



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



**ESTUDIO DE LA PÉRDIDA DE SUELOS POR EROSIÓN HÍDRICA
EN LA CUENCA DEL RIO COATA, PUNO – PERÚ.**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. EFRAIN ZAVALA PURACA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

PUNO – PERÚ

2024



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

ESTUDIO DE LA PÉRDIDA DE SUELOS POR EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RIO COATA, PUNO – PERÚ

AUTOR

EFRAIN ZAVALA PURACA

RECuento DE PALABRAS

19385 Words

RECuento DE CARACTERES

103212 Characters

RECuento DE PÁGINAS

102 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.6MB

FECHA DE ENTREGA

Oct 22, 2024 3:05 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Oct 22, 2024 3:07 PM GMT-5

● 19% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 18% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)


FLAVIO ORTIZ C
DIRECTOR


Dr. Manuel Alfresio Callohuacra P.
Cod. 02081 CIP: 24042

Resumen



DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso, Él fue mi fortaleza que me dio la fuerza para seguir adelante.

A mis padres Feliciano y Viviana por compartir mis preocupaciones en mi vida y mi formación profesional.

A mis hermanos(as) por su apoyo durante mi formación profesional.

Efraín Zavala Puraca



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, en particular a la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, por el compromiso y dedicación de sus docentes en la formación de profesionales con sólidos conocimientos científicos y técnicos en el campo de las Ciencias de la Ingeniería Agronómica. Su labor ha sido fundamental para mi desarrollo académico y profesional.

A mi director y asesor M.Sc. Flavio Ortiz Calcina por su invaluable apoyo en la elaboración de este proyecto de investigación. Sus orientaciones, observaciones y valiosos consejos han enriquecido significativamente este trabajo, guiándome con su experiencia y sabiduría.

A los distinguidos miembros del jurado, Dr. Mujica Sánchez, Ángel Mauricio Holguer, M.Sc. Aguilar Ramos, Eustaquio Victoriano, M.Sc. Sánchez Mendoza, Jesús, por su amable participación, por sus precisas modificaciones que mejoraron la ejecución y redacción final del presente trabajo.

A todos mis amigos y compañeros de estudio que de una u otra forma me brindaron apoyo en mi formación profesional.

Efraín Zavala Puraca



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	13
ABSTRACT.....	14
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.2.1. Problema general.....	19
1.2.2. Problemas específicos	19
1.3. JUSTIFICACIÓN	19
1.4. OBJETIVOS.....	21
1.4.1. Objetivo general	21
1.4.2. Objetivos específicos.....	21
CAPITULO II	
REVISION DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
2.1.1. A nivel internacional	22



2.1.2. A nivel nacional	23
2.1.3. A nivel local	25
2.2. MARCO TEÓRICO	26
2.2.1. Erosión de suelos.....	26
2.2.2. Potencialidades en el manejo de suelos	27
2.2.3. Limitaciones en el manejo de suelos.....	28
2.2.4. Sistema de capacidad de uso mayor de tierra.....	28
2.2.5. Erosión hídrica	29
2.2.6. Tipos de erosión hídrica	30
2.2.7. Procesos de la erosión hídrica	32
2.2.8. Factores que intervienen en la erosión hídrica	33
2.2.9. Métodos para evaluar la erosión hídrica del suelo	36
2.2.10. Pérdida tolerable del suelo	38
2.2.11. Cuenca hidrográfica	39
2.2.12. Ecuación universal de pérdidas de suelos (USLE).....	39
2.2.12.1. Factor de erosividad de la lluvia (R).....	41
2.2.12.2. Factor topográfico (LS).....	42
2.2.12.3. Factor de erodabilidad del suelo (K).....	43
2.2.12.4. Factor de cobertura vegetal (C).....	44
2.2.12.5. Factor de prácticas de conservación (P).....	44
2.2.13. Modelamiento de la erosión hídrica del suelo.....	45
2.2.14. Teledetección y sistemas de información geográfica.....	46
2.2.15. Índice de erosión de la lluvia	48



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO.....	49
3.1.1. Ubicación política	49
3.1.2. Ubicación geográfica	49
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	51
3.2.1. Enfoque de investigación	51
3.2.2. Diseño de la investigación	51
3.3. MATERIALES Y EQUIPOS.....	51
3.3.1. Materiales.....	51
3.3.2. Equipos.....	52
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	52
3.4.1. Población.....	52
3.4.2. Muestra.....	52
3.5. PROCEDIMIENTO METODOLOGICO.....	53
3.5.1. Determinar la erosividad de la lluvia (R), en el ámbito de la cuenca del rio Coata.....	53
3.5.2. Determinar la erodabilidad del suelo (K), en el ámbito de la cuenca del rio Coata en Puno	58
3.5.3. Determinar la erosión hídrica potencial de la cuenca del rio Coata en Puno.....	65
3.5.4. Determinar la erosión hídrica actual por cada sub unidad hidrográfica de la cuenca del rio Coata en Puno	67



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EL FACTOR EROSIVIDAD DE LA LLUVIA (R), EN LA CUENCA DEL RIO COATA EN PUNO.....	68
4.1.1 Análisis de erosividad de la lluvia (Factor R).	68
4.2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K), EN LA CUENCA DEL RIO COATA EN PUNO.....	73
4.2.1. Análisis de erodabilidad del suelo (Factor K).	73
4.2.2. Análisis de la pendiente y longitud del río (Factor LS)	75
4.3. EROSIÓN POTENCIAL DE LA CUENCA DEL RÍO COATA EN PUNO	79
4.4. EROSIÓN ACTUAL POR CADA SUB UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA COATA EN PUNO.....	80
4.4.1. Ponderación de cobertura vegetal (C).	80
4.4.2. Coeficiente de cobertura vegetal (C).....	81
4.4.3. Ponderación de prácticas de conservación (P) de la cuenca del río Coata	84
4.4.4. Erosión Actual de la cuenca del río Coata	85
V. CONCLUSIONES.....	88
VI. RECOMENDACIONES	89
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	90
ANEXOS.....	96

ÁREA: Ciencias agrarias

TEMA: Cambio climático y agricultura

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 23 de octubre del 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Niveles de la erosión hídrica.....	38
Tabla 2 Estaciones meteorológicas de la Cuenca del río Coata y Cuencas vecinas.	54
Tabla 3 Factor de Erosividad	57
Tabla 4 Códigos USLE de estructura de suelo	58
Tabla 5 Códigos USLE de permeabilidad de suelos.....	59
Tabla 6 Determinación de factor de cobertura vegetal	63
Tabla 7 Parámetros de Factor de Práctica de conservación (P)	64
Tabla 8 Niveles de erosión hídrica del suelo	65
Tabla 9 Niveles de erosión hídrica en la microcuenta temporal Escaralani	66
Tabla 10 Rangos de pérdida de suelos debido a erosión hídrica	67
Tabla 11 Índice Modificado de Fourmier (IMF) de las estaciones meteorológicas en Mj*mm/ha*h*año	70
Tabla 12 Factor de erodabilidad del suelo (K) a nivel de la cuenca.	74
Tabla 13 Factor de inclinación y longitud de la pendiente (LS) de la cuenca del río Coata	76
Tabla 14 Estimación de erosión hídrica potencial de suelos de la cuenca del río Coata	79
Tabla 15 Coeficiente de factor de Cobertura vegetal (C) de la cuenca del río Coata.	83
Tabla 16 Erosión hídrica actual por unidades hidrográficas de la cuenca del río Coata.	85



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Pérdida del suelo por erosión hídrica	31
Figura 2 Fases de la erosión hídrica.....	33
Figura 3 Niveles de información en un sistema de información geográfica.....	46
Figura 4 Representación de un modelo real a un modelo ráster digital.....	47
Figura 5 Modelo real a un modelo vectorial digital.....	48
Figura 6 Ubicación del área de estudio de cuenca del río Coata	50
Figura 7 Unidades hidrográficas de la cuenca del río Coata	53
Figura 8 Ubicación de las estaciones meteorológicas.....	55
Figura 9 Esquema de metodología para obtener LS de las unidades o Cuenca.....	62
Figura 10 Índice Modificado de Fourmier (IMF) de las estaciones meteorológicas del ámbito de estudio.....	71
Figura 11 Mapa de factor de erosividad de la lluvia (R) de la cuenca del río Coata, Puno, Perú.....	72
Figura 12 Mapa del factor de erodabilidad del suelo (K) de erosión hídrica de la cuenca del río Coata, Puno, Perú.....	75
Figura 13 Unidades fisiográficas de la cuenca del río Coata, Puno, Perú	77
Figura 14 Mapa de factor de longitud de pendiente (LS) de erosión hídrica de la cuenca del río Coata, Puno, Perú.....	78
Figura 15 Erosión hídrica potencial de la cuenca del río Coata, Puno, Perú	80



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 Resultado de análisis de la caracterización de suelo	96
ANEXO 2 Factor erosividad de la lluvia (R) en $Mj*mm/ha*h*año$	98
ANEXO 3 Factor de erodabilidad del suelo (K) a nivel de la cuenca.....	99
ANEXO 4 Mapa de la cuenca Coata	100
ANEXO 5 Declaración jurada de autenticidad de tesis.....	101
ANEXO 6 Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional....	102



ACRÓNIMOS

CENEPRED:	Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres
GLASOD:	Evaluación Global de la Degradación del Suelo Inducida por el Hombre
GOREP:	Gobierno Regional de Puno
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
IMF:	Índice Modificado de Fournier
IAEA:	Organismo Internacional de Energía Atómica
MINAM:	Ministerio del Ambiente
SIG:	Sistemas de Información Geográfica
USLE:	Ecuación universal de pérdida de suelos por erosión hídrica



RESUMEN

La erosión hídrica y el deterioro del suelo son relevantes problemas medioambientales. 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 sedimentos en las vertientes de agua y la disminución de la biodiversidad. Es por eso que en la presente investigación se plantea como objetivo, determinar la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca Coata en Puno, Perú. El método que se empleó fue la “Ecuación universal de pérdida de suelos por erosión hídrica” USLE, determinando los factores de la ecuación $R * K * SL * C * P$. Los objetivos consistieron en determinar la erosividad de la lluvia (R), la erodabilidad del suelo (K), la erosión actual por cada unidad hidrográfica de la cuenca Coata y determinar la erosión potencial y actual media anual de la cuenta Coata en Puno. Los resultados que alcanzaron de la erosividad (R), en rangos de 171,135 a 553,183 $Mj * mm / ha * h * año$, así como la erodabilidad (K) en rangos de -0,044 a 0,028 $t * ha * h / ha * Mj * mm$, se estimó la erosión actual media anual de 103 $t / ha / año$ y la erosión potencial media anual en la cuenca en 204 $t / ha / año$. En conclusión, en la cuenca Coata, considerando las tres sub unidades hidrográficas se ha obtenido una erosión actual alta de 103 $t / ha / año$ y erosión potencial muy alta de 204 $t / ha / año$.

Palabras clave: Erosión actual, Erosión potencial, Erosividad, Erodabilidad, Sedimentos.



ABSTRACT

Water erosion and soil deterioration are significant environmental problems. The causes of soil erosion are well known, since they include loss of soil fertility, contamination of water bodies and accumulation of sediment in water courses and decline in biodiversity. This is why the present research aims to determine the loss of soil due to water erosion in the Coata river basin in Puno, Peru. The method used was the USLE "Universal Soil Erosion Loss Equation". Where the factors of equation $R \cdot K \cdot SL \cdot C \cdot P$ were determined. The objectives were to determine the erosiveness of rain (R), determine the erodibility of soil (K), in the area of the Coata river basin, Determine the current erosion for each sub-hydrographic unit of the Coata river basin and determine the potential and current annual average erosion of the Coata river account in Puno. The results obtained from the erosivity (R), in ranges of 171,135 to 553,183 $Mj \cdot mm/ha \cdot h \cdot year$, as well as the erodability (K) in ranges of -0.044 to 0,028 $T \cdot ha \cdot h/ha \cdot MJ \cdot mm$, current annual average erosion was estimated at 103 T/ha/year and potential annual average erosion in the basin at 204 T/ha/year. In conclusion, in the Coata basin, considering the three hydrographic subunits, a high current erosion of 103 t/ha/year and a very high potential erosion of 204 t/ha/year have been obtained.

Keywords: Actual erosion, Potential erosion, Erodibility, Erodibility, Sediments.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La erosión hídrica y el deterioro del suelo son relevantes problemas medioambientales, la Evaluación Global de la Degradación del Suelo Inducida por el Hombre (GLASOD) aproximadamente 1.964 millones de hectáreas, es decir, el 15% de la superficie terrestre, sufrieron algún tipo de degradación del suelo entre los años 1987 y 1990, la erosión hídrica representa el 55,6% del total, perjudicando a unos 1.093,7 millones de hectáreas en todo el mundo (FAO, 2016).

Según Morgan (1997) menciona que, la consecuencia directa de la erosión del suelo es una disminución de la productividad agrícola, debido a la pérdida de nutrientes, a su deterioro físico, a la pérdida de profundidad y en casos extremos a la pérdida total del suelo. De esto se desprende la necesidad de medir o estimar la erosión potencial de los suelos para aplicar medidas que eviten la pérdida de este recurso (Pando et al., 2003).

Se han desarrollado y diseñado varios procedimientos y modelos para estimar el proceso de degradación en términos de pérdida de suelo. Un modelo paramétrico que pretende interpretar los mecanismos erosivos por causas y efectos, de mayor aceptación y más amplia aplicación es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) (Rodríguez et al., 2004).

Esta alarmante realidad no es ajena a la cuenca del río Coata, ya que la alteración de las precipitaciones y de la cubierta vegetal es fácilmente perceptible.

Todo ello, unido a las características propias del altiplano central, como son las fuertes pendientes, las fuertes e intensas precipitaciones y los suelos ácidos con bajo



contenido en materia orgánica, hace necesaria la aplicación de una técnica de estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica. A partir de esta información se identifican las zonas de mayor riesgo, para posteriormente sugerir medidas y prácticas de conservación que mitiguen la mencionada erosión.

Dado que éstas son las principales fuentes de erosión hídrica en las regiones baja y media de la cuenca del río Coata, la alteración del uso del suelo y de la cubierta vegetal tiene un impacto significativo; en tal sentido en la presente investigación se planteó como objetivo general Determinar la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Coata en Puno, Perú, a través de: a) determinar la erosividad de la lluvia (R), en el ámbito de la cuenca del río Coata en Puno; b) determinar la erodabilidad del suelo (K), en el ámbito de la cuenca del río Coata en Puno; c) determinar la erosión potencial de la cuenta del río Coata en Puno; y d) determinar la erosión actual por cada sub unidad hidrográfica de la cuenca del río Coata en Puno.

En la metodología se propuso un procedimiento combinado de trabajo de campo para la identificación y teledetección para la recogida de datos, y se aplicó para la cuantificación utilizando el software ArcGIS versión 10.5, los datos iniciales a toda una cuenca, empleando la ecuación universal de pérdida de suelo, al combinar los valores como la erodabilidad, erosividad, longitud de pendiente, cobertura vegetal y prácticas de conservación, permitiendo de esta manera estimar la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Coata. El diseño de la investigación fue no experimental descriptivo - cuantitativo, la población estuvo conformada por la superficie de la cuenca del río Coata extendiéndose en un área total de 4882.42 km², en la muestra estuvo conformada por tres sub unidades hidrográficas que consta de 490,844.00 hectáreas de la cuenca del río Coata; Se empleó la observación como estrategia y equipo de recopilación de datos, con fichas de observación para recoger información sobre el



suelo, escenarios de precipitaciones y fotos de satélite.

La tesis tiene cuatro capítulos: en el Capítulo I, se tiene el planteamiento, la formulación del problema y las hipótesis de la investigación se exponen se demuestra la aplicabilidad de la investigación y se definen sus objetivos generales y particulares; Seguidamente en el capítulo II, incluye la revisión bibliográfica , el estado actual de la investigación, los detalles del contexto de la investigación, la teoría, las definiciones de palabras básicas, los supuestos de la investigación y las hipótesis de la investigación, en el capítulo III comprende el diseño metodológico de la investigación, que incluye todas las especificidades metodológicas del estudio, así como detalles sobre el diseño de la investigación, la población y la muestra, los procedimientos e instrumentos y el proceso de tratamiento de los datos de la investigación. Los resultados se analizan y discuten en el Capítulo IV, que incluye análisis estadísticos descriptivos e inferenciales, conclusiones y sugerencias, referencias bibliográficas con formato APA y anexos de 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 estén 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).

A nivel global, la erosión hídrica y el deterioro del suelo son relevantes problemas medioambientales. Indica la “Evaluación Global de la Degradación del Suelo Inducida por el Hombre (GLASOD)” aproximadamente 1.964 millones de hectáreas, es decir, el 15% de la superficie terrestre, sufrieron algún tipo de degradación del suelo entre 1987 y 1990. La erosión hídrica representa el 55,6% del total, perjudicando a unos 1.093,7 millones de hectáreas en todo el mundo (FAO, 2016)

En el ámbito nacional, la erosión hídrica es un problema importante que afecta a 127.945.790 hectáreas, de las cuales el 6,4% presenta una erosión hídrica grave. Aproximadamente el 11% de la población peruana, especialmente en “Apurímac, Piura, Lambayeque, Moquegua y Tacna”, se ha visto afectada por el 15% de erosión del suelo en los 20 años últimos. Para el año 2100, se prevé que la erosión hídrica afecte al 64% de las tierras peruanas si se mantiene el ritmo actual (MINAM, 2013).

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 cuenca del río 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.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cuánto será la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Coata en Puno, Perú?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál será la erosividad de la lluvia (R), en el ámbito de la cuenca del río Coata?
- ¿Cuál será la erodabilidad del suelo (K), en el ámbito de la cuenca del río Coata?
- ¿Cuál será la erosión hídrica potencial actual en la cuenca del río Coata?
- ¿Cuál será la erosión hídrica actual por cada sub unidad hidrográfica en la cuenca del río Coata?

1.3. JUSTIFICACIÓN

En la cuenca del río Coata la erosión hídrica del suelo se muestra de forma relevante por las precipitaciones pluviales intensas, notorias irregularidades en el clima y un incremento en las tasas de evaporación. Dicho acto llevó a disminuir la cobertura vegetal, de forma especial en la cabecera del cuerpo de agua de la cuenca, donde la topografía empinada y condiciones que no son favorables de retención del suelo son prominentes. La formación del suelo se complica por la presencia de rocas ígneas y metamórficas y de sedimentos.



Para comprender y predecir el deterioro del suelo, por lo cual se estudia la erosión hídrica en la cuenca del río Coata. La importancia radica en la prevención y medición de este fenómeno, pues la erosión hídrica intensa podría dar como resultado la formación de surcos, siendo representado por un proceso complicado de evadir. Incluso en los casos en que el deterioro no es inmediatamente evidente, la detección temprana de la erosión del acuífero permite el uso de medidas preventivas.

El estudio de la erosión hídrica en la cuenca del río Coata aborda un importante requisito teórico en ecología y protección del medio ambiente. Dado que no existen muchas investigaciones específicas sobre la erosión hídrica, la cuenca del río Coata presenta un ejemplo único y pertinente que puede ayudarnos a comprender mejor los procesos de erosión en otros ecosistemas. Aunque la teoría existente sobre la erosión hídrica ofrece un marco amplio, para reforzar y ampliar nuestros conocimientos teóricos sobre las consecuencias del fenómeno en lugares geográficos concretos sería necesario aplicar y confirmar estas ideas en un entorno local concreto, como Coata.

El estudio ofrece la posibilidad de utilizar y mejorar los métodos de determinación y evaluación de la erosión hídrica desde un punto de vista metodológico. La cuenca del río Coata es un ecosistema que no ha recibido mucha atención en este sentido, lo que permite utilizar técnicas novedosas y modificar los métodos actuales para adaptarlos a un entorno geográfico concreto. La recopilación de datos específicos de las cuencas permitirá avanzar tanto en el conocimiento teórico como en la creación de soluciones y tácticas viables para hacer frente a la erosión del agua en regiones comparables.

A partir del punto de vista profesional, los especialistas en conservación del medio ambiente, hidrología y campos afines tienen una oportunidad única gracias a esta



investigación. La creación de información precisa sobre la erosión hídrica en la cuenca del río Coata permitirá elaborar planes de gestión medioambiental más específicos y eficaces. Las conclusiones de este estudio pueden ayudar a tomar decisiones a los expertos en la materia comprometidos con la protección de los recursos hídricos y el fomento de la sostenibilidad medioambiental, lo que contribuirá a crear leyes y procedimientos más sensatos y útiles.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Determinar la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Coata en Puno, Perú.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la erosividad de la lluvia (R), en el ámbito de la cuenca del río Coata en Puno.
- Determinar la erodabilidad del suelo (K), en el ámbito de la cuenca del río Coata en Puno.
- Determinar la erosión potencial de la cuenta del río Coata en Puno.
- Determinar la erosión actual por cada sub unidad hidrográfica de la cuenca del río Coata en Puno.



CAPITULO II

REVISION DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. A nivel internacional

La indagación efectuada Escobar (2019), “el modelo USLE (Universal Soil Loss Equation)” fue sugerido como un medio para aproximar las pérdidas por erosión en una región semiárida de Chile. El enfoque estuvo centrado en la comuna de Punitaqui, situado en la “IV Región de Coquimbo”. Los resultados lograron indicar la tasa media de erosión potencial que fue de 26.11 toneladas por hectárea y año, mientras que la tasa media de erosión actual fue de 22.40 toneladas por hectárea y año. En conclusión, el autor destaca la capacidad del modelo para describir la degradación del suelo en la región desde el punto de vista de la protección de los recursos.

De igual manera Guío (2019) evaluó “la tasa de erosión hídrica de superficies y cartografiar estas pérdidas en las cuencas del embalse de La Copa”. Para alcanzar el objetivo, utilizó en su metodología la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada. Asimismo, utilizó el índice de Fournier modificado para evaluar la agresividad climática de la zona y cartografió los componentes. Según las estadísticas, las pérdidas de suelo en el departamento de Boyacá superaron las 100 toneladas por hectárea anualmente, comprometiendo el 76.11% de toda el área de la cuenca del embalse de La Copa. Guío llegó a la conclusión de que las principales causas de estas pérdidas de suelo son las técnicas de gestión inadecuadas, la falta de cobertura vegetal y las características



topográficas típicas de las regiones andinas. Asimismo, indicó que un factor que contribuye a las pérdidas de suelo registradas en la región es la erosionabilidad del suelo, superior a la prevista, sobre todo en las inmediaciones del embalse.

2.1.2. A nivel nacional

El estudio efectuado por Flores (2019) identificó “los niveles de erosión potencial del suelo en la zona agrícola de la cuenca Chancos”. Para conseguirlo, aplicó la técnica de la “Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE)”. Este método incorpora los componentes investigados multiplicativamente de erosividad, erodabilidad y factor topográfico. Mientras que el factor K, que tiene en cuenta la erodabilidad de la superficie en función de la textura, la materia orgánica, las múltiples estructuras y la permeabilidad, se examinó en laboratorio en 22 muestras de suelo dispersas por el emplazamiento del proyecto, la erosividad de las precipitaciones se determinó mediante interpolación Spline. Analizamos el componente topográfico de LS mediante un modelo digital de elevación (DEM), para todos estos procedimientos y análisis se utilizaron sistemas de información geográfica. En su resultado, el 31.58% del suelo del emplazamiento del proyecto presenta un alto grado de desgaste potencial, con reducciones de suelo de 50 a 200 toneladas por hectárea al año. En el 57.90% restante del suelo se observa un nivel moderado de potencial de erosión hídrica, como indican las reducciones anuales de superficie de 10 a 50 toneladas por hectárea.

En su investigación, Atauje (2018) planteó una metodología para cuantificar “la erosión hídrica en la cuenca Huatatas, Ayacucho, mediante la utilización de Sistemas de Información Geográfica y la Ecuación Universal de



Pérdida de Suelo”. En su resultado, los datos mostraron que 12.038 hectáreas, es decir, una fracción significativa del lugar de estudio, sufren erosión hídrica de natural a leve, con pérdidas anuales que oscilan entre 15 y 125 toneladas por hectárea. La tasa de erosión total registrada en la cuenca fue de 125 t/ha/año. Concluyendo, que no hay mucha erosión en la cuenca estudiada, y que las regiones con mayores tasas de erosión son las de terreno más escarpado.

La investigación llevada a cabo por Laqui (2019), tuvo como objetivo “calcular la tasa potencial media de erosión hídrica y el volumen promedio del transporte de sedimentos en una proyección a 50 años hasta el eje de la futura represa Callazas”. Utilizando el enfoque de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo a nivel conceptual, los resultados mostraron una tasa media de erosión hídrica de 108,9 toneladas por hectárea y año, mientras que, utilizando las herramientas de los Sistema de Información Geográfica, la tasa era de 64.3 toneladas por hectárea y año. El autor clasificó este nivel de erosión como ligero/moderado.

La investigación realizada por Taco (2021), presentó como objetivo “estimar el grado de erosión hídrica en la cuenca quebrada Chamacha a través de la aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelos revisada”. Mediante un análisis geoespacial empleando los Sistemas de Información Geográfica, donde identificó las potenciales áreas de desgaste hídrico en referencia a los parámetros entablados en la FAO. En su resultado muestra los lugares con mayor potencial de erosión hídrica (entre 50 y 200 toneladas anuales por hectárea) ocupaban 267,96 hectáreas, es decir el 3.02% de toda la zona de estudio. En conclusión, determinó que los lugares con mayor potencial de desgaste hídrico se situaban en su mayoría en la cuenca alta, donde los cambios



eran más notables, sobre todo en regiones con importantes cambios de elevación y una cubierta vegetal reducido.

2.1.3. A nivel local

Según 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 empleo 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 beneficiarían 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.

Así mismo, 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.

Por otro lado, Condori (2018) estimó la pérdida de suelo ocasionada por la erosión hídrica en la comunidad de San Francisco de Chañajari, Moho, Puno. Para realizar esta investigación utilizó la ecuación universal de pérdida de suelo, un método que los gestores de cuencas utilizan en todo el mundo para evaluar la erosión. Mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica, la investigación produjo una matriz con varios factores e indicadores, así como una conceptualización y flujo del método. Según los datos, la degradación anual prevista del suelo de la microcuenca era del 10.47% de su suelo con un riesgo muy alto de derroche de agua de 55,77 t/ha/año, y del 9.34% de su suelo con un riesgo crítico de 49.75 t/ha/año.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. 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).

La intensidad de las precipitaciones se manifiesta de diversas formas, una de las cuales es la erosión, que comienza con las lluvias y puede incluso dar lugar a barrancos. Las fluctuaciones de la concentración de agua adoptan formas muy diversas: socavación causada por las aguas subterráneas, socavación de barrancos, erosión de láminas, etc. (Cisneros & Cholaky, Erosión hídrica, 2012)

En situaciones extremas, el suelo puede llegar a destruirse totalmente al perder su materia orgánica, volverse extremadamente inestable y experimentar una erosión progresiva que da lugar a arroyos, cárcavas y barrancos (esta es la condición de la mayoría de los suelos de los olivares andaluces, donde las margas se labran de forma directa). El grado de erosión experimentado y la reconstrucción de los horizontes del suelo son posibles con el conocimiento del tipo de suelo (IAEA, 2024).

2.2.2. Potencialidades en el manejo de suelos

El ordenamiento territorial, según el Ministerio del Ambiente (2016), se



basa en el conocimiento y la indagación sobre la diversidad territorial y la sostenibilidad de los ecosistemas; la coordinación intergubernamental e intersectorial; la promoción de iniciativas de inversión pública y privada; y la promoción del diálogo, la participación ciudadana y la consulta previa con las comunidades indígenas.

2.2.3. Limitaciones en el manejo de suelos

La longitud, la forma y, principalmente, el grado de la pendiente de la superficie del suelo, que determinan el drenaje externo de los suelos, influyen en la distribución del agua escurrida. Los grados más apropiados se eligen teniendo en cuenta, en particular, la vulnerabilidad de los suelos a la erosión (Silva & Garrido, 2015).

La forma de la superficie del suelo es otro factor crucial que las operaciones de nivelación consideran bastante interesante. Las pendientes moderadas, pero desiguales, o muy variables deben tenerse en cuenta como elementos determinantes de los costes de nivelación y del probable impacto de la nivelación sobre la fertilidad y las propiedades físicas al eliminar capas de suelo útil para la agricultura (FAO, 2000).

2.2.4. Sistema de capacidad de uso mayor de tierra

Según el “Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego - MIDAGRI (2022), el Reglamento para la clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor (CUM)”, que corresponde a cada unidad de tierra, se determina a través de la interpretación cuantitativa de las peculiaridades edáficas, climáticas (zonas de vida), de relieve y de cobertura vegetal (bosques), que interactúan de manera integrada y sistémica.



Una unidad de tierra categorizada para una determinada adecuación debe utilizarse de forma sostenible, en otras palabras, para una producción máxima y a largo plazo dentro de una estructura de gestión bien establecida. Esto sugiere que el uso dado tiene que evitar que el suelo se degrade por medio de la erosión, la salinización, el hidromorfismo u otros procesos (FAO, 2018).

2.2.5. 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).

Este patrón de erosión está impulsado por las precipitaciones; se produce cuando las gotas de lluvia golpean la superficie expuesta del suelo y también por el proceso hidráulico que arrastra y desplaza las partículas del suelo de los terraplenes y taludes (Jiménez, 2021). La precipitación es el principal agente erosivo y la interacción entre las variables meteorológicas y climáticas, que crean el sustrato para el proceso erosivo, está relacionada con el origen de esta



erosión. La susceptibilidad del suelo a sufrir el impacto de estos fenómenos está influida por una serie de elementos, como la presencia de plantas, el tipo y las características del suelo, la topografía, la geología y el uso del suelo (Fong, 2019).

2.2.6. 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.

En la figura 1 se observa la erosión en forma de surco, donde se ve de forma clara la causa subyacente de dicho fenómeno.

Desde el análisis efectuado, se identifican varias formas de erosión hídrica, incluida la erosión por salpicaduras. Según (Llambí & Soto, 2012), Este fenómeno se produce cuando las gotas de precipitación golpean la superficie terrestre, creando diminutos cráteres que dejan escapar partículas que recorren grandes distancias. En este sentido, se observa que las arenas finas suelen estar más asociadas a este procedimiento.

Figura 1

Pérdida del suelo por erosión hídrica



Nota: la figura muestra las consecuencias de la erosión hídrica: Fuente: Hernández (2017).

- **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).

2.2.7. 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.

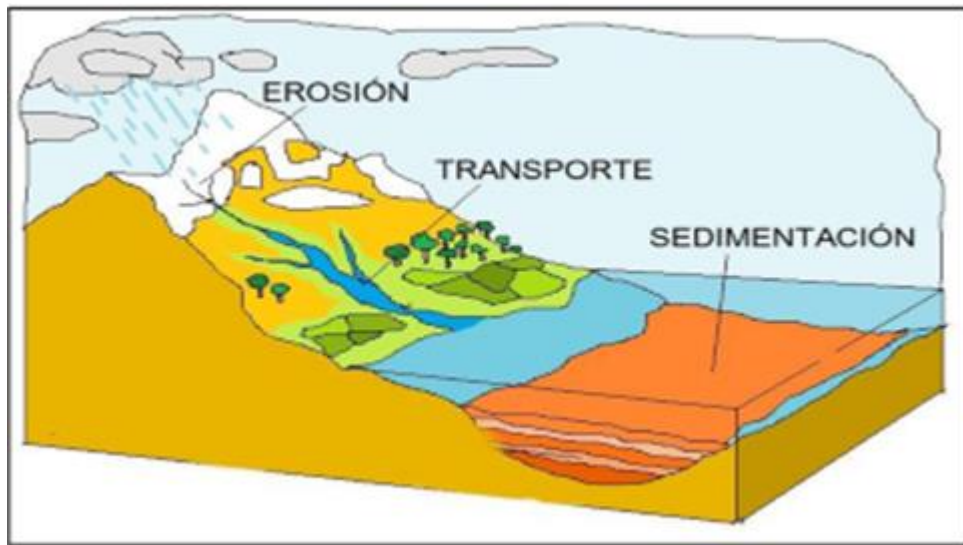
- **Etapas de desprendimiento.**

Pequeñas bolas de lluvia que, dependiendo de su fuerza, descienden y rompen diminutas partículas del suelo que posteriormente pueden ir a parar a las partes más bajas; esta etapa se denomina erosión debido a la salpicadura de las gotas.

La progresión de la erosión hídrica se representa en la figura 2, en tres fases distintas: erosión, transporte y sedimentación.

Figura 2

Fases de la erosión hídrica



Nota: la figura muestra las formas de erosión hídrica. Fuente: Iglesias (2018).

- **Etapa de transporte.**

Las erosiones laminares son visibles en forma de surcos y cárcavas cuando una lámina de agua desprende partículas sueltas que se desplazan por la superficie de dos formas: a baja velocidad o a gran velocidad (turbulencia) (Cisneros & Cholaky, 2012).

- **Etapa de sedimentación.**

Se produce cuando una acumulación de partículas de roca y tierra es el resultado de que el material que se separó y luego se movió se deposite en un lugar porque no hay energía suficiente para impulsarlo hacia adelante (Cisneros & Cholaky, 2012).

2.2.8. Factores que intervienen en la erosión hídrica

La capacidad del suelo para ser erosionado, el poder erosivo de los agentes generadores de erosión, las características de la cubierta vegetal y



determinados factores socioeconómicos son algunos de los factores que regulan el proceso de pérdida de suelo, según Cabrejos (2016).

- **Erosividad de la lluvia**

Según López (2002), las gotas de lluvia comprimen la superficie del suelo, mientras que el agua que fluye y salpica afloja las partículas del suelo, lo que puede dar lugar al desarrollo de costras superficiales que ralentizan la penetración. Los procesos de escorrentía se producen cuando las precipitaciones exceden la capacidad de infiltración de la superficie.

- **Pendiente**

Según López (2002), las gotas de lluvia esparcen las partículas de tierra de forma aleatoria por una superficie plana. Pero está claro que en las pendientes más pronunciadas se dispersan más partículas de suelo cuesta abajo, lo que aumenta el coeficiente de erosión con respecto a la pendiente del terreno. La velocidad y el volumen del agua de escorrentía aumentan con la pendiente y la longitud, aumentando así su poder erosivo.

- **Erodabilidad del suelo**

La estructura de la superficie, la estabilidad de los áridos, la resistencia al cizallamiento, la capacidad de infiltración, el contenido orgánico y los aglutinantes químicos influyen en la erosión. La erosionabilidad está muy influida por la estructura de la superficie, que afecta a la resistencia al transporte de peso y a la rugosidad. La resistencia al corte del suelo determina su cohesión y su capacidad para soportar las presiones del corte causadas por la gravedad, los líquidos que fluyen y las tensiones mecánicas. La permeabilidad del suelo está



asociada al tamaño, la estabilidad y la forma de los poros en su perfil (Atauje, 2018).

Los suelos propensos a la erosión suelen tener una baja concentración de arcilla. Las arenas, por ejemplo, no suelen clasificarse como suelos propensos a la erosión, especialmente en el caso de los suelos con una alta concentración de arena limosa, que son partículas diminutas. Los suelos con más de un 30-35% de contenido de suelo cohesivo probablemente sean cohesivos y produzcan agregados sólidos resistentes al impacto de las gotas de lluvia y a la erosión dispersa. Los suelos cohesivos, presentes en suelos con terrones y superficies rugosas que retienen agua, exhiben resistencia al desgaste laminar y por arroyuelos (FAO, 2018).

- **Cobertura vegetal**

Según Soriano (2012) indica que, interceptar las gotas de precipitación y evitar que su energía cinética se pierda directamente en la superficie es la principal tarea de la vegetación. Una buena cubierta vegetal para reducir los residuos está relacionada con el número de raíces, la densidad de la capa superficial del suelo y la altura y continuidad del dosel vegetal aéreo. Aparte de su función de la interceptación de la lluvia, la capa superior del suelo también dispersa la energía del viento y de la escorrentía, creando rugosidad en la superficie y disminuyendo así la velocidad del flujo.

Cuando la vegetación cubre una parte importante de la superficie del suelo, resulta crucial para reducir el desgaste. Aunque una pradera densamente poblada puede ser igual de buena para controlar el desgaste, los bosques destacan por ser muy eficaces. Para una buena protección se requiere una

cobertura mínima del 70% de la superficie, mientras que una cobertura del 40% podría proporcionar una protección respetable (Alcantara, 2014).

- **Factores antrópicos y socioeconómicos**

La FAO (2019), indica que, el deterioro de la superficie se debe sobre todo a la interferencia indiscriminada del ser humano en el equilibrio biológico natural de los ecosistemas. Esto conlleva un uso inadecuado y excesivo de los recursos hídricos y terrestres. Las capacidades naturales de los ecosistemas los llevan a equilibrarse con la erosión en función de su terreno, suelo, temperatura, condiciones hidrológicas, microclima y especies de plantas y animales. Pero en la persecución de alimentos, la actividad humana provoca alteraciones perturbadoras en estos ecosistemas. Si bien los agricultores dependen de la tierra como recurso para producir plantas, esta dependencia depende del mantenimiento de la cantidad y calidad del suelo como entorno favorable para el desarrollo de las raíces.

2.2.9. 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 erosionó 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**

En comparación, la erosión potencial es una previsión de erosión realizada en ausencia del componente de ocupación y uso del suelo en circunstancias ficticias de uso y gestión del suelo. Dado que estos dos componentes sirven como elementos reductores, se dejan fuera de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Lopez, 2002). 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 1

Niveles de la erosión hídrica

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

Nota: datos tomados de Solano (2016).

2.2.10. Pérdida tolerable del suelo

La tasa sostenible de pérdida de suelo debe tenerse en cuenta a la hora de diseñar medidas de mantenimiento del suelo, ya que el balance de los valores esperados de pérdida de suelo con los valores de la tasa de tolerancia revela si las tasas de desgaste se encuentran dentro de los límites aceptables o los superan para un determinado tipo de suelo o ubicación. Esto orienta el uso de estrategias de control del desgaste en las secciones más deterioradas. La tasa aceptable “T” se utiliza esencialmente para definir la cantidad máxima de erosión que garantiza tanto una buena producción como la sostenibilidad de los cultivos. Muestra su uso sostenible cuando se combina con el ritmo anual de formación del suelo. Sin embargo, surgen problemas prácticos cuando se intenta cuantificar el ritmo de formación del suelo, pues se mueve muy lentamente (FAO, 2019). MINAM (2014), la velocidad media de la estructuración del suelo se encuentra entre 0.1 mm/año, en la mayor parte de casos, los datos de la tasa tolerable (T) están entre 1 y 13 t/ha/año, con Schertz (1983) delimitando este intervalo entre 5 y 10 t/ha/año para terrenos con una superior altura a 1 m. Chili (2023) entablado que la tasa de desgaste tolerable en terrenos de regiones tropicales se encuentra bordeando los 4 t/ha/año, admitiendo una productividad elevada en los cultivos para avalar la sostenibilidad económica a largo plazo. Por lo tanto, valores



estándares que coinciden entre diversos autores son los indicados por Hill et al. (2015) de 7 t/ha/año y los de la FAO (1980) de 11.2 t/ha/año.

2.2.11. 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 cuenca del río 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 cuenca del río 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 cuenca del río Coata.

2.2.12. 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 formula 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.

- **Ecuación 1**

Ecuación universal para el análisis de las pérdidas del suelo

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

Donde:

- A : “Es la media de la perdida 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 practica 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 esorrentía.

2.2.12.1. Factor de erosividad de la lluvia (R)

Es un ingrediente activo en el proceso de erosión, ya que representa la energía con la que las gotas de lluvia golpean el suelo con fuerza, fragmentando los agregados superficiales en partículas de tamaño transportable. Para efectuar el cálculo se diseñaron numerosos índices que fueron utilizados en modelos de predicción del riesgo de erosión, donde el más reconocido es el factor R utilizado por el Departamento de Agricultura de los EEUU (Solano, 2016).

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).

- **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).

2.2.12.2. 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 la USLE no se utiliza a escala de parcela, y las parcelas tienen gradientes de pendiente y longitudes de flujo coherentes, este factor es uno de los más difíciles de calcular. Además, Wischmeier y Smith (1978) plantearon una ecuación para el cálculo de este factor, tal como un nomograma, no obstante, últimamente aparecieron distintas ecuaciones que logran calcular este factor. De las cuales sobresale la propuesta por (Renard et al 1997, Foster et al, 1977) que se basa en la acumulación del flujo.

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

Cuando se evalúa la pérdida de suelo en áreas extensas utilizando un sistema de información geográfica SIG, este método es el más empleado. Entonces el flujo acumulado de capa raster queda expresado como un número o conjunto de celdas (derivadas de las fases del proceso de delimitación de cuencas) y el tamaño de la celda es la longitud del tamaño de un lado de las celdas (Barrios ,2000).

Hay que señalar que ciertos autores mantienen constante el valor de L y se limitan a incluir en este cálculo el valor porcentual de las pendientes "S", debido a las dificultades que entraña deducir este elemento (Dumas, 2012).

2.2.12.3.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.

2.2.12.4. Factor de cobertura vegetal (C)

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 mas 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.

Se trata de una característica crítica en la USLE, ya que una vegetación bien desarrollada minimiza la erosión independientemente de lo escarpado que sea el terreno. Al examinar el conjunto de la investigación, vemos muchos enfoques para calcular este componente. La mayoría de las investigaciones se basan en trabajos de campo anteriores en los que se observaron las características de la cubierta. Los valores calculados por Wischmeier y Smith o por otras organizaciones como la UNESCO, la FAO, el ICONA y otros autores se fijan una vez categorizados (Escobar, 2019).

2.2.12.5. 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).

Debido al desconocimiento o a la ausencia de actividades de conservación en la región investigada, este aspecto suele pasarse por alto en los estudios cuando se utiliza la USLE.

2.2.13. 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).

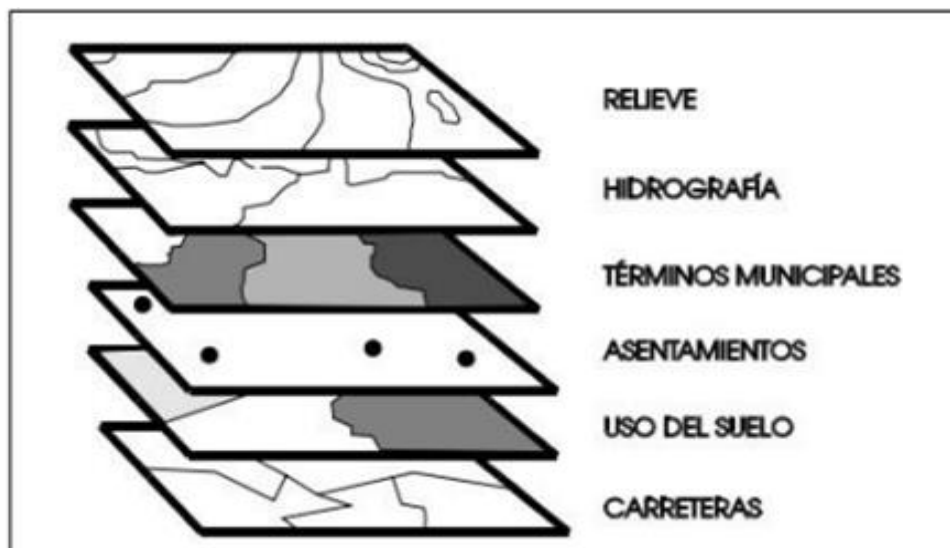
Según Sarrin (2016), la investigación de las diferencias temporales en los patrones de erosión se ve facilitada por el uso de modelos de meteorización junto con sistemas de información geográfica. También permite estandarizar y vincular métodos, crear presentaciones visuales, analizar y conservar una gran cantidad de información necesaria y servir de base para la objetivación de la

planificación y la investigación hidrológica. Esto indica en logros los cuales son:

- La creación de bases de datos con información exacta para la utilización de modelos de erosión.
- Obtención de los parámetros asociados a cada modelo.
- Evaluación de la erosión hídrica y medición de los resultados.
- Cálculo de áreas simuladas que se clasifican en función del nivel de desgaste y daños.

Figura 3

Niveles de información en un sistema de información geográfica



Nota: la figura muestra las capas de información en un sistema de información geográfica. Bastidas (2018).

2.2.14. Teledetección y sistemas de información geográfica

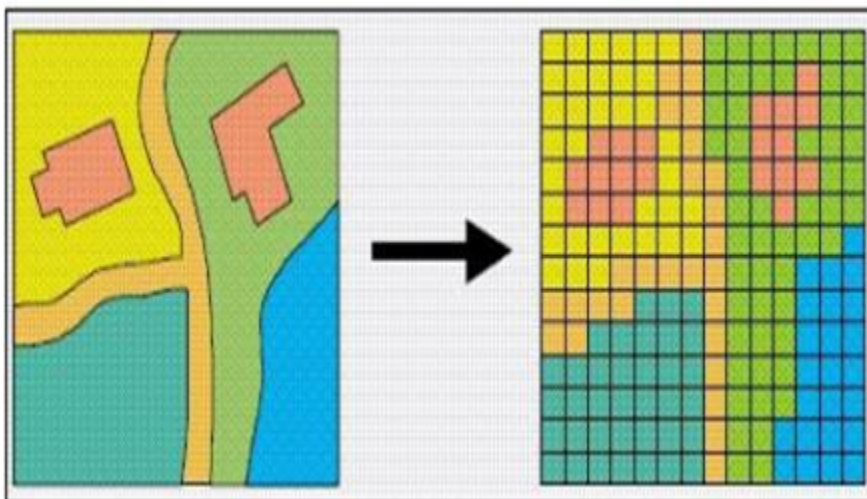
Condori (2018) expone que la teledetección, también denominada por las siglas SIG, consiste en diversos procedimientos de captura, gestión, modelización, manipulación y representación de datos georreferenciados con el fin exclusivo de una gestión y planificación apropiada. Las capas temáticas se transforman en conjuntos de datos, lo que permite lograr información suficiente

sin necesidad de comunicarse directamente con el lugar de la investigación. Se trata del principal concepto organizativo de una base de datos; las capas de información del sistema de información geográfica se muestran en la Figura 3, el modelo ráster y el modelo vectorial, que se describen con más detalle a continuación, son los 2 modelos de análisis de la teledetección:

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.

Figura 4

Representación de un modelo real a un modelo ráster digital



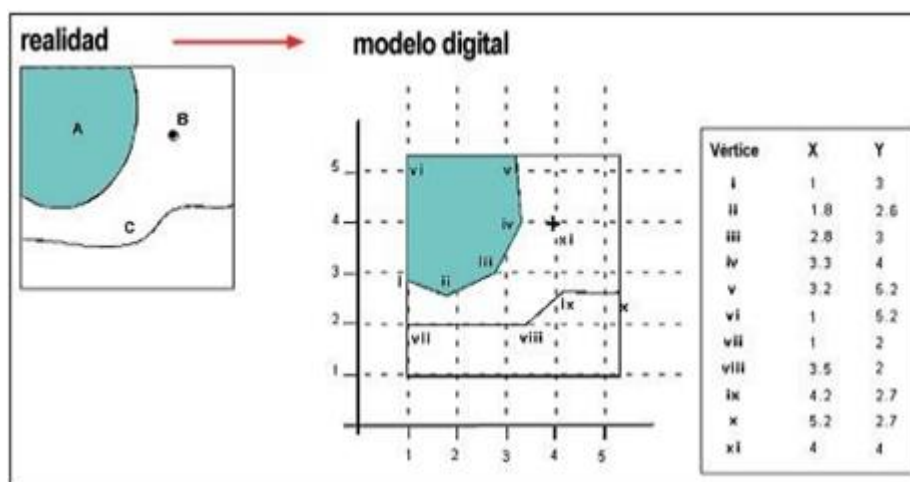
Nota: la figura muestra la representación de ráster. Fuente: Esri (2019).

Modelo vectorial. INEGI, (2023) especifica que el modelo vectorial se fundamenta en una especificación cartesiana de los elementos utilizando coordenadas de un sistema de proyección geográfica. Los modelos se elaboran por etapas, de lo básico a lo complejo. El modelo de datos está basado en

objetos, lo que implica que los elementos de la realidad se definen por sus características espaciales distintivas. En consecuencia, los puntos, las líneas y los polígonos serán los principales componentes del modelo. En la mayor parte de los casos, los modelos de información ráster se introducen en el software actual como un complemento, lo que da lugar a una separación funcional entre los dos modelos de datos (figura 5).

Figura 5

Modelo real a un modelo vectorial digital



Nota: la figura muestra la forma de un modelo vectorial Fuente: INEGI, (2023)

2.2.15. Índice de erosión de la lluvia

Cabrejos (2016) explica que el índice de erosión de las precipitaciones, denominado también factor de erosión fluvial, se calcula dividiendo la intensidad máxima de una precipitación por su energía cinética. Esto depende de la cantidad total de precipitaciones que caen cada año, así como de la forma en que caen; más agua que cae en menos tiempo tiene un mayor impacto erosivo.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO

3.1.1. Ubicación política

La cuenca del río Coata, perteneciente en su totalidad al departamento de Puno, abarca parte de las provincias de Huancané, San Román y Lampa, además una parte de la provincia de Puno.

3.1.2. Ubicación geográfica

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

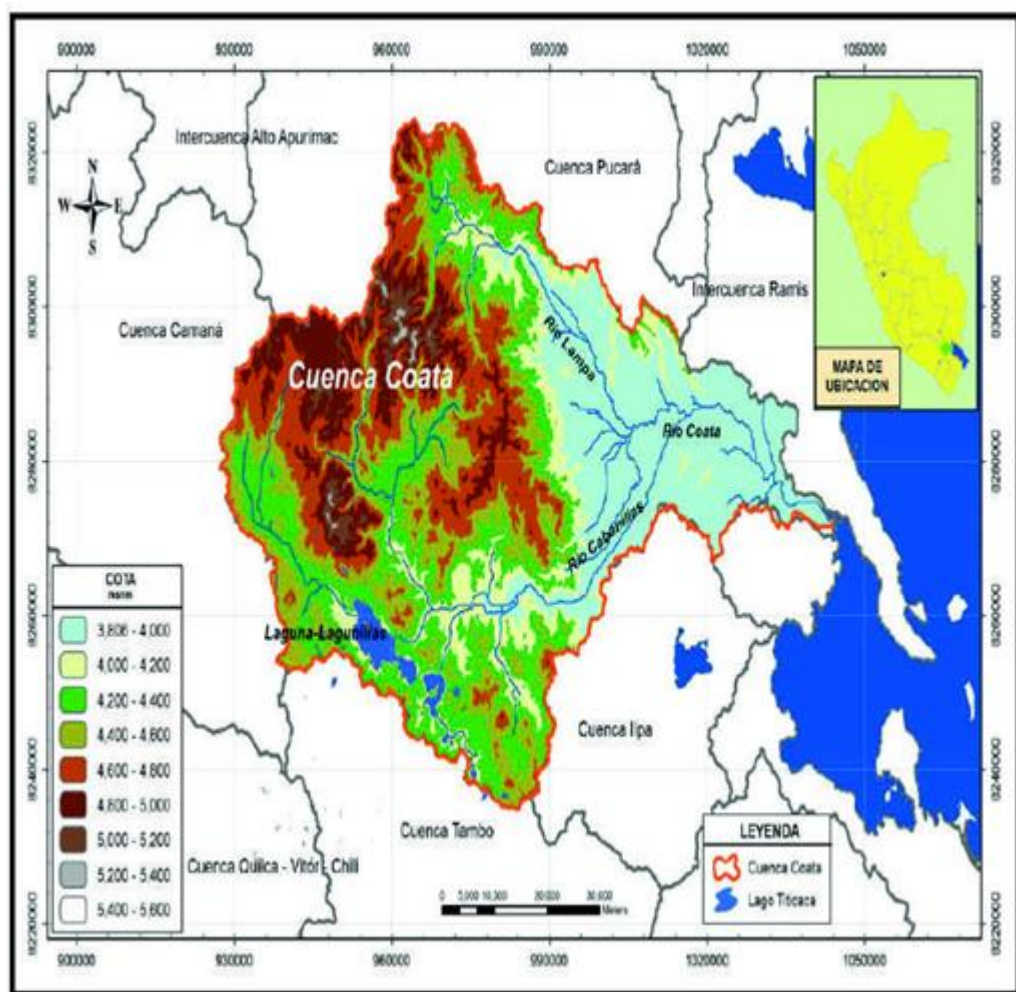
- **Coordenadas geográficas:**
 - Latitud Sur : 15°06'36'' – 15°55'12''
 - Longitud : 71°12'00'' - 69°55'12''
- **Coordenadas UTM (WGS84):**
 - Norte : 8'328,509 – 8'239,696
 - Este : 282,907 – 401,525
- **Variación altitudinal: 5,300 – 3800 m.s.n.m.**
- **Limites hidrográficas:**
 - Norte : Cuenca Ramis

- Sur : Cuenca Illpa y cuenca Alto tambo
- Este : Lago Titicaca
- Oeste : Cuenca Chili y cuenca Colca Sigwas

La zona de investigación está situada en la cuenca del lago Titicaca, que es parte del sistema hídrico TDPS e incluye el lago Titicaca, el río Desaguadero, el lago Poopó y el salar de Coipasa. Al este, limita con el lago Titicaca; al noroeste, con la cuenca de Coata; y al sur, con las cuencas de Ilave y Tambo.

Figura 6

Ubicación del área de estudio de cuenca del río Coata



Nota: la figura muestra la ubicación geográfica de la Cuenca del río Coata.



3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1. Enfoque de investigación

Indica Esteban (2018) el enfoque empleado en el presente estudio es descriptivo - cuantitativo.

3.2.2. Diseño de la investigación

Según Esteban (2018) indica que la investigación es de diseño no experimental.

3.3. MATERIALES Y EQUIPOS

3.3.1. 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 SENAHMI.

- Mapas de delimitación de la cuenca del río Coata y sus respectivas unidades hidrográficas.

- **Softwares:**

- ArcGIS versión 10.5.

3.3.2. Equipos

- GPS
- Cámara fotográfica

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. Población

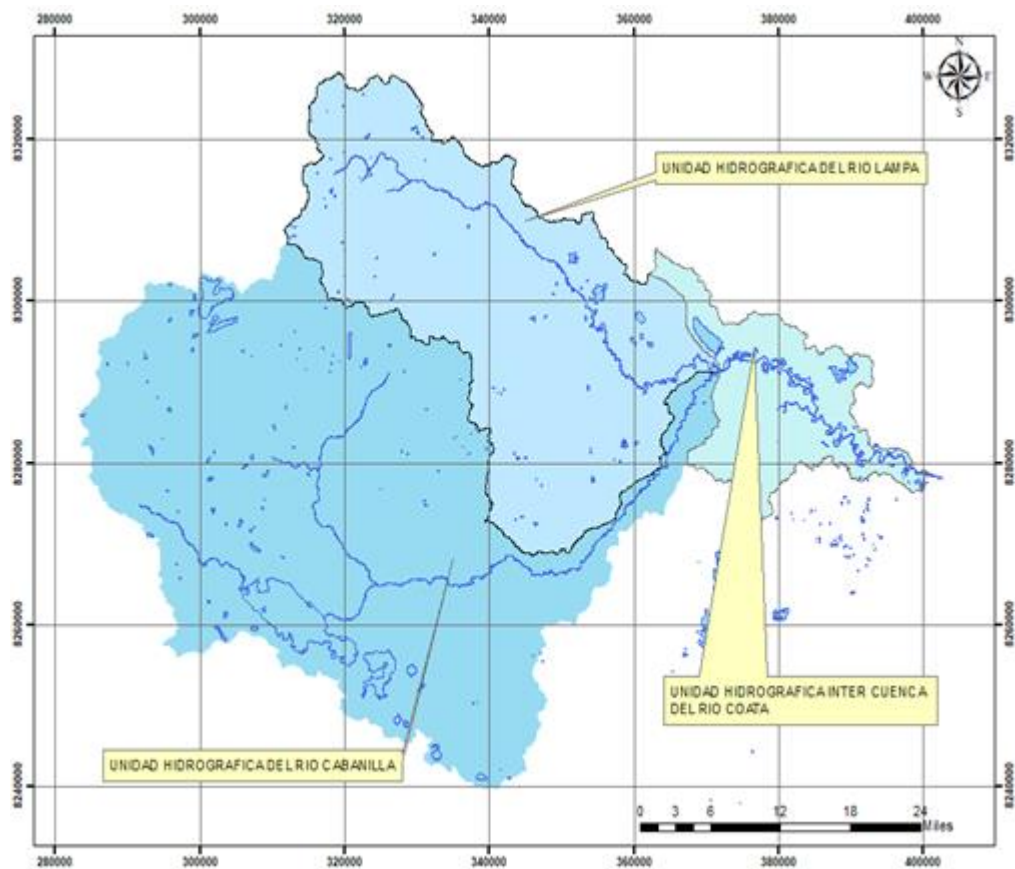
La población estuvo conformada por la superficie de la cuenca del río Coata, extendiéndose en un área total de 4882.42 km².

3.4.2. Muestra

La muestra estuvo conformada por tres sub unidades hidrográficas que consta de 490,844.00 hectáreas de la cuenca del río Coata.

Figura 7

Unidades hidrográficas de la cuenca del río Coata



Nota: “la figura muestra la distribución de las principales unidades hidrográficas del río Coata”.

3.5. PROCEDIMIENTO METODOLOGICO

3.5.1. Determinar la erosividad de la lluvia (R), en el ámbito de la cuenca del río Coata

El factor de erosividad de la lluvia (R) se calculó considerando el registro de precipitación basado en las estaciones pluviométricas, de tal forma que se adquirió información de precipitación mensual durante 14 años, de 9 estaciones las más cerca de la zona de estudio.

Continuamente, se indica las estaciones meteorológicas donde se adquirió información de datos pluviométricos mensuales. Ver Tabla 2.

Tabla 2

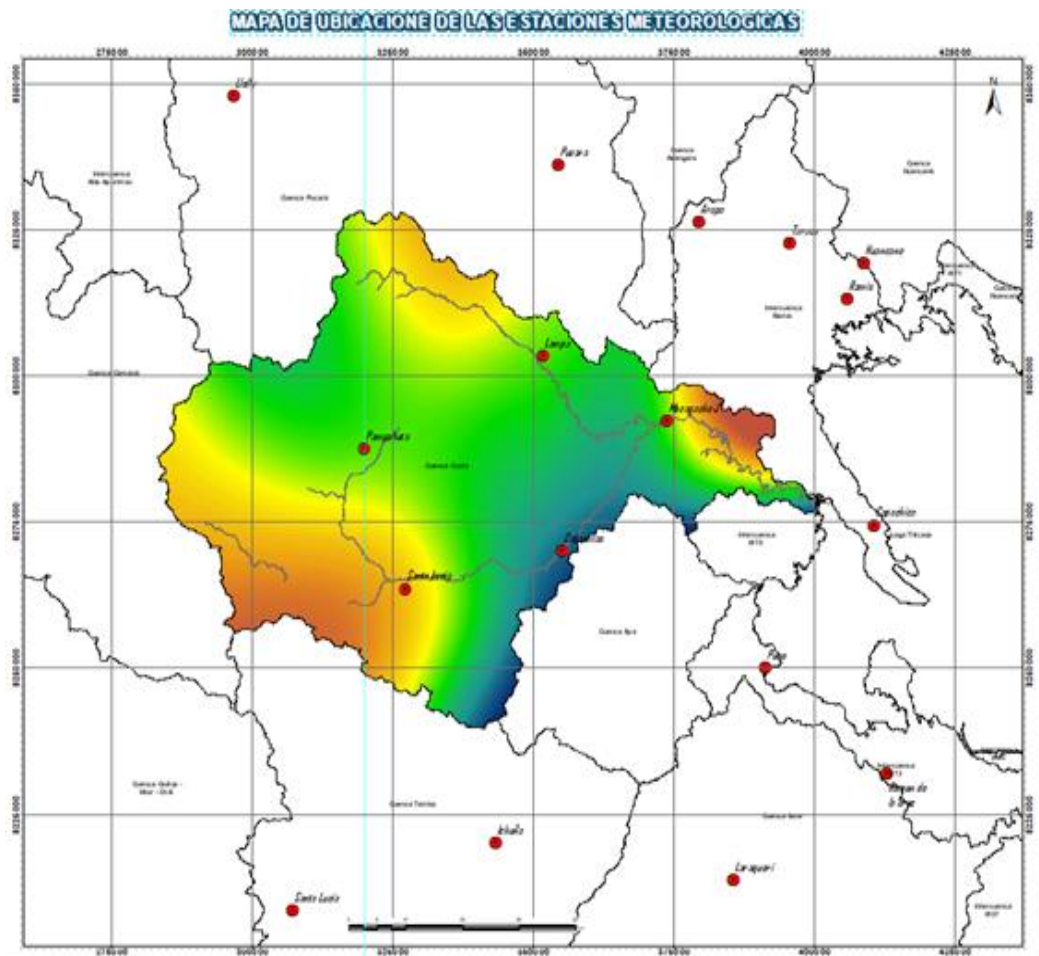
Estaciones meteorológicas de la Cuenca del río Coata y Cuencas vecinas.

N°	CODIGO	CODIGO_X	CODIGO_Y	ALTITUD_Z	ESTACION	CUENCA	PROV	DISTRITO
1	100110	391618	8250023	3820	Puno	Titicaca	Puno	Puno
2	115035	379853	8326298	3830	Arapa	Ramis	Azángaro	Azángaro
3	115033	395808	8322686	3820	Cabanillas	Coata	San Román	Cabanillas
4	100021	410793	8274432	3828	Capachica	Interc Tit	Puno	Capachica
5	115037	409061	8319247	3890	Huancané,	Huancané,	Huancané,	Huancané,
6	100059	334033	8215771	3800	Ichuña	Tambo	Sánchez Cerro	Ichuña
7	100081	352948	8266710	3892	Lampa	Coata	lampa	Lampa
8	116033	385967	8213658	3900	Laraqueri	Illpa	Pichacani	Laraqueri
9	114034	297155	8347834	3980	Llally	Ramis	Melgar	Llally
10	115138	370413	8292182	3826	Mocagache Japo	Coata	San Román	Juliaca
11	115027	320230	8287491	4400	Pampahuta	Coata	lampa	Paratia
12	115027	354887	8336185	3900	Pucara	Ramis	lampa	Pucara
13	115052	413241	8231937	3935	Rincon de	llave	Puno	Acora
14	110763	327577	8263529	3970	Santa Lucia	Coata	Lampa	Sta. lucía
15	114047	307576	8208469	3986	Santa Rosa	Ramis	Melgar	Santa Rosa
16	115047	395808	8322686	3820	Taraco	Ramis	Huancané,	Taraco
17	270200	406169	8313232	3850	Ramis	Ramis	Huancané,	Huancané,

Nota: la tabla muestra las estaciones meteorológicas. Fuente: SENAMHI Puno (2023).

Figura 8

Ubicación de las estaciones meteorológicas



Nota: la figura muestra la distribución de las principales estaciones meteorológicas.

- **Análisis de series temporales.**

Para la presente investigación se emplearon datos de 14 años a partir del año 2000 al 2013, para determinar el factor de erosividad de la lluvia (R) promedio.

- **Índice de modificado fournier (IMF).**

Se empleo las precipitaciones totales anuales y los datos pluviométricos mensuales y se aplicó la siguiente ecuación (Agama, 2022).



$$IMF = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P_t}$$

Donde:

- IMF : Índice Modificado de Fournier.
- I : Mes.
- Pt : Precipitación media anual (mm).
- Pi : Precipitación media mensual (mm).

- **Relación del IMF con el factor de erosividad de la lluvia (R).**

Posteriormente se aplicó la Ecuacion para hallar el factor de erosividad R en relación al IMF (Solano, 2016). Considerando las siguientes fórmulas:

- **Meses secos**

$$R = [0.513244 + 0.36122 * I + \sqrt{IFM} * (0.795429 + 0.427359 * I)]^2$$

Donde:

R: “Factor de erosividad de la lluvia para los meses secos (Mj*mm/ha*h*año)”.

IMF: “Índice Modificado de Fournier para los meses secos.

I: (Variable indicadora “1”).

- **Meses Húmedos**

$$R = e^{(1.13173) * I} * IFM^{(0.944807 - 0.170782 * I)}$$

Donde:



- R: “Factor de erosividad de la lluvia para los meses húmedos
($Mj * mm/ha * h * año$)”
- IMF: “Índice Modificado de Fournier para los meses húmedos”.
- I: (Variable indicadora “1”)
- e: 2.7182. (número de Euler)

- **Análisis espacial para la obtención de isoerodentas para la cuenca del río Coata.**

Los datos del factor de erosividad de la lluvia (R) promedio anual recolectados por cada estación fueron utilizados para derivar valores para toda el área de estudio. Para ello se utilizó el método descrito en (Alvarez, 2019), que consistió en la creación de líneas imaginarias denominadas isoerodentas a nivel de subcuenca. Estas líneas contenían datos del factor de erosividad R. Para ello, se emplearon herramientas de sistemas de información geográfica SIG y el modelo de interpolación "Spline". Este método se empleó para generar los valores de superficies.

Tabla 3, establecida por (Solano, 2016), proporcionó los criterios para este mapa.

Tabla 3

Factor de Erosividad

Rango factor R	Clasificación
0-60	Muy bajo
60-90	Moderado
90-120	Alto
>160	Muy Alto

Nota: la tabla muestra los rangos de la erosividad. Fuente: FAO (1980).

3.5.2. Determinar la erodabilidad del suelo (K), en el ámbito de la cuenca del río Coata en Puno

Materia Orgánica. La proporción porcentual de la misma en el suelo se calculó mediante análisis de muestras de campo. La USLE establece que el porcentaje de materia orgánica se encuentra de 0% al 4%, representado por valores numéricos enteros; se supone un 4% si el contenido fijo supera el intervalo especificado.

Estructura del suelo. Sólo hay 4 categorías y códigos utilizados por la ecuación USLE, que figuran en la Tabla 4. Su determinación se realiza mediante el tacto y la inspección visual, para lo cual lo mejor es consultar un manual de comparación.

Tabla 4

Códigos USLE de estructura de suelo

Código USLE	Tipo de estructura
1	Granular muy fina
2	Granular fina
3	Granular media a gruesa
4	Bloques, lamina y masiva

Nota: la tabla muestra las diferentes estructuras del suelo. Fuente: Mancilla (2008).

El factor de **erodabilidad** del suelo (K), en el “Sistema Internacional de Unidades” que viene dado en $(t \cdot ha \cdot h / ha \cdot Mj \cdot mm)$. expresando la resistencia del suelo en superficie y tiempo, relación a la energía de la lluvia.

Permeabilidad del suelo. – Los valores o códigos de permeabilidad son asignados por la USLE de acuerdo con la Tabla 5 y se basan en la tasa de infiltración de cada suelo único.

Tabla 5

Códigos USLE de permeabilidad de suelos

Código USLE	Categoría de permeabilidad
1	Rapida (mas de 12.7 cm/hr)
2	Moderada a rapido (6.3 a 12.7 cm/hr)
3	Moderada (entre 2.0 a 6.3 cm/hr)
4	Lenta a moderada (entre 0.5 y 2.0 cm/hr)
5	Lenta (entre 0.13 y 0.5 cm/hr)
6	Muy lenta (menor a 0.13 cm/hr)

Nota: la tabla muestra los diferentes rangos de permeabilidad la Fuente: Atauje (2018).

En primer lugar, se determinaron los tipos de suelo que están en la cuenca y, a continuación, se utilizó el trabajo de campo y las imágenes de satélite en este caso, la imagen de satélite ArcGIS basemap- para representar espacialmente los tipos de suelo de la cuenca. Se obtuvieron así nueve unidades de suelo.

A partir de la información obtenida en los pozos de ensayo (permeabilidad, materia orgánica, estructura y textura), se calculó el factor de erodabilidad (K) una vez obtenido el mapa del suelo. Esto se hizo porque la información obtenida en los pozos de ensayo es crucial para aplicar la fórmula utilizada para calcular el factor (K).

- **Método de ecuación.**

La variable K (erosionabilidad del suelo), puede estimarse, de acuerdo con algunos investigadores, así:

$$K = a_1 M + a_2 Ma + a_3 b + a_4 c + a_5$$

Donde:



- M: Factor de textura
- Ma: Porcentaje de materia orgánica
- b: Estructura del suelo
- c: Permeabilidad

Este factor se describe como la resistencia del suelo al proceso de erosión y transporte; viene determinado por:

- La textura del suelo está relacionada con la gravedad y la fuerza de arrastre necesaria.
- Los suelos con una alta concentración de minerales y arcilla tendrán una mayor resistencia porque la arcilla actúa como base de enlace químico para producir grumos.
- Las dos primeras características se calcularán utilizando la resistencia al corte del suelo en función de la cohesión y la resistencia.

Una vez completado el estudio de textura y determinados los valores o códigos de materia orgánica, estructura y permeabilidad, se puede calcular el factor K. A este respecto, en USLE se establece una ecuación para el factor de erosionabilidad de la siguiente forma:

$$K = ((2.1 \times 10^{-4} \times M^{1.14} (12 - a) + 3.25 (b - 2) + 2.5 (c - 3)) / 100) * 1.317$$

Donde:

- M= parámetro (% limo+% arena muy fina) *(100-% arcilla)
- a= material orgánico (%)

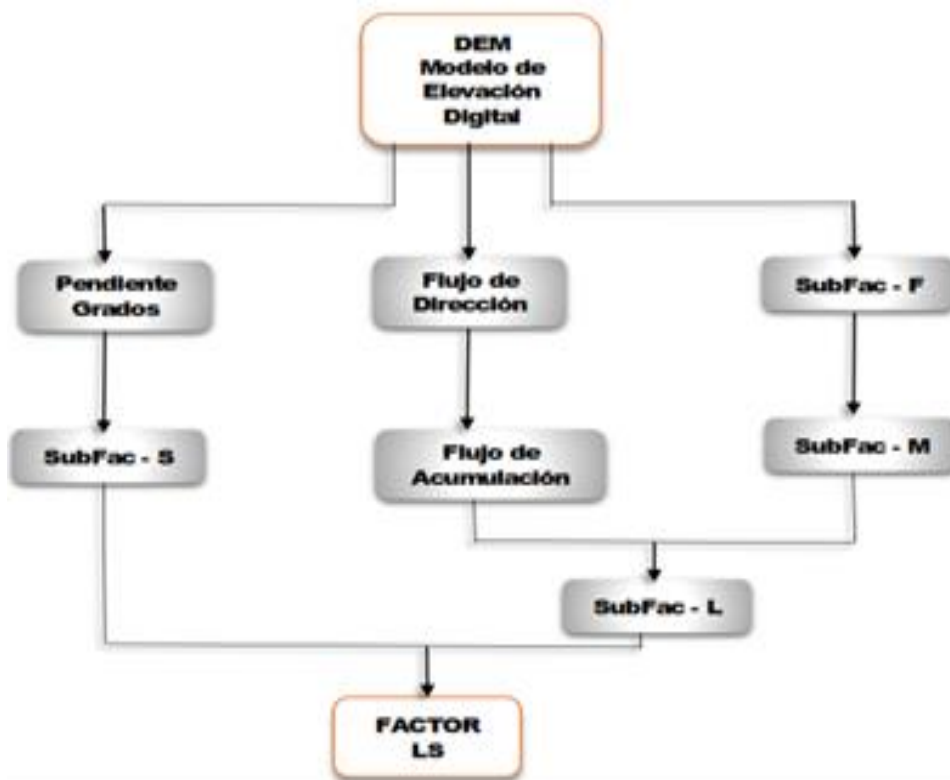


- b=código de estructura, 1: granular muy fino; 2: granular fino; 3 granular medio; 4: masivo, laminar
- c= clases de permeabilidad del perfil del suelo 1: rápido; 2: moderado a rápido; 3: lento a moderado; 4: lento; 5: muy lento
- **Factor pendiente de la longitud de los ríos (LS) de la cuenca.**

Los coeficientes del factor LS en formato shape, que fueron extraídos de la imagen ráster en Arc Gis10.8, están incluidos en el mapa de pendientes. Descargado del satélite Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM), que está asociado a la unidad hidrográfica del río Coata en la cuenca hidrográfica del lago Titicaca en la zona de Puno. Los ríos de primer a tercer orden se digitalizaron después de utilizar el ráster del DEM como material de trabajo y de eliminar el límite de la microcuenca. Por último, se adquirió un mapa hidrográfico con estructura vectorial compuesto por cinco unidades para poder proceder a la edición de la base de datos. La relación se utilizó para calcular el factor LS:

Figura 9

Esquema de metodología para obtener LS de las unidades o Cuenca



Nota: la figura muestra el procedimiento para obtener datos de la longitud y la pendiente.

- **Factor de cobertura vegetal (C) de la cuenca.**

El factor de cultivo (C) en combinación refleja la influencia de:

- “Las secuencias en la cubierta vegetal (en el caso de cultivos)”
- “Los tipos de cubierta vegetal”
- “Cantidad de precipitaciones” que se producen cuando los métodos de cultivo exponen el suelo a la intemperie. Para determinar este elemento se recurrió una vez más a la imagen del basemap. Se realizó la cartografía de las diversas unidades de cubierta vegetal de la cuenca y, a continuación, se facilitaron los valores de acuerdo con la Tabla 6, de los valores de la cubierta vegetal, que se exponen y

aclaran en los apartados anteriores. Dicho factor de cobertura vegetal (C), se indica seguidamente, donde se observa los valores que se asignaron con referencia a la unidad de cubierta vegetal que posee la cuenca.

Tabla 6

Determinación de factor de cobertura vegetal

Nº	Cobertura Vegetal	c
1	Tejido urbano continuo	1
2	Aeropuerto	1
3	Cultivos Transitorios	0,25
4	Cultivos permanentes	0,25
5	Bosques nativos	0,001
6	Herbazal denso (chilligua	0,15
7	Herbazal denso (crespillo)	0,15
8	Herbazal denso (ichu)	0,1
9	Herbazal abierto (iru ichu)	0,01
10	“Vegetación arbustiva /herbácea abierta de canlli”	0,01
11	“Áreas arenosas naturales”	1
12	“Afloramientos rocosos”.	0,1
13	Tierras desnudas (incluye áreas erosionadas naturales y también degradadas)	1
14	Áreas quemadas	0,15
15	Glaciares	0,5
16	Turberas y bofedales	0,15

Nota: la tabla muestra los valores establecidos de las coberturas vegetal. Fuente: Zonificación Económica y Ecológica de Puno ZZE (2015)

- **Factor de prácticas de conservación de suelos (P)**

Como variable independiente en la ecuación universal de pérdida de suelo, el factor P de prácticas de conservación del suelo comprende las siguientes técnicas agrícolas: agricultura en contorno, laboreo en fajas y terrazas. En regiones desprovistas de cualquier evidencia perceptible de estas prácticas, el

valor equivale a la unidad $P=1$.

Tabla 7

Parámetros de Factor de Práctica de conservación (P)

Pendiente %	Cultivo A nivel	Cultivo en faja	Cultivo en terraza	
			a	b
1-2	0.60	0.30	0.12	0.05
3-8	0.80	0.25	0.10	0.05
9-12	0.60	0.30	0.12	0.05
13-16	0.70	0.35	0.14	0.05
17-20	0.80	0.40	0.16	0.06
21-25	0.90	0.45	0.18	0.06

Nota: la tabla muestra los valores de prácticas de conservación. Fuente: Gonzales (1991).

- **Metodología para integración de factores**

Utilizando el modelo USLE, se calculó la erosión hídrica en la cuenca del río Coata. Para realizar este cálculo, fue necesario tener acceso a datos distribuidos espacialmente relativos a todos los factores pertinentes, incluida la erodabilidad del suelo (K), el índice de erosividad de las precipitaciones (R), la longitud y las características de las pendientes (LS) y la cubierta vegetal del suelo (C).

- **Perdida de suelo por erosión hídrica**

Los niveles de pérdida de suelo tenidos en cuenta por el modelo USLE Wischmeier y Smith (1978) varían de erosión menor a erosión crítica. Estos niveles son bastante comparables a los niveles erosivos de la clasificación ICONA (1991), donde los valores se muestran en la siguiente Tabla 8.

Tabla 8

Niveles de erosión hídrica del suelo

Niveles de erosión USLE	Valores de erosión	
Erosión baja	< 5	t / ha/ año
Erosión moderada	5 - 25	t / ha/ año
Erosión media	25 - 50	t / ha/ año
Erosión alta	50 - 100	t / ha/ año
Erosión muy alta	100 - 200	t / ha/ año
Erosión crítica	> 200	t / ha/ año

Nota: la tabla muestra los niveles de erosión hídrica. Fuente: González (1991).

Una vez obtenidas las variables que influyen en la pérdida de suelo por erosión hídrica, se procesaron en el software ArcGIS empleando la herramienta de model buider para obtener los resultados que se describen en las páginas siguientes.

3.5.3. Determinar la erosión hídrica potencial de la cuenca del río Coata en Puno

Para evaluar la posible erosión del suelo se construyeron los siguientes elementos: los factores de erodabilidad del suelo (K), cobertura vegetal (C), la erosividad de la lluvia (R) o la agresividad de las precipitaciones, la pendiente de la longitud del río (LS) y por último, se consideró el valor unitario para el factor de prácticas de conservación (P), o métodos de conservación y protección del suelo. En resumen, la pérdida de suelo se evaluó utilizando los valores obtenidos para los componentes R, K, LS, C y P, basándose en las categorías establecidas por la FAO. (Véase en la Tabla 9).

Tabla 9

Niveles de erosión hídrica en la microcuenta temporal Escaralani

Variable	Dimensiones	Indicadores	Reactivos	Instrumento
Nivel de erosión hídrica en la microcuenta del río temporal Escaralani.	Normal	< 0.5 t/ha/año	¿El nivel de variación de la erosión hídrica de río microcuenta del río temporal Escaralani es inferior a 0.5 t/ha/año?	Factor de ecuación universal de la pérdida de suelo USLE: R: Es el factor
	Ligera	0.5 - 5 t/ha/año	¿El nivel de variación de la erosión hídrica de río microcuenta del río temporal Escaralani es igual a 0.5 - 5 t/ha/año?	asociado a la erosividad de la lluvia. K: Es el factor asociado a la erodabilidad del suelo.
	Moderada	5-15 t/ha/año	¿El nivel de variación de la erosión hídrica de río microcuenta del río temporal Escaralani es igual a 5 t/ha/año y menor 15 t/ha/año?	L: Es el factor asociado con la longitud de la pendiente.
	Severa	15 -50 t/ha/año	¿El nivel de variación de la erosión hídrica de río microcuenta del río temporal Escaralani es igual a 15 t/ha/año y menor 50 t/ha/año?	S: Es el factor asociado al grado de la pendiente.
	Muy alto	50 - 200 t/ha/año	¿El nivel de variación de la erosión hídrica de río microcuenta del río temporal Escaralani es igual a 50 t/ha/año y menor a 200 t/ha/año?	C: Es el factor involucrado en la cobertura del suelo. P: Es el factor relacionado con las prácticas de conservación de suelos.

Nota: la tabla muestra los niveles de erosión hídrica determinadas. Fuente: Paco (2022).

3.5.4. Determinar la erosión hídrica actual por cada sub unidad hidrográfica de la cuenca del río Coata en Puno

La erodabilidad del suelo, la erosividad climática para el cual se empleó la ecuación del Índice Modificado de Fournier, las pendientes y la cubierta vegetal son algunos de los cuatro índices que pueden evaluarse mediante este método cualitativo de determinación de los riesgos potenciales y reales de erosión empleando el SIG.

Los valores máximos proyectados de pérdida de suelo por erosión hídrica se clasificaron en función a su intensidad. Véase la Tabla 10.

Tabla 10

Rangos de pérdida de suelos debido a erosión hídrica

Categoría	Perdida de suelo (t/ha/año)
Ninguna o ligera	<10
Moderada	10 – 50
Alta	50 – 200
Muy alta	> 200

Nota: la tabla muestra los niveles de la pérdida de suelos. Fuente: FAO (1980).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EL FACTOR EROSIVIDAD DE LA LLUVIA (R), EN LA CUENCA DEL RIO COATA EN PUNO.

4.1.1 Análisis de erosividad de la lluvia (Factor R).

Con referente al factor de erosividad (R), en la cuenca Coata, se determinaron valores que oscilan desde 171.135 $Mj*mm/ha*h*año$ a 553.168 $MJ*mm/ha*h*año$, mientras que el Índice Modificado de Fourmier (IMF), se presenta un valor máximo de 131.63 $Mj*mm/ha*h*año$, mientras que el valor mínimo está en la estación Ramis y Mocagache Japo con de 64.47 $MJ*mm/ha*h*año$. Por otro lado, Paco (2022), indica que en la microcuenca del río temporal Escalerani – Puno, identificó tres zonas con valores para evaluar el Factor R: la primera zona, ubicada desde el área de la ciudad de Puno, presenta valores de 100.75 a 101.20 $MJ*mm/ha*h*año$, a una altitud de 3,910.000 m.s.n.m.; la segunda zona, con valores que oscilan entre 100,37 y 100,74 $MJ*mm/ha*h*año$, se encuentra a una altura media de 4.100.000 m.s.n.m., mientras que la tercera zona, con valores que oscilan entre 99,96 y 100,36 $MJ*mm/ha*h*año$, se encuentra a 4.190.000 m.s.n.m.

Así mismo, para valores similares, (Chili 2023), al estudiar la cuenca Illpa, cuantifico la erosividad de la lluvia obteniendo datos entre 210.304 y 324.85 $Mj*mm/ha*h*año$, con una media de 289.02 $Mj*mm/ha*h*año$, una mediana de 289.29 $Mj*mm/ha*h*año$ y el índice modificado de Fournier fluctúa entre 86.884 y 114.352 (adimensional). Se utilizaron datos pluviométricos



mensuales y anuales del SENAMHI desde 1970 hasta 2012. El mapa que muestra la distribución geográfica de la erosividad de las precipitaciones en la cuenca del río Illpa muestra una disminución de sur a norte.

Tabla 11, indica los valores de los índices modificados de formier para las diferentes estaciones meteorológicas, donde se visualiza que, la estación Santa Rosa presencia el valor máximo de $131.63 \text{ MJ}^* \text{ mm/ha}^* \text{ h}^* \text{ año}$, mientras que el valor mínimo está en la estación Ramis y Mocagache Japo con de $64.47 \text{ MJ}^* \text{ mm/ha}^* \text{ h}^* \text{ año}$.

Tabla 11

*Índice Modificado de Fournier (IMF) de las estaciones meteorológicas en $Mj^*mm/ha^*h^*año$*

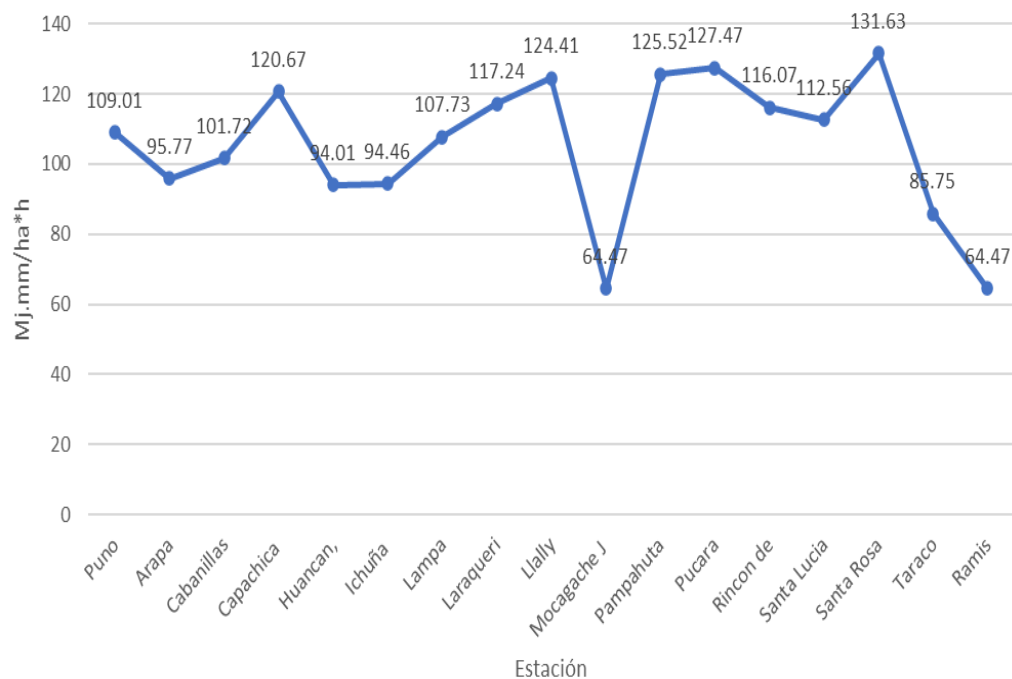
Estación	Cuenca	Prov.	Distrito	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	R_Fournier
Puno	Títicaca	Puno	Puno	36.501	26.487	23.145	3.618	0.113	0.022	0.013	0.168	0.869	2.943	3.618	11.517	109.01
Arapa	Ramis	Azangaro	Azangaro	28.888	17.971	19.612	3.165	0.206	0.052	0.023	0.242	1.044	3.582	7.222	13.759	95.77
Cabanillas	Coata	San Roman	Cabanillas	32.002	27.330	18.084	2.814	0.055	0.014	0.006	0.097	0.493	2.198	4.604	14.027	101.72
Capachica	Interc Tit	Puno	Capachica	35.457	30.573	26.779	3.529	0.246	0.031	0.011	0.102	0.985	2.112	4.226	16.614	120.67
Huancane	Huancane	Huancane	Huancane	29.629	17.706	15.811	2.267	0.215	0.037	0.024	0.149	1.253	3.434	6.104	17.383	94.01
Ichuña	Tambo	Sanchez Cerro	Ichuña	37.022	26.816	12.521	1.676	0.047	0.017	0.017	0.067	0.186	0.672	2.281	13.140	94.46
Lampa	Coata	lampa	Lampa	33.648	26.287	18.202	2.964	0.069	0.022	0.006	0.090	0.618	2.836	5.737	17.256	107.73
Laraqueri	Illpa	Pichacani	Laraqueri	40.281	32.335	19.059	2.489	0.135	0.022	0.022	0.135	0.651	1.744	4.373	15.991	117.24
Llally	Ramis	Melgar	Llally	37.798	29.994	25.174	3.507	0.101	0.005	0.011	0.101	0.499	2.758	4.955	19.507	124.41
Mocagache J	Coata	San Roman	Julitaca	25.626	16.968	8.574	1.931	0.062	0.022	0.002	0.022	0.355	1.303	2.682	6.919	64.47
Pampahuta	Coata	lampa	Paratia	39.408	31.800	22.586	3.272	0.152	0.011	0.020	0.081	0.322	1.913	5.989	19.970	125.52
Pucara	Ramis	lampa	Pucara	38.813	26.131	22.585	4.148	0.102	0.040	0.014	0.129	0.772	5.365	7.159	22.207	127.47
Rincon de	Ilave	Puno	Acora	39.910	26.415	24.968	3.445	0.154	0.127	0.020	0.215	0.796	4.139	4.139	11.740	116.07
Santa Lucia	Coata	Lampa	Sta. lucia	37.069	29.566	18.393	1.695	0.119	0.013	0.023	0.072	0.287	0.991	4.598	19.730	112.56
Santa Rosa	Ramis	Melgar	Santa Rosa	40.045	25.361	25.029	3.566	0.110	0.027	0.018	0.186	0.988	4.782	8.119	23.398	131.63
Taraco	Ramis	Huancane	Taraco	30.341	18.552	13.587	2.348	0.084	0.043	0.007	0.084	0.907	2.477	4.638	12.686	85.75
Ramis	Ramis	Huancane	Huancane	25.626	16.968	8.574	1.931	0.062	0.022	0.002	0.022	0.355	1.303	2.682	6.919	64.47

Nota: la tabla muestra los niveles obtenidos de índice modificado de Fournier. Fuente: Senamhi Puno (2023). Fuente: elaboración propia a partir de datos del SENAMHI.

Para su mejor visualización se muestra la figura 10, donde se visualiza el valor mínimo en la estación Mocagache J y Ramis con 64,47 Mj*mm/ha*h*año y el valor máximo de 131,63 Mj*mm/ha*h*año en la estación Santa Rosa. En promedio Índice Modificado de Fourmier (IMF) de la precipitación de la cuenca Coata es 105,47 Mj*mm/ha*h*año., representando una erosión alta.

Figura 10

Índice Modificado de Fourmier (IMF) de las estaciones meteorológicas del ámbito de estudio.



Nota: la figura muestra la distribución de los valores determinados del índice modificado de fournier. Fuente: elaboración propia a partir de datos del SENAMHI.

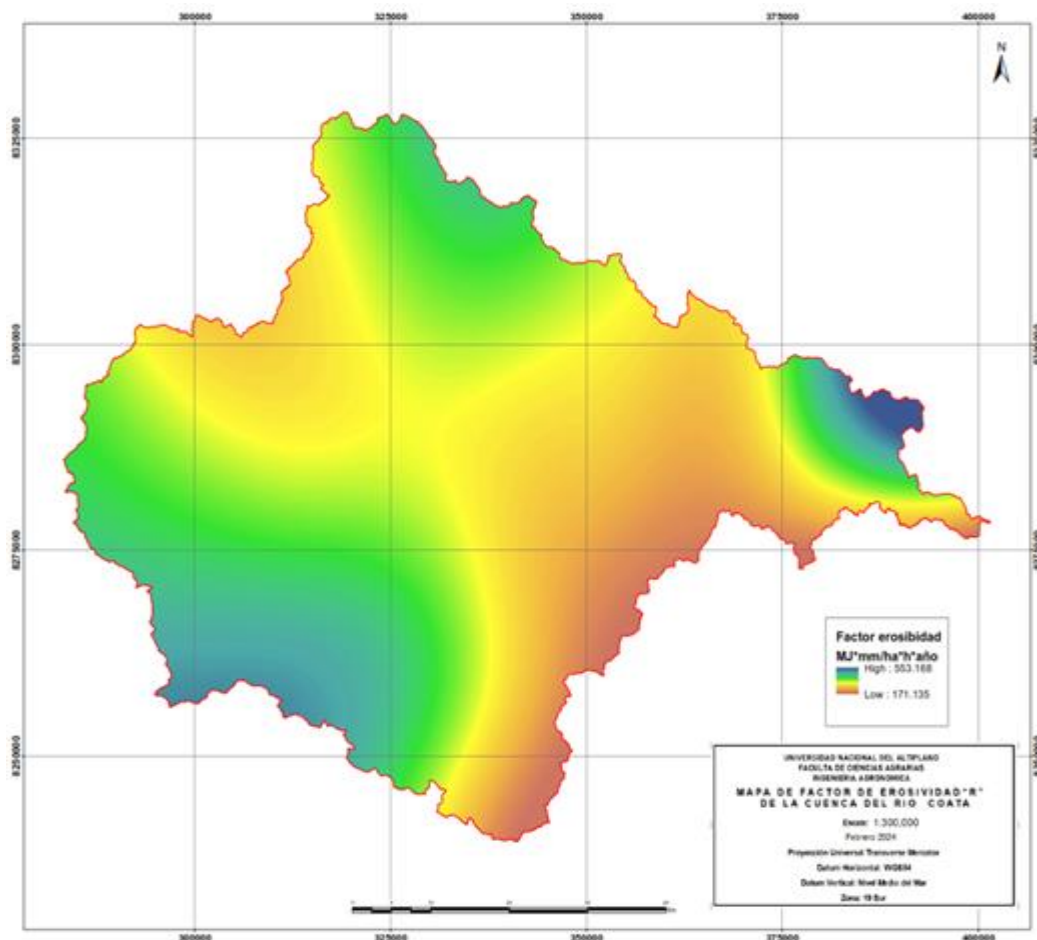
La figura 11 muestra la variabilidad espacial de los valores del factor de erosividad (R) de lluvia en el espacio respecto a la cuenca del rio Coata, es variable donde se visualiza que la erosividad fluctúan entre 171.135 MJ*mm/ha*h*año y 553.168 MJ*mm/ha*h*año. El régimen de precipitaciones registrado presenta variabilidad temporal y geográfica. La frecuencia e intensidad máximas se registran durante los meses de diciembre, enero, febrero y

marzo, mientras que la frecuencia y severidad son bajas durante el resto del año y esencialmente inexistentes durante los meses de junio a agosto.

En un contexto diferente, para valores superiores, Bautista (2023), centrado en la cuenca del río Zapatilla (Puno), informa de registros que se sitúan entre 417.106 y 533.522 MJ*mm/ha*h*año. Así mismo, Laqui (2019), al analizar la cuenca del río Callazas (Tacna), informa de valores que van desde 250.3 hasta 4,157.5 MJ*mm/ha*h*año.

Figura 11

Mapa de factor de erosividad de la lluvia (R) de la cuenca del río Coata, Puno, Perú.



Nota: la figura muestra la distribución espacial de la erosividad de las lluvias.



4.2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K), EN LA CUENCA DEL RIO COATA EN PUNO.

4.2.1. Análisis de erodabilidad del suelo (Factor K).

La erodabilidad indica la capacidad de un suelo para erosionarse debido a sus propiedades específicas los que se expresan en $t \cdot ha \cdot h / MJ \cdot ha \cdot mm / año$ los valores obtenidos a nivel de la cuenca Coata, donde el factor de erodabilidad (K) oscila entre $- 0,44 t \cdot ha \cdot h / ha \cdot MJ \cdot mm$ a $0,34 t \cdot ha \cdot h / ha \cdot MJ \cdot mm$, el valor mínimo corresponde a los cuerpos de agua existentes en la cuenca Coata y el valor máximo indica la susceptibilidad al suelo a la erosión. Estos resultados comparados con Condori (2018), al investigar la comunidad de San Francisco de Chañajari Moho – Puno, informa que el factor de erodabilidad (K) fluctúa entre 0.458 y 1.276 $t \cdot ha \cdot h / ha \cdot MJ \cdot mm$. Al comparar los resultados de cada cuenca investigada por otros autores, es posible concluir que las discrepancias en los valores del factor de erosividad son atribuibles a las diversas propiedades del suelo encontradas en cada lugar.

La distribución de la superficie según los datos del factor de erodabilidad en la cuenca Coata se detalla en la Tabla 12 donde se muestra los resultados obtenidos para el factor de erodabilidad y figura 12 se visualiza el mapa de factor de erodabilidad.

Tabla 12

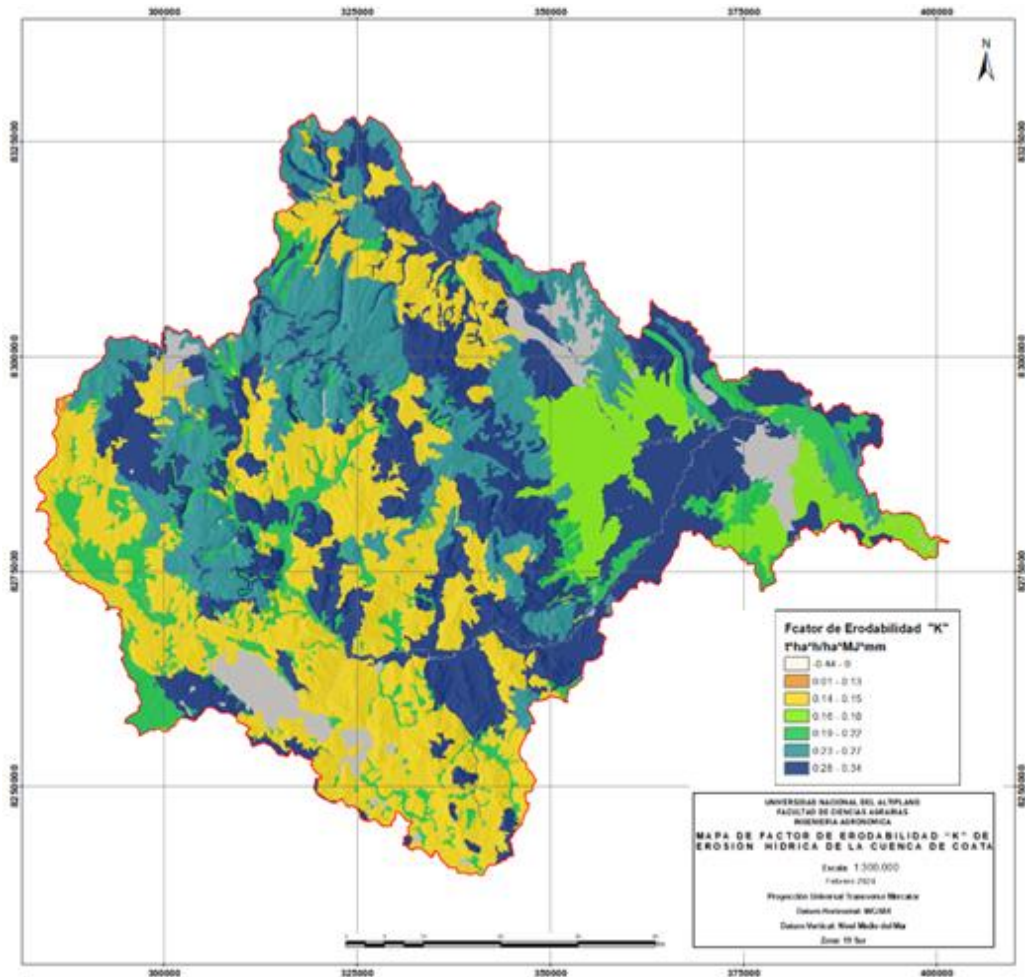
Factor de erodabilidad del suelo (K) a nivel de la cuenca.

N°	UNIDADES DE SUELOS	A	Arc	L	A	Arc	L	M	b	c	a	k
1	Lagos	67,6	5	27,4				9025	1	1	23,73	- 0,4424
2	Ayabacas	28	44	28				3136	4	4	2,31	0,2143
3	Cachiña-Poke	67	3	30	40	2	58	9409	2	3	3,7	0,2462
4	Calacollo	49	10	41				8100	2	3	5,6	0,1634
5	Calacollo - Cachiña	49	10	41	67	3	30	8100	1	3	5,6	0,1206
6	Calacollo - Mscelaneo (Afloramiento litico)	49	10	41				8100	1	3	5,6	0,1206
7	Calacollo- Yanamayo	49	10	41	44	12	44	8100	1	3	5,6	0,1206
8	Chapapampa- chejemoco	60	10	30	32	38	30	8100	4	2	0,7	0,3413
9	Chejemoco- Chincheros (superficial)	41	15	44	38	12	50	7225	2	3	1,2	0,246
10	Chincheros	57	18	25				6724	4	2	1,7	0,271
11	Chincheros- Miscelaneo (Afloramiento litico)	60	10	30				8100	4	2	0,7	0,3413
12	Chincheros - Yanacocha	60	10	30	36	16	48	8100	4	2	0,7	0,3413
13	Chincheros (Superficial)- Yanacocha	38	12	50	32	20	48	7744	1	3	6,62	0,0886

Nota: la tabla muestra los datos de erodabilidad a partir de las muestras de los suelos. Fuente: elaboración Propia y ZZE.

Figura 12

Mapa del factor de erodabilidad del suelo (K) de erosión hídrica de la cuenca del río Coata, Puno, Perú.



Nota: la figura muestra la distribución espacial de la erodabilidad del suelo en la cuenca.

4.2.2. Análisis de la pendiente y longitud del río (Factor LS)

La Tabla 13 muestra el factor de inclinación y longitud de la pendiente (LS), la pendiente es una de las variables que influyen en la mayor o menor erosión hídrica de los suelos, donde se ha obtenidos los datos de la parte alta de la cuenca con una longitud de pendiente de 38349.1; en la parte baja de la cuenca, de la longitud de pendiente fue de 0.03 (adimensional). Así mismo, para valores similares, (Chili 2023), al estudiar la cuenca Illpa, los datos de LS, calculados mediante el método de Renard, muestran una variación que va desde



0.03 hasta 524.55 (adimensional).

Tabla 13

Factor de inclinación y longitud de la pendiente (LS) de la cuenca del río Coata

Campo	Factor (LS) Adimensional
Parte Alta de la Cuenca	38349.1
Parte Baja de la Cuenca	0.03

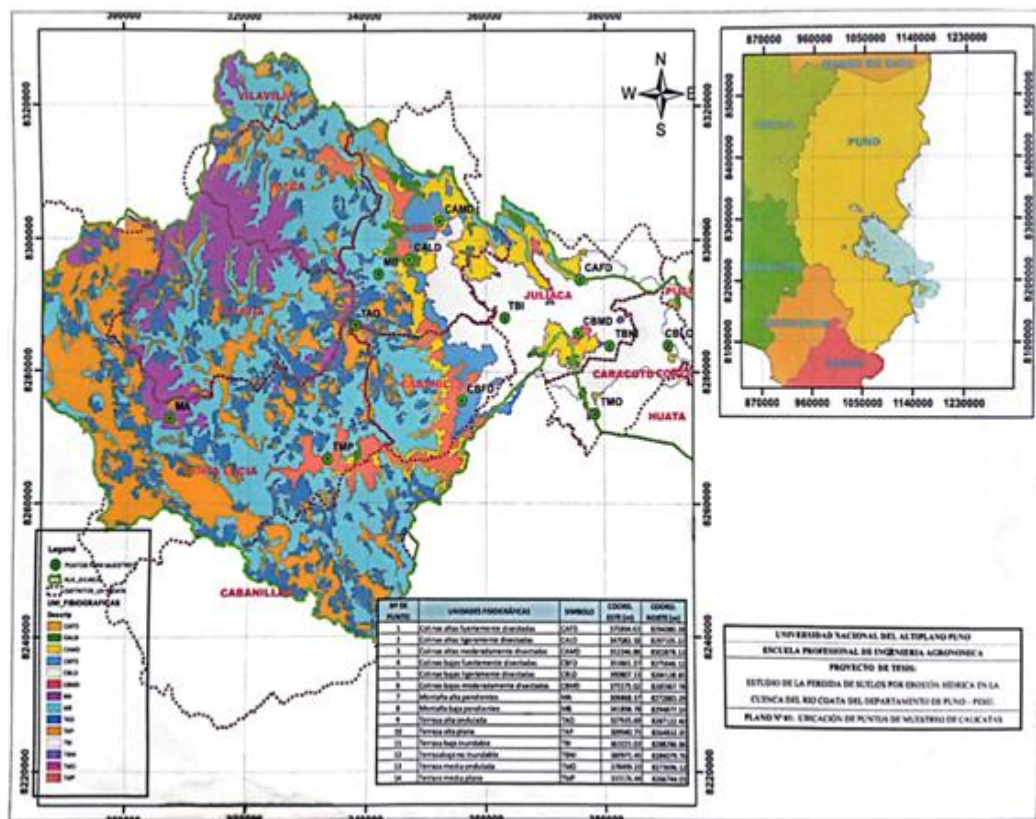
Nota: la tabla muestra la distribución de la longitud de la pendiente en el ámbito de estudio.

Fuente: elaboración propia.

La figura 13 indica los valores de las unidades fisiográficas identificadas, el cual se realizó mediante la interpretación de la topografía, imagen satelital y cartografiado de las diferentes formas de relieve que presenta el suelo; considerando, además, las diferentes formas geológicas, pendientes y climáticas del ámbito de la cuenca Coata, que permitieron obtener unidades fisiográficas debidamente jerarquizadas.

Figura 13

Unidades fisiográficas de la cuenca del río Coata, Puno, Perú



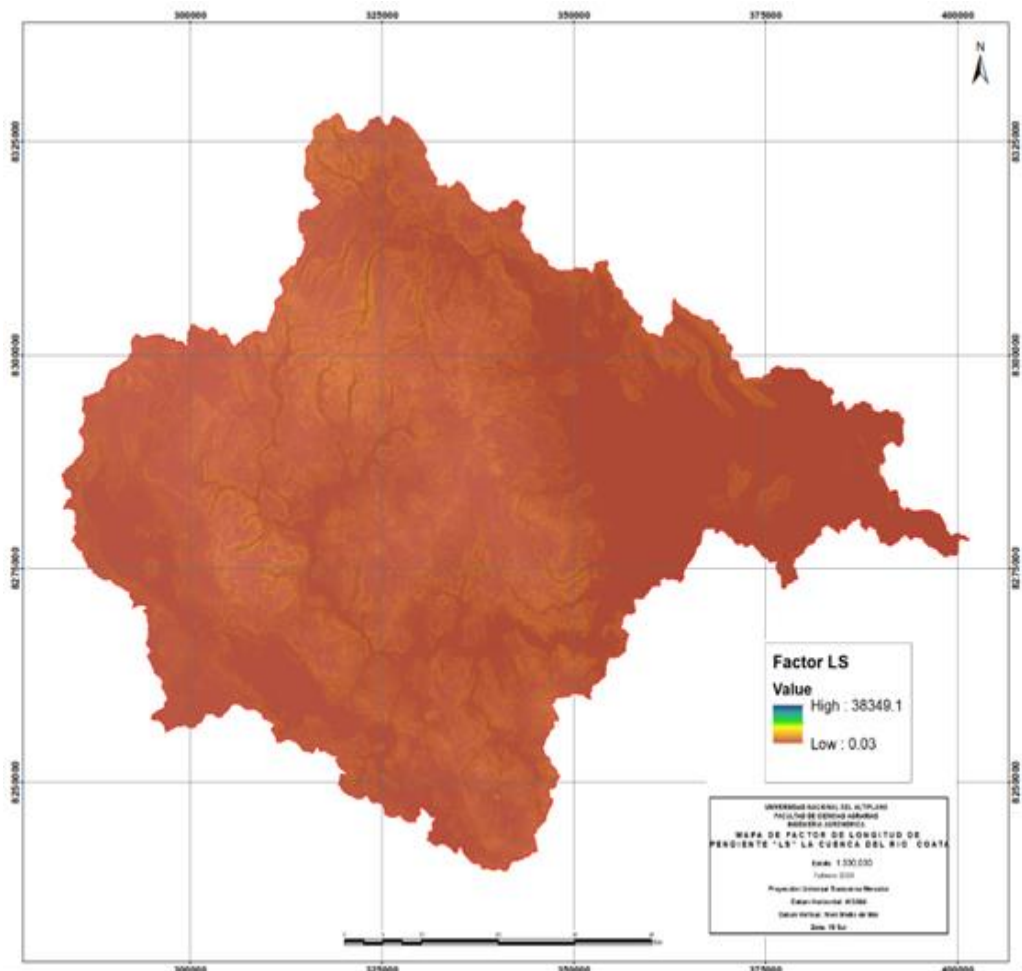
Nota: la figura muestra la distribución espacial de las unidades fisiográficas del ámbito de la Cuenca.

La figura 14 indica los valores del factor LS de la erosión hídrica de la cuenca Coata, donde se ha obtenido un factor LS bajo de 0,03 hasta 38349.1 (adimensional) se observa que los valores mínimos se ubican en las zonas a nivel con pendientes mínimas, mientras que el valor más alto se ubica en las zonas de mayor inclinación los que influyen en la mayor o menor erosión hídrica de los suelos. La razón es que en estas áreas se tiene una longitud y pendiente mayor. Otros datos similares (Ticona 2023) al estudiar la cuenca del río llave, se presenta la distribución espacial del factor LS, que varía de 0.2072 a 29.4846, registrándose los valores más bajos en zonas de menor pendiente y los más altos en zonas más empinadas.

Según (Chili 2023), al estudiar la cuenca Illpa, observa que los valores más bajos se encuentran en áreas con pendientes más suaves, mientras que los valores más elevados se localizan en zonas de mayor inclinación. Esto se debe a que las últimas regiones tienen una mayor longitud y pendiente, lo que hace que una gota de lluvia recorra una distancia mayor antes de acumularse con el flujo en la superficie erosionada.

Figura 14

Mapa de factor de longitud de pendiente (LS) de erosión hídrica de la cuenca del río Coata, Puno, Perú.



Nota: la figura muestra la distribución espacial de la longitud de la pendiente de la cuenca.

4.3. EROSIÓN POTENCIAL DE LA CUENCA DEL RÍO COATA EN PUNO

Tabla 14 indica la base de datos de estimación de erosión hídrica potencial de suelos en las 3 unidades hidrográficas del ámbito de la cuenca Coata, en la unidad hidrográfica del río Cabanillas cuenta con 294,679.00 hectáreas, una erosión hídrica de 584,7819.00 y una tasa media de erosión total de 149.00; en la unidad hidrográfica Coata 32,891.00 hectárea, erosión total 947,827.00 y una tasa media de erosión 29.00; y en la unidad hidrográfica del río Lampa cuenta con 163,274.00 hectárea, con una erosión total de 4,269,638.00 y tasa media de erosión 26.00.

Tabla 14

Estimación de erosión hídrica potencial de suelos de la cuenca del río Coata

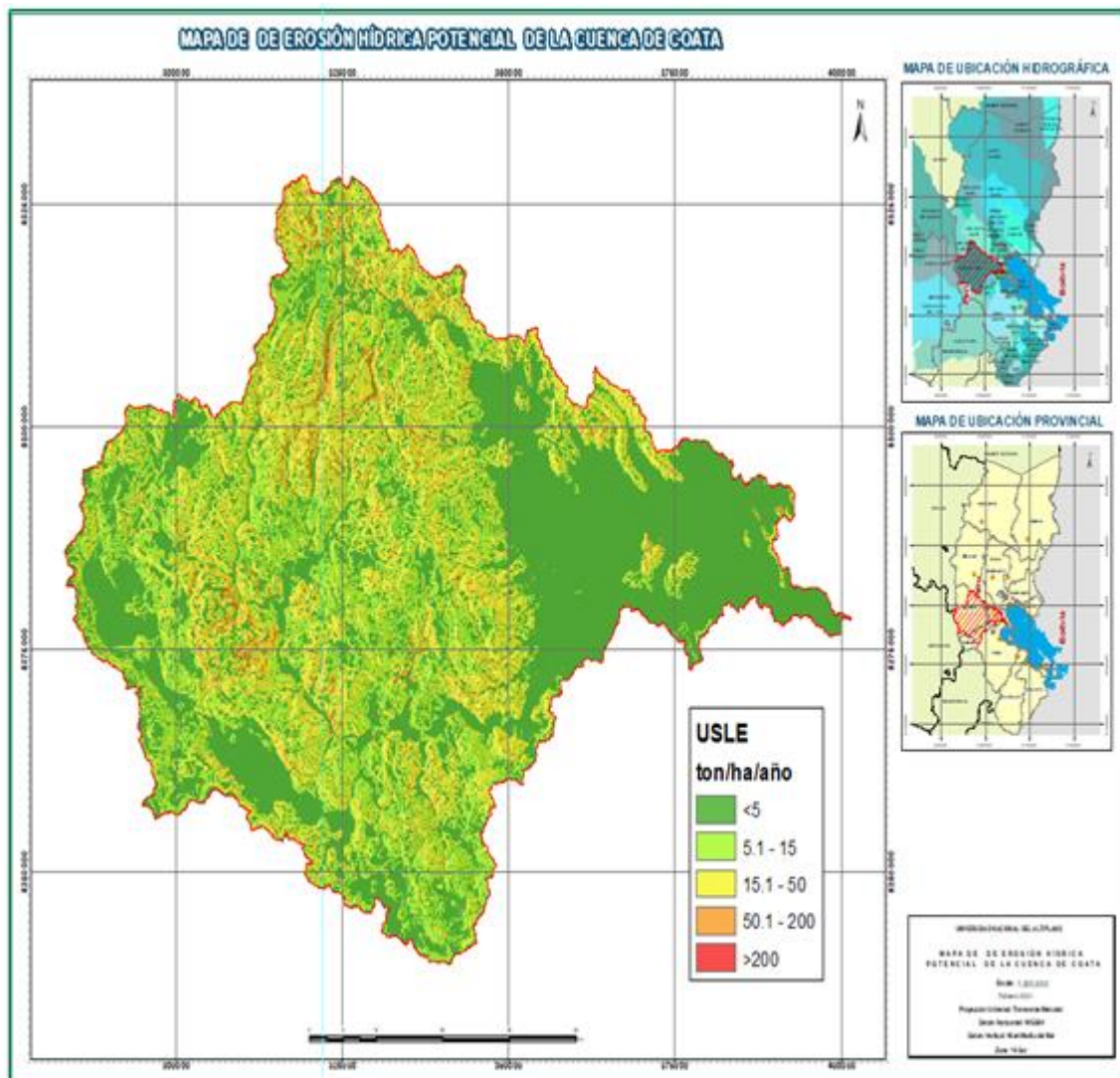
Unidad hidrográfica	Área (ha)	Erosión total (t/ha/año)	Tasa media de erosión (t/ha/año)
Río Cabanillas	294679	5847819	149
Inter cuenca Coata	32821	947827	29
Río Lampa	163274	4269638	26
Total	490844	11065284	204

Nota: la tabla muestra los datos obtenidos de la erosión potencial de la cuenca. Fuente: elaboración propia.

La figura 15 muestra que la erosión hídrica potencial de la cuenca del río Coata, donde se ha obtenido un área total de 490,844.00 ha erosión total 110,665,284.00 y tasa media de 204 t/ha/año. Estos resultados comparados con Escobar (2019) en su resultado indican la tasa media de erosión potencial fue de 26.11 toneladas por hectárea. Mientras que, Taco (2021), los lugares con mayor potencial de erosión hídrica (entre 50 y 200 toneladas anuales por hectárea) ocupaban 267.96 hectáreas. La conclusión que se determinó que los lugares con mayor Potencial de desgaste Hídrico se situaban en su mayoría en la cuenca alta, donde los cambios eran más notables, sobre todo en regiones con importantes cambios de elevación y una cubierta vegetal reducido.

Figura 15

Erosión hídrica potencial de la cuenca del río Coata, Puno, Perú



Nota: la figura muestra la distribución espacial de la erosión potencial en el ámbito de la cuenca.

4.4. EROSIÓN ACTUAL POR CADA SUB UNIDAD HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA COATA EN PUNO.

4.4.1. Ponderación de cobertura vegetal (C).

Siempre es una buena idea priorizar los proyectos de prevención de futuro. Para las zonas con mayor riesgo de erosión, que suelen estar en las partes altas de la cuenca, deberían llevarse a cabo proyectos de reforestación por la insuficiente cubierta vegetal de las riberas; en las zonas cercanas a los



ríos, deberían construirse diques de control de cárcavas en las laderas; construcción de terrazas agrícolas, etc. Todas las investigaciones sobre la pérdida de suelo por erosión hídrica indican el papel clave que juega la cubierta vegetal en la disminución o aumento del proceso erosivo de las precipitaciones en combinación con una topografía y relieve pronunciados (Santacruz, 2011). En las últimas tres décadas, los avances en la ciencia y la tecnología del suelo han proporcionado una gran cantidad de herramientas para la gestión y la conservación del suelo. Estas herramientas incluyen software, hardware, modelos matemáticos y geográficos, geoestadística y geoservidores privados y públicos que contienen una enorme cantidad de datos. En la actualidad son instrumentos que permiten determinar la distribución geográfica de la cubierta del suelo y su gestión, requisito necesario que se ha observado en la previsión de la erosión hídrica (Sarría, 2013).

4.4.2. Coeficiente de cobertura vegetal (C).

La cobertura vegetal, se basa a la protección que la cobertura vegetal que brinda al suelo al interceptar las gotas de la lluvia producto de las precipitaciones y de esta forma disminuir su energía de impacto y de escorrentía y de esta forma disminuir la erosión de los suelos, se obtuvo valores van desde 0 a 1.00 el valor de 0 pertenece a la a los cuerpos de agua existentes en el ámbito de la cuenca así como también zonas con presencia de suelos desnudos, mientras los valores cercanos a 1.00 son zonas con vegetación densa lo que indica una buena protección contra la erosión hídrica. Estos datos comparados con Bautista (2023) para manejo de cobertura, los valores obtenidos varían de 0.50 a 1.00, obteniéndose los



valores más altos en tierras de cultivo, valles y humedales. En pastizales los valores oscilaron entre 0.10 y 0.20.

Chili (2023) muestra que los valores de C varían de 0 a 0,49. La laguna de Umayo tiene un valor de 0, y los valores cercanos a 0 indican regiones con una cubierta espesa, como praderas y zonas cultivadas, que proporcionan una protección adecuada contra la erosión.

Algunos abonos orgánicos son muy eficaces y se utilizan ampliamente en los países industrializados para la silvicultura, los cultivos de pastos y las zonas en las que se busca el desarrollo de la cubierta vegetal para reducir la erosión (Perez, 2017).

En la Tabla 15, indica distintos valores de coeficientes anuales típicos asignados a la investigación y en la figura 16 se muestra el mapa de cobertura vegetal o factor C, los datos obtenidos varían entre 0 y 1.00, donde los valores más bajos representan las zonas con mayor escasa cubierta vegetal y los valores más altos las zonas con abundante de cobertura vegetal.



Tabla 15

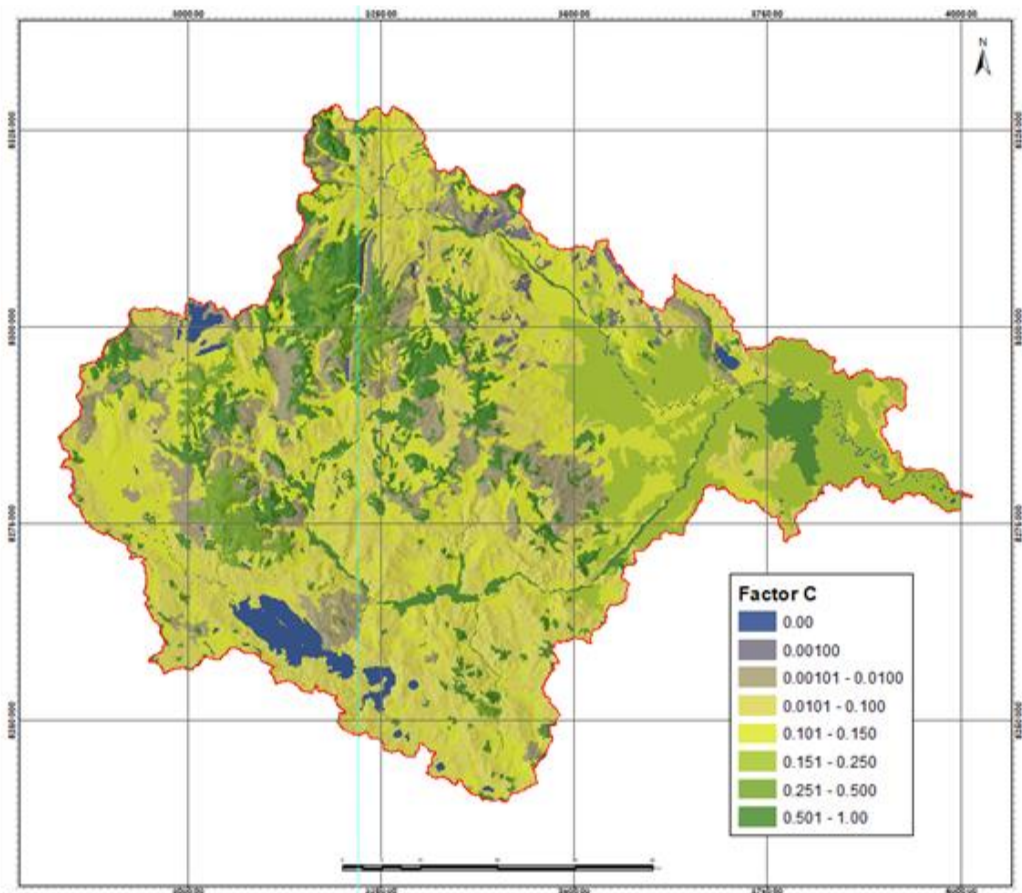
Coefficiente de factor de Cobertura vegetal (C) de la cuenca del rio Coata.

N°	Cobertura Vegetal	c
1	Tejido urbano continuo	1
2	Aeropuerto	1
3	Cultivos Transitorios	0,25
4	Cultivos permanentes	0,25
5	Bosques nativos	0,001
6	Herbazal denso (chilligua	0,15
7	Herbazal denso (crespillo)	0,15
8	Herbazal denso (ichu)	0,1
9	Herbazal abierto (iru ichu)	0,01
10	Vegetación arbustiva /herbácea abierta de canlli	0,01
11	Áreas arenosas naturales	1
12	Afloramientos rocosos.	0,1
13	“Tierras desnudas (incluye áreas erosionadas naturales y también degradadas)”	1
14	Áreas quemadas	0,15
15	Glaciares	0,5
16	Turberas y bofedales	0,15
17	Lagunas, Lagos y cienagas naturales permanente	0

Nota: la figura muestra los valores de las coberturas vegetales en el ámbito de la cuenc. Fuente: ZEE Puno (2015).

Figura 16

Erosión hídrica potencial de la cuenca del río Coata, Puno, Perú.



Nota: la figura muestra la distribución espacial de los valores de la cobertura vegetal en la cuenca.

4.4.3. Ponderación de prácticas de conservación (P) de la cuenca del río Coata

Este factor representa la proporción de pérdida de suelo causada por las prácticas de conservación (cultivo en contorno, barreras vivas, etc.). Dado que en la zona de estudio no existen prácticas de conservación del suelo, para la presente investigación se ha utilizado un valor de $P=1$, que no influye en el uso del suelo.

4.4.4. Erosión Actual de la cuenca del río Coata

Tabla 16 y figura 17, muestra la erosión hídrica actual por unidades hidrográficas de la cuenca del río del río Coata de las tres unidades hidrográficas de la cuenca, donde en la unidad hidrográfica del río Cabanillas ha obtenido 281,574.00 ha, una erosión total de 320,2631.00 y tasa media de 82.00; en la unidad hidrográfica Coata de 45,996.00 ha, erosión total de 406,061.00 y una tasa media de 9.00 y en la unidad hidrográfica del río Lampa de 163,274.00 ha, erosión total de 196,7217.00 y una tasa media de 12.00. Respecto a las tres unidades de un área de 490,844.00 ha, se obtuvo una erosión total de 557,5909.00 y una tasa media de erosión de 103.00 t/ha/año.

Tabla 16

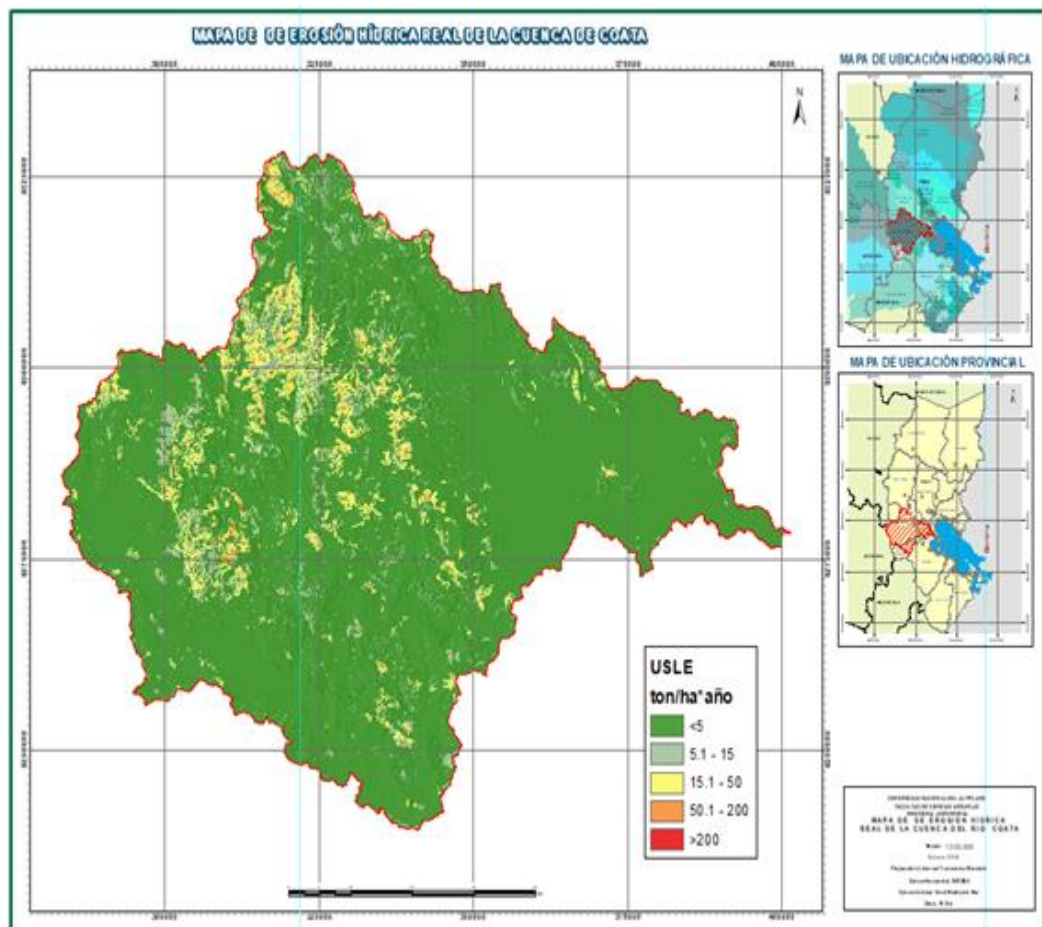
Erosión hídrica actual por unidades hidrográficas de la cuenca del río Coata.

Unidad hidrográfica	Área (ha)	Erosión total (t/ha/año)	Tasa media de erosión (t/ha/año)
Río Cabanillas	281574	3202631	82
Inter cuenca Coata	45996	406061	9
Río Lampa	163274	1967217	12
Total	490844	5575909	103

Nota: la tabla muestra la distribución espacial de la erosión real en el ámbito de la cuenca.

Figura 17

Mapa de erosión hídrica real de la cuenca del río Coata



Nota: la figura muestra la distribución espacial de la erosión real en el ámbito de la cuenca.

Conforme a lo obtenido los resultados se estimó la erosión actual teniendo una media anual de 103 t/ha/año en la cuenca Coata, para un área de 4882.42 km², estos resultados, aunque en algunos casos idénticos, inferiores o superiores a los de estudios anteriores, demuestran la variabilidad de las condiciones erosivas de la cuenca.; Paco (2022), empleando la Ecuación (USLE), el estudio indicó que el desgaste potencial en la microcuenca logró los 257.60 t/ha/año, mientras que la erosión hídrica actual fue de 92.59 t/ha/año. Por otro lado; Escobar (2019) obtuvo que la tasa media de erosión potencial fue de 26.11 toneladas por hectárea y año, mientras que la tasa media de erosión actual fue de 22.40 toneladas por hectárea y año. Mientras que, Taco (2021), para



determinar la erosión potencial en la cuenca Chicama, determino que el mayor potencial de erosión hídrica (entre 50 y 200 toneladas anuales por hectárea) ocupaban 267.96 hectáreas, es decir, el 3.02% de toda la zona de investigación. La conclusión que se determinó que los lugares con mayor Potencial de Desgaste Hídrico se situaban en su mayoría en la cuenca alta, donde los cambios eran más notables, sobre todo en regiones con importantes cambios de elevación y una cubierta vegetal reducido.



V. CONCLUSIONES

PRIMERA: La erosividad de la lluvia (R), en la cuenca del río Coata en Puno, se ha obtenido un valor máximo de 553.183 MJ*mm/ha*h*año, mientras que el valor mínimo se obtuvo con de 171.135 MJ*mm/ha*h*año, se emplearon registros de precipitaciones mensuales y anuales comprendidos entre 1970 y 2012 del SENAMHI.

SEGUNDA: La erodabilidad del suelo (K) en la cuenca del río Coata oscila entre – 0.44 t*ha*h/ha*MJ*mm a 0.28 t*ha*h/ha*MJ*mm, considerando valores de textura, materia orgánica, estructura del suelo y la clase de pendiente.

TERCERA: La erosión hídrica potencial de media anual de las tres unidades hidrográficas es de 204 t/ha/año, clasificándose como un nivel de erosión muy alta, según niveles de acuerdo a las tablas adaptadas de la FAO, UNESCO, (1980) y que de esta forma nos permitan identificar las zonas con mayor susceptibilidad a ser erosionadas. La erosión hídrica actual media anual de la cuenca del río Coata, considerando las tres unidades hidrográficas es de 103 t/ha/año, clasificándose como un nivel de erosión alta, según niveles de acuerdo a las tablas adaptadas de la FAO, UNESCO, (1980).



VI. RECOMENDACIONES

- PRIMERA:** Implementar proyectos basados en la reforestación de las zonas sin cobertura vegetal, principalmente en la parte alta, así también a la recuperación de suelos con especies que sean maderables que presenten un desarrollo rápido para la estabilización del suelo.
- SEGUNDA:** Continuar efectuando estudios con referencia a la pérdida de suelo por erosión hídrica en cuencas aledañas empleando diferentes métodos a fin de completar la información que se obtuvo en el actual estudio.
- TERCERA:** Realizar concientización a la población que están ubicadas en el ámbito de cuenca Coata, sobre el uso adecuado del suelo y su conservación desde las necesidades de la cuenca.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agama, M. (2022). *Estimación de los factores que influyen en la pérdida de los suelos mediante la USLE en la microcuenca San Alberto del distrito de Oxapampa - Oxapampa*. [Tesis de Pregrado, Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión], 35.
<http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2457>
- Alvarez, A. (2019). *Análisis temporal del nivel de la erosión hídrica de la subcuenca del río Ichu 2013 y 2017 – Huancavelica*. [Tesis de Posgrado, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica], 41.
<http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2603>
- Alcantara, G. (2014). *Estudio especializado: Análisis de los cambios de la cobertura y uso de la tierra, Gobierno Regional Cajamarca, Peru*.
https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/EE_CUT_tercera_version_diciembre_2014.pdf
- 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 geobiofísico 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>
- Cabrejos, M. (2016). *Modelamiento geoespacial en la determinación del riesgo, vulnerabilidad y de la cuantificación de la erosión hídrica en la*



- microcuenca del rio Atuenamazonas* – Lima. [Tesis de Pregrado, Facultad de ingeniería Agrícola, Universidad Nacional Agraria la Molina], 6,9.
<https://hdl.handle.net/20.500.12996/1951>
- CENEPRED. (2024). *Escenario de riesgo por déficit hidrico ante condiciones el niño para el periodo de lluvias 2023 - 2024, Peru.*
https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca/17021_escenario-de-riesgo-por-deficit-hidrico-ante-condiciones-el-nino-para-el-periodo-de-lluvias-2023-2024-actualizacion-enero-2024.pdf
- Chili, J. (2023). *Determinación de la erosión actual y la erosión Hídrica potencial en la Cuenca del rio 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 tecnicas 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 hidrica en la comuidad 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 hidrica en la cuenca del rio siguas utilizando geoinformatica* – Lima. [Tesis de Posgrado, Universidad Nacional Agraria la Molina], 324-329
<https://doi.org/10.21704/ac.v76i2.797>
- 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>
- FAO. (1980). “*Desarrollo metodológico para la evaluación del riesgo de erosión hídrica evaluación del riesgo de erosión hídrica en el área mediterránea utilizando técnicas de teledetección y GIS*”. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/62995>”
- FAO. (2000). “*Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos y su relación con la erosión y pérdida de fertilidad de suelos*”. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/158f38e2-86ef-47a9-aa3e-21be6fe6bd28/content>”
- FAO. (2016). “*Bases de datos globales y regionales para el desarrollo de indicadores del estado de la calidad de la tierra: los enfoques de SOSTER Y GLASOD*”. <https://www.fao.org/4/W4745S/w4745s06.htm>”
- FAO. (2018). “*Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales*”. Bogotá. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/158f38e2-86ef-47a9-aa3e-21be6fe6bd28/content>”
- Flores, R. (2019). *Modelación cartográfica de los niveles de erosión potencial del suelo en la zona agrícola de la cuenca Chancos - Ancash*. [Tesis de Pregrado, Facultad de Ciencias del Ambiente, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo], 75 - 78. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3342>
- Fong, L. (2019). *Efectos de factores topográficos sobre la profundidad de suelos y la estructura vertical de su textura, capacidad de campo y almacenes de carbono en el noroeste de Baja California – México*. [Tesis de Maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California].



https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/3017/1/TESIS_LI_ZAFONG_11_NOV_2019A.pdf

- Gisbert, J. (2012). *El factor k de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE)*, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural, <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16850/AD%20%20K%20USLE.pdf?seque>
- Gonzalez, M. (1991). *La ecuación Universal de pérdidas de suelo.pasado, presente y futuro* - Madrid https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/parques-nacionales-oapn/publicaciones/ecologia_05_02_tcm30-100846.pdf
- Gobierno Regional de Puno. (2015). *Zonificación Económica y Ecológica ZZE, del departamento de Puno*. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/zonificacion-ecologica-economica-departamento-puno-resumen-ejecutivo>
- Guío, V. (2019). *Determinación y mapificación de pérdida de suelos en la cuenca del embalse de la copa – Tunja*. [Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería Maestría en Ingeniería Ambiental, Universidad Pedagógica y Tecnológica De Colombia], 88-91. <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/3480>
- IAEA. (23 de Abril de 2024). *Organismo Internacional de Energía Atómica*. <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-la-erosion-del-suelo>
- Jiménez, D. (2021). *Estudio de la erosión y pérdida de suelos empleando un simulador de lluvias en la ciudad de Chongoyape- Chiclayo*. [Tesis de Pregrado, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Señor de Sipán], 27-32. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/8304>
- Laqui, F. (2019). *Estimación de la eroción y transporte potencial de sedimentos hasta el eje de la futura represa Callazas en sub - cuenca del río Callazas en la región Tacna - Perú*. [Tesis de Pregrado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas], 97. <http://hdl.handle.net/10757/626410>
- Llambí, A., & Soto, A. (2012). *Ecología, hidrología y suelos de páramos*. Merida, Proyecto paramos. <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/39251>
- Mancilla, G. (2008). *Uso de la ecuación universal de pérdidas de suelos (USLE) en el*



campo *forestal.*
https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120400/Apuntes_docentes_USLE.pdf?sequence=1

MINAM. (2013). *El Perú lucha contra la desertificación y la sequía el Perú lucha contra la desertificación y la sequía Perú Lucha contra la desertificación y la sequía*. Lima: Ministerio del Ambiente <https://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/el-peru-lucha-contra-la-desertificacion-y-la-sequia/>

MIDAGRI. (2022). Decreto supremo que aprueba el reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor Lima: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. <https://dar.org.pe/wp-content/uploads/2022/04/2060758-1-1.pdf>

Mingorance, J., & Ariza, F. (2019). *Evaluación de la calidad en modelos digitales de elevaciones*. Grupo de investigación Ingeniería Geográfica, Universidad de Jaén. http://coello.ujaen.es/investigacion/web_giic/SubWeb_CartoCalidad/descargas/GIIC_EvaluacionCalidadMDE_Bibliograf%C3%ADaComentada.pdf

Morgan. (1997). *Erosión y Conservación del Suelo*. R.P.C.: Mundi Prensa: https://biblioteca.unasam.edu.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=14010&shelfbrowse_itemnumber=14742

Paco, F. (2022). *Influencia de medidas de conservación de suelo en la erosión hídrica en la microcuenca del río temporal Escalerani-Puno*. [Tesis de Pregrado, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Altiplano Puno], 76-88.
http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/17754/Paco_Arpit_a_Froilan_Yony.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rivera, C., & Alguera, E. (2016). *Estimación del factor de erodabilidad (factor K) del suelo en el centro experimental agrícola CEA - UNI , Municipio de Tisma , Departamento de Masaya*. [Monografía, facultad de tecnología de la Construcción, Universidad Nacional de Ingeniería], 14.
<https://core.ac.uk/download/pdf/336876922.pdf>

Santacruz, G. (2011). *Estimación de la erosión hídrica y su relación con el uso del suelo en la cuenca del río Cahocán, Chiapas, Mexico: Aqua-LAC - Vol. 3. 45 –*



54. <https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2011-v3-1-06>

Silva, P., & Garrido, M. (2015). *Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos*. Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/130642>.

Solano, R. (2016). *Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la subcuenca del río Shullcas 2000 - 2013*, Huancayo. [Tesis de Pregrado, Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente, Universidad Nacional del Centro del Perú], 46 - 61. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/3486>

Soriano, M. (2012). *Influencia de la altura de la cubierta vegetal en la variación de la energía cinética de las gotas de lluvia interceptadas*. Madrid: Grupo de Investigación Ecología y Gestión Forestal Sostenible. <https://digitum.um.es/digitum/bitstream/10201/97804/1/Influencia%20de%20la%20altura%20de%20la%20cubierta%20vegetal%20en%20la%20variación%20de%20...pdf>

Taco, M. (2021). *Uso del sistema de información geográfica para la cuantificación de la erosión hídrica potencial en la cuenca Chamacha-Lima* [Tesis de Maestría, Escuela de posgrado Maestría en Ciencias Ambientales, Universidad Nacional Agraria La Molina], 51-58. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4875>

Zaldivar, J. (2017). *La cuenca hidrográfica como propuesta de unidad de análisis y gestión sustentable del territorio – Santiago* [Proyecto de Grado, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile], 154. <https://mgpa.forestaluchile.cl/Tesis/Zaldivar%20Juan%20Pablo.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1. Resultado de análisis de la caracterización de suelo




UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS
ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS

PROCEDENCIA : CUENCA DEL RIO COATA.
SOLICITANTE : EFRAIN ZAVALA PURACA.
MOTIVO : TRABAJO DE INVESTIGACION.
MUESTREO : MAYO DEL 2023
ANÁLISIS : JUNIO DEL 2023
LABORATORIO : Agua y Suelo FCA – UNA

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANÁLISIS MECÁNICO			CLASE TEXTURAL	CO ₃ ²⁻ %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
01	CALD	60	25	15	Franco arcilloso Arenoso	0.00	2.10	NC
02	CAMD	80	5	15	Franco Arenoso	0.00	0.80	NC
03	TAO	59	23	18	Franco arcilloso Arenoso	0.00	3.10	NC
04	TMP	63	15	22	Franco Arenoso	0.00	1.10	NC
05	MB	55	24	21	Franco arcilloso Arenoso	0.00	4.85	NC
06	MA	58	24	18	Franco arcilloso Arenoso	0.00	1.80	NC
07	CBFD	52	28	20	Franco arcilloso Arenoso	0.00	4.92	NC

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %	
				P ppm	K ppm	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺			
													me/100 g suelo
01	7.32	0.35	0.18	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC	NC	NC	NC
02	7.67	0.04	0.20	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC	NC	NC	NC
03	7.20	0.05	0.25	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC	NC	NC	NC
04	7.21	0.04	0.20	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC	NC	NC	NC
05	7.07	0.04	0.20	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC	NC	NC	NC
06	6.71	0.03	0.15	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC	NC	NC	NC
07	6.56	0.18	0.80	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC	NC	NC	NC

FArA = Franco arcillo arenoso
Ar = Arcilloso
FArA = Franco arcillo arenoso
CIC = Capacidad Intercambio Cationico
N = Nitrógeno total
K⁺ = Potasio cambiabile
A = Arena
C.E.(e) = Conductividad eléctrica del extracto

FAr = Franco arcilloso
M.O. = Materia orgánica
P = Fósforo disponible
K = Potasio disponible
C.E. = Conductividad eléctrica
SB = Saturación de bases
Mg²⁺ = Magnesio cambiabile

me = miliequivalente.
NC = no corresponde
CO₃²⁻ = Carbonatos
Al³⁺ = Aluminio cambiabile
Na⁺ = Sodio cambiabile
Ca²⁺ = Calcio cambiabile
mS/cm = milisemens por centimetro



ANALISTA



Sc. Evánsto Mamani Mamani
JEFE DE LABORATORIO
DE AGUAS Y SUELOS



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO –
PUNO**
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS
ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS



PROCEDENCIA : CUENCA DEL RIO COATA.
SOLICITANTE : EFRAIN ZAVALA PURACA.
MOTIVO : TRABAJO DE INVESTIGACION.
MUESTREO : MAYO DEL 2023
ANÁLISIS : JUNIO DEL 2023
LABORATORIO : Agua y Suelo FCA – UNA

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANÁLISIS MECÁNICO			CLASE TEXTURAL	CO ₃ ⁺ %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
08	TBI	54	23	23	Franco arcilloso	0.00	2.10	NC
09	TBNI	10	34	56	Franco arcilloso Limoso	0.00	2.15	NC
10	CBMD	52	25	23	Franco arcilloso Arenoso	0.00	2.20	NC
11	TAP	65	13	22	Franco Arenoso	0.00	1.01	NC
12	CAFD	63	16	21	Franco Arenoso	0.00	1.30	NC
13	CBLD	61	13	26	Franco Arenoso	0.00	1.60	NC
14	TMO	31	35	34	Franco arcilloso Arenoso	3.20	1.50	NC

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺		
08	7.05	0.05	0.25	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC	NC	NC
09	6.17	0.88	4.40	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC	NC	NC
10	7.07	0.16	0.80	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC	NC	NC
11	7.24	0.06	0.30	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC	NC	NC
12	6.98	0.04	0.20	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC	NC	NC
13	7.22	0.06	0.30	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC	NC	NC
14	7.05	0.19	0.95	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC	NC	NC

FArA = Franco arcillo arenoso

Ar = Arcilloso

FArA = Franco arcillo arenoso

CIC = Capacidad Intercambio Cationico

N = Nitrógeno total

K⁺ = Potasio cambiabile

A = Arena

C.E.(e) = Conductividad eléctrica del extracto

FAR = Franco arcilloso

M.O. = Materia orgánica

P = Fósforo disponible

K = Potasio disponible

C.E. = Conductividad eléctrica

SB = Saturación de bases

Mg²⁺ = Magnesio cambiabile

me = miliequivalente.

NC = no corresponde

CO₃⁺ = Carbonatos

Al³⁺ = Aluminio cambiabile

Na⁺ = Sodio cambiabile

Ca²⁺ = Calcio cambiabile

mS/cm = milisiemens por centímetro



Evansto Mamani Mamani
Sr. Evansto Mamani Mamani
JEFE DE LABORATORIO
DE AGUAS Y SUELOS

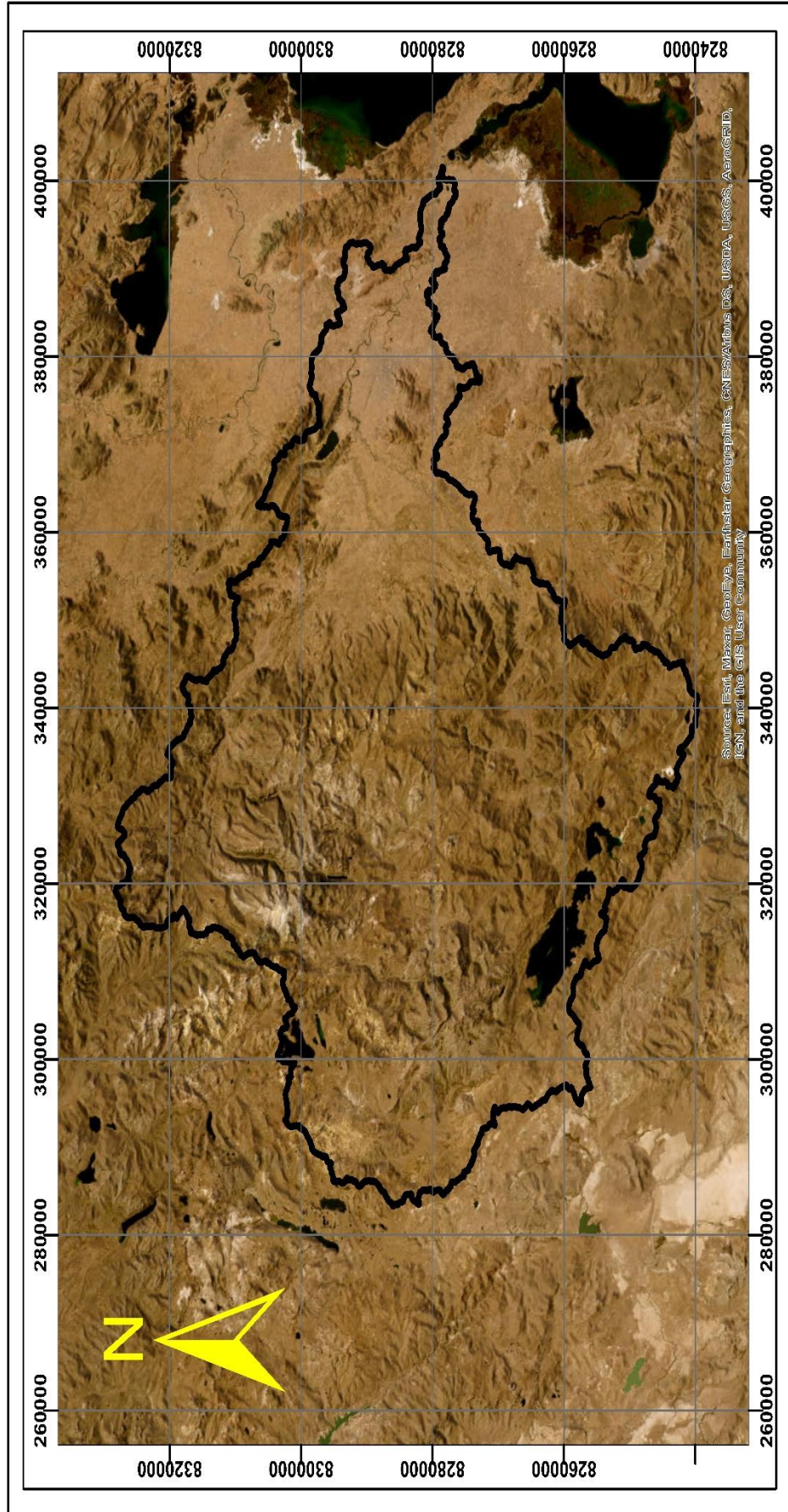
ANEXO 2. Factor erosividad de la lluvia (R) en Mj*mm/ha*h*año

ID	CODIGO	CODIGO_X	CODIGO_Y	ALTITUD Z	ESTACION	CUENCA	PROV	DISTRITO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV
1	100110	391618	8250023	3820	Puno	Tricaca	Puno	Puno	36.50	26.49	23.14	3.62	0.11	0.02	0.01	0.17	0.87	2.94	3.1
2	115035	379853	8326298	3830	Araza	Ramis	Azangaro	Azangoro	28.89	17.97	19.61	3.16	0.21	0.05	0.02	0.24	1.04	3.58	7.2
3	115033	395808	8322686	3820	Cabanillas	Coata	San Roman	Cabanillas	32.00	27.33	18.08	2.81	0.05	0.01	0.01	0.10	0.49	2.20	4.1
4	100021	410793	8274432	3828	Capachica	Interc Tit	Puno	Capachica	35.46	30.57	26.78	3.53	0.25	0.03	0.01	0.10	0.98	2.11	4.1
5	115037	409061	8319247	3890	Huancan,	Huancan,	Huancan,	Huancan,	29.63	17.71	15.81	2.27	0.21	0.04	0.02	0.15	1.25	3.43	6.1
6	100059	334033	8215771	3800	Ichuña	Tambo	Sanchez Cer	Ichuña	37.02	26.82	12.52	1.68	0.05	0.02	0.02	0.07	0.19	0.67	2.1
7	100081	352948	8266710	3892	Lampa	Coata	lampa	Lampa	33.65	26.29	18.20	2.96	0.07	0.02	0.01	0.09	0.62	2.84	5.1
8	116033	385967	8213658	3900	Laraqueñ	Ilipa	Pichacani	Laraqueñ	40.28	32.34	19.06	2.49	0.13	0.02	0.02	0.13	0.65	1.74	4.1
9	114034	297155	8347834	3980	Llally	Ramis	Melgar	Llally	37.80	29.99	25.17	3.51	0.10	0.00	0.01	0.10	0.50	2.76	4.1
10	115138	370413	8292182	3826	Mocagache J	Coata	San Roman	Juliaca	25.63	16.97	8.57	1.93	0.06	0.02	0.00	0.02	0.35	1.30	2.1
11	115027	320230	8287491	4400	Pampahuta	Coata	lampa	Paratia	39.41	31.80	22.59	3.27	0.15	0.01	0.02	0.08	0.32	1.91	5.1
12	115027	354887	8336185	3900	Pucara	Ramis	lampa	Pucara	38.81	26.13	22.59	4.15	0.10	0.04	0.01	0.13	0.77	5.37	7.1
13	115052	413241	8231937	3935	Rincon de	Ilave	Puno	Acora	39.91	26.42	24.97	3.44	0.15	0.13	0.02	0.22	0.80	4.14	4.1
14	110763	327577	8263529	3970	Santa Lucia	Coata	Lampa	Sta. lucia	37.07	29.57	18.39	1.70	0.12	0.01	0.02	0.07	0.29	0.99	4.1
15	114047	307576	8208469	3986	Santa Rosa	Ramis	Melgar	Santa Rosa	40.05	25.36	25.03	3.57	0.11	0.03	0.02	0.19	0.99	4.78	8.1
16	115047	395808	8322686	3820	Taraco	Ramis	Huancan,	Taraco	30.34	18.55	13.59	2.35	0.08	0.04	0.01	0.08	0.91	2.48	4.1
17	270200	406169	8313232	3850	Ramis	Ramis	Huancan,	Huancan,	25.63	16.97	8.57	1.93	0.06	0.02	0.00	0.02	0.35	1.30	2.1

ANEXO 3. Factor de erodabilidad del suelo (K) a nivel de la cuenca.

N°	UNIDAD DE SUELOS	A	Arc	L	A	Arc	L	M	b	c	a	K
1	Lagos	67.6	5	27.4				9025	1	1	23.73	-0.4424
2	Ayabacas	28	44	28				3136	4	4	2.31	0.2143
3	Cachiña - Poke	67	3	30	40	2	58	9409	2	3	3.7	0.2462
4	Calacollo	49	10	41				8100	2	3	5.6	0.1634
5	Calacollo - Cachiña	49	10	41	67	3	30	8100	1	3	5.6	0.1206
6	Calacollo - Miscelaneo (Afloramiento litico)	49	10	41				8100	1	3	5.6	0.1206
7	Calacollo - Yanamayo	49	10	41	44	12	44	8100	1	3	5.6	0.1206
8	Chapapampa - Chejemoco	60	10	30	32	38	30	8100	4	2	0.7	0.3413
9	Chejemoco - Chincheros (Superficial)	41	15	44	38	12	50	7225	2	3	1.2	0.2460
10	Chincheros	57	18	25				6724	4	2	1.7	0.2710
11	Chincheros - Miscelaneo (Afloramiento litico)	60	10	30				8100	4	2	0.7	0.3413
12	Chincheros - Yanacocha	60	10	30	36	16	48	8100	4	2	0.7	0.3413
13	Chincheros (Superficial) - Yanacocha	38	12	50	32	20	48	7744	1	3	6.62	0.0886

ANEXO 4. Mapa de la cuenca Coata





ANEXO 5. Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo EFRAIN ZAVALA PURSCA
identificado con DNI 46762059 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA AGRODÓNICA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

" ESTUDIO DE LA PERDIDA DE SUELOS POR EROSION HIDRICA EN LA
CENCA DEL RIO COATA, PUNO - PERU.

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 14 de OCTUBRE del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



ANEXO 6. Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo EFRAIN ZAVALA PURACA
identificado con DNI 40762059 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA AGRONÓMICA
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

" ESTUDIO DE LA PERDIDA DE SUELOS POR EROSION HIDRICA EN LA CUENCA DEL RIO WATA, PUNO - PERU "

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 14 de OCTUBRE del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella