sub2	270.4	254.9	4.11	5.61	2.055	98.970	74.428	129	125.9	1.69
CB_C2-Sub3	277.7	262.6	4.10	5.62	2.05	98.794	74.198	131.1	131.5	1.77
CB_C2-Sub4	263.5	250.3	4.10	5.72	2.05	100.082	75.519	130.1	120.2	1.59
CB_C3-Sub1	299.3	272.8	4.34	5.91	2.17	110.167	87.429	108.3	164.5	1.88
CB_C3-Sub2	315.1	283.4	4.37	5.95	2.185	111.684	89.242	109.7	173.7	1.95
CB_C3-Sub3	293.3	265.4	4.40	5.76	2.2	110.031	87.583	113.5	151.9	1.73
CB_C3-Sub4	316.7	292.7	4.43	6.03	2.215	114.748	92.943	108.9	183.8	1.98
CM_C4-Sub1	260.9	252.2	4.44	5.6	2.22	109.079	86.705	129.5	122.7	1.42
CM_C4-Sub2	269.8	261.3	4.43	5.71	2.215	110.295	88.010	132.9	128.4	1.46
CM_C4-Sub3	263.0	252.5	4.45	5.71	2.225	110.932	88.807	132.1	120.4	1.36
CM_C4-Sub4	245.5	238.2	4.41	5.66	2.205	108.965	86.454	131.1	107.1	1.24
CM_C5-Sub1	257.9	251.9	4.46	5.79	2.23	112.373	90.456	134.3	117.6	1.30
CM_C5-Sub2	259.7	252.4	4.46	5.63	2.23	110.131	87.957	130.4	122	1.39
CM_C5-Sub3	252.8	246.0	4.49	5.68	2.245	111.788	89.936	131	115.0	1.28
CM_C5-Sub4	254.9	248.00	4.47	5.71	2.235	111.571	89.607	132.5	115.5	1.29
CM_C6-Sub1	259.5	253.6	4.47	5.62	2.235	110.307	88.195	130.2	123.4	1.40
CM_C6-Sub2	268.0	259.2	4.43	6.05	2.215	115.026	93.251	140.1	119.1	1.28
CM_C6-Sub3	253.0	245.3	4.45	5.6	2.225	109.394	87.096	128.9	116.4	1.34
CM_C6-Sub4	431.8	417.9	4.43	9.7	2.215	165.824	149.510	226.9	191	1.28

Anexo 15.

Fotografías de las salidas de campo para toma de muestras de agua en el río Palacara



Anexo 16.

Fotografías de salidas de campo para toma de muestras de suelo



Anexo 17.

Fotografías del análisis del agua en el laboratorio de Física UTN



Anexo 18.

Resultados del análisis del agua, valores del SYrg y del SYsg

Submuestras	Concentración de Sólidos Suspensos (mg/L)	Concentración de Sólidos Suspensos (kg/m ³)	Caudal (m ³ /s)	Superficie cuenca (ha)	Sedimentos en Suspensión (kg/s)	Sedimentos en Suspensión (tn/año)	Sedimentos en Suspensión (tn/ha/año)	SDR=0.5656*S ^{0.11}	A (Valor promedio RUSLE) tn/ha/año	Sedimentos en Suspensión SY SY=A*SDR (tn/ha/año)
M1R1	144	0.144	1.88	14575.1996	0.2707	8537.4259	0.5857	0.19702	3.27	0.64
M1R2	112	0.112	1.88	14575.1996	0.2105	6640.2201	0.4555	0.19702	3.27	0.64
M1R3	129	0.129	1.88	14575.1996	0.2425	7648.1107	0.5247	0.19702	3.27	0.64
M2R1	12	0.012	1.88	14575.1996	0.0225	711.4521	0.0488	0.19702	3.27	0.64
M2R2	8	0.008	1.88	14575.1996	0.0150	474.3014	0.0325	0.19702	3.27	0.64
M2R3	10	0.01	1.88	14575.1996	0.0188	592.8768	0.0406	0.19702	3.27	0.64
M3R1	146.67	0.14667	1.88	14575.1996	0.2757	8695.7240	0.5966	0.19702	3.27	0.64
M3R2	226.67	0.22667	1.88	14575.1996	0.4261	13438.7384	0.9220	0.19702	3.27	0.64
M3R3	210	0.21	1.88	14575.1996	0.3948	12450.4128	0.8542	0.19702	3.27	0.64
M4R1	38.75	0.03875	1.88	14575.1996	0.0728	2297.3976	0.1576	0.19702	3.27	0.64
M4R2	42.25	0.04225	1.88	14575.1996	0.0794	2504.90448	0.1718	0.19702	3.27	0.64
M4R3	22.5	0.0225	1.88	14575.1996	0.0423	1333.9728	0.0915	0.19702	3.27	0.64
M5R1	25	0.025	1.88	14575.1996	0.047	1482.192	0.1016	0.19702	3.27	0.64
M5R2	15	0.015	1.88	14575.1996	0.0282	889.3152	0.0610	0.19702	3.27	0.64
M5R3	16.25	0.01625	1.88	14575.1996	0.0305	963.4248	0.0661	0.19702	3.27	0.64
M6R1	21.25	0.02125	1.88	14575.1996	0.0399	1259.8632	0.0864	0.19702	3.27	0.64
M6R2	27.5	0.0275	1.88	14575.1996	0.0517	1630.4112	0.1118	0.19702	3.27	0.64
M6R3	15	0.015	1.88	14575.1996	0.0282	889.3152	0.0610	0.19702	3.27	0.64
M7R1	32.857	0.032857	1.88	14575.1996	0.0617	1948.0153	0.1336	0.19702	3.27	0.64
M7R2	37.143	0.037143	1.88	14575.1996	0.0698	2202.1223	0.1510	0.19702	3.27	0.64
M7R3	50	0.05	1.88	14575.1996	0.094	2964.384	0.2033	0.19702	3.27	0.64
M8R1	23.33	0.02333	1.88	14575.1996	0.0438	1383.1815	0.0948	0.19702	3.27	0.64
M8R2	26.66	0.02666	1.88	14575.1996	0.0501	1580.6095	0.1084	0.19702	3.27	0.64
M8R3	41.66	0.04166	1.88	14575.1996	0.0783	2469.9247	0.1694	0.19702	3.27	0.64
M9R1	220	0.22	1.88	14575.1996	0.4136	13043.2896	0.8948	0.19702	3.27	0.64
M9R2	193.33	0.19333	1.88	14575.1996	0.3634	11462.0872	0.7864	0.19702	3.27	0.64
M9R3	220	0.22	1.88	14575.1996	0.4136	13043.2896	0.8948	0.19702	3.27	0.64
M10R1	376.66	0.37666	1.88	14575.1996	0.7081	22331.2975	1.5321	0.19702	3.27	0.64
M10R2	430	0.43	1.88	14575.1996	0.8084	25493.7024	1.7491	0.19702	3.27	0.64
M10R3	270	0.27	1.88	14575.1996	0.5076	16007.6736	1.0982	0.19702	3.27	0.64

M11R 1	107.5	0.1075	1.88	14575.1996	0.2021	6373.4256	0.4372	0.19702	3.27	0.64
M11R 2	122.5	0.1225	1.88	14575.1996	0.2303	7262.7408	0.4982	0.19702	3.27	0.64
M11R 3	132.5	0.1325	1.88	14575.1996	0.2491	7855.6176	0.5389	0.19702	3.27	0.64
M12R 1	520	0.52	1.88	14575.1996	0.9776	30829.5936	2.1152	0.19702	3.27	0.64
M12R 2	620	0.62	1.88	14575.1996	1.1656	36758.3616	2.52197 9975	0.19702	3.27	0.64
M12R 3	770	0.77	1.88	14575.1996	1.4476	45651.5136	3.13213 6421	0.19702	3.27	0.64

Anexo 19.

Datos de los caudales medios del INAMHI

Año	1976	1978	1982	1983	1984	1989	2002	2003	2004	2005	2008	2011	2014	
ENE	50.852	20.557	4.944	24.077	15.518	39.858	15.122	17.452	19.326	1.373	18.257	5.414	207.704	
FEB	38.938	30.522	4.978	18.914	18.215	32.681	18.884	20.374	12.374	0.792	29.310	14.264	127.406	
MAR	38.119	31.650	9.531	6.618	12.454	24.291	26.140	24.559	12.874	2.085	19.990	8.232	56.145	
ABR	51.775	57.714	21.858	15.299	16.357	21.579	25.228	23.369	30.840	3.080	72.421	7.723	6.130	
MAY	63.395	37.164	14.087	10.496	20.710	71.838	10.234	16.089	10.947	2.085	41.814	5.413	9.570	
JUN	75.721	57.357	7.674	3.411	23.656	90.157	11.369	23.339	14.167	4.281	21.779	21.169	63.942	
JUL	98.543	52.363	16.522	17.793	23.694	77.751	22.336	30.836	20.717	0.902	39.771	13.687	30.495	
AGOS	73.138	49.241	5.783	15.092	26.309	26.339	15.552	21.909	29.246	0.542	23.507	29.577	3.349	
SEP	46.538	20.645	3.325	5.672	5.671	17.074	6.975	13.579	19.278	0.960	18.986	17.719	8.344	
OCT	33.052	17.783	2.218	5.705	7.131	14.504	5.901	19.526	26.320	0.640	21.190	21.753	0.545	
NOV	49.675	6.394	2.143	2.610	9.684	10.119	16.842	26.863	40.466	1.352	18.903	17.447	1.861	
DIC	50.288	13.899	10.093	3.115	4.250	4.507	6.999	26.964	23.909	1.499	15.525	20.309	19.105	Caudal:
Promedio	55.836	32.941	8.596	10.734	15.304	35.891	15.132	22.072	21.705	1.633	28.454	15.226	44.550	23.698