

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**IMPLICANCIA AMBIENTAL DE LA PÉRDIDA DE SUELOS POR EROSIÓN
HÍDRICA EN LA SUBCUENCA MEDIO BAJO COATA, REGIÓN PUNO - 2025**

PRESENTADA POR:

EFRAIN ZAVALA PURACA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO - PERÚ

2026



Repositorio Institucional ALCIRA by Universidad Privada San Carlos is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



2.61%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 1 MAR 2026, 2:36 AM

Originality & Authorship Report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL 0.28% ● CHANGED TEXT 2.33%

Report #31714227

EFRAIN ZAVALA PURACA // IMPLICANCIA AMBIENTAL DE LA PÉRDIDA DE SUELOS POR EROSIÓN HÍDRICA EN LA SUBCUENCA MEDIO BAJO COATA, REGIÓN PUNO - 2025

RESUMEN La presente investigación tuvo como objetivo analizar la implicancia ambiental de la pérdida de suelos por erosión hídrica en los componentes suelo, agua y vegetación de la subcuenca Medio Bajo Coata - 2025, mediante la aplicación del modelo RUSLE y herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). La unidad de análisis son los distritos que comprenden la cuenca baja (Cabana, Cabanillas, Cabanilla y Juliaca), empleando información climática, edafológica, topográfica y de cobertura vegetal. Los resultados muestran que la erosión actual en la cuenca baja oscila entre 0 y $25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, predominando niveles leves. El factor R presentó valores altos en temporada lluviosa (noviembre-marzo), siendo el principal detonante climático; el factor K evidenció mayor susceptibilidad en suelos finos; el factor LS alcanzó valores de hasta 25,61 en pendientes pronunciadas; el factor C confirmó que coberturas boscosas ($C \leq 0,001$) reducen la erosión, mientras que áreas desnudas ($C = 1$) incrementan el riesgo; y el factor P (0,55–1) indicó que prácticas como el surcado en contorno mitigan parcialmente la pérdida de suelo. La mayor parte de la subcuenca presenta erosión nula a leve, concentrada en la cuenca baja por sus pendientes suaves y adecuada cobertura vegetal; con zonas de mayor susceptibilidad en pendientes superiores al 25 % y

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TESIS

**IMPLICANCIA AMBIENTAL DE LA PÉRDIDA DE SUELOS POR EROSIÓN
HÍDRICA EN LA SUBCUENCA MEDIO BAJO COATA, REGIÓN PUNO - 2025**

PRESENTADA POR:

EFRAIN ZAVALA PURACA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

: 
Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

PRIMER MIEMBRO

: 
Dra. CELIA VERENISSE ORTIZ DE ORUE ROJAS

SEGUNDO MIEMBRO

: 
M.Sc. KORINA ASQUI GOMEZ

ASESOR DE TESIS

: 
Dra. MARLENE CUSI MONTESINOS

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería Ambiental

Línea de investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 06 de marzo del 2026

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por darme la fortaleza, la salud y la constancia necesarias para culminar esta etapa tan importante de mi vida académica.

A mi familia, por su apoyo incondicional, su paciencia y sus palabras de aliento en los momentos de dificultad, que fueron el motor para no rendirme y seguir adelante.

A mis docentes, quienes con su guía, exigencia y vocación formativa contribuyeron a mi crecimiento profesional y personal.

Finalmente, dedico esta tesis a todas las personas comprometidas con el cuidado del ambiente, con la esperanza de que este trabajo aporte, aunque sea de manera modesta, a la reflexión y acción frente a la problemática de la erosión de suelos y la conservación de nuestros recursos naturales.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Privada San Carlos, por brindarme una formación profesional sólida, basada en principios éticos y científicos, que me permite aportar con responsabilidad al desarrollo sostenible de mi región.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por forjar en mí una conciencia crítica frente a los problemas ambientales y fortalecer mis capacidades técnicas para enfrentar los retos que demanda la gestión y conservación del ambiente.

A los miembros del jurado calificador: Mg. Julio Wilfredo Cano Ojeda, Dra. Celia Verenisse Ortiz De Orue Rojas y M.Sc. Korina Asqui Gómez, por su tiempo, disposición y valiosos aportes académicos, los cuales permitieron enriquecer y mejorar la calidad de esta investigación.

A mi asesora, Dra. Marlene Cusi Montesinos, por su constante acompañamiento, paciencia y orientación académica, así como por sus observaciones oportunas y exigencia profesional, que fueron fundamentales para la culminación exitosa de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ANEXOS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	15
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	15
1.2. ANTECEDENTES	15
1.2.1. A NIVEL INTERNACIONAL	15
1.2.2. A NIVEL NACIONAL	16
1.2.3. A NIVEL LOCAL	19
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	20
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO	22
2.1.1. EROSIÓN DE SUELOS	22
	3

2.1.2. EFECTOS DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN EL MEDIO AMBIENTE	22
2.1.3. EROSIÓN HÍDRICA	23
2.1.4. TIPOS DE EROSIÓN HÍDRICA	23
2.1.5. PROCESOS DE LA EROSIÓN HÍDRICA	24
2.1.6. MÉTODOS PARA EVALUAR LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO	24
2.1.7. CUENCA HIDROGRÁFICA	25
2.1.8. ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDAS DE SUELOS (USLE)	26
2.1.9. MODELAMIENTO DE LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO	29
2.1.10. TELEDETECCIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	29
2.2. MARCO CONCEPTUAL	30
2.3. MARCO NORMATIVO	33
2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	34
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	34
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	34
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1. ZONA DE ESTUDIO	35
3.1.1. UBICACIÓN POLÍTICA	35
3.1.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	35
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	36
3.2.1. POBLACIÓN	36
3.2.2. MUESTRA	36
3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS	37
3.3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.	37
3.3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	37
3.4. MATERIALES Y EQUIPOS	37
3.4.1. MATERIALES	37
3.4.2. EQUIPOS	37

3.5. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVO ESPECÍFICO	38
3.6. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	41
3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO	43

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. ESTIMAR LA PÉRDIDA DE SUELOS POR EROSIÓN HÍDRICA POTENCIAL Y ACTUAL EN LA SUBCUENCA MEDIO BAJO COATA, A PARTIR DE LA APLICACIÓN DEL MODELO RUSLE Y HERRAMIENTAS DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.	44
4.1.1. ANÁLISIS DEL FACTOR DE EROSIDIDAD	44
4.1.2. ANÁLISIS DEL FACTOR DE ERODABILIDAD (K)	50
4.1.3. ANÁLISIS DEL FACTOR DE LONGITUD Y PENDIENTE (LS)	53
4.1.4. ANÁLISIS DEL FACTOR DE COBERTURA VEGETAL (C)	55
4.1.4. ANÁLISIS DEL FACTOR DE PRÁCTICAS DE MANEJO (P)	59
4.2. IDENTIFICAR Y CLASIFICAR LAS ÁREAS DE LA SUBCUENCA MEDIO BAJO COATA SEGÚN LOS NIVELES DE PÉRDIDA DE SUELOS POR EROSIÓN HÍDRICA, DETERMINANDO LAS ZONAS CON MAYOR SUSCEPTIBILIDAD A LA DEGRADACIÓN.	62
4.3. ANALIZAR LOS IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR LA PÉRDIDA DE SUELOS POR EROSIÓN HÍDRICA EN LOS COMPONENTES SUELO, AGUA Y VEGETACIÓN DE LA SUBCUENCA MEDIO BAJO COATA.	64
4.3.1. IMPACTOS EN EL COMPONENTE SUELO	64
4.3.2. IMPACTOS EN EL COMPONENTE AGUA	65
4.3.3. IMPACTOS EN EL COMPONENTE VEGETACIÓN	66
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	67
4.5. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS	68
4.5.1. DE LA HIPÓTESIS GENERAL	68

4.5.2. DE LA PRIMERA HIPÓTESIS ESPECÍFICA	69
4.5.3. DE LA SEGUNDA HIPÓTESIS ESPECÍFICA	70
4.5.4. DE LA TERCERA HIPÓTESIS ESPECÍFICA	70
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES	74
BIBLIOGRAFÍA	75
ANEXOS	78

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Niveles de erosión hídrica.	25
Tabla 02: Identificación de variables.	41

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Se muestra la ubicación geográfica de la Subcuenca Medio Bajo Coata.	36
Figura 02: Precipitación mensual en el periodo 2000 - 2023.	44
Figura 03: Mapa del Factor R de erosión hídrica de la cuenca Medio Bajo Coata.	47
Figura 04: Mapa del Factor K de erodabilidad de la cuenca Medio Bajo Coata.	50
Figura 05: Mapa del Factor LS de longitud y pendiente la cuenca Medio Bajo Coata.	53
Figura 06: Mapa del Factor C de cobertura vegetal de la cuenca Medio Bajo Coata.	55
Figura 07: Mapa del Factor P prácticas de conservación de la cuenca Medio Bajo Coata.	59
Figura 08: Mapa de erosión hídrica en la cuenca Medio Bajo Coata para el año 2025.	62

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia de la investigación.	79
Anexo 02: Promedio mensual de la precipitación acumulada de acuerdo a las estaciones cercanas a la subcuenca medio bajo Coata.	80
Anexo 03: Factor R calculado utilizando la fórmula de Índice Modificado de Fournier (IMF).	81
Anexo 04: Factor K calculado a partir de las muestras de suelos de la zona.	82
Anexo 05: Tabla de valoración del factor L.S.	84
Anexo 06: Cálculo de la cobertura vegetal.	85
Anexo 07: Tabla de valoración del factor C.	86
Anexo 08: Tabla de valoración de las prácticas de apoyo.	87
Anexo 09: Valoración de la pérdida de suelo.	88

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo analizar la implicancia ambiental de la pérdida de suelos por erosión hídrica en los componentes suelo, agua y vegetación de la subcuenca Medio Bajo Coata - 2025, mediante la aplicación del modelo RUSLE y herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). La unidad de análisis son los distritos que comprenden la cuenca baja (Cabana, Cabanillas, Cabanilla y Juliaca), empleando información climática, edafológica, topográfica y de cobertura vegetal. Los resultados muestran que la erosión actual en la cuenca baja oscila entre 0 y 25 $t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$, predominando niveles leves. El factor R presentó valores altos en temporada lluviosa (noviembre-marzo), siendo el principal detonante climático; el factor K evidenció mayor susceptibilidad en suelos finos; el factor LS alcanzó valores de hasta 25,61 en pendientes pronunciadas; el factor C confirmó que coberturas boscosas ($C \leq 0,001$) reducen la erosión, mientras que áreas desnudas ($C = 1$) incrementan el riesgo; y el factor P (0,55–1) indicó que prácticas como el surcado en contorno mitigan parcialmente la pérdida de suelo. La mayor parte de la subcuenca presenta erosión nula a leve, concentrada en la cuenca baja por sus pendientes suaves y adecuada cobertura vegetal; con zonas de mayor susceptibilidad en pendientes superiores al 25 % y áreas con cobertura escasa ($C \geq 0,9$). Asimismo, los impactos ambientales afectan el suelo (pérdida de fertilidad y estructura), el agua (mayor sedimentación y riesgo de inundaciones) y la vegetación (limitación de la regeneración y productividad). Se concluye que la implicancia ambiental de la erosión hídrica se manifiesta en una degradación leve pero progresiva del suelo; aunque las tasas actuales son bajas, la combinación de alta erosividad pluvial, susceptibilidad edáfica, pendientes elevadas y cobertura deficiente evidencia una condición de vulnerabilidad ambiental.

Palabras clave: Degradación del suelo, Erosión hídrica, Modelo RUSLE, Subcuenca, SIG.

ABSTRACT

This research aimed to analyze the environmental implications of soil loss due to water erosion on the soil, water, and vegetation components of the Middle Lower Coata sub-basin (2025), using the RUSLE model and Geographic Information System (GIS) tools. The unit of analysis was the districts comprising the lower basin (Lampa, Cabanillas, Juliaca, San Miguel, and Caracoto), employing climatic, soil, topographic, and vegetation cover data. The results show that current erosion in the lower basin ranges from 0 to 25 $t \cdot ha^{-1} \cdot year^{-1}$, with mild levels predominating. The R factor showed high values during the rainy season (November-March), which was the main climatic trigger; the K factor showed greater susceptibility in fine-grained soils; and the LS factor reached values of up to 25.61 on steep slopes. The C factor confirmed that forest cover ($C \leq 0.001$) reduces erosion, while bare areas ($C = 1$) increase the risk; and the P factor (0.55–1) indicated that practices such as contour plowing partially mitigate soil loss. Most of the sub-basin exhibits no to slight erosion, concentrated in the lower basin due to its gentle slopes and adequate vegetation cover; with areas of greater susceptibility on slopes greater than 25% and areas with sparse cover ($C \geq 0.9$). Likewise, the environmental impacts affect the soil (loss of fertility and structure), water (increased sedimentation and risk of flooding), and vegetation (limited regeneration and productivity). It is concluded that the environmental implications of water erosion manifest as a slight but progressive degradation of the soil. Although current rates are low, the combination of high rainfall erosivity, soil susceptibility, steep slopes, and poor vegetation cover indicates a condition of environmental vulnerability to scenarios of increased rainfall intensity or reduced vegetation cover.

Keywords: Soil degradation, Water erosion, RUSLE model, Sub-basin, GIS.

INTRODUCCIÓN

La erosión hídrica del suelo constituye uno de los principales problemas ambientales que afectan a los ecosistemas terrestres, especialmente en zonas donde confluyen condiciones climáticas extremas, topografía accidentada y uso inadecuado del territorio. En la Subcuenca Medio Bajo Coata, este fenómeno se manifiesta de manera relevante debido a la presencia de precipitaciones pluviales intensas, marcadas irregularidades climáticas y el incremento progresivo de las tasas de evaporación, factores que favorecen el desprendimiento y arrastre de las partículas del suelo.

Esta situación se agrava por la disminución de la cobertura vegetal, particularmente en las zonas de cabecera de la cuenca, donde la pendiente es pronunciada y las condiciones para la retención del suelo son desfavorables. La pérdida de vegetación reduce la capacidad del suelo para absorber y retener el agua de lluvia, facilitando el escurrimiento superficial y acelerando los procesos erosivos. Asimismo, la formación del suelo en esta zona se ve limitada por la presencia predominante de rocas ígneas y metamórficas, así como de sedimentos poco consolidados, lo que incrementa su vulnerabilidad frente a la erosión hídrica.

Comprender y predecir el deterioro del suelo resulta fundamental para plantear estrategias de manejo y conservación adecuadas; por ello, el estudio de la erosión hídrica en la Subcuenca Medio Bajo Coata se orienta a analizar este fenómeno y sus implicancias ambientales. La importancia de esta investigación radica en la necesidad de prevenir y medir los efectos de la erosión, ya que cuando esta se presenta de manera intensa puede dar lugar a la formación de surcos y cárcavas, procesos difíciles de revertir. Incluso cuando el deterioro no es evidente de forma inmediata, la detección temprana de la erosión permite aplicar medidas preventivas que eviten daños mayores en el suelo y en los recursos hídricos asociados.

La escasez de investigaciones específicas sobre este fenómeno en la zona convierte a la subcuenca en un escenario pertinente para analizar los procesos erosivos y sus consecuencias ambientales. Si bien existen marcos teóricos generales sobre la erosión

hídrica, resulta necesario contrastar y fortalecer estos planteamientos mediante estudios locales que permitan comprender cómo se manifiesta este proceso en contextos geográficos y ambientales específicos, como el de la región Puno.

En este sentido, la presente investigación busca aportar información científica que permita comprender la dinámica de la erosión hídrica del suelo en la Subcuenca Medio Bajo Coata y sus implicancias ambientales, contribuyendo así a la toma de decisiones orientadas a la conservación del suelo y al manejo sostenible de los recursos naturales de la zona.

El desarrollo del presente documento se ha dividido en los siguientes apartados:

En el Capítulo I se expone el planteamiento del problema, describiendo la situación actual de la erosión hídrica en la Subcuenca Medio Bajo Coata y citando información relevante relacionada con la investigación. Asimismo, se presentan los antecedentes a nivel internacional, nacional y local, para finalmente formular los objetivos que orientan el desarrollo del estudio.

En el Capítulo II se desarrollan los fundamentos teóricos que sustentan la investigación, a través del marco teórico y conceptual, así como la normatividad nacional vigente relacionada con la conservación del suelo y el ambiente. Finalmente, se formulan las hipótesis que guían el trabajo de investigación.

En el Capítulo III se describe la metodología empleada, detallando el tipo y nivel de investigación, la zona de estudio, la población y muestra consideradas, los métodos e instrumentos utilizados para la recolección de datos, así como los procedimientos estadísticos aplicados para el análisis de la información.

En el Capítulo IV se presentan los resultados obtenidos, los cuales son analizados e interpretados de acuerdo con los objetivos e hipótesis planteadas. Finalmente, el documento concluye con las conclusiones y recomendaciones, donde se sintetizan los principales hallazgos y se proponen lineamientos orientados a la mitigación de la erosión hídrica y a la gestión ambiental de la Subcuenca Medio Bajo Coata.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La erosión del suelo son preocupaciones ambientales en las áreas territoriales de América Latina y el Caribe. Las causas de erosión de suelo son muy conocidas, puesto que incluye la pérdida de fertilidad del suelo, contaminación de los cuerpos de agua y la acumulación de sedimento en las vertientes de agua y la disminución de la biodiversidad y no se están adoptando decisiones serias de manera oportuna ni eficaz (FAO, 2024). Lo más probable es que las razones están relacionadas con la actividad descoordinada de la sociedad, las fluctuaciones climáticas y la historia geológica y geomorfológica, junto con acciones humanas inadecuadas. La productividad del suelo y los recursos naturales escasos seguirán viéndose comprometidos por estos problemas medioambientales. Estos factores hacen que sea importante recordar que los problemas relacionados con la erosión del suelo y el desarrollo rural están estrechamente relacionados (FAO, 2024).

La región de Puno, conlleva dificultades particulares relativas a la erosión hídrica; sin embargo, no hay muchas investigaciones centradas en este tema. Particularmente son vulnerables las siguientes cuencas de los ríos Ramis, Ilave, Coata, Huancané y Suches, de tal forma que afectan al 44%, 23%, 14%, 11% y 8% del área total de la región respectivamente. Este vacío de información enfatiza la importancia de realizar investigaciones en profundidad para comprender y mitigar los impactos de la erosión hídrica a nivel local (GOREP, 2021).

En la Subcuenca Medio Bajo Coata, respecto a la erosión del suelo no se ha estudiado ni

cuantificado específicamente, en el futuro esta escasez de estudios puede tener relevantes repercusiones. Por lo expuesto, es esencial sugerir estrategias de gestión para el mantenimiento del suelo e investigar las posibles contribuciones de la vegetación a este proceso.

1.1.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la implicancia ambiental de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la subcuenca Medio Bajo Coata, región Puno, durante el año 2025?

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuál es la magnitud de la pérdida de suelos por erosión hídrica potencial y actual en la subcuenca Medio Bajo Coata, considerando la aplicación del modelo RUSLE y herramientas de sistemas de información geográfica?
- ¿Cómo se distribuye espacialmente la pérdida de suelos por erosión hídrica en la subcuenca Medio Bajo Coata, y cuáles son las áreas que presentan mayor susceptibilidad a la degradación del suelo?
- ¿Cuáles son los impactos ambientales generados por la pérdida de suelos por erosión hídrica en los componentes suelo, agua y vegetación en la subcuenca Medio Bajo Coata?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. A NIVEL INTERNACIONAL

Chen et al. (2023), en su investigación "Influencia del uso del suelo y del clima en la erosión del suelo en ecosistemas terrestres de China", e estudio tuvo como objetivo analizar la influencia de los diferentes tipos de uso del suelo y de las variables climáticas sobre las tasas de erosión del suelo en ecosistemas terrestres de China, mediante un metaanálisis basado en investigaciones que emplearon el método del ^{137}Cs . La población estuvo conformada por estudios científicos desarrollados en diversas regiones del país asiático que evaluaron la erosión del suelo bajo distintos usos del suelo y condiciones climáticas, mientras que la muestra estuvo constituida por 1380 mediciones de erosión del suelo recopiladas de investigaciones previamente publicadas. En términos generales,

más del 80 % de los sitios analizados presentaron condiciones de erosión, con una tasa promedio superior a $3000 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$, lo que evidencia una degradación importante del recurso suelo. En relación con las variables climáticas, las tasas de erosión mostraron respuestas diferenciadas según el tipo de uso del suelo, observándose correlaciones negativas con la temperatura media anual y la precipitación en ecosistemas forestales, positivas en las tierras agrícolas y no significativas en los pastizales.

Castro et al. (2025), en su trabajo “Pérdida de suelo por erosión hídrica en la subcuenca del río Estibaná, Panamá”, el estudio tuvo como objetivo determinar la pérdida de suelo ocasionada por la erosión hídrica en la subcuenca del río Estibaná, mediante la aplicación de parcelas de erosión como herramienta experimental. La población estuvo constituida por los suelos agrícolas representativos de la subcuenca del río Estibaná, ubicada en la provincia de Los Santos, península de Azuero, Panamá, mientras que la muestra correspondió a parcelas experimentales instaladas en tres localidades, evaluando tres tratamientos con tres repeticiones, durante la época lluviosa comprendida entre los meses de mayo y diciembre de los años 2020 y 2021. Los resultados evidenciaron que la erosión del suelo estuvo fuertemente condicionada por la pendiente del terreno, la cobertura vegetal y la precipitación pluvial, alcanzando una pérdida máxima de 62,98 Mg/ha/año en condiciones de suelo desnudo con pendiente del 10 %, lo que refleja un alto nivel de degradación. Asimismo, se comprobó que la incorporación de barreras vivas y cobertura del suelo redujo de manera significativa la pérdida de suelo, mostrando un comportamiento similar en pendientes mayores.

1.2.2. A NIVEL NACIONAL

Alvarez (2023), en su investigación “Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la subcuenca del río Chotano mediante USLE y SIG”, el estudio tuvo como objetivo calcular la pérdida anual de suelo causada por la erosión hídrica asociada a las precipitaciones y determinar la extensión de las áreas erosionadas, la muestra correspondió a las áreas analizadas mediante la elaboración y superposición de mapas temáticos de los factores de la USLE erosividad de la lluvia (R), erodabilidad del suelo

(K), factor topográfico (LS), cobertura vegetal (C) y prácticas de conservación (P)— procesados en el software ArcGIS. Los resultados mostraron que la pérdida anual de suelo bajo condiciones de precipitaciones medias presentó valores máximos entre 26,57 y 46,06 ton/ha/año, mientras que, ante escenarios de precipitaciones máximas, las pérdidas se incrementaron notablemente, alcanzando rangos de 87,41 a 152,86 ton/ha/año para tiempos de retorno comprendidos entre 5 y 100 años. Asimismo, la clasificación de la erosión según la FAO indicó que, para precipitaciones medias, entre 79,70 % y 95,17 % del área de la subcuenca se ubica en la categoría de erosión nula o ligera (0-10 ton/ha/año), y entre 4,83 % y 20,30 % presenta erosión moderada (10-50 ton/ha/año). En contraste, bajo precipitaciones máximas, la erosión nula o ligera abarca entre 32,21 % y 55,39 % del área, la erosión moderada entre 42,33 % y 63,68 %, y la erosión alta (50-200 ton/ha/año) entre 2,28 % y 4,11 % de la subcuenca, evidenciando una mayor vulnerabilidad del territorio frente a eventos pluviales extremos.

Bocanegra y Guzman (2023), en su investigación “Pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Chicama”, el estudio tuvo como objetivo determinar la pérdida de suelo ocasionada por la erosión hídrica. La población estuvo constituida por la totalidad de la cuenca del río Chicama, considerando sus unidades territoriales y antecedentes técnicos disponibles sobre erosión del suelo; en tanto, la muestra correspondió al conjunto de información secundaria recopilada mediante fichas de recolección de datos, sin requerirse un proceso de muestreo específico. Los resultados evidenciaron que la pérdida actual de suelo es predominantemente baja en el 73,89 % del área de la cuenca, mientras que la erosión potencial alcanza un nivel moderado en el 68,97 % del territorio. Asimismo, se registraron tasas medias anuales de pérdida de suelo de 33,05 t/ha/año para la erosión actual y de 143,95 t/ha/año para la erosión potencial. En términos espaciales, se determinó que el nivel predominante de degradación corresponde a la categoría baja, con valores entre 0 y 5 t/ha/año, identificándose como zonas más vulnerables aquellas áreas sometidas a precipitaciones intensas y con escasa cobertura vegetal, principalmente en las subcuencas Medio Alto Chicama, Medio Baja Chicama y Medio Chicama, lo que

resalta la necesidad de contar con información actualizada para la adecuada gestión y conservación del suelo.

Jardith (2023), en su trabajo “Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Sacanche mediante RUSLE y SIG”, el estudio tuvo como objetivo determinar la pérdida de suelo ocasionada por la erosión hídrica en la cuenca del río Sacanche, la cuenca del río Sacanche, localizada en la región San Martín, con una extensión aproximada de 12 410,34 ha, mientras que la muestra comprendió los datos climáticos de estaciones meteorológicas cercanas (Pachiza, San Pablo, Bellavista y Huayabamba), 17 puntos de muestreo de suelo definidos según criterios del MINAM. Los resultados evidenciaron que el factor de erosividad de la lluvia (R) presentó valores entre 847,29 y 2 512,62 MJ·mm/ha·h·año, mientras que la erodabilidad del suelo (K) osciló entre 0,034 y 0,066 t·ha·h/MJ·mm. El factor de cobertura y uso del suelo (C) mostró rangos desde 0,0001 hasta 1, y el factor topográfico (LS), calculado mediante el método de Renard et al. (1997), alcanzó valores entre 0,029 y 398,64; en ausencia de prácticas de conservación, se asumió un valor de $P = 1$. Bajo un escenario sin cobertura vegetal, la simulación arrojó pérdidas potenciales de suelo entre 1,30 y 50 t/ha/año. Finalmente, la estimación de la pérdida de suelo actual mediante RUSLE indicó rangos desde 0,0001 hasta 2 412,65 t/ha/año, determinándose que el 80,5 % del área de la cuenca se encuentra dentro de niveles considerados normales, mientras que sólo el 0,3 % supera los límites críticos, clasificándose como erosión muy severa.

Núñez (2024), en su investigación “Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca Chacco, región Ayacucho, mediante USLE y SIG”, el estudio tuvo como objetivo evaluar la pérdida de suelo ocasionada por la erosión hídrica. La población estaba conformada por la totalidad de la cuenca. con una extensión aproximada de 1 112,04 km² y un rango altitudinal entre 2 499 y 4 465 m s. n. m.; mientras que la muestra se usó imágenes satelitales. Los resultados indicaron que el factor de erosividad de la lluvia (R), calculado a partir de la precipitación media, presentó valores entre 139,73 y 193,67 MJ·mm/ha·h·año; el factor de erodabilidad (K) mostró valores de 0,017

t·ha·h/MJ·ha·mm, clasificados como suelos débilmente erosionables, y rangos de 0,021 a 0,029 t·ha·h/MJ·mm para suelos medianamente erosionables. El factor topográfico (LS) osciló entre 0,30 y 3,40, evidenciándose que la pendiente ejerce una influencia directa del relieve. En cuanto a la cobertura vegetal (C), se identificaron rangos entre 0,17 y 0,20 para bosques, cultivos y pastizales; 0,20 a 0,29 en pastizales; 0,30 a 0,40 en cultivos y pastizales; 0,40 a 0,50 en cultivos y arbustales; y 0,50 a 0,59 en áreas con vegetación escasa. Finalmente, se estimaron tasas de erosión potencial muy severa de 70,15 t·ha⁻¹·año⁻¹ en apenas el 0,02 % del área total, y tasas de erosión actual severa de 33,30 t·ha⁻¹·año⁻¹ en el 0,351 % del territorio, concluyéndose que, a escala de cuenca, la Chacco no presenta una condición de alta erosionabilidad generalizada.

Calderón y Vizcarra (2024), en su investigación “Evaluación de la erosión hídrica en la subcuenca del río Caplina mediante USLE y SIG”, tuvo como objetivo evaluar la erosión hídrica en la subcuenca del río Caplina mediante la aplicación del Modelo Universal de Pérdida de Suelo (USLE). Los resultados evidenciaron que la erosión nula o ligera predomina en la subcuenca durante todo el periodo analizado, con un ligero incremento del 55,85 % en 2013 al 56,20 % en 2023, lo que indica una condición relativamente estable en gran parte del territorio. La erosión moderada representa una proporción importante del área, mostrando una leve tendencia al aumento al pasar de 27,44 % en 2013 a 27,56 % en 2023. En contraste, la erosión alta ocupa una menor extensión y presentó una ligera reducción, disminuyendo de 16,71 % a 16,24 % en el mismo periodo. Asimismo, se identificaron zonas con erosión crítica asociadas principalmente a áreas con pendientes pronunciadas y escasa cobertura vegetal, consideradas como las más vulnerables a la degradación del suelo.

1.2.3. A NIVEL LOCAL

Paco (2022) propone “evaluar los impactos de un conjunto de estrategias para el control de la erosión hídrica en la mencionada microcuenca del río temporal Escalerani, situada en la región Puno”. Donde empleó la ecuación universal de pérdida de suelo, en su resultado indicó que el desgaste potencial en la microcuenca logró los 257.60 t/ha/año,

así también la actual erosión hídrica fue de 92.59 t/ha/año. Concluyendo que los resultados del estudio benefician a los agricultores de la microcuenca al ofrecerles recomendaciones para una gestión programática y respetuosa con el medio ambiente de los recursos de la zona.

Bautista (2023) propone “estimar la erosión hídrica y su impacto en la capa vegetal de la mencionada cuenca del río Zapatilla”. Esta investigación se llevó a cabo utilizando diversos enfoques, incluida la modelización USLE, que permitió evaluar el factor de cobertura vegetal superficial, la intensidad de las precipitaciones, la erosionabilidad del suelo, la longitud de la pendiente y la pendiente. Para realizar una comparación exhaustiva, también se utilizó el método de la capa de coraza para contar el número de piedras en la superficie en un área de 50x50 cm, y se empleó el método del pedestal para medir la altura de la labranza más reciente. Basándose en el enfoque de la Ecuación Universal De Pérdida De Suelo, los resultados obtenidos mostraron que la erosión hídrica variaba entre 1.19 y 125.345 t/ha/año; la erosión estimada sobre el terreno empleando la metodología del pedestal oscilaba entre 2 y 9 mm de altura del pedestal, y empleando el método de la capa de armadura entre 2 y 12 mm de altura. Concluyendo así, que existe un riesgo de bajo a moderado y destacó el valor de los tres enfoques para medir el deterioro del suelo provocado por el desgaste hídrico.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la implicancia ambiental de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la subcuenca Medio Bajo Coata, región Puno - 2025.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar la pérdida de suelos por erosión hídrica potencial y actual en la subcuenca Medio Bajo Coata, a partir de la aplicación del modelo RUSLE y herramientas de sistemas de información geográfica.
- Identificar y clasificar las áreas de la subcuenca Medio Bajo Coata según los niveles de pérdida de suelos por erosión hídrica, determinando las zonas con mayor

susceptibilidad a la degradación.

- Analizar los impactos ambientales generados por la pérdida de suelos por erosión hídrica en los componentes suelo, agua y vegetación de la subcuenca Medio Bajo Coata.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. EROSIÓN DE SUELOS

Chili (2023), indica que se refiere a un tipo diferente de erosión que sucede a un ritmo mucho más rápido como Erosión Antropogénica. Este fenómeno puede atribuirse a actividades humanas como la minería, la urbanización, la deforestación, la agricultura y otras actividades que perjudican al suelo. Se presenta en forma de erosión del suelo provocada por el viento y el agua, un fenómeno que va unida indisolublemente a una gestión inadecuada del suelo y a un uso intensivo. Desde un punto de vista operativo, la erosión hídrica es la fragmentación, el transporte y la deposición de partículas del suelo, que se rige por factores como la energía cinética de las gotas de lluvia, el flujo de agua en movimiento y la fuerza gravitatoria (Alvarez, 2019).

Las precipitaciones provocan erosión hídrica porque el flujo de agua superficial creado por la situación meteorológica transporta las partículas del suelo que se han desprendido debido al contacto con las minúsculas bolitas de lluvia o la escorrentía superficial. La erosión hídrica, se produce cuando el agua disgrega, transporta y deposita el suelo en forma de partículas, especialmente en laderas y pendientes. Tras grandes episodios de precipitaciones y la creación de escorrentía, la erosión suele aparecer en forma de flujo acumulado (Escobar, 2019).

2.1.2. EFECTOS DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN EL MEDIO AMBIENTE

La erosión hídrica produce la desagregación de las partículas del suelo afectando directamente la estructura del mismo. El problema principal radica en que el horizonte

más vulnerado por este proceso es el superficial, el cual presenta los mayores niveles de nutrientes y materia orgánica. En otras palabras, la erosión degrada el horizonte más importante que presenta el suelo.

Un factor que se ve influenciado por este proceso es el de la dinámica hídrica del suelo. Al deteriorar la estructura del mismo se dificulta el ingreso de agua al perfil, lo cual disminuye la cantidad de agua útil disponible para los cultivos. La formación de costras y sellos superficiales aumentan la cantidad de agua que escurre superficialmente pendiente abajo y, por ende, potencian el proceso de erosión.

2.1.3. EROSIÓN HÍDRICA

Aunque esto es bien conocido, faltan datos para medir la reducción de la fertilidad del suelo ocasionada por la erosión, que acaba reduciendo los rendimientos agrícolas. Se han realizado experimentos simulados en invernadero para investigar la relación entre erosión y pérdida de fertilidad; también se han utilizado evaluaciones de campo en regiones con distintos grados de erosión (FAO, 2013).

La erosión hídrica, uno de varios fenómenos, reduce progresivamente los nutrientes del suelo, en particular de la capa superficial enriquecida en materia orgánica. También reduce drásticamente las alturas a las que se acumula el material orgánico. En pocas palabras, el proceso erosivo provocado por el tiempo lluvioso produce una atmósfera inadecuada para el crecimiento de la vegetación (Llambí & Soto, 2012).

2.1.4. TIPOS DE EROSIÓN HÍDRICA

Se pueden identificar los siguientes tipos principales de erosión hídrica:

Según Bada (CENEPRED, 2024), el desgaste hídrico se mide mediante normas que evalúan la velocidad, la continuidad y la existencia de materiales que obstruyan el flujo de agua. Además, se especifica que la degradación y la pérdida de suelo causadas por la descarga de agua contribuyen a reducir la productividad de la superficie, a la acumulación de sedimentos en los canales de drenaje y de riego, a la disminución del nivel de la capa freática y a la formación de depósitos áridos.

- **Erosión laminar.**

Se refiere a la turbulencia del agua que hace que las partículas más finas y ligeras queden excluidas de las más gruesas y pesadas, alterando así la superficie uniforme del suelo y escaseando nutrientes vitales como la materia orgánica y el limo (Chili, 2023).

- **Erosión por surcos.**

Es uno de los métodos más fáciles para comprender las razones de la escorrentía superficial; esta concentración se produce en suelos irregulares, mal tratados o de forma irregular. (Flores, 2019).

- **Erosión en cárcavas.**

Aparece después de la erosión en láminas y en surcos; su principal particularidad es un aumento del volumen y de la velocidad de la escorrentía provocado por la aplicación inadecuada de medidas preventivas (Jiménez, 2021).

- **Erosión por movimientos en masa.**

Explica que este escenario se produce en circunstancias en las que masas importantes se desplazan a corta distancia, impulsadas por la gravedad, el volumen de agua o la propia masa (Serrano, 2012).

2.1.5. PROCESOS DE LA EROSIÓN HÍDRICA

Jiménez (2021) muestra que la erosión hídrica, que comienza con el desprendimiento y continúa mediante el transporte y la sedimentación, es un proceso de pérdida de producción agrícola.

- Etapa de desprendimiento.
- Etapa de transporte.
- Etapa de sedimentación.

2.1.6. MÉTODOS PARA EVALUAR LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO

Según González & Lazo (2018), Dependiendo de los objetivos del estudio, se puede utilizar el siguiente método de análisis de la meteorización de la superficie terrestre teniendo en cuenta tanto la erosión existente como la prospectiva.

- **Erosión actual**

Teniendo en cuenta las actividades y fuerzas a las que está expuesta la tierra, la pérdida

actual es la cantidad de suelo que erosiona en una región concreta en el presente. Este método combina factores como la topografía, la cubierta vegetal, la susceptibilidad del suelo a la erosión y la capacidad erosiva de las precipitaciones. La erosión fluvial se estima multiplicando los componentes pertinentes, utilizando la fórmula algebraica de la ecuación universal de pérdida de suelo, y expresando el resultado en toneladas por hectárea y año (Domingo & Portuguez, 2014).

- **Erosión potencial**

La erosión hídrica potencial se estima exclusivamente manejando los elementos R, K y LS (erosividad de las precipitaciones, erosionabilidad del suelo, longitud y pendiente), que son componentes de la “Ecuación Universal de Pérdida de Suelo”. La pérdida potencial de suelo denota hasta qué punto podría perderse suelo en ausencia de medidas de conservación del suelo y de cubierta vegetal. Para efectuar el cálculo, se multiplican los factores de erosividad de la precipitación, erodabilidad del terreno y topografía, pues los otros factores se exceptúan al mitigar el desgaste (Gisbert, 2012).

- **Niveles de erosión del suelo**

La evaluación cualitativa o cuantitativa de los niveles potenciales de erosión (toneladas por hectárea y año) es posible. Como se muestra en la Tabla 1, la FAO (1980) clasifica la erosión por pérdida de suelo (t/ha/año) en cuatro categorías distintas.

Tabla 01: Niveles de erosión hídrica.

Pérdida de suelo (t/ha/año)	Grado de erosión
<10	Erosión Nula o ligera
10-50	Erosión Moderada
50-200	Erosión Alta
>200	Erosión Muy alta

Fuente: datos tomados de Solano (2016).

2.1.7. CUENCA HIDROGRÁFICA

Zaldívar (2017) recalca lo útil de implementar las cuencas hidrográficas como unidad de

gestión del territorio, a razón de que permiten identificar de forma eficaz, posibilidades de crear y utilizar diversas herramientas de planificación destinadas a aumentar las actividades ganaderas y forestales.

La Subcuenca Medio Bajo Coata, que se extiende a lo largo de 57.20 kilómetros desde la confluencia de los ríos Cabanillas y Lampa hasta la desembocadura en el lago Titicaca, se sitúa en la parte baja del área de drenaje. En consecuencia, definir la Subcuenca Medio Bajo Coata equivale a definir las cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa. El sector en cuestión abarca 459.96 km² de terreno, lo que representa el 9.3% de la superficie total de la Subcuenca Medio Bajo Coata.

2.1.8. ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDAS DE SUELOS (USLE)

El modelo USLE se diseñó para evitar la erosión del suelo a largo plazo causada por la escorrentía superficial en laderas cultivadas y praderas bajo una variedad de esquemas de gestión. Así también, se creó para evaluar la eficacia de las medidas de conservación, la cobertura del suelo y las técnicas de gestión del suelo en regiones afectadas por diversas actividades que alteran la topografía natural del terreno, así como en contextos agrícolas (Escobar, 2019).

Indica Laqui (2019) la fórmula universal de pérdidas de suelos puede emplearse para los siguientes contextos:

- Para proyectar las pérdidas de suelo a largo plazo en un campo dado con un determinado esquema de gestión.
- Ayudar a las zonas interesadas a aplicar técnicas de conservación.
- Determinar la mayor longitud de pendiente aceptable para un determinado sistema de cultivo.
- Determinar los índices de erosión del suelo en suelos alterados, lo que ayudará a seleccionar medidas de conservación que contribuyan a un grado manejable de pérdida de suelo.

Rivera & Alguera (2016) indica que se puede definir que la ecuación universal se remonta a su utilización en los planes de conservación de zonas cultivadas a finales de los años

cincuenta. En 1970, ya se utilizaba en diversos campos de la ingeniería y evolucionó hasta convertirse en una herramienta para predecir las pérdidas de suelo que causan la erosión, incluida la erosión en cárcavas y la erosión laminar.

La ecuación universal para el análisis de las pérdidas del suelo

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

Donde:

- A : “Es la media de la pérdida de suelo anual (t/ha/año)”.
- R : “El factor de c (Mj*mm/ha*h*año)”.
- LS : “Es el factor topográfico (adimensional)”.
- K : “Es el factor de erodabilidad (t*ha*h/ha*Mj*mm)”.
- C : “Es el factor de cobertura vegetal”.
- P : “Es el factor de práctica de conservación”.

Según Wischmeier y Smith (1965), la USLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo) impone las siguientes limitaciones al infinito:

- No indica una estimación concisa del desgaste para un acontecimiento concreto.
- No calcula la deposición de sedimentos.
- No evalúa la acumulación de sedimentos en la escorrentía.

a. Factor de erosividad de la lluvia ®

Se determina el factor R por el análisis de los datos provenientes de las estaciones pluviográficas, en base del producto de la energía cinética generada por las precipitaciones (E) y la intensidad máxima de precipitación con un intervalo de 30 minutos (I30). El enfoque del Índice de Agresividad de la lluvia o Índice Modificado de Fournier (IMF) se utilizó en varios lugares en los que no se dispone de datos suficientes (Solano, 2016).

b. Índice modificado de Fournier (IMF).

Este índice ajustado tiene en cuenta las precipitaciones anuales a lo largo de todo el año, reconociendo la existencia de regiones con múltiples regímenes de precipitaciones máximas mensuales y lugares caracterizados por niveles de precipitaciones

constantemente elevados. es sin lugar a dudas el índice más generalmente reconocido y utilizado en lugares sin acceso a datos pluviométricos completos, dado que el IFM arroja resultados muy próximos al factor R (Solano, 2016).

c. Factor topográfico (LS)

La pendiente (L) la longitud y ángulo de la inclinación S se combinan en un solo componente. La relación entre la pérdida de suelo prevista por unidad de superficie en una determinada pendiente (x) y la pérdida que deriva en una pendiente del 9% y en relación con una longitud (y) de 22,13 metros se representa mediante este factor.

Cuando se evalúa la pérdida de suelo en áreas extensas donde se empleó un sistema de información geográfica SIG, la metodología es el más empleado. A continuación, basándose en las etapas del procedimiento de delimitación de la cuenca hidrográfica, el flujo acumulado de la capa raster se representa como un número o conjunto de celdas, siendo el tamaño de cada celda igual a la longitud de uno de sus lados

d. Factor de erodabilidad del suelo (K)

Este factor, o sensibilidad del suelo a la erosión, muestra cómo reacciona el suelo ante una fuerza o mecanismo erosivo concreto. Este parámetro se obtiene a través de una ecuación de regresión que pone en relación el factor K con diversas propiedades del suelo como son su textura, estructura, permeabilidad, presencia de materia orgánica y profundidad (Solano, 2016).

Solano (2016) elaboró además un nomograma de la erosionabilidad en el que los valores de K corresponden de forma gráfica a los parámetros del suelo antes mencionados. Este nomograma es el método más extendido actualmente para determinar este parámetro, ya que permite determinar visualmente el valor de K.

e. Factor de cobertura vegetal ©

Como hemos visto, el factor vegetación refleja el grado de protección que un determinado tipo de cubierta vegetal ofrece al suelo al frenar su erosión. Para el cálculo de dicho parámetro hay tabulaciones más no ecuaciones (Escobar, 2019). Proponen valores para este parámetro en su modelo, que oscilan entre 0 y 1, en función del tipo y la extensión

de la vegetación actual.

f. Factor de prácticas de conservación (P)

Flores (2019), refiere que el factor P representa las técnicas de gestión de la conservación, como el cultivo en terrazas y las curvas de nivel, que suelen utilizarse en entornos agrícolas. Como no existe un mapa nacional que muestre dónde se ubican las diversas técnicas de gestión, esta parte de la ecuación no se ha considerado.

Este parámetro, que asume valores entre 0 y 1, refleja la relación entre las pérdidas de suelo que se originan en una región bajo una determinada técnica de conservación del suelo y las pérdidas que se producen en la misma zona sin esfuerzos de conservación. Esta expresión se refiere a diversas actividades, como terrazas, zanjas de infiltración para la protección de pastos, curvas de nivel y cultivos en franjas (alternancia de cultivos en curvas de nivel) (Solano, 2016).

2.1.9. MODELAMIENTO DE LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO

La “Ecuación Universal de Pérdida de Suelo” se desarrolló en los Estados Unidos de América y sirvió de base para la conceptualización y modelización modernas de la meteorización y el transporte superficiales por parte de Wischmeier y Smith en 1958. Los modelos predictivos integrados en aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica (SIG) junto con los Modelos Digitales de Elevación (MDE) marcan un cambio de paradigma en las evaluaciones del riesgo de desgaste al modificar el ámbito temporal y geográfico de consideración de los modelos (Mingorance & Ariza, 2019).

2.1.10. TELEDETECCIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Condori (2018), expone que la teledetección, también denominada por las siglas SIG, consiste en diversos procedimientos de captura, gestión, modelización, manipulación y representación de datos georreferenciados con el fin exclusivo de una gestión y planificación apropiada.

Modelo ráster. Según Baldoceca (2010), utilizando superficies preestablecidas dispuestas en una matriz, cada característica se representa mediante un único "píxel" en la técnica del modelo ráster. La representación gráfica se divide en celdas, como los

mosaicos, y cada celda representa una parte distinta del todo. La representación se reduce a sus formas geométricas más básicas, entre las que destacan los rectángulos y los cuadrados.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Cobertura vegetal (C). La cobertura vegetal representa el grado de protección que ejerce la vegetación sobre el suelo frente a los procesos erosivos, reduciendo el impacto directo de la lluvia y la escorrentía superficial. Este factor varía entre 0 y 1, dependiendo del tipo y densidad de la vegetación presente. Una mayor cobertura implica una menor pérdida de suelo. (Escobar, 2019)

Cuenca hidrográfica. La cuenca hidrográfica es una unidad territorial delimitada naturalmente, donde las aguas superficiales convergen hacia un punto común de salida. Su uso como unidad de gestión permite una planificación integral del suelo y los recursos hídricos. Es fundamental para la evaluación de procesos como la erosión hídrica. (Zaldívar, 2017)

Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE). La USLE es un modelo empírico diseñado para estimar la pérdida media anual de suelo causada por la erosión hídrica. Integra factores climáticos, edáficos, topográficos y de manejo del suelo. Es ampliamente utilizada en estudios de conservación y planificación territorial. (Wischmeier & Smith, 1965; Escobar, 2019)

Erosión de suelos. La erosión del suelo es un proceso de degradación que implica la remoción y transporte de partículas del suelo por acción del agua o el viento. Las actividades humanas como la agricultura intensiva y la deforestación aceleran significativamente este fenómeno. Una gestión inadecuada del suelo incrementa su magnitud e impacto ambiental. (Chili, 2023; Álvarez, 2019)

Erosión hídrica. La erosión hídrica es el proceso mediante el cual el agua desagrega, transporta y deposita partículas del suelo, especialmente en zonas con pendientes. Afecta principalmente la capa superficial del suelo, rica en nutrientes y materia orgánica. Este fenómeno reduce la fertilidad del suelo y la productividad agrícola. (FAO, 2013;

Llambí & Soto, 2012)

Erosión hídrica actual. La erosión hídrica actual corresponde a la pérdida de suelo que ocurre bajo las condiciones presentes de uso del suelo, cobertura vegetal y prácticas de manejo. Se estima considerando todos los factores de la USLE. Su magnitud refleja el estado real de degradación del suelo. (Domingo & Portuguez, 2014)

Erosión hídrica potencial. La erosión hídrica potencial estima la pérdida de suelo que ocurriría en ausencia de cobertura vegetal y prácticas de conservación. Se calcula únicamente con los factores R, K y LS de la USLE. Representa el máximo riesgo erosivo del terreno. (Gisbert, 2012)

Erosión laminar. La erosión laminar consiste en la remoción uniforme de capas superficiales del suelo por acción del agua. Este tipo de erosión es difícil de detectar, pero provoca una pérdida progresiva de nutrientes. Afecta principalmente suelos agrícolas. (Chili, 2023)

Erosión por cárcavas. La erosión en cárcavas se caracteriza por la formación de surcos profundos y canales debido a la concentración del flujo de escorrentía. Generalmente ocurre tras la erosión laminar y en surcos, cuando no se aplican medidas preventivas. Representa un estado avanzado de degradación del suelo. (Jiménez, 2021)

Erosión por movimientos en masa. Este tipo de erosión se produce cuando grandes volúmenes de suelo se desplazan por efecto de la gravedad, el agua o el peso propio del material. Suele presentarse en zonas con pendientes pronunciadas y saturación hídrica. Genera impactos severos sobre el paisaje y la infraestructura. (Serrano, 2012)

Erosión por surcos. La erosión por surcos ocurre cuando la escorrentía superficial se concentra en pequeñas hendiduras del terreno. Es común en suelos mal manejados o con superficie irregular. Constituye una fase intermedia del proceso erosivo. (Flores, 2019).

Factor de erodabilidad del suelo (K). El factor K expresa la susceptibilidad del suelo a ser erosionado según sus propiedades físicas y químicas. Depende de la textura, estructura, permeabilidad y contenido de materia orgánica. Se determina comúnmente

mediante nomogramas. (Solano, 2016)

Factor de erosividad de la lluvia (R). El factor R mide la capacidad erosiva de las precipitaciones, considerando su energía cinética e intensidad. Puede estimarse mediante índices como el Índice Modificado de Fournier cuando no existen datos pluviográficos detallados. Es un factor clave en la erosión hídrica. (Solano, 2016)

Factor de prácticas de conservación (P). El factor P representa la eficacia de las prácticas de conservación del suelo, como terrazas y curvas de nivel, en la reducción de la erosión. Sus valores oscilan entre 0 y 1, siendo menores cuando existen medidas conservacionistas. Refleja la relación entre suelos conservados y no conservados. (Flores, 2019; Solano, 2016)

Factor topográfico (LS). El factor LS integra la longitud y la pendiente del terreno, influyendo directamente en la velocidad y volumen de la escorrentía. A mayor pendiente y longitud, mayor es el riesgo de erosión. Su cálculo se facilita mediante SIG y modelos digitales de elevación. (Solano, 2016)

Modelamiento de la erosión hídrica. El modelamiento de la erosión hídrica permite predecir la pérdida de suelo mediante modelos matemáticos integrados en SIG. Estos modelos amplían el análisis espacial y temporal del riesgo erosivo. Constituyen herramientas clave para la planificación ambiental. (Mingorance & Ariza, 2019)

Niveles de erosión del suelo. Los niveles de erosión del suelo clasifican la magnitud de la pérdida anual de suelo en categorías como nula, moderada, alta y muy alta. Esta clasificación se expresa en toneladas por hectárea por año. Facilita la interpretación del riesgo y la toma de decisiones. (FAO, 1980; Solano, 2016)

Procesos de la erosión hídrica. La erosión hídrica se desarrolla en tres etapas: desprendimiento, transporte y sedimentación de partículas del suelo. Estas fases ocurren de manera secuencial bajo la acción del agua. El proceso genera una pérdida progresiva de productividad agrícola. (Jiménez, 2021)

Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG). La teledetección y los SIG permiten la captura, análisis y representación de información espacial georreferenciada.

Son herramientas fundamentales para el estudio de la erosión hídrica a gran escala. Facilitan el análisis de variables ambientales y territoriales. (Condori, 2018)

Modelo ráster. El modelo ráster representa el espacio geográfico mediante una matriz de celdas o píxeles, donde cada celda contiene un valor específico. Es ampliamente utilizado en estudios ambientales y de erosión del suelo. Permite integrar datos topográficos, climáticos y de cobertura. (Baldoceda, 2010)

2.3. MARCO NORMATIVO

Constitución Política del Perú, en su artículo 2º, inciso 22, reconoce el derecho fundamental de toda persona a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida, mientras que el artículo 67º establece que el Estado determina la política nacional del ambiente y promueve el uso sostenible de los recursos naturales.

La Ley N.º 28611, Ley General del Ambiente, constituye el marco legal principal en materia ambiental, estableciendo que el Estado, la sociedad y los particulares son responsables de la protección del ambiente y de la prevención del deterioro de los recursos naturales.

Ley N.º 26821, Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales, establece que el uso de los recursos naturales debe realizarse de manera racional, considerando su capacidad de regeneración y evitando impactos ambientales negativos. En este contexto, la pérdida de suelos por erosión hídrica constituye una afectación directa al recurso suelo, por lo que su evaluación resulta fundamental para una adecuada gestión territorial.

La Política Nacional del Ambiente, aprobada mediante Decreto Supremo N.º 012-2009-MINAM, plantea como uno de sus ejes prioritarios la conservación y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, incluyendo el suelo y el agua. Esta política promueve la prevención de la degradación de tierras y el control de procesos erosivos, especialmente en cuencas hidrográficas vulnerables, mediante la planificación y el ordenamiento territorial.

La Política Nacional de Recursos Hídricos, aprobada por Decreto Supremo N.º

006-2015-MINAGRI, reconoce la cuenca hidrográfica como unidad básica de gestión y resalta la interrelación entre el suelo y el agua. Esta normativa enfatiza la necesidad de reducir la erosión hídrica debido a su impacto en la calidad del agua, el incremento de sedimentos y la alteración de los ecosistemas acuáticos.

2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

La pérdida de suelos por erosión hídrica genera una implicancia ambiental negativa significativa en la subcuenca Medio Bajo Coata, región Puno, durante el año 2025.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- La pérdida de suelos por erosión hídrica potencial y actual en la subcuenca Medio Bajo Coata presenta valores moderados a altos, según la estimación realizada mediante el modelo RUSLE y herramientas de sistemas de información geográfica.
- La pérdida de suelos por erosión hídrica se distribuye de manera heterogénea en la subcuenca Medio Bajo Coata, concentrándose los niveles más altos en áreas con mayor pendiente, menor cobertura vegetal y prácticas inadecuadas de manejo del suelo.
- La pérdida de suelos por erosión hídrica produce impactos ambientales negativos significativos en los componentes suelo, agua y vegetación de la subcuenca Medio Bajo Coata.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

3.1.1. UBICACIÓN POLÍTICA

La Subcuenca Medio Bajo Coata se encuentra ubicada políticamente en el distrito de Cabanillas, perteneciente a la provincia de San Román, en el departamento de Puno. Esta subcuenca forma parte del sistema hidrográfico de la cuenca del río Coata, el cual constituye una de las principales fuentes hídricas de importancia ambiental, social y económica para la región altiplánica. Asimismo, la Subcuenca Medio Bajo Coata abarca los distritos de:

- Cabana
- Santa Lucía
- Cabanillas
- Cabanilla
- Juliaca

3.1.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Según la representación geográfica, la región de investigación está situada en Datum WGS 84 - Zona 19 L, que es la zona montañosa o sierra del Perú, a una altitud de casi 4.600 msnm, entre las coordenadas siguientes:

- **Coordenadas geográficas:**
 - Latitud Sur : 15°06'36" - 15°55'12"
 - Longitud : 71°12'00" - 69°55'12"
- **Coordenadas UTM (WGS84):**

- Norte : 8'328,509 - 8'239,696
- Este : 282,907 - 401,525
- **Variación altitudinal: 5,300 - 3800 m.s.n.m.**
- **Límites hidrográficas:**
 - Norte : Cuenca Ramis
 - Sur : Cuenca Illpa y cuenca Alto tambo
 - Este : Lago Titicaca
 - Oeste : Cuenca Chili y cuenca Colca Siguas

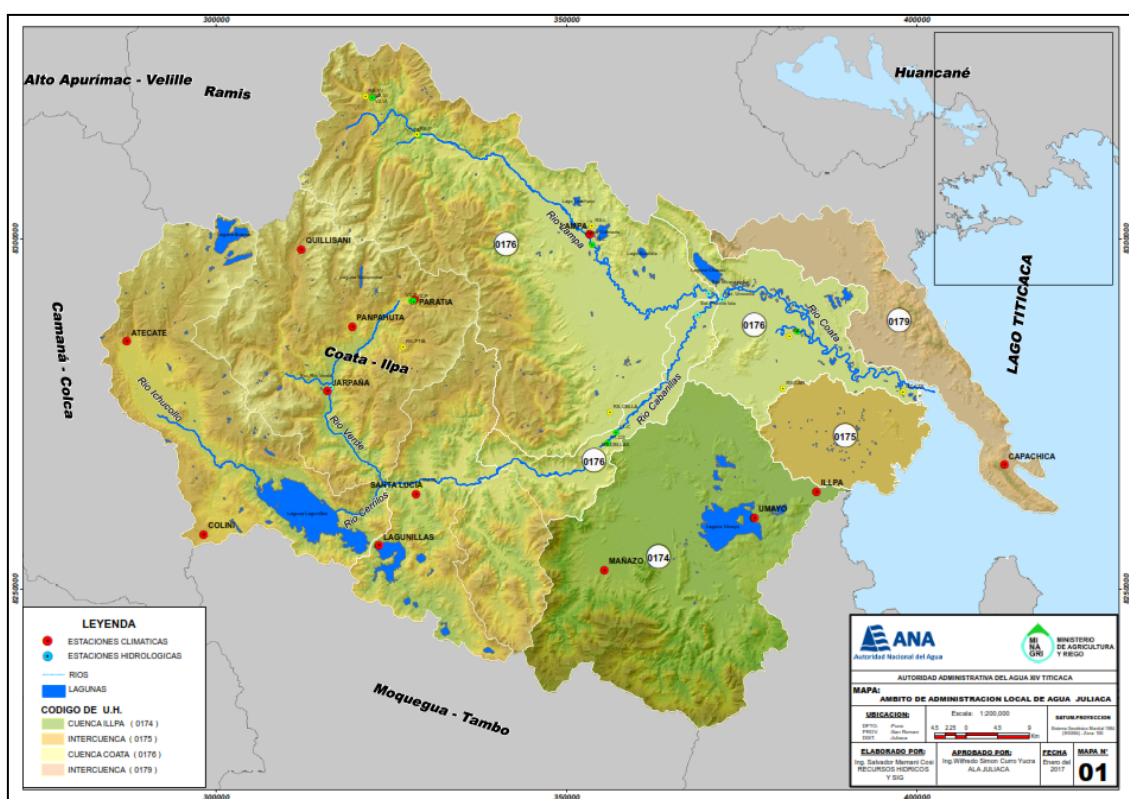


Figura 01. Se muestra la ubicación geográfica de la Subcuenca Medio Bajo Coata.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

La población estuvo conformada por la superficie de la Subcuenca Medio Bajo Coata, extendiéndose en un área total de 314.53 km².

3.2.2. MUESTRA

La muestra estuvo conformada por la unidad hidrográfica que consta de 314.53.00

hectáreas de la Subcuenca Medio Bajo Coata.

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

El enfoque empleado en el presente estudio es descriptivo - cuantitativo.

3.3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación es de diseño no experimental.

3.4. MATERIALES Y EQUIPOS

3.4.1. MATERIALES

El análisis de laboratorio de la información obtenida de campo y así mismo la información extraída de la “Zonificación Ecológica y Económica Departamental-ZEE” a nivel meso (escala 1/100 000), que fue aprobada en 2015 con la Ordenanza Regional N° 014-2015-GRP-CRP, se refirió a las características dominantes del perfil del suelo, incluyendo textura, drenaje, contenido de materia orgánica, taxonomía y descripción. Para el procesamiento, análisis y representación cartográfica de los datos de este estudio, se utilizó software ArcGIS versión 10.5 y material cartográfico digital base del estudio Zonificación y Ordenamiento Territorial de la Región Puno.

- **En formato ráster:**

- Modelo Digital de Elevación (DEM), fueron provenientes del estudio de zonificación y ordenamiento territorial de la región de Puno.
- Mapas de precipitaciones medias anuales y medias mensuales, fueron proporcionados por SENAMHI .
- Mapas de delimitación de la Subcuenca Medio Bajo Coata y sus respectivas unidades hidrográficas.

- **Softwares:**

- ArcGIS versión 10.5.

3.4.2. EQUIPOS

- GPS
- Cámara fotográfica.

- Computadora personal.

3.5. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVO ESPECÍFICO

Objetivo específico 1: Estimar la pérdida de suelos por erosión hídrica potencial y actual en la subcuenca Medio Bajo Coata, mediante la aplicación del modelo RUSLE y el uso de herramientas SIG.

Para cumplir este objetivo, se aplicó el modelo **Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**, el cual permite estimar la pérdida media anual de suelo expresada en toneladas por hectárea por año (t/ha/año). El procesamiento y análisis espacial se realizó mediante herramientas de **Sistemas de Información Geográfica (SIG)**, principalmente utilizando software especializado.

En primer lugar, se delimitó la subcuenca Medio Bajo Coata a partir de modelos digitales de elevación (MDE), lo que permitió definir el área de estudio y extraer información topográfica. Posteriormente, se estimaron los factores que componen la ecuación RUSLE:

- **Factor R (erosividad de la lluvia):** se calculó a partir de datos de precipitación provenientes de estaciones meteorológicas cercanas, aplicando el Índice Modificado de Fournier (IMF).

$$IMF = \sum_{i=1}^{12} 1.735 \times 10^{(1.5 \times \log(\frac{P_i^2}{P}) - 0.08188)}$$

- **Factor K (erodabilidad del suelo):** se determinó en función de las características edáficas del suelo, como textura, estructura, permeabilidad y contenido de materia orgánica, utilizando información secundaria y cartografía temática.
- **Factor LS (longitud y pendiente):** se obtuvo mediante el análisis del MDE, calculando la pendiente y la acumulación de flujo.
- **Factor C (cobertura vegetal):** se estimó a partir del análisis de imágenes satelitales, considerando los diferentes tipos de cobertura y uso del suelo.
- **Factor P (prácticas de conservación):** se asignó según la presencia o ausencia de prácticas de manejo y conservación del suelo en la zona de estudio.

La **erosión hídrica potencial** se calculó considerando únicamente los factores R, K y LS, mientras que la **erosión hídrica actual** se estimó integrando todos los factores del modelo RUSLE. Los resultados fueron expresados en mapas temáticos de pérdida de suelo anual.

Objetivo específico 2: Identificar y clasificar las áreas de la subcuenca Medio Bajo Coata según los niveles de pérdida de suelos por erosión hídrica, determinando las zonas con mayor susceptibilidad a la degradación del suelo.

Con base en los resultados obtenidos de la aplicación del modelo RUSLE, se procedió a la clasificación de la pérdida de suelos en niveles de erosión. Para ello, se emplearon los rangos establecidos por la **FAO**, los cuales permiten categorizar la erosión hídrica en: nula o ligera, moderada, alta y muy alta.

Los valores de pérdida de suelo calculados fueron reclasificados en el entorno SIG, generándose mapas de niveles de erosión tanto para la erosión potencial como para la erosión actual. Posteriormente, se realizó un análisis espacial para identificar las áreas con mayor susceptibilidad a la degradación del suelo, considerando factores como pendiente, tipo de suelo y cobertura vegetal.

Finalmente, se cuantificó la superficie ocupada por cada nivel de erosión, permitiendo identificar zonas críticas que requieren atención prioritaria para la implementación de medidas de conservación del suelo.

Objetivo específico 3: Analizar los impactos ambientales generados por la pérdida de suelos por erosión hídrica en los componentes del suelo en la subcuenca Medio Bajo Coata.

Para el análisis de los impactos ambientales, se realizó una evaluación cualitativa y descriptiva basada en los resultados de pérdida de suelo obtenidos y en información bibliográfica especializada. Se analizaron los efectos de la erosión hídrica sobre los principales componentes del suelo, tales como la estructura, fertilidad, contenido de materia orgánica y capacidad de retención de agua.

Asimismo, se evaluaron las implicancias ambientales asociadas a la pérdida del horizonte

superficial del suelo, la disminución de la productividad agrícola y el incremento de la escorrentía superficial, relacionándolas con los niveles de erosión identificados previamente.

El análisis permitió establecer una relación directa entre las zonas con mayores tasas de pérdida de suelo y los impactos ambientales negativos, constituyendo una base técnica para proponer medidas de manejo y conservación del suelo orientadas a reducir la degradación ambiental en la subcuenca Medio Bajo Coata.

3.6. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Tabla 02: Identificación de variables.

Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida / Escala	Valores / Categorías
Variable Independiente:	Factores erosivos (RUSLE)	Factor R (erosividad de la lluvia)	MJ·mm/ha·h·año	Valores altos en temporada lluviosa
Pérdida de suelos por erosión hídrica		Factor K (erodabilidad del suelo)	t·ha·h/MJ·mm	Mayor susceptibilidad en suelos finos (cuenca alta)
		Factor LS (longitud y pendiente)	Adimensional	0.38 – 25.61 (según % de pendiente)
		Factor C (cobertura vegetal)	Adimensional (0–1)	0 (cuerpos de agua) – 1 (suelo desnudo)
		Factor P (prácticas de conservación)	Adimensional (0–1)	0.55 – 1 (predomina surcado en contorno)
	Nivel de pérdida de suelo	Tasa de pérdida de suelo	t·ha ⁻¹ ·año ⁻¹	0 – 25 (leve, predominante en cuenca baja)

Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida /	Valores / Categorías
			Escala	
		Clasificación de erosión	Categoría	Nula – Leve – Moderada – Alta
Variable Dependiente:	Impacto en el suelo	Pérdida de fertilidad	Cualitativa	Degradación leve pero progresiva
<i>Implicancia ambiental</i>		Disminución de materia orgánica	Cualitativa	Asociada a escorrentía
		Deterioro estructural	Cualitativa	Mayor en pendientes >25%
	Impacto en el agua	Sedimentación	Cualitativa	Incremento progresivo
		Colmatación de cauces	Cualitativa	Riesgo en zonas bajas
		Riesgo de inundación	Cualitativa	Asociado a acumulación de sedimentos
	Impacto en la vegetación	Reducción de regeneración natural	Cualitativa	En áreas con $C \geq 0.9$
		Afectación de pastizales y cultivos	Cualitativa	Zonas con mayor pendiente y baja cobertura
		Disminución de estabilidad ecológica	Cualitativa	Sectores vulnerables

3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de nivel descriptivo-explicativo, con un diseño no experimental, transversal y de tipo correlacional-causal espacial, ya que no se manipularon deliberadamente las variables de estudio y el análisis se realizó a partir de datos existentes correspondientes al año 2025 en la subcuenca Medio Bajo Coata.

El diseño estadístico se fundamentó en la aplicación del **Modelo Universal Revisado de Pérdida de Suelo (RUSLE)**, el cual permitió estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica mediante la integración de cinco factores: erosividad de la lluvia (R), erodabilidad del suelo (K), factor topográfico (LS), cobertura vegetal (C) y prácticas de conservación (P). La estimación se realizó mediante la expresión:

$$A=R \times K \times LS \times C \times P$$

donde:

A = pérdida anual de suelo ($t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$)

R = factor de erosividad de la lluvia

K = factor de erodabilidad del suelo

LS = factor longitud y pendiente

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. ESTIMAR LA PÉRDIDA DE SUELOS POR EROSIÓN HÍDRICA POTENCIAL Y ACTUAL EN LA SUBCUENCA MEDIO BAJO COATA, A PARTIR DE LA APLICACIÓN DEL MODELO RUSLE Y HERRAMIENTAS DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

4.1.1. ANÁLISIS DEL FACTOR DE EROSIDAD

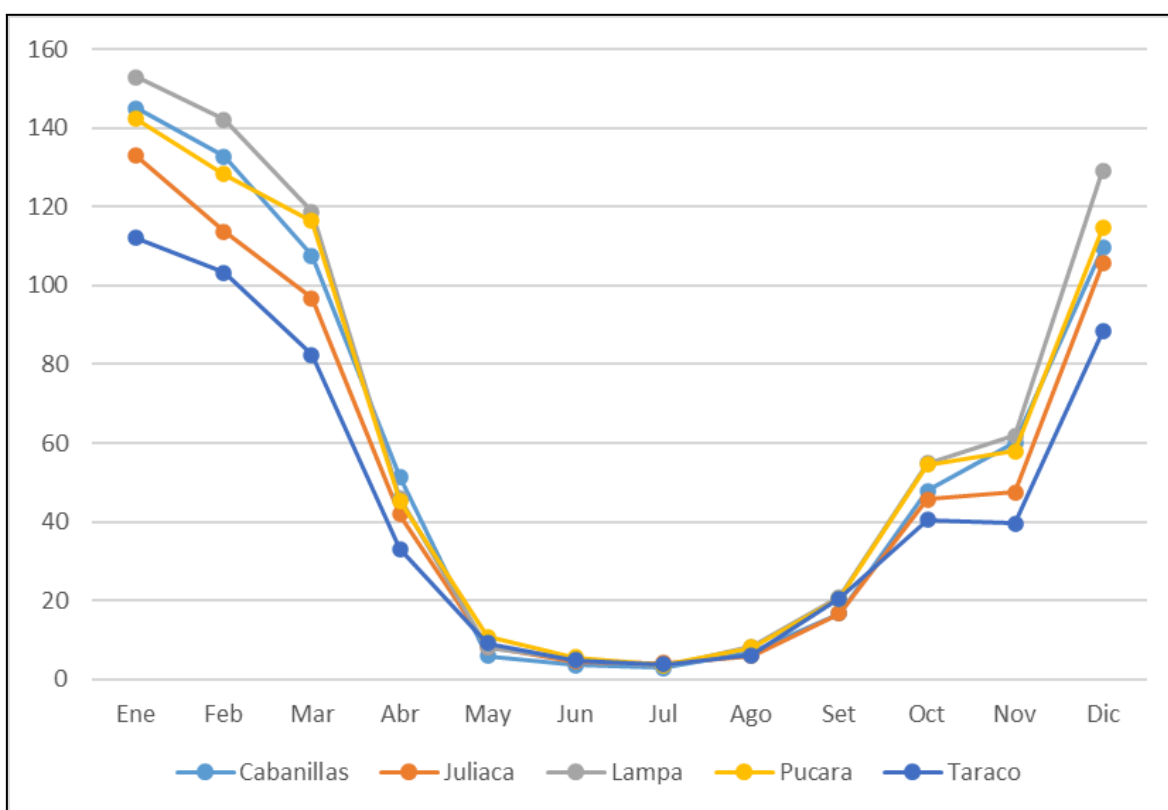


Figura 02: Precipitación mensual en el periodo 2000 - 2023.

Fuente: Elaborados en base a la Anexo 02.

La Figura 02 muestra el comportamiento mensual y anual de la precipitación en cinco estaciones meteorológicas próximas a la subcuenca: Cabanillas, Juliaca, Lampa, Pucará y Taraco. El análisis permite identificar patrones climáticos relevantes para la interpretación de la erosión hídrica en el área de estudio.

Régimen pluviométrico estacional

Se observa un régimen marcadamente estacional, típico del altiplano puneño:

- Periodo lluvioso: diciembre a marzo, con máximos en enero y febrero.
- Periodo seco: mayo a agosto, con valores extremadamente bajos (entre 2,87 y 10,68 mm).

Esta concentración estacional implica que la mayor parte de la energía erosiva de la lluvia se produce en un periodo corto del año, lo que incrementa el potencial de escorrentía superficial y desprendimiento de partículas del suelo.

Variabilidad espacial de la precipitación anual

El total anual muestra diferencias entre estaciones:

- Mayor precipitación: Lampa (751,25 mm)
- Valores intermedios: Pucará (707,79 mm) y Cabanillas (690,54 mm)
- Menor precipitación: Taraco (543,68 mm)

La diferencia entre la estación más húmeda y la más seca es de aproximadamente 207,57 mm, lo que evidencia variabilidad espacial dentro del ámbito de influencia de la subcuenca. Sin embargo, en términos absolutos, los valores anuales (543 - 751 mm) corresponden a un clima semiárido a frío subhúmedo, no caracterizado por precipitaciones extremas en comparación con regiones tropicales.

Intensidad potencial de los meses críticos

Aunque el total anual no es elevado, los meses de enero y febrero registran valores superiores a 130 mm en varias estaciones (por ejemplo, Lampa con 153,00 mm en enero y 142,13 mm en febrero). Esta concentración mensual puede generar eventos de alta intensidad en periodos cortos, lo cual incrementa el factor R (erosividad de la lluvia) en el modelo RUSLE.

Implicancias para la erosión hídrica

Desde el punto de vista geomorfológico y ambiental:

- La fuerte estacionalidad favorece procesos de erosión laminar y en surcos durante la temporada de lluvias.
- El prolongado periodo seco reduce la cobertura vegetal natural, dejando el suelo expuesto al inicio de la temporada húmeda.
- Las diferencias altitudinales entre estaciones (3828 - 3888 m s. n. m.) pueden influir en variaciones microclimáticas y en la distribución espacial de la erosividad.

Relación con la pérdida de suelos

La Figura 02 sugiere que la erosión hídrica en la subcuenca no estaría determinada únicamente por el volumen anual de precipitación, sino por:

- La concentración temporal de lluvias,
- La intensidad de eventos pluviales,
- La cobertura vegetal estacional,
- Y las condiciones topográficas del terreno.

Por tanto, incluso con precipitaciones anuales moderadas, pueden generarse tasas significativas de pérdida de suelo si coinciden lluvias intensas con pendientes pronunciadas y baja cobertura vegetal.

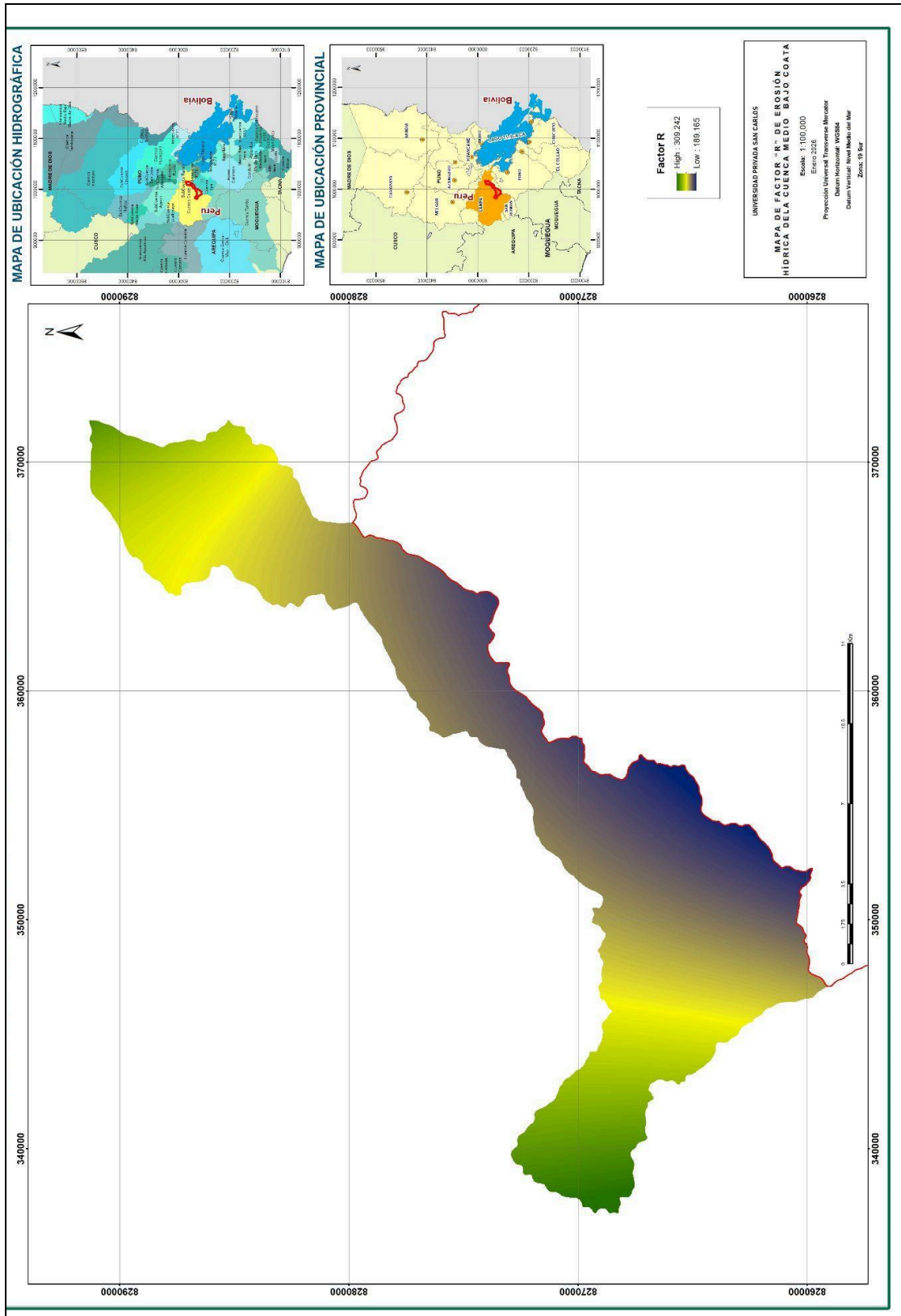


Figura 03: Mapa del Factor R de erosión hídrica de la cuenca Medio Bajo Coata.

La Figura 03 presenta la distribución espacial del Factor R (erosividad de la lluvia) calculado a partir de la precipitación anual registrada en cinco estaciones meteorológicas cercanas a la subcuenca. Este factor representa la capacidad potencial de la lluvia para generar desprendimiento y transporte de partículas del suelo, siendo uno de los componentes fundamentales del modelo RUSLE.

Comportamiento general del Factor R

Los valores del Factor R muestran una variación significativa entre estaciones:

- Lampa: 1080,69
- Cabanillas: 1028,27
- Pucará: 911,05
- Juliaca: 870,22
- Taraco: 635,08

Se observa que los valores más altos de erosividad se concentran en las estaciones de Lampa y Cabanillas, mientras que Taraco presenta el valor más bajo. Esta variabilidad evidencia una distribución espacial diferenciada del potencial erosivo de la lluvia dentro del ámbito de influencia de la subcuenca.

Relación entre precipitación anual y Factor R

Existe una correspondencia directa entre la precipitación anual (PP) y el Factor R. Las estaciones con mayor precipitación anual (Lampa con 751,25 mm y Cabanillas con 690,54 mm) presentan los valores más elevados de R, mientras que Taraco, con la menor precipitación anual (543,67 mm), registra el menor valor de erosividad (635,08).

Sin embargo, la relación no es estrictamente proporcional. Por ejemplo, Pucará (707,8 mm) presenta un valor de R (911,05) inferior al de Cabanillas (690,54 mm; R=1028,27). Esto sugiere que la estimación del factor R no depende únicamente del volumen anual de precipitación, sino también de la distribución temporal e intensidad de los eventos pluviales.

Influencia altitudinal

Las estaciones se ubican entre 3812 y 3980 m s. n. m. Lampa, la estación con mayor

altitud (3980 m), presenta también el valor más alto de R. Esto podría indicar que la altitud influye en la intensidad de los eventos convectivos característicos del altiplano, incrementando la energía cinética de la lluvia.

Implicancias espaciales en la subcuenca

El mapa del Factor R permite inferir que las zonas de la subcuenca más próximas a Lampa y Cabanillas estarían sometidas a mayor erosividad pluvial, mientras que las áreas influenciadas por Taraco tendrían menor potencial erosivo desde el punto de vista climático. No obstante, el Factor R representa únicamente el componente climático de la erosión hídrica.

Por tanto, aunque la Figura 03 muestra una variabilidad moderada del potencial erosivo de la lluvia (635,08 - 1080,69), la magnitud final de la pérdida de suelo dependerá de la interacción entre estos factores.

Los valores de R obtenidos pueden considerarse de moderada a relativamente alta erosividad para un contexto altoandino, especialmente considerando la marcada estacionalidad de las lluvias. Esto implica que durante la temporada húmeda (enero-marzo) la subcuenca se encuentra expuesta a eventos con suficiente energía para desencadenar procesos de erosión laminar, en surcos o incluso cárcavas, si las condiciones topográficas y de cobertura vegetal lo permiten.

La Figura 03 evidencia que el componente climático constituye un factor determinante en la dinámica erosiva de la subcuenca Medio Bajo Coata, aunque su efecto final dependerá de la susceptibilidad física y del manejo del territorio.

4.1.2. ANÁLISIS DEL FACTOR DE ERODABILIDAD (K)

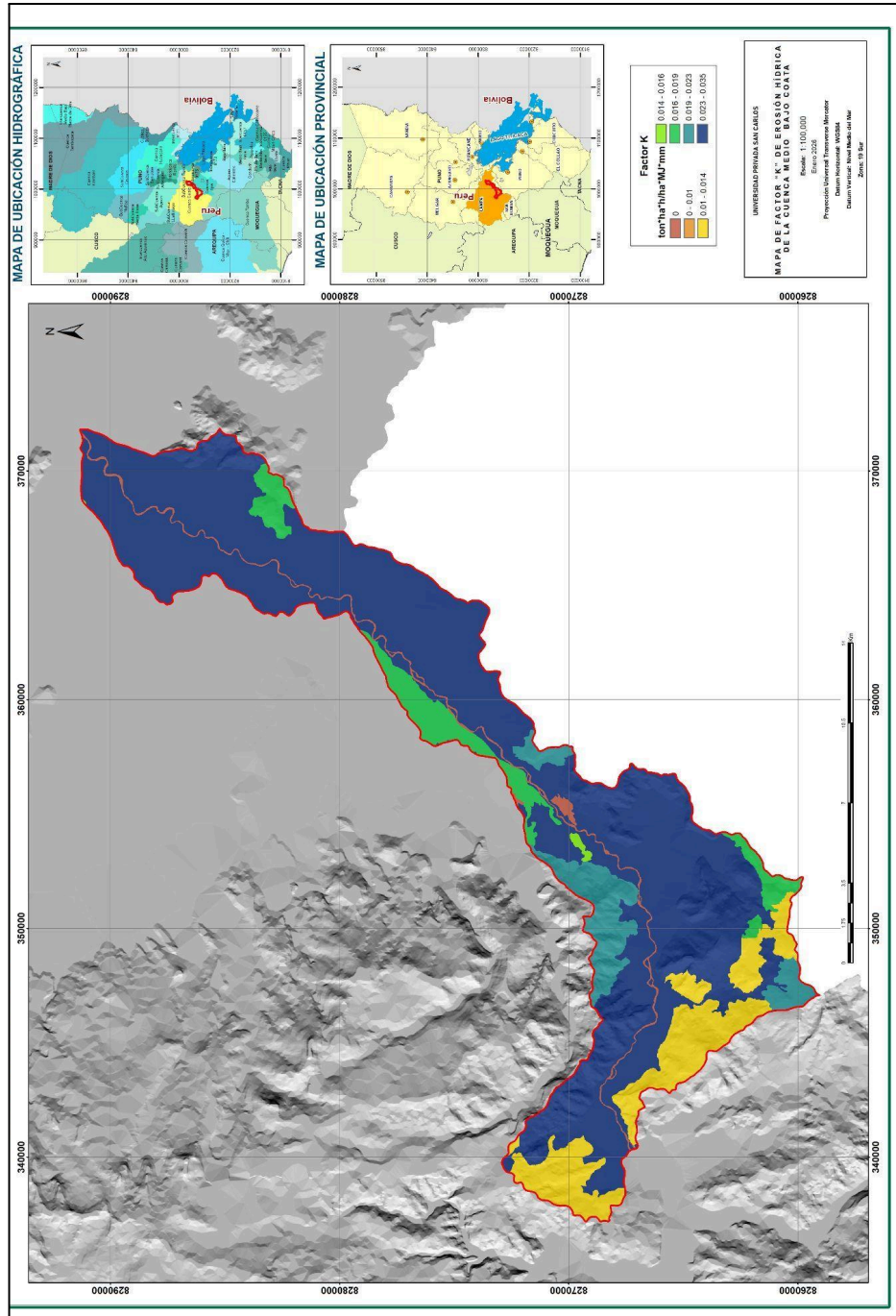


Figura 04. Mapa del Factor K de erodabilidad de la cuenca Medio Bajo Coata.

Fuente: Elaborado a partir de los datos de las muestras de suelo del anexo 04.

La Figura 04 presenta la distribución espacial del Factor K, que representa la susceptibilidad intrínseca del suelo a ser erosionado por efecto de la lluvia y la escorrentía. Este factor depende principalmente de la textura (arena, limo y arcilla), estructura, permeabilidad y contenido de materia orgánica.

Rango y variabilidad del Factor K

Los valores de K en la subcuenca muestran una variación aproximada entre 0.00 y 0.34, observándose tres comportamientos principales:

- Valores bajos ($\approx 0.00 - 0.15$): asociados a suelos orgánicos, afloramientos líticos, zonas rocosas o unidades con mayor estabilidad estructural.
- Valores moderados ($\approx 0.16 - 0.25$): predominantes en gran parte de la subcuenca, vinculados a suelos franco-arenosos y franco-arcillosos.
- Valores relativamente altos ($\approx 0.26 - 0.34$): presentes en algunas unidades como Chapapampa-Chejemoco y Chincheros-Illpa, lo que indica mayor vulnerabilidad al desprendimiento de partículas.

En términos generales, la mayoría de los suelos presentan erodabilidad moderada, no extremadamente alta.

Relación con la textura del suelo

Los datos texturales (A: arena, Arc: arcilla, L: limo) permiten interpretar el comportamiento del K:

- Suelos con mayor contenido de limo tienden a presentar valores más altos de K, debido a que el limo es más susceptible al desprendimiento.
- Suelos con mayor proporción de arcilla pueden presentar menor erodabilidad si poseen buena estructura, aunque en condiciones de saturación pueden volverse inestables.
- Las unidades clasificadas como misceláneo (afloramiento lítico o glaciar) muestran valores bajos o estándar (≈ 0.25), debido a la limitada presencia de suelo fino susceptible a erosión.

Distribución espacial

El mapa evidencia que la erodabilidad no es homogénea en toda la subcuenca. Existen sectores con mayor susceptibilidad edáfica, pero también amplias áreas con comportamiento moderado. Esto indica que el componente edáfico por sí solo no explica necesariamente pérdidas de suelo extremadamente altas, sino que debe analizarse en conjunto con: Pendiente (Factor LS), Cobertura vegetal (Factor C), Erosividad de la lluvia (Factor R), Prácticas de conservación (Factor P),

Implicancias ambientales

Desde una perspectiva ambiental, la predominancia de valores moderados de K sugiere que la subcuenca no está conformada mayoritariamente por suelos altamente frágiles.

Sin embargo, en zonas donde coinciden:

- Texturas limosas,
- Pendientes pronunciadas,
- Baja cobertura vegetal,

el riesgo de erosión puede incrementarse considerablemente.

Asimismo, la presencia de suelos orgánicos con K bajo (≈ 0.15) indica áreas que podrían cumplir funciones importantes de regulación hídrica y almacenamiento de carbono, por lo que su degradación tendría implicancias ambientales significativas.

La Figura 04 demuestra que la erodabilidad del suelo en la subcuenca Medio Bajo Coata es predominantemente moderada, con focos puntuales de mayor susceptibilidad. Por tanto, la pérdida real de suelo dependerá de la interacción del Factor K con los demás factores del modelo RUSLE.

En síntesis, el mapa del Factor K evidencia que el componente edáfico constituye un elemento importante en la dinámica erosiva, pero no necesariamente el factor dominante en toda la subcuenca. La interpretación final debe realizarse de manera integrada con los factores climáticos, topográficos y de cobertura vegetal.

4.1.3. ANÁLISIS DEL FACTOR DE LONGITUD Y PENDIENTE (LS)

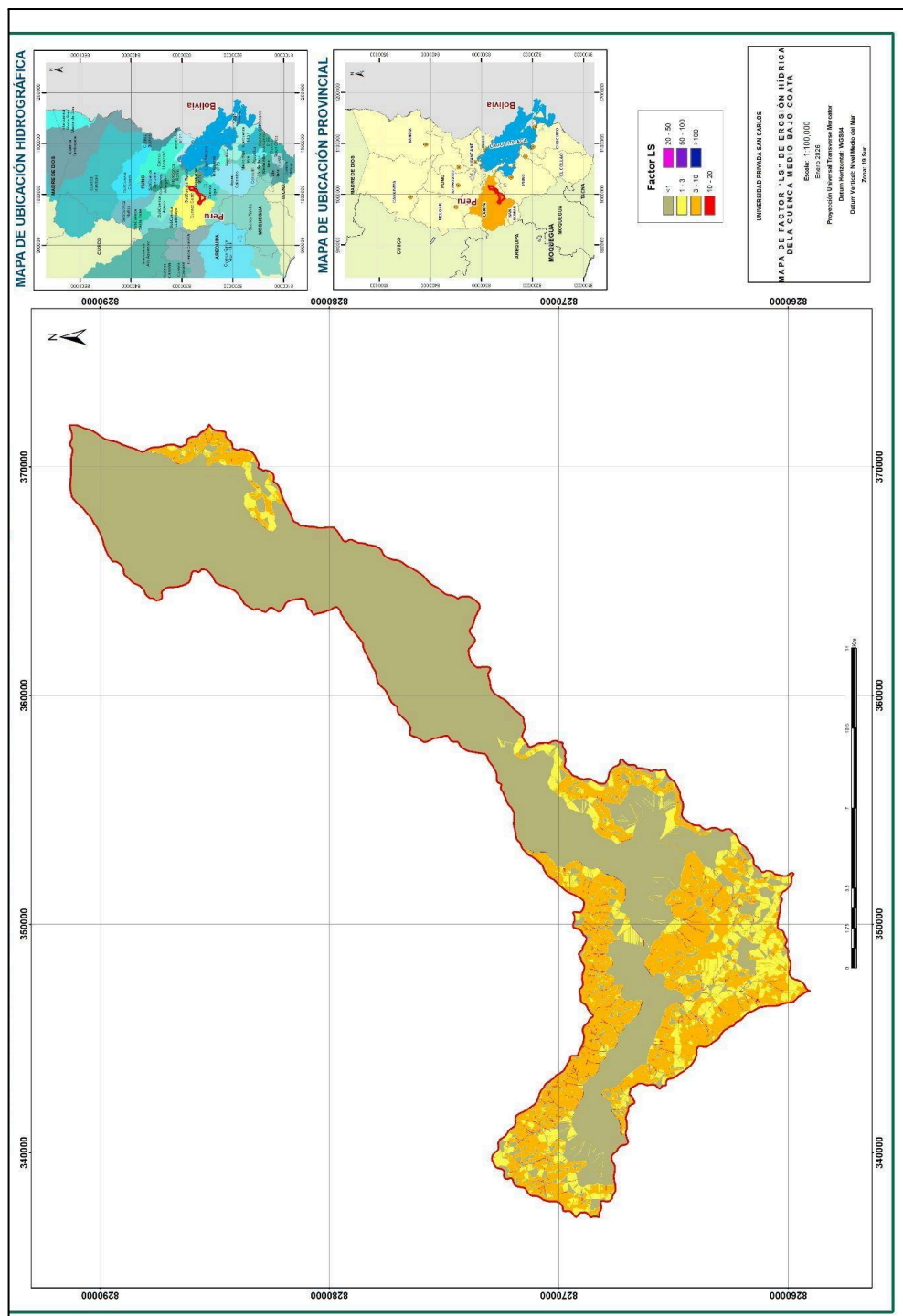


Figura 05: Mapa del Factor LS de longitud y pendiente la cuenca Medio Bajo Coata.

Fuente: Elaborado a partir de los datos de las muestras de suelo del anexo 05.

La Figura 05 presenta la distribución del Factor LS, que integra la influencia de la longitud de pendiente (L) y la inclinación del terreno (S) en el proceso de erosión hídrica. Este factor es uno de los componentes más determinantes del modelo RUSLE, debido a que controla la velocidad de escorrentía y la energía del flujo superficial.

La subcuenca Medio Bajo Coata presenta sectores con pendientes pronunciadas que alcanzan valores de LS superiores a 19 y hasta 25.61, lo que indica:

- Alta velocidad de escorrentía superficial.
- Mayor capacidad de transporte de sedimentos.
- Incremento en la formación de surcos y cárcavas.
- Mayor susceptibilidad a procesos de degradación en laderas.

En contraste, las zonas con pendientes menores al 8% presentan baja contribución topográfica a la pérdida de suelo.

Importancia relativa del Factor LS en la subcuenca

En contextos altoandinos como el de la región Puno, donde la precipitación anual es moderada, el Factor LS suele ser el componente que más explica la magnitud de la erosión, especialmente cuando coincide con: Cobertura vegetal reducida, prácticas agrícolas en laderas, suelos de textura media.

Por tanto, aunque los factores climáticos (R) y edáficos (K) puedan ser moderados, la topografía puede amplificar significativamente la pérdida de suelo.

La Figura 05 evidencia que la dinámica erosiva de la subcuenca no depende únicamente de la lluvia, sino de la configuración morfométrica del territorio. Las zonas con pendientes mayores al 25% representan áreas críticas que requieren:

- Prácticas de conservación (andenes, barreras vivas, zanjas de infiltración),
- Restricción de actividades agrícolas intensivas,
- Manejo sostenible del pastoreo.

El análisis del Factor LS demuestra que la topografía constituye un factor determinante en la erosión hídrica de la subcuenca Medio Bajo Coata, siendo probable que las mayores pérdidas de suelo se concentren en sectores de pendientes fuertes a muy fuertes.

4.1.4. ANÁLISIS DEL FACTOR DE COBERTURA VEGETAL (C)

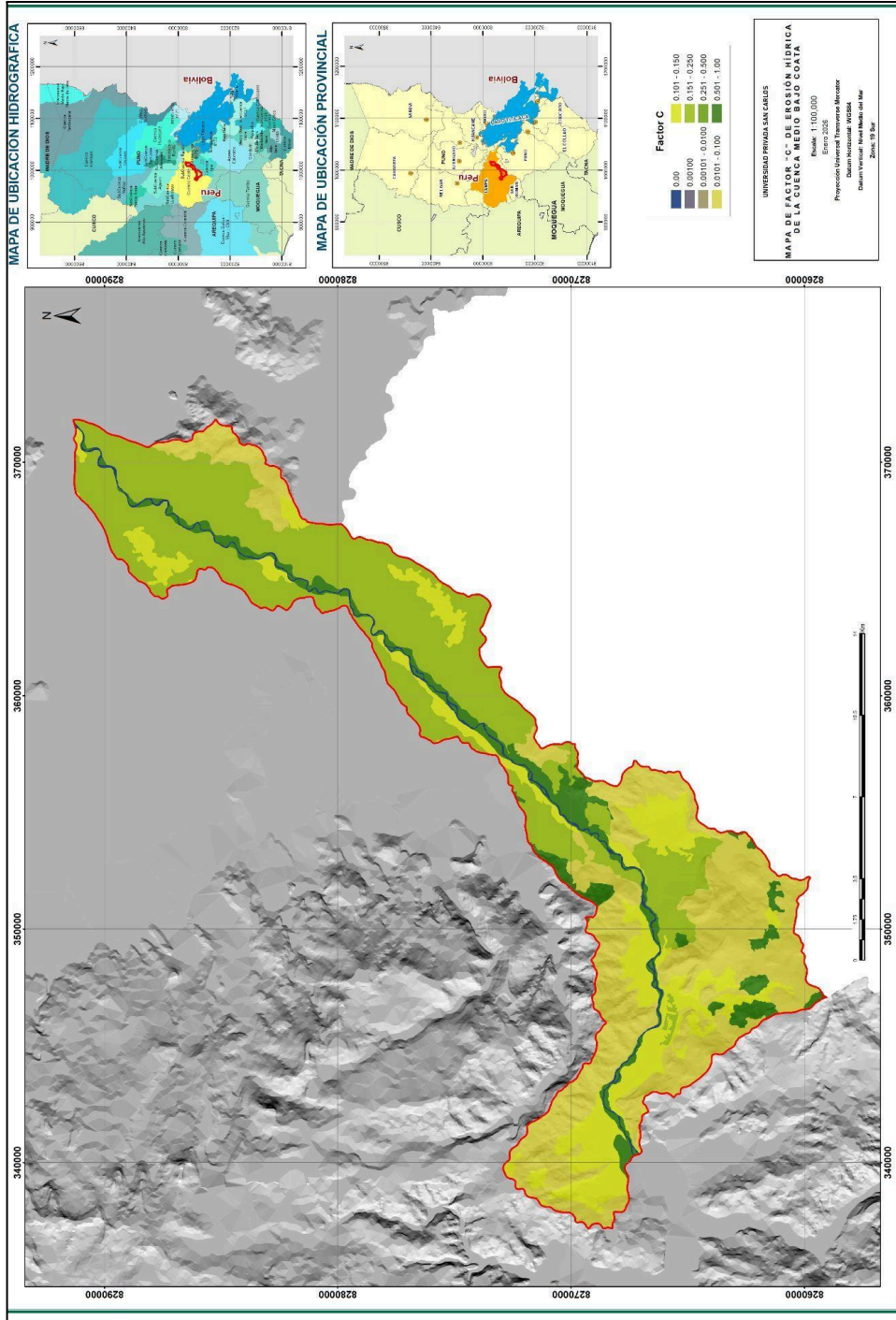


Figura 06: Mapa del Factor C de cobertura vegetal de la cuenca Medio Bajo Coata.

Fuente: Elaborado a partir de los datos de las muestras de suelo del anexo 06 y tabla de valoración del anexo 07.

La Figura 06 muestra la distribución espacial del Factor C, que representa el efecto protector de la cobertura vegetal y del uso del suelo frente a la erosión hídrica. En el modelo RUSLE, este factor varía entre 0 y 1, donde valores cercanos a 0 indican alta protección del suelo y valores próximos a 1 representan máxima exposición y, por tanto, mayor susceptibilidad a la erosión.

Rango y comportamiento general del Factor C

En la subcuenca Medio Bajo Coata se identifican valores que abarcan prácticamente todo el rango teórico del Factor C:

- C = 0: cuerpos de agua (ríos, lagunas, ciénagas).
- C = 0.001 - 0.003: bosques nativos, plantaciones forestales, vegetación acuática y áreas pantanosas.
- C = 0.01: vegetación arbustiva y herbácea abierta.
- C = 0.1 - 0.15: herbazales densos, áreas quemadas, turberas y bofedales.
- C = 0.25 - 0.40: cultivos transitorios y mosaicos de cultivos.
- C = 1: tejido urbano, aeropuerto, minería, áreas arenosas, afloramientos rocosos, tierras desnudas y glaciares.

Esta amplitud de valores evidencia una heterogeneidad significativa en el uso y cobertura del suelo dentro de la subcuenca.

Coberturas con alta protección del suelo ($C \leq 0.1$)

Las áreas con C muy bajo (≤ 0.1) corresponden principalmente a:

- Bosques nativos y plantaciones forestales.
- Vegetación acuática.
- Áreas pantanosas.
- Vegetación arbustiva abierta.

Estas coberturas actúan como barrera natural frente al impacto de la lluvia, reduciendo:

- La energía cinética de las gotas.
- La escorrentía superficial.
- El desprendimiento de partículas del suelo.

Desde el punto de vista ambiental, estas zonas cumplen una función clave en la regulación hídrica y en la conservación del suelo, especialmente en un contexto altoandino.

Coberturas con protección intermedia (0.1 - 0.4)

En este rango se encuentran:

- Herbazales densos (ichu, chiji, chilligua).
- Turberas y bofedales.
- Cultivos transitorios.
- Mosaico de cultivos.

Estas coberturas brindan protección parcial, pero su efectividad depende de:

- La densidad de cobertura.
- El manejo agrícola.
- La estacionalidad (períodos de barbecho o suelo expuesto).

En zonas agrícolas, el valor de C puede aumentar temporalmente si el suelo queda descubierto, incrementando la susceptibilidad a la erosión durante la temporada de lluvias.

Coberturas con alta exposición ($C \geq 0.9 - 1$)

Las áreas clasificadas con $C = 1$ representan las condiciones de mayor vulnerabilidad:

- Suelos desnudos.
- Áreas erosionadas o degradadas.
- Zonas urbanas.
- Actividades mineras.
- Afloramientos rocosos.
- Áreas arenosas naturales.

Estas superficies carecen de protección vegetal, lo que favorece la escorrentía directa y el transporte de sedimentos. En sectores con pendientes pronunciadas, la combinación de $C = 1$ y LS alto puede generar pérdidas de suelo significativamente elevadas.

Interpretación integral en el contexto de la subcuenca

La Figura 06 revela que la subcuenca Medio Bajo Coata presenta una combinación de:

- Áreas con fuerte protección natural (bosques y vegetación densa).
- Amplias zonas de cobertura intermedia (herbazales y cultivos).
- Sectores críticos con suelo desnudo o intervención antrópica.

Desde una perspectiva ambiental, el Factor C podría ser uno de los componentes más determinantes en la variabilidad espacial de la pérdida de suelo, especialmente en zonas agrícolas y áreas degradadas.

Por lo expuesto, la Figura 06 demuestra que la dinámica erosiva en la subcuenca no depende exclusivamente de factores climáticos o topográficos, sino que está fuertemente condicionada por el uso y cobertura del suelo. Las áreas con menor cobertura vegetal representan puntos críticos que requieren medidas de manejo y conservación para reducir la degradación del recurso suelo.

4.1.4. ANÁLISIS DEL FACTOR DE PRÁCTICAS DE MANEJO (P)

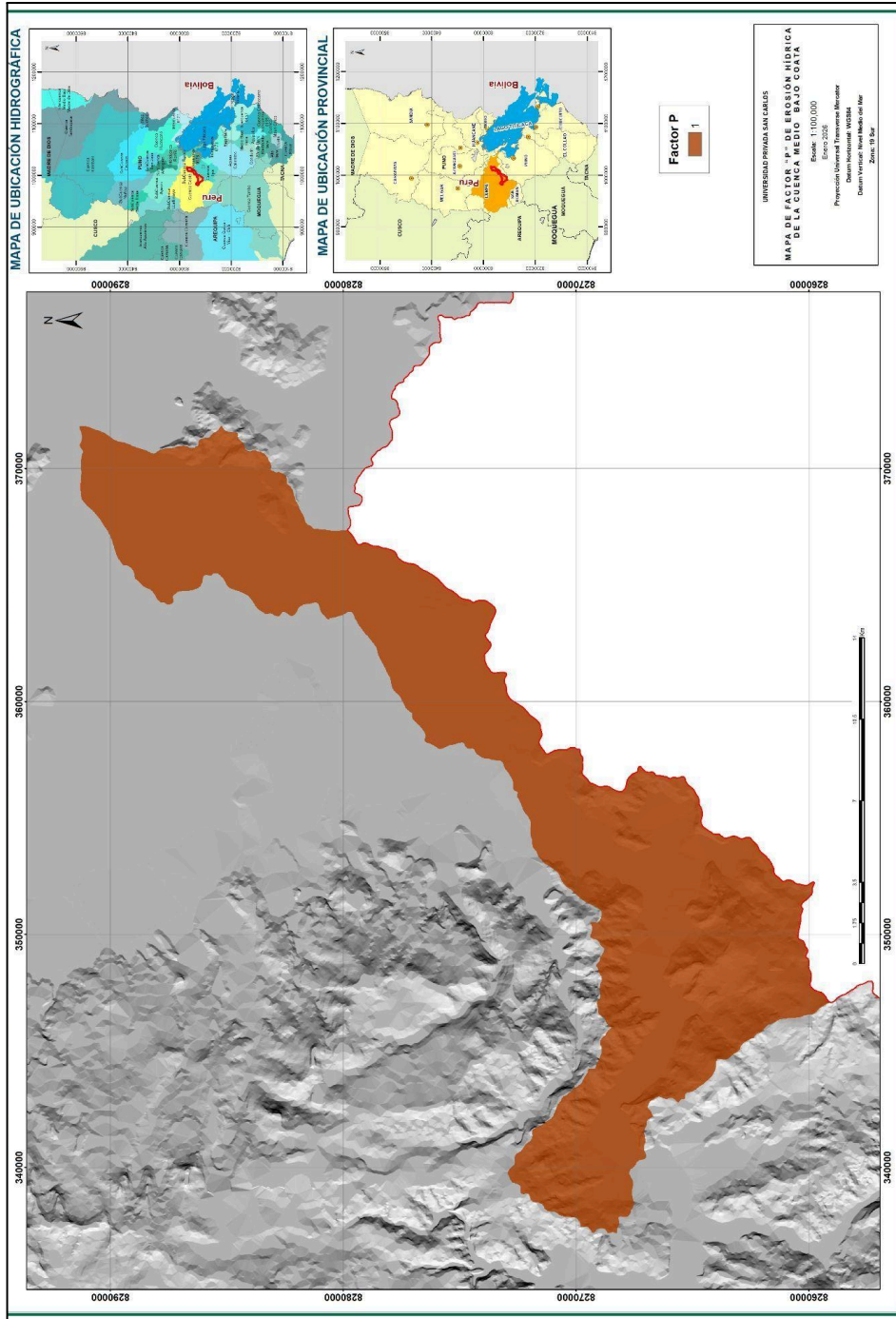


Figura 07: Mapa del Factor P prácticas de conservación de la cuenca Medio Bajo Cocha.

Fuente: Elaborado a partir de las prácticas de manejo del anexo 08.

La Figura 07 presenta la distribución espacial del Factor P, que representa el efecto de las prácticas de conservación del suelo en la reducción de la erosión hídrica. En el modelo RUSLE, este factor varía entre 0 y 1, donde:

- P = 0 indica máxima eficacia en la reducción de la erosión.
- P = 1 indica ausencia de prácticas de conservación.

En la subcuenca Medio Bajo Coata, los valores de P oscilan entre 0.55 y 1.00, lo que evidencia un nivel limitado de implementación de prácticas de manejo conservacionista.

Prácticas identificadas en la zona de estudio.

El análisis indica que la práctica predominante es el surcado en contorno, que consiste en realizar labores agrícolas (labranza, siembra y manejo) siguiendo las curvas de nivel del terreno. Esta práctica reduce parcialmente la velocidad de escorrentía y favorece la infiltración.

No se evidencia la aplicación sistemática de prácticas más eficientes como:

- Cultivo en franjas,
- Terrazas agrícolas,

las cuales presentan valores de P significativamente menores según la tabla de valoración.

Comportamiento del Factor P según pendiente

La tabla de valoración muestra que el efecto del surcado en contorno disminuye conforme aumenta la pendiente: En pendientes suaves, el surcado en contorno puede reducir la erosión en aproximadamente 45%. En pendientes fuertes (>26.8%), el valor alcanza P = 1.00, lo que implica que la práctica pierde efectividad o que no existen medidas de conservación. Este comportamiento es crítico en una cuenca altoandina donde el Factor LS alcanza valores elevados en laderas pronunciadas.

Implicaciones geomorfológicas y ambientales

El predominio de valores cercanos a 1 en pendientes medias y altas indica:

- Limitada capacidad de control del escurrimiento superficial.
- Mayor riesgo de formación de surcos y cárcavas.

- Incremento en el transporte de sedimentos hacia cursos de agua.

Desde una perspectiva ambiental, esto puede traducirse en:

- Pérdida de fertilidad del suelo.
- Sedimentación de ríos y lagunas.
- Alteración de ecosistemas acuáticos.

Interpretación integral dentro del modelo RUSLE

El Factor P actúa como un multiplicador directo en la ecuación RUSLE. Si P es alto (cercano a 1), la pérdida de suelo estimada dependerá casi exclusivamente de los factores naturales (R, K, LS y C).

En la subcuenca Medio Bajo Coata, el rango 0.55 -1.00 sugiere que:

No existen prácticas de conservación altamente efectivas a escala significativa.

La topografía (LS) puede amplificar considerablemente la erosión en ausencia de medidas estructurales.

La Figura 07 evidencia que las prácticas de conservación del suelo en la subcuenca son limitadas y predominantemente tradicionales (surcado en contorno), con escasa implementación de medidas estructurales más eficientes. En consecuencia, el Factor P constituye un elemento crítico que podría explicar incrementos significativos en la pérdida de suelo, especialmente en sectores con pendientes fuertes y cobertura vegetal insuficiente.

4.2. IDENTIFICAR Y CLASIFICAR LAS ÁREAS DE LA SUBCUENCA MEDIO BAJO COATA SEGÚN LOS NIVELES DE PÉRDIDA DE SUELOS POR EROSIÓN HÍDRICA, DETERMINANDO LAS ZONAS CON MAYOR SUSCEPTIBILIDAD A LA DEGRADACIÓN.

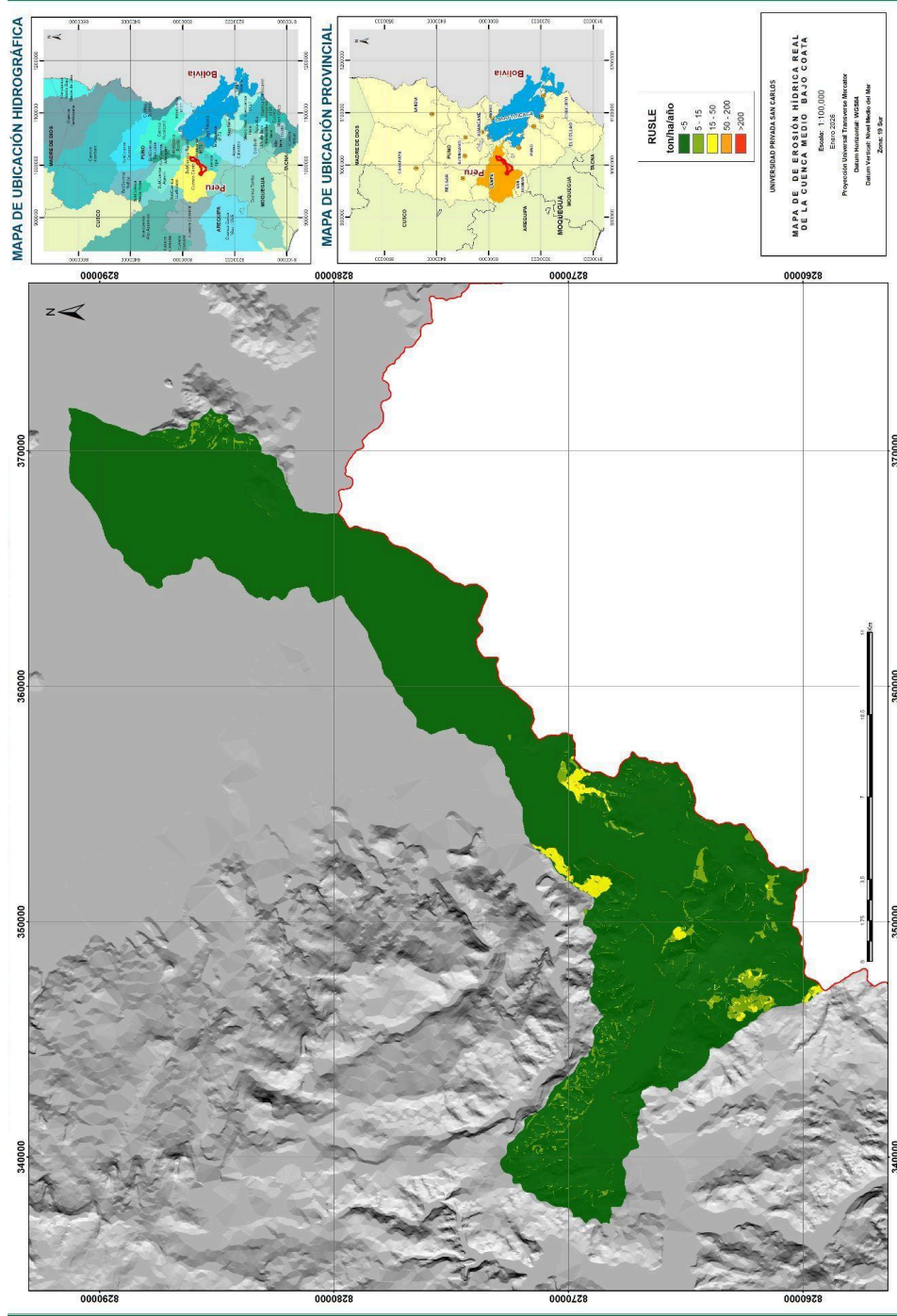


Figura 08: Mapa de erosión hídrica en la cuenca Medio Bajo Coata para el año 2025.

La Figura 08 presenta la estimación y clasificación espacial de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la subcuenca Medio Bajo Coata para el año 2025, obtenida mediante la aplicación del modelo RUSLE. Los resultados evidencian que la cuenca baja, que comprende los distritos de Santa Lucía, Cabana, Cabanillas, Cabanilla y Juliaca, registra niveles de erosión leve, con tasas que oscilan entre 0 y 25 t ha⁻¹ año⁻¹.

Interpretación espacial del fenómeno

La distribución de la erosión muestra un patrón coherente con la configuración fisiográfica del territorio:

En la cuenca baja, predominan pendientes suaves (relacionadas con valores bajos del factor LS, según la Figura 05), lo que reduce la energía cinética del escurrimiento superficial y, por tanto, la capacidad de arrastre del suelo.

La presencia de cobertura vegetal relativamente adecuada (Figura 06) contribuye a disminuir el impacto directo de las gotas de lluvia y a mejorar la infiltración.

El factor P (Figura 07), con valores entre 0.55 y 1, indica que la práctica predominante es el surcado en contorno, lo que contribuye parcialmente al control de la erosión.

En conjunto, estos factores explican por qué, a pesar de registrarse valores elevados del factor R en temporada lluviosa (noviembre-marzo), la pérdida de suelo en la parte baja no alcanza niveles severos.

Relación con los factores del modelo RUSLE

El comportamiento observado en la Figura 08 se explica por la interacción de los factores evaluados:

- Factor R: Alto en época lluviosa, principal detonante del proceso erosivo.
- Factor K: Mayor susceptibilidad en suelos finos de la cuenca alta.
- Factor LS: Determinante en la intensidad del arrastre, con menor incidencia en zonas de pendiente suave.
- Factor C: Influye directamente en la protección del suelo; coberturas densas reducen la erosión.

- Factor P: Las prácticas de conservación atenúan parcialmente la pérdida de suelo, aunque su efectividad depende del grado de pendiente.

La integración de estos factores confirma que la erosión en la subcuenca Medio Bajo Coata responde a una dinámica compleja, donde las condiciones naturales (precipitación y pendiente) interactúan con factores antrópicos (uso del suelo, agricultura, ganadería y minería).

Síntesis interpretativa

En términos generales, la Figura 08 demuestra que la subcuenca Medio Bajo Coata presenta actualmente un escenario de erosión predominantemente leve en la cuenca baja, favorecido por pendientes suaves y cobertura vegetal protectora. Sin embargo, la influencia de un alto factor R y la presencia de suelos susceptibles en zonas altas advierten sobre la necesidad de fortalecer prácticas de conservación y gestión sostenible del territorio.

4.3. ANALIZAR LOS IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR LA PÉRDIDA DE SUELOS POR EROSIÓN HÍDRICA EN LOS COMPONENTES SUELO, AGUA Y VEGETACIÓN DE LA SUBCUENCA MEDIO BAJO COATA.

4.3.1. IMPACTOS EN EL COMPONENTE SUELO

a) Pérdida de fertilidad y degradación física

La remoción progresiva de la capa superficial del suelo implica:

- Pérdida de materia orgánica y nutrientes esenciales.
- Disminución de la capacidad de retención de agua.
- Reducción de la estructura y estabilidad de agregados.

El factor K, que mostró mayor susceptibilidad en suelos finos de la cuenca alta, incrementa la vulnerabilidad a la degradación. Asimismo, el factor LS evidencia que en zonas con pendientes superiores al 25% (LS hasta 25.61) la energía del escurrimiento aumenta considerablemente, intensificando la pérdida de suelo.

Aunque en la cuenca baja predominan pendientes suaves (LS bajos), la pérdida acumulativa anual ($0-25 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) puede generar degradación progresiva si no se fortalecen las prácticas de conservación.

b) Reducción de la productividad agrícola

La pérdida de suelo fértil afecta directamente la productividad, especialmente en:

- Áreas de cultivos transitorios ($C = 0.25$)
- Mosaicos de cultivos ($C = 0.4$)

Estas coberturas presentan menor protección frente al impacto de la lluvia en comparación con bosques nativos ($C = 0.001$), lo que incrementa la susceptibilidad a la degradación del suelo agrícola.

4.3.2. IMPACTOS EN EL COMPONENTE AGUA

a) Sedimentación y colmatación de cauces

La erosión hídrica genera transporte de sedimentos hacia:

- Ríos ($C = 0$)
- Lagunas y cuerpos de agua naturales y artificiales ($C = 0$)

Aunque estas superficies no presentan erosión directa, reciben el material erosionado de zonas altas y agrícolas, produciendo:

- Colmatación de cauces.
- Reducción de la capacidad hidráulica.
- Mayor riesgo de inundaciones.

Esto es particularmente relevante en la cuenca baja (Cabana, Cabanillas, Cabanilla, Juliaca), donde la acumulación gradual de sedimentos puede afectar infraestructura y centros poblados.

b) Deterioro de la calidad del agua

El arrastre de partículas finas puede transportar:

- Nutrientes.
- Agroquímicos.
- Residuos derivados de actividades agrícolas, ganaderas y mineras.

El alto factor R durante la temporada lluviosa (noviembre-marzo) incrementa la escorrentía superficial, intensificando el transporte de sedimentos y contaminantes.

4.3.3. IMPACTOS EN EL COMPONENTE VEGETACIÓN

a) Pérdida de cobertura vegetal

La erosión puede exponer raíces, disminuir la profundidad efectiva del suelo y afectar el establecimiento de especies vegetales, especialmente en:

- Áreas con vegetación escasa o semiárida (rangos $C \geq 0.5$).
- Áreas arenosas, afloramientos rocosos y tierras desnudas ($C = 1$).

En contraste, coberturas como:

- Bosques nativos ($C = 0.001$)
- Plantaciones forestales ($C = 0.001-0.003$)
- Vegetación acuática ($C = 0.001$)

demuestran alta capacidad de protección del suelo, reduciendo significativamente la erosión.

b) Alteración del equilibrio ecosistémico

- La degradación del suelo afecta:
- La regeneración natural.
- La biodiversidad vegetal.

La estabilidad de pastizales y herbazales (C entre 0.1 y 0.15).

En zonas donde el factor P alcanza valores cercanos a 1 (pendientes $> 26.8\%$), la ausencia de prácticas de conservación eficaces incrementa el riesgo de degradación vegetal.

La pérdida de suelos por erosión hídrica en la subcuenca Medio Bajo Coata genera impactos ambientales que se manifiestan en:

- Suelo: degradación física, pérdida de fertilidad y reducción de productividad.
- Agua: sedimentación, riesgo de inundaciones y deterioro de calidad hídrica.
- Vegetación: disminución de cobertura protectora y alteración del equilibrio ecológico.

Si bien los niveles actuales en la cuenca baja son clasificados como leves ($0-25 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), el carácter acumulativo del proceso exige fortalecer prácticas de conservación (factor P) y promover coberturas vegetales protectoras (factor C bajo), a fin de garantizar la sostenibilidad ambiental y productiva de la subcuenca Medio Bajo Coata.

4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A nivel internacional, Chen et al. (2023), reportaron que más del 80 % de los sitios evaluados en ecosistemas terrestres de China presentaron erosión activa, con tasas promedio superiores a $3000 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{año}^{-1}$ (equivalente a $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$), lo que refleja una degradación considerablemente mayor a la observada en la subcuenca Medio Bajo Coata, donde la erosión no es generalizada ni alcanza niveles críticos en la mayor parte del territorio. Esta contradicción puede explicarse por diferencias climáticas, de escala espacial y de uso del suelo, ya que en la subcuenca predominan coberturas con valores C bajos que reducen la vulnerabilidad, a pesar de que el factor R presenta valores elevados durante la temporada lluviosa. De manera similar, Castro et al. (2025) reportaron pérdidas máximas de $62,98 \text{ Mg/ha/año}$ en condiciones de suelo desnudo con pendiente del 10 %, valores que superan ampliamente los rangos predominantes en la cuenca baja del Coata, lo cual evidencia que, aunque existen áreas con $C = 1$ (suelo desnudo, afloramientos rocosos y zonas arenosas), la combinación de pendientes suaves y ciertas prácticas de manejo limita la magnitud del proceso erosivo en comparación con contextos tropicales de mayor intensidad pluvial.

A nivel nacional, Alvarez (2023) estimó pérdidas entre $26,57$ y $46,06 \text{ t/ha/año}$ bajo precipitaciones medias y hasta $152,86 \text{ t/ha/año}$ en escenarios extremos en la subcuenca del río Chotano, valores superiores a los identificados en la subcuenca Medio Bajo Coata, donde la mayor parte del área se mantiene dentro del rango leve; esta diferencia sugiere que, aunque el factor R es alto en temporada lluviosa, la interacción con factores LS, C y P modera el impacto erosivo. Bocanegra y Guzman (2023), en la cuenca del río Chicama, registraron una tasa media anual actual de $33,05 \text{ t/ha/año}$, cifra que también supera el rango predominante en el presente estudio, aunque coinciden en que la categoría baja

ocupa la mayor extensión territorial. En el caso de Jardith (2023), se reportaron pérdidas actuales que alcanzan hasta 2 412,65 t/ha/año en zonas específicas, situación que no se observa en la subcuenca Medio Bajo Coata, donde no se identifican focos de erosión muy severa de tal magnitud, posiblemente debido a diferencias topográficas, ya que en Sacanche el factor LS alcanza valores extremadamente altos. Nuñez (2024), por su parte, concluyó que la cuenca Chacco no presenta alta erosionabilidad generalizada, hallazgo que coincide con el presente estudio, evidenciando que en contextos altoandinos la erosión severa puede estar localizada y no necesariamente extendida a toda la cuenca. Calderón y Vizcarra (2024) también identificaron predominio de erosión nula o ligera en la subcuenca del río Caplina, con zonas críticas asociadas a pendientes pronunciadas y escasa cobertura vegetal, aspecto que guarda relación con lo observado en la subcuenca Medio Bajo Coata, donde los valores elevados del factor LS y del factor C incrementan la susceptibilidad en sectores específicos, aunque sin alcanzar proporciones tan extensas de erosión alta.

A nivel local, Paco (2022) reportó una erosión potencial de 257,60 t/ha/año y una erosión actual de 92,59 t/ha/año en la microcuenca Escalerani, cifras considerablemente mayores a las obtenidas en el presente estudio, lo que constituye una contradicción importante dentro del mismo contexto regional de Puno y podría explicarse por diferencias en pendiente, cobertura vegetal o intensidad de uso agrícola. Asimismo, Bautista (2023) estimó rangos de 1.19 a 125,345 t/ha/año en la cuenca del río Zapatilla, valores máximos que superan los predominantes en la subcuenca Medio Bajo Coata, aunque coinciden en clasificar el riesgo como baja a moderado en la mayor parte del territorio.

4.5. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

4.5.1. DE LA HIPÓTESIS GENERAL

Planteamos las siguientes hipótesis:

Ho: La pérdida de suelos por erosión hídrica no genera una implicancia ambiental negativa significativa en la subcuenca Medio Bajo Coata, región Puno, durante el año 2025.

Ha: La pérdida de suelos por erosión hídrica genera una implicancia ambiental negativa significativa en la subcuenca Medio Bajo Coata, región Puno, durante el año 2025.

Los resultados obtenidos mediante el modelo RUSLE evidencian que el factor R (Figura 03) presenta valores elevados, especialmente en temporada lluviosa, incrementando la capacidad erosiva de la lluvia. El factor LS (Figura 05) alcanza valores altos en pendientes pronunciadas (hasta 25.61), aumentando la susceptibilidad del terreno. El factor C (Figura 06) muestra que las áreas con cobertura vegetal reducen la erosión, mientras que suelos desnudos ($C = 1$) incrementan el riesgo. El factor P (Figura 07) refleja que las prácticas de conservación mitigan parcialmente el proceso. Finalmente, la Figura 08 identifica niveles de erosión mayormente leves ($0-25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), pero con efectos progresivos sobre el suelo, el agua y la vegetación.

En consecuencia, se rechaza la H_0 y **se acepta la H_a** , concluyendo que la pérdida de suelos por erosión hídrica sí genera una implicancia ambiental negativa significativa en la subcuenca Medio Bajo Coata durante el año 2025.

4.5.2. DE LA PRIMERA HIPÓTESIS ESPECÍFICA

Planteamos las siguientes hipótesis:

H_0 : La pérdida de suelos por erosión hídrica potencial y actual en la subcuenca Medio Bajo Coata no presenta valores moderados ni altos, según la estimación realizada mediante el modelo RUSLE y herramientas de sistemas de información geográfica.

H_a : La pérdida de suelos por erosión hídrica potencial y actual en la subcuenca Medio Bajo Coata presenta valores moderados a altos, según la estimación realizada mediante el modelo RUSLE y herramientas de sistemas de información geográfica.

Los resultados muestran que el factor R (Figura 03) presenta valores elevados en temporada lluviosa y el factor LS (Figura 05) alcanza valores altos en pendientes pronunciadas (hasta 25.61), lo que evidencia condiciones potenciales de erosión significativa. Asimismo, el factor C (Figura 06) identifica áreas con $C = 1$ (suelos desnudos y zonas urbanas) que incrementan el riesgo, mientras que el factor P (Figura 07) varía entre 0.55 y 1, reflejando una mitigación parcial.

Sin embargo, el resultado integrado del modelo (Figura 08) indica que la mayor parte de la subcuenca presenta erosión nula a leve ($0-25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), sin predominio de valores moderados ni altos.

Por tanto, **se acepta la Ho** y se rechaza la Ha, concluyendo que no predominan niveles moderados ni altos de pérdida de suelo en el año 2025, aunque existen sectores con mayor susceptibilidad.

4.5.3. DE LA SEGUNDA HIPÓTESIS ESPECÍFICA

Planteamos las siguientes hipótesis:

Ho: La pérdida de suelos por erosión hídrica no se distribuye de manera heterogénea en la subcuenca Medio Bajo Coata, ni se concentra en áreas con mayor pendiente, menor cobertura vegetal y prácticas inadecuadas de manejo del suelo.

Ha: La pérdida de suelos por erosión hídrica se distribuye de manera heterogénea en la subcuenca Medio Bajo Coata, concentrándose los niveles más altos en áreas con mayor pendiente, menor cobertura vegetal y prácticas inadecuadas de manejo del suelo.

El análisis de los factores del modelo RUSLE evidencia una distribución espacial diferenciada: el factor LS (Figura 05) alcanza valores elevados en pendientes superiores al 25 % (hasta 25.61), el factor C (Figura 06) muestra mayores valores de riesgo en áreas con cobertura deficiente o suelos desnudos ($C \geq 0.9-1$), y el factor P (Figura 07) indica que prácticas con valores cercanos a 1 ofrecen menor protección. La integración de estos factores en el mapa de erosión (Figura 08) confirma que, aunque predomina la erosión leve ($0-25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), los niveles relativamente más altos se concentran en sectores con mayor pendiente y menor cobertura vegetal.

En consecuencia, se rechaza la Ho y se acepta la Ha, concluyendo que la pérdida de suelo se distribuye de manera heterogénea y se asocia a condiciones topográficas y de cobertura desfavorables.

4.5.4. DE LA TERCERA HIPÓTESIS ESPECÍFICA

Planteamos las siguientes hipótesis:

Ho: La pérdida de suelos por erosión hídrica no produce impactos ambientales negativos significativos en los componentes suelo, agua y vegetación de la subcuenca Medio Bajo Coata.

Ha: La pérdida de suelos por erosión hídrica produce impactos ambientales negativos significativos en los componentes suelo, agua y vegetación de la subcuenca Medio Bajo Coata.

El análisis del mapa de erosión hídrica (Figura 08) evidencia pérdidas de suelo entre 0 y $25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ en la cuenca baja, lo que, aunque clasificado como leve, implica degradación progresiva del suelo. Asimismo, los factores del modelo RUSLE muestran condiciones que incrementan la vulnerabilidad: un factor R elevado en temporada lluviosa, valores altos de LS en pendientes pronunciadas (Figura 05), coberturas deficientes con $C = 1$ en áreas desnudas (Figura 06) y prácticas de conservación limitadas con P cercano a 1 (Figura 07). Estos resultados se traducen en pérdida de fertilidad y materia orgánica del suelo, mayor sedimentación y riesgo de colmatación en cuerpos de agua, y afectación a la cobertura vegetal.

En consecuencia, se rechaza la Ho y se acepta la Ha, concluyendo que la erosión hídrica sí genera impactos ambientales negativos significativos en los componentes suelo, agua y vegetación de la subcuenca Medio Bajo Coata.

CONCLUSIONES

PRIMERA. La implicancia ambiental de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la subcuenca Medio Bajo Coata, región Puno - 2025, se manifiesta principalmente en procesos de degradación leve pero progresiva del recurso suelo. Aunque la cuenca baja presenta tasas de erosión entre 0 y $25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, clasificadas como leves, la interacción de un factor R elevado en temporada lluviosa, suelos con susceptibilidad variable (factor K), pendientes que incrementan el factor LS en sectores específicos y áreas con cobertura deficiente ($C = 1$) evidencia que el sistema presenta vulnerabilidad ambiental, especialmente frente a escenarios de mayor intensidad pluvial o reducción de la cobertura vegetal.

SEGUNDA. La estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica mediante el modelo RUSLE y herramientas SIG permitió identificar que la erosión actual en la cuenca baja oscila entre 0 y $25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, predominando niveles leves. El factor R mostró valores altos durante la temporada lluviosa (noviembre-marzo), constituyéndose en el principal detonante climático del proceso erosivo; el factor K evidenció mayor susceptibilidad en suelos finos de la cuenca alta; el factor LS alcanzó valores elevados (hasta 25.61) en pendientes pronunciadas; el factor C demostró que las coberturas boscosas ($C \leq 0.001$) reducen significativamente la erosión, mientras que áreas desnudas ($C = 1$) incrementan el riesgo; y el factor P, con valores entre 0.55 y 1, reflejó que la aplicación de prácticas como el surcado en contorno contribuye parcialmente a mitigar la pérdida de suelo.

TERCERA. Se identificó y clasificó que la mayor parte de la subcuenca Medio Bajo Coata presenta niveles de erosión nula a leve, concentrándose principalmente en la cuenca baja (Santa Lucia, Cabana, Cabanillas, Cabanilla, Juliaca), donde las pendientes suaves y la

cobertura vegetal favorecen la estabilidad del suelo. No obstante, las zonas con mayor susceptibilidad a la degradación se localizan en sectores con pendientes superiores al 25 %, donde el factor LS incrementa considerablemente, y en áreas con cobertura vegetal escasa o suelos desnudos ($C \geq 0.9$), que reducen la protección natural frente al impacto de la lluvia y la escorrentía superficial.

CUARTA. Los impactos ambientales generados por la pérdida de suelos por erosión hídrica afectan de manera diferenciada los componentes suelo, agua y vegetación. En el suelo, se produce pérdida de fertilidad, disminución de materia orgánica y deterioro estructural; en el agua, se incrementa la sedimentación y el riesgo de colmatación de cauces, generando posibles inundaciones y deterioro de la calidad hídrica; y en la vegetación, la reducción de la capa fértil limita la regeneración natural y afecta la estabilidad de pastizales y cultivos.

RECOMENDACIONES

PRIMERA. A la Autoridad Nacional del Agua (ANA), al Gobierno Regional de Puno y a las municipalidades distritales de la subcuenca Medio Bajo Coata incorporar los resultados del presente estudio en los instrumentos de gestión ambiental y territorial, a fin de fortalecer políticas de conservación de suelos, control de erosión y adaptación al cambio climático, priorizando acciones preventivas en zonas identificadas como vulnerables.

SEGUNDA. A las municipalidades distritales y a las agencias agrarias del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI) promover y ampliar la implementación de prácticas de conservación del suelo, tales como el surcado en contorno, cultivo en franjas y terrazas, especialmente en áreas con pendientes superiores al 15 %, con el objetivo de reducir el impacto del factor LS y mejorar la efectividad del factor P.

TERCERA. A las autoridades locales, comunidades campesinas y organizaciones de productores agrícolas priorizar la recuperación y protección de áreas con cobertura vegetal escasa o suelos desnudos ($C \geq 0.9$), mediante programas de reforestación con especies nativas, manejo sostenible de pastizales y control del sobrepastoreo, a fin de disminuir la susceptibilidad a la degradación en los sectores críticos identificados.

CUARTA. A la Autoridad Local del Agua, instituciones ambientales y municipalidades distritales implementar programas permanentes de monitoreo de sedimentos y calidad de agua en los principales cauces de la subcuenca, así como campañas de educación ambiental dirigidas a la población y agricultores, con el propósito de prevenir la colmatación de ríos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez Jaramillo, R. (2023). *Evaluación de la erosión hídrica por efecto de las precipitaciones en la subcuenca del río Chotano* [Universidad Nacional Federico Villarreal]. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/7659>
- Atauje, D. (2018). *Estimación de la erosión hídrica para la conservación de suelos en la cuenca Huatatas, Ayacucho-2017*. [Tesis de Pregrado, Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga], 125. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3534>
- Bastidas, J. (2018). *Estudio biogeofísico para el ordenamiento del uso potencial de la tierra de la microcuenca quebrada seca , Trujillo- Venezuela*: ULA-NURR, Departamento de Ciencias Sociales. Trujillo - Venezuela. <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/45814/art1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bautista, G. (2023). *Análisis de la estimación de la erosión Hídrica y el efecto en la cobertura vegetal de la cuenca del río zapatilla - Puno*. [Tesis de Pregrado, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional del Altiplano], 76,92. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/19529>
- Bocanegra Alza, Yohan Aymar Bocanegra Alza, Y. A., & Guzman Ventura, Y. E. (2023). *Determinación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Chicama*, 2021. <https://dspace.unitru.edu.pe/items/cf24f31e-7d4f-4304-80ae-30e27393d41a>
- Calderón Cárdenas, J. M., & Vizcarra Soto, S. D. del P. (2024). Evaluación de la erosión hídrica en la subcuenca del río Caplina utilizando el modelo U.S.L.E. mediante el Sistema de Información Geográfico, Tacna—2023. *Repositorio Institucional - UPT*. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/3551>
- Castro-Villarreal, J. A., Villarreal-Núñez, J. E., Cabrera-Rodríguez, J. A., Castro-Villarreal, J. A., Villarreal-Núñez, J. E., & Cabrera-Rodríguez, J. A. (2025). Pérdida de suelo por erosión hídrica en la subcuenca río Estibaná, Panamá. *Agronomía*

- Mesoamericana*, 36(1). <https://doi.org/10.15517/am.2024.59684>
- Chen, Y., Song, X., Liu, F., Dong, Y., Zhang, C., Ye, M., & Zhang, G. (2023). Effect of Land Use on Water Erosion Override Impacts Associated with Climate. *Ecosystem Health and Sustainability*, 9, 0070. <https://doi.org/10.34133/ehs.0070>
- Chili, J. (2023). *Determinación de la erosión actual y la erosión Hídrica potencial en la Cuenca del río Illpa*, Puno. [Tesis de Pregrado, Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura, Universidad Nacional del Altiplano]. 119 - 142. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/21600>
- Cisneros, J., & Cholaky, C. (2012). *Erosión Hídrica Principios y técnicas de manejo*. Universidad Nacional de Río Cuarto Facultad de Agronomía y Veterinaria Servicio de Conservación y Ordenamiento de Tierras (SECYOT). <http://www.unirioeditora.com.ar/wp-content/uploads/2021/08/978-987-688-024-4.pdf>
- Condori, V. (2018). *Pérdida del suelo por erosión hídrica en la comunidad de San Francisco de Chañajari Moho-Puno*. [Tesis de Posgrado, Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Altiplano], 104. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/12000>
- Domingo, M., & Portuguez, M. (2014). *Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río siguas utilizando geoinformática* - Lima. [Tesis de Posgrado, Universidad Nacional Agraria la Molina], 324-329 <https://doi.org/10.21704/ac.v76i2.797>
- Deng, J. S., K. Wang, Y. H. Deng, y G. J. Qi. 2008. «PCA-based Land-use Change Detection and Analysis Using Multitemporal and Multisensor Satellite Data». *International Journal of Remote Sensing* 29(16):4823-38. doi:10.1080/01431160801950162.
- Dumas, Á. (2012). *Riesgo de Erosión Hídrica en la Cuenca Hidrográfica del Río Mundo*. Madrid. [Tecnología de Informacion Geograficas, Universidad Complutense Madrid], 25.

<https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/7ae3338e-d627-4082-8d57-0b24efab9f63/content>

Escobar, D. (2019). *Estimación de la erosión hídrica en zona semiárida del norte chileno mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE): el caso de Punitaqui (IV región de Coquimbo)* - Santiago. [Tesis de Pregrado, Carrera de Geografía, Universidad de Chile]. 71-74. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/173350>

Esteban, N. (2018). *Tipos de investigación*. <http://repositorio.usdg.edu.pe/handle/USDG/34>

Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Senisterra, G. E., Delgado, M. I., & Besteiro, S. I. (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas*. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. https://institutoambiental.pe/wp-content/uploads/2025/06/Libro-de-Elementos-metodologicos-para-el-manejo-de-cuencas-hidrograficas.pdf?utm_source=chatgpt.com

Jardith James, D. C. G. (2023). *Evaluación de la pérdida del suelo por erosión hídrica utilizando metodología rusle con SIG en la cuenca del río Sacanche - San Martín*. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2715>

Núñez Cuadros, M. K. (2024). "Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando la metodología USLE en la cuenca Chacco - Ayacucho, 2023". <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/6390>

ANEXOS

**Anexo 01. Matriz de consistencia de la investigación.
IMPLICANCIA AMBIENTAL DE LA PÉRDIDA DE SUELOS POR EROSIÓN HÍDRICA EN LA SUBCUENCA MEDIO BAJO COATA,
REGIÓN PUNO - 2025.**

PROBLEMAS		OBJETIVOS		HIPÓTESIS		VARIABLES		DIMENSIONES		METODOLOGÍA	
Problema General		Objetivo General		Hipótesis General							
¿Cuál es la implicancia ambiental de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la subcuenca Medio Bajo Coata, región Puno, durante el año 2025?	Evaluar la implicancia ambiental de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la subcuenca Medio Bajo Coata, región Puno - 2025.	La pérdida de suelos por erosión hídrica genera una implicancia ambiental negativa significativa en la subcuenca Medio Bajo Coata, región Puno, durante el año 2025.		Variables independientes Pérdida de suelos por erosión hídrica	Factores erosivos (RUSLE)	El método de investigación que se usó en la presente investigación fue descriptivo - cuantitativo					
Problema Específicos ¿Cuál es la magnitud de la pérdida de suelos por erosión hídrica potencial y actual en la subcuenca Medio Bajo Coata, considerando la aplicación del modelo RUSLE y herramientas de información geográfica? ¿Cómo se distribuye espacialmente la pérdida de suelos por erosión hídrica en la subcuenca Medio Bajo Coata, y cuáles son las áreas que presentan mayor susceptibilidad a la degradación del suelo? ¿Cuáles son los impactos ambientales generados por la pérdida de suelos por erosión hídrica en los componentes suelo, agua y vegetación en la subcuenca Medio Bajo Coata?	Objetivo Específicos Estimar la pérdida de suelos por erosión hídrica potencial y actual en la subcuenca Medio Bajo Coata, a partir de la aplicación del modelo RUSLE y herramientas de sistemas de información geográfica. Identificar y clasificar las áreas de la subcuenca Medio Bajo Coata según los niveles de pérdida de suelos por erosión hídrica, determinando las zonas con mayor susceptibilidad a la degradación. Analizar los impactos ambientales generados por la pérdida de suelos por erosión hídrica en los componentes suelo, agua y vegetación de la subcuenca Medio Bajo Coata.	Hipótesis Específicos La pérdida de suelos por erosión hídrica potencial y actual en la subcuenca Medio Bajo Coata presenta valores moderados a altos, según la estimación realizada mediante el modelo RUSLE y herramientas de sistemas de información geográfica. La pérdida de suelos por erosión hídrica se distribuye de manera heterogénea en la subcuenca Medio Bajo Coata, concentrándose los niveles más altos en áreas con mayor pendiente, menor cobertura vegetal y prácticas inadecuadas de manejo del suelo. La pérdida de suelos por erosión hídrica produce impactos ambientales negativos significativos en los componentes suelo, agua y vegetación de la subcuenca Medio Bajo Coata.		Variables dependientes Implicancia ambiental	Nivel de pérdida de suelo Impacto en el suelo Impacto en el agua Impacto en la vegetación						

Anexo 02: Promedio mensual de la precipitación acumulada de acuerdo a las estaciones cercanas a la subcuenca medio bajo Coata.

Estación	Altitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
	(m s. n. m.)													anual
Cabanillas	3888	145.05	132.89	107.66	51.47	5.88	3.50	2.87	6.98	16.65	47.85	60.13	109.61	690.54
Juliaca	3838	132.97	113.78	96.88	41.86	8.22	4.52	4.08	5.85	16.64	45.69	47.57	105.55	623.61
Lampa	3866	153.00	142.13	118.82	46.02	8.13	4.92	3.46	8.21	20.78	54.80	61.83	129.15	751.25
Pucara	3877	142.31	128.40	116.37	45.33	10.68	5.48	3.55	8.05	20.57	54.53	57.85	114.67	707.79
Taraco	3828	112.10	103.36	82.36	33.10	9.17	4.89	3.82	6.11	20.50	40.38	39.54	88.35	543.68

Fuente: Elaborado a partir de la información del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Anexo 03: Factor R calculado utilizando la fórmula de Índice Modificado de Fournier (IMF).

N°	Estación	Altitud (m s. n. m.)	Este (m)	Norte (m)	PP (mm)	Anual	Factor R (X)
1	Cabanillas	3812	355657.1	8270526		690.54	1028.27
2	Juliaca	3826	370417.9	8292184		623.6	870.22
3	Lampa	3980	352505.4	8301267		751.25	1080.69
4	Pucara	3930	353095.2	8336168		707.8	911.05
5	Taraco	3848	395600.6	8306968		543.67	635.08

Anexo 04: Factor K calculado a partir de las muestras de suelos de la zona.

SUELOS MUESTREADOS	A					M					K	
	Arc	L	A	Arc	L	Arc	L	A	Arc	L		A
Ajuyo	67.6	5	27.4	9025	1	1	23.73					-0.44
Ayabacas	28	44	28	3136	4	4	2.31					0.21
Cachiña - Poke	67	3	30	40	2	3	3.7	58	9409	2	3	0.25
Calacollo	49	10	41			3	5.6		8100	2	3	0.16
Calacollo - Cachiña	49	10	41	67	3	3	5.6	30	8100	1	3	0.12
Calacollo - Misceláneo (Afloramiento lítico)	49	10	41			3	5.6		8100	1	3	0.12
Calacollo - Yanamayo	49	10	41	44	12	44	5.6	44	8100	1	3	0.12
Chapapampa - Chejemoco	60	10	30	32	38	30	0.7	30	8100	4	2	0.34
Chejemoco - Chincheros (Superficial)	41	15	44	38	12	50	1.2	50	7225	2	3	0.25
Chincheros	57	18	25			4	1.7		6724	4	2	0.27
Chincheros - Illpa	60	10	30	65	3	32	0.7	32	8100	4	2	0.34
Chincheros - Misceláneo (Afloramiento lítico)	60	10	30			4	0.7		8100	4	2	0.34
Chincheros - Yanacocha	60	10	30	36	16	48	0.7	48	8100	4	2	0.34
Chincheros (Superficial) - Yanacocha	38	12	50	32	20	48	6.62	48	7744	1	3	0.09
Cullane - Chapapampa	40	32	28	32	38	30	21.9	30	4624	4	4	-0.03
Huaitiri - Huaylao												0.15
Illpa - Misceláneo (Afloramiento lítico)	65	3	32			2	4		9409	2	4	0.27
Illpa (Salino-sódico)	65	3	32			2	4		9409	2	4	0.27
Illpa (Salino-sódico) - Chapapampa	65	3	32	32	38	30	4	30	9409	2	4	0.27
Illpa (Salino-sódico) - Yanacocha	65	3	32	55	9	36	4	36	9409	2	4	0.27
Jacco	48	28	24			4	3.24		5184	4	2	0.20

Lacacota - Sapamoco	57.5	7.5	35	70	5	25	8556.3	1	2	2.5	0.18
Misceláneo (Afloramiento lítico)	Misceláneo										0.25
Misceláneo (Afloramiento lítico) - Calacollo				64	4	32	9216	1	3		0.25
Misceláneo (Afloramiento lítico) - Calacollo				36	6	58	8836	2	3		0.25
Misceláneo (Afloramiento lítico) - Chincheros				38	12	50	7744	1	3		0.25
Misceláneo (Glacial)	Misceláneo										0.25
Muni	20	40	40				3600	4	2	1.79	0.17
Ñuñoa	55.3	20.7	24				6288.5	4	2	3.78	0.22
Poke - Calacollo	40	2	58	49	10	41	9604	2	3	7.86	0.13
Pujuntera	60	5	35				9025	2	2	10.26	0.02
Pusi	62	12	26				7744	4	2	1.79	0.30
Rio											0.00
Sara	54	20	26				6400	4	2	2.07	0.25
Titicaca	59.9	14.1	26				7378.8	4	3	4.42	0.26
Vizcacha - Calacollo	72	7	21	49	10	41	8649	2	2	4	0.19

Anexo 05: Tabla de valoración del factor L.S.

Grupos de Pendientes	%	L.S.
0 -4	-2	0.38
4 - 8	0	1.34
8 - 15	0.5	2.53
15 -25	2.5	4.99
25 -50	0	11.79
50 -75	12.5	19.00
75 -100	25	25.61

Anexo 06: Cálculo de la cobertura vegetal.

Zona	C
1.1.1. Tejido urbano continuo	1
1.2.4. Aeropuerto	1
1.3.1. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos	1
2.1. Cultivos transitorios	0.25
2.4.1. Mosaico de cultivos	0.4
3.1.1.1.2. Bosques nativos	0.001
3.1.2.2. Bosque abierto bajo inundable	0.001
3.1.3. Bosque denso alto	0.001
3.1.4. Bosque abierto alto	0.001
3.2.1.1.1. Plantación forestal de ciprés	0.001
3.2.1.1.2. Plantación forestal de eucalipto	0.003
3.2.1.1.3. Plantación forestal de pino	0.001
3.3.1.1.1. Herbazal denso (chiji)	0.15
3.3.1.1.2. Herbazal denso (chilligua)	0.15
3.3.1.1.3. Herbazal denso (crespillo)	0.15
3.3.1.1.4. Herbazal denso (ichu)	0.1
3.3.1.2.1. Herbazal abierto (iru ichu)	0.01
3.3.3.2.1. Vegetación arbustiva / herbácea abierta de canlli	0.01
3.3.3.2.2. Vegetación arbustiva / herbácea abierta de chilca	0.01
3.3.3.2.3. Vegetación arbustiva / herbácea abierta de muña	0.01
3.3.3.2.4. Vegetación arbustiva / herbácea abierta de tola	0.01
3.4.1. Áreas arenosas naturales	1
3.4.2. Afloramientos rocosos	1
3.4.3. Tierras desnudas (incluye áreas erosionadas naturales y también degradadas)	1
3.4.4. Áreas quemadas	0.15
3.4.5. Glaciares	1
4.1.1. Áreas Pantanosas	0.001
4.1.2. Turberas y bofedales	0.15
4.1.3.1. Vegetación acuática de totora	0.001
4.1.3.2. Vegetación acuática de llacho	0.001
5.1.1. Ríos (50 m)	0
5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes	0
5.1.3. Lagunas, lagos y ciénagas naturales estacionales	0
5.1.5. Cuerpos de agua artificiales	0

Anexo 07: Tabla de valoración del factor C.

Rango del Factor C	Tipo de cobertura vegetal
≤ 0.1	Bosque y selva nublada
0.1 - 0.2	Bosque, cultivos y pastizales
0.2 - 0.3	Matorrales y pastizales
0.3 - 0.4	Cultivos y pastoreo
0.4 - 0.5	Cultivos y arbustales
0.5 - 0.6	Vegetación escasa
0.6 - 0.9	Vegetación semiárida
≥ 0.9	Suelo desnudo

Fuente: Adaptado de (Deng et al. 2008)

Anexo 08: Tabla de valoración de las prácticas de apoyo.

Pendiente (%)	Contorno	Cultivo en franjas	Terrazas
0.0 - 7.0	0.55	0.27	0.10
7.0 - 11.3	0.60	0.30	0.12
11.3 - 17.6	0.80	0.40	0.16
17.7 - 26.8	0.90	0.45	0.18
> 26.8	1.00	0.50	0.20

Fuente: Gaspari et al. (2013). Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.

Anexo 09: Valoración de la pérdida de suelo.

Pérdida de suelo (t ha⁻¹ año⁻¹)	Interpretación
0	Áreas no afectadas por la erosión, como zonas urbanas, vías pavimentadas, embalses u otras superficies impermeables.
0 - 5	Sectores con erosión mínima y pérdida de suelo dentro de límites aceptables.
5 - 10	Zonas con erosión leve y pérdida de suelo aún tolerable; es poco probable que exista erosión neta.
10 - 25	Áreas donde ocurre erosión suave; el proceso ya está activo, aunque sus efectos no son visibles a simple vista.
25 - 50	Zonas con erosión moderada; el fenómeno es real, pero sigue sin ser evidente sin observación detallada.
50 - 100	Áreas con erosión severa; los signos de degradación del suelo son claramente observables.
100 - 200	Áreas con erosión muy severa; la pérdida de suelo es intensa y fácilmente perceptible en el terreno.
> 200	Áreas con erosión extrema; la degradación del suelo es crítica y se manifiesta de forma inmediata en el paisaje.