

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Determinación de la erosión hídrica en la cabecera
de cuenca del río Tulumayo, provincia de
Concepción, departamento Junín**

Jhadira Mildre Rivera Paredes
Kener Brayan Iparraguirre Justo

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE
INVESTIGACIÓN**

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Roly Jaime Nuñez Nuñez
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 1 de Julio de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Determinación de la Erosión Hídrica en la Cabecera de Cuenca del Río Tulumayo, Provincia de Concepción, Departamento Junín.

Autor:

Jhadira Mildre Rivera Paredes y Kener Brayan Iparraguire Justo – EAP. Ingeniería Ambiental


Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 18 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores N° de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,



Roly Jaime Núñez Nuñez
Asesor de trabajo de investigación

AGRADECIMIENTOS

Este agradecimiento va dirigido a quienes hicieron posible la elaboración de esta tesis.

A Dios por habernos guiado y ser nuestra fortaleza ya que sin él nada sería posible, a nuestros padres por apoyarnos tanto en las buenas como en las malas y por ser ese soporte para alcanzar nuestras metas.

A nuestros asesores el Ing. Roly Nuñez Nuñez y el Ing. Christian Quispe Navarro, por habernos orientado, motivado y por la paciencia que tuvieron para el desarrollo de esta investigación.

DEDICATORIA

Dedicado a lo más valioso que tengo, mi familia, en especial a mis padres por el apoyo incondicional, el esfuerzo y la inversión que realizaron en mi educación.

Y a todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación, tanto en lo profesional como en lo personal.

Jhadira Rivera

Mi tesis se lo dedico a mis padres y hermano por formarme con buenos hábitos y valores, por acompañarme y apoyarme en cada paso de este arduo camino.

A mi familia y amigos por la comprensión y ayuda en momentos difíciles.

Brayan Iparraguirre

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA.....	v
ÍNDICE.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	13
1.1. Planteamiento y Formulación del Problema	13
1.1.1. Problema general	14
1.1.2. Problemas específicos	15
1.2. Objetivos	15
1.2.1. Objetivos generales	15
1.2.2. Objetivos específicos	15
1.3. Justificación e Importancia	15
1.4. Descripción de variables	16
1.4.1. Operacionalización de variables	16
1.4.1.1. Operacionalización	16
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	19
2.1. Antecedentes del problema	19
2.1.1. Antecedentes Nacionales	19
2.1.2. Antecedentes Internacionales.....	22
2.2. Bases Teóricas	23
2.2.1. Erosión Hídrica	23
2.2.2. Precipitación	27
2.2.3. Pendiente.....	29
2.2.4. Erodabilidad o erosionabilidad	32
2.2.5. Erosividad	32
2.2.6. Cobertura Vegetal.....	35
2.2.7. Tipo de Suelo	36
2.3. Definición de término básicos.....	40
CAPÍTULO III METODOLOGÍA	42
3.1. Métodos y alcance de la investigación.....	42
3.1.1. Método de investigación	42

3.1.2. Alcance o nivel de investigación	42
3.1.2.1. Tipo de Investigación.....	42
3.2. Diseño de investigación	42
3.3. Población y muestra	43
3.3.1. Población.....	43
3.3.2. Muestra	43
3.3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	44
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
4.1. Grado de Erosión.....	51
4.2. Discusión de Resultados	57
CONCLUSIONES	61
RECOMENDACIONES.....	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
ANEXOS	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.Operacionalización de variables	17
Tabla 2.Grados de erosión hídrica real y potencial.....	27
Tabla 3.Indices de factor C de acuerdo con la cobertura vegetal.....	35
Tabla 4.Textura del suelo	36
Tabla 5.Grados de erosión hídrica en la cabecera de la cuenca del río Tulumayo.....	51
Tabla 6. Datos de los resultados del factor R.....	53
Tabla 7.Datos de los resultados del factor LS.....	54
Tabla 8. Datos de los resultados del factor C.....	56
Tabla 9. Resultados de la clase textural de las Muestras de suelo	77
Tabla 10. Erosionabilidad según Taxonomía de Suelos.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Erosión hídrica.....	24
Figura 2 Efecto de la precipitación	28
Figura 3 Pendiente y erosión.....	29
Figura 4 Nomograma del Factor Topográfico. Factor pendiente/longitud combinando en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (de USDA, 1978	31
Figura 5 Atlas de Erosividad.....	33
Figura 6 Triángulo de permeabilidad de suelos	37
Figura 7 Monograma del factor K	38
Figura 8 Cálculo de erosión hídrica mediante la metodología USLE.....	39
Figura 9 Procedimiento para calcular la erosión en SIG de la cabecera de cuenca del río Tulumayo	39
Figura 10 Mapa de la cuenca del río Tulumayo.....	43
Figura 11 Mapa de la cabecera de cuenca del río Tulumayo	44
Figura 12 Conectividad Hidrológica.....	45
Figura 13. Selección de cursos de agua de orden 1	46
Figura 14. Cabecera de orden 1. Los límites atraviesan lagunas	47
Figura 15. Cabecera de cuenca de orden 1 modificada. Se incluye íntegramente las lagunas.....	48
Figura 16. Mapa de erosión hídrica en la cabecera de cuenca del río Tulumayo.....	52
Figura 17. Mapas del factor R y erosión.....	53
Figura 18. Mapas del factor LS y erosión.....	55
Figura 19. Mapas del factor C y erosión.....	57
Figura 20. Apertura de Calicata	66
Figura 21. Toma de muestras de Calicata – Camino a la comunidad campesina Tunso.....	66
Figura 22. Punto de Muestreo – Anexo de Tunso	67
Figura 23. Punto de Muestreo – Anexo Aracancha.....	67
Figura 24. Deslizamientos – Anexo Aracancha	68
Figura 25. Punto de Muestras - Anexo Maraynioc	68
Figura 26. Mapa de erosión hídrica de acuerdo con USLE	69
Figura 27. Mapa del factor C de acuerdo a USLE	70
Figura 28. Mapa del Factor C	72
Figura 29. Mapa del Factor K de acuerdo a USLE.....	73
Figura 30. Mapa del Factor K.....	74
Figura 31. Mapa del Factor LS	75
Figura 32. Mapa del Factor R	76
Figura 33. Zonas Críticas por provincias en la región Junín.....	82

RESUMEN

El presente trabajo fue realizado en la cabecera de cuenca del Río Tulumayo en un área total de 133,824.50 hectáreas en altitudes entre 3500 a 5400 m.s.n.m. El objetivo fue determinar el grado de erosión en la Cabecera de Cuenca del Río Tulumayo, aplicando la metodología USLE; USLE es un método que integra cuatro factores mediante el uso de herramientas SIG, el factor (R) se determinó a partir de precipitaciones acumuladas mensuales de la estación Meteorológica Runatullo del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), el factor (K) se determinó tomando en cuenta la textura del suelo de los análisis realizados, los factores (LS) y (C) se obtuvieron a través de un modelo de elevación digital obtenido de la Zonificación Ecológica y Económica - Junín del 2015.

Los resultados logrados indican que el grado de erosión predominante es ligero, ocupando un área de 83.33%, erosión moderada con un área del 11%, erosión alta con un 4% y erosión muy alta con un 1.68% de la zona de estudio.

Las zonas con mayor incidencia de erosión son las que se encuentran sin cobertura vegetal o con escasa cobertura vegetal.

PALABRAS CLAVE: Erosión, cabecera de cuenca, USLE

ABSTRACT

The present study was conducted in the headwaters of the Tulumayo River Basin, covering a total area of 133,824.50 hectares at altitudes ranging from 3500 to 5400 meters above sea level. The objective was to determine the degree of erosion in the Headwaters of the Tulumayo River Basin, using the USLE methodology; USLE is a method that integrates four factors through the use of GIS tools. The factor (R) was determined based on monthly accumulated rainfall from the Runatullo Meteorological Station of the National Meteorology and Hydrology Service of Peru (SENAMHI), while factor (K) was determined considering the soil texture from the analyses conducted. Factors (LS) and (C) were obtained through a digital elevation model obtained from the Ecological and Economic Zoning - Junín of 2015.

The achieved results indicate that the predominant degree of erosion is slight, occupying an area of 83.33%, moderate erosion covers 11%, high erosion comprises 4%, and very high erosion accounts for 1.68% of the study area.

The areas with the highest incidence of erosion are those lacking vegetation cover or with scant vegetation coverage.

Keywords: Erosion, headwater, USLE

INTRODUCCIÓN

Los procesos de degradación de tierras ocurren a nivel global, pero con mayor frecuencia en varias regiones de países en vías de desarrollo de América Latina y África, esos procesos ocurren debido a factores ambientales, sociales, económicos y culturales, que se traducen en la aplicación de prácticas inadecuadas de manejo de suelos y aguas, teniendo como consecuencia la inhabilitación de tierras agrícolas y por ende una baja producción de alimentos (1).

La erosión hídrica es el proceso por el cual se produce el desprendimiento, transporte y sedimentación de partículas por acción de los siguientes tres agentes, la energía cinética de la gota de la lluvia, escorrentía y la gravedad. (2).

Por ello, se puede afirmar que la erosión hídrica se incrementa por la acción del hombre, por actividades como la deforestación, el cambio de uso de tierras, el retiro de cobertura vegetal, la minería, los incendios forestales, sumado a los procesos naturales de las precipitaciones que en las últimas décadas por efectos del cambio climático en pocos eventos de lluvia registran cantidades de agua por año similares, incrementando así la energía cinética de la gota de la lluvia en relación a los periodos regulares de precipitación, característico del siglo pasado.

La presente investigación cuenta con 4 capítulos, el capítulo I presenta el Planteamiento del estudio, la formulación del problema general y problemas específicos, los objetivos, la justificación e importancia de la investigación y la formulación de hipótesis.

En el capítulo II se presenta el marco teórico, antecedentes internacionales y nacionales que aportan en la presente investigación (tesis, artículos y libros). También se presentan las bases teóricas y las definiciones de términos básicos.

En el capítulo III se describe la metodología analítica y sintética, el alcance explicativo de la investigación, el diseño no experimental, la población y muestra de la cabecera de cuenca y los instrumentos y técnicas que se usaron para la recolección de datos.

En el capítulo IV se presentan los resultados del tratamiento y el análisis de los factores de precipitación, cobertura, pendiente y el tipo de textura del suelo que influyen en el proceso de erosión hídrica en el área de estudio. Además, se presentan las discusiones, conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y Formulación del Problema

La erosión es una remoción, transporte y deposición de partículas de suelo, materia orgánica y nutrientes, lo cual genera ambientes poco favorables para el crecimiento vegetal y de ser intensa genera ambientes muy difíciles de restaurarlos provocando la inestabilidad de las cuencas hidrográficas.

La erosión hídrica es un serio problema que aqueja a todo el planeta, principalmente a los países que están en vía de desarrollo. De acuerdo con el Informe del Estado Mundial del Recurso del Suelo, mencionan que la tierra se encuentra en un 33% de moderada a altamente degradada debido a la erosión, salinización, acidificación y contaminación química del suelo. La erosión hídrica es una de las causas principales para que la tierra pierda nutrientes y genere efectos negativos en el agua, se estima una pérdida de 23 a 42 millones de toneladas de N y de 15 a 26 millones de toneladas de P fuera de las tierras agrícolas a nivel global; lo cual daña severamente la producción de alimentos y la seguridad alimentaria (3).

A nivel nacional la erosión hídrica ha afectado a diversas zonas en nuestro país, de acuerdo al Atlas de Erosión de Suelos por Regiones Hidrológicas del Perú (4), menciona que el territorio peruano está dividido en 14 regiones hidrológicas, de las cuales, la Región Atlántico 13 se encuentra ubicado en la zona centro y también en la zona sur de la Amazonía peruana, que a su vez está conformada por 14 Unidades Hidrográficas entre cuencas e intercuencas, logran hacer una extensión de 190 705.15 km² que tiene como promedio multianual de erosión de 58.2 Tn/ha/año, siendo calificado por la FAO, como una erosión de grado Alto. Este fenómeno afecta mayormente a las zonas altoandinas, ya que son estos ecosistemas los que proveen en su mayoría de alimentos a las grandes ciudades del pacífico, resulta en un serio problema ambiental.

Asimismo, en los últimos 20 años, el territorio peruano fue afectado en un 15% debido a la erosión, lo cual perjudicó a más del 11% de las personas en varias partes del país tanto económicamente por pérdida de cultivos, daños en principales vías de acceso y viviendas. De acuerdo con el Anuario de Estadísticas Ambientales si el territorio se sigue degradando hay probabilidad de que en el 2100 un aproximado del 64% del territorio peruano sea afectado por el proceso de la erosión. La región sierra es la más afectada con un grado de erosión severo en un 4.2% de su territorio (5).

Según el INGEMMET, en la región Junín existen muchos sectores en los que existen Flujos y Erosión de Laderas, principalmente en materiales de fácil susceptibilidad a la erosión pluvial, éstos generan flujos de lodo que interrumpen carreteras, así como también afectan las áreas de cultivo, uno de los casos que se mencionan es en la Comunidad Campesina San José de Villano del Distrito de Masma, Provincia de Jauja, que producto de la deforestación la zona es afectada por el discurrir del agua superficial (6).

De acuerdo al INGEMMET en el Mapa de las Zonas Críticas en la región Junín, se muestra una distribución de 58 zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos (Derrumbes, flujos de detritos, deslizamiento y erosión) y su ubicación por provincias, en la que se observa que la mayor cantidad de estos peligros ocurre en la Provincia de Concepción (6).

En la región Junín, las provincias que presentan mayores zonas críticas son la provincia de Chanchamayo y Concepción con un total de 12 zonas, luego le sigue la provincia de Tarma con una total de 10 zonas, Satipo presenta un total de 8 zonas críticas, la provincia de Huancayo tiene un total de 6 zonas críticas identificadas, la provincia de Yauli con 4 zonas críticas y las provincias de Chupaca, Jauja, Junín presentan solo dos zonas críticas.(6)

Situación por la cual, con la presente tesis se pretende evaluar la erosión hídrica en la cuenca del río Tulumayo ya que es una de las principales unidades hidrográficas del departamento de Junín, con una topografía irregular debido a que se encuentra rodeada de relieves de montañas y colinas que van desde 850 msnm hasta los 5000 msnm, pasando por varios pisos altitudinales y diversos tipos de ecosistemas, convirtiéndose en un corredor económico y biológico, útil para los habitantes de los distritos de las provincias de Chanchamayo, Jauja y Concepción, y al existir erosión hídrica en la cabecera de cuenca los suelos se van degradando, afectando la productividad de las tierras, y consecuencia de ello los productores siguen ampliando sus fronteras agrícolas afectando el patrimonio forestal y de fauna silvestre existente.

Es por ello, que se tiene las siguientes preguntas de investigación:

1.1.1. Problema general

¿Cuál es el grado de erosión en la cabecera de cuenca del Río Tulumayo?

1.1.2. Problemas específicos

¿Cuál es el efecto de la precipitación en el proceso de erosión hídrica en la cabecera de cuenca del Río Tulumayo?

¿Cómo influye la pendiente en la erosión hídrica de la cabecera de cuenca del Río Tulumayo?

¿Cuál es el estado de la cobertura vegetal en el proceso de erosión hídrica en la cabecera de cuenca del Río Tulumayo?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivos generales

Determinar el grado de erosión hídrica en la cabecera de cuenca del río Tulumayo.

1.2.2. Objetivos específicos

Describir la influencia de la precipitación en la erosión hídrica de la cabecera de cuenca del río Tulumayo.

Analizar la influencia de la pendiente en la erosión hídrica de la cabecera de cuenca del río Tulumayo.

Describir el estado de la cobertura vegetal en el proceso de la erosión hídrica en la cabecera de cuenca del río Tulumayo.

1.3. Justificación e Importancia

Se desconoce el ámbito y extensión superficial de la cabecera de cuenca del río Tulumayo en la provincia de Concepción, sin embargo, se sabe que son afectados por la erosión hídrica en temporadas donde se registra mayor intensidad de precipitaciones que a su vez aumenta la potencialidad de la ocurrencia de la erosión hídrica en ámbitos con pendientes inclinadas y empinadas, desprovistas de cobertura vegetal y en suelos degradados, causando desgaste y pérdida de suelos.

Por esta razón la presente investigación contribuye a delimitar la cabecera de cuenca del río Tulumayo según el Marco Metodológico de Criterios Técnicos para la Identificación, Delimitación y Zonificación de Cabecera de Cuenca, aprobado por el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego mediante Decreto Supremo N°014-2021-MIDAGRI (7), y la determinación de la erosión hídrica del suelo mediante el método USLE utilizando herramientas geotecnológicas

como el sistema de información geográfica SIG y la teledetección satelital para tener resultados cuantitativos sobre la erosión hídrica y ubicar las áreas que presentan mayor pérdida. Existe un mayor riesgo de erosión por erosión hídrica del suelo lo cual provoca a la ocurrencia de deslizamiento de masas y perjudica tanto a la economía local e infraestructura de una zona, por el bloqueo de vías de comunicación. El estudio de fenómenos de erosión hídrica y áreas con mayor riesgo de ocurrencia ante este problema es importante para poder mitigar o evitar sus efectos (8).

También contribuye a contar con una base de datos e información procesada a través de mapas y cálculo de la erosión hídrica para la Gestión de Riesgos a cargo del CENEPRED, como bases para investigaciones de riesgos geológicos como deslizamiento de masa realizado por el INGEMMET y para ser considerados en diferentes instrumentos de gestión territorial como para la actualización de la Zonificación Económica y Ecológica ZEE Junín, procesos regionales y locales de Ordenamiento Territorial, así como para la formulación y ejecución de proyectos en la que realicen prácticas de conservación y recuperación de suelos que disminuyan los efectos de la erosión en el proceso de degradación de la cabecera de cuenca, útil para AGRO-RURAL del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego - MIDAGRI, Gobierno Regional Junín y gobiernos locales, quienes como autoridades tomadoras de decisiones puedan hacer una gestión adecuada contribuyendo a la Planificación del territorio.

1.4. Descripción de variables

1.4.1. Operacionalización de variables

1.4.1.1. Operacionalización

Tabla 1.Operacionalización de variables

Matriz de Variables					
Tipo de Variable	Variables	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Método
Variables dependientes	Erosión hídrica	Es un proceso donde se va perdiendo suelo debido a diversos agentes.	Variación de erosión hídrica	Grado de erosión: Muy alta Alta Moderada Baja	USLE
	Erodabilidad	Es el grado de sensibilidad que tiene el suelo para ser erosionado ya sea por la acción de agua o del viento.	Incremento de erodabilidad	Valores de erodabilidad: Alta Media Baja	USLE
	Erosividad	Es la capacidad que tienen las precipitaciones en función a su intensidad y duración para lograr la erosión hídrica.	Incremento de erosividad	Valores de erosividad: Alta Media Baja	USLE
Variables independientes	Cobertura Vegetal	Es una capa amortiguadora que contrarresta el impacto de la energía potencial de las gotas de lluvia, y reduce la velocidad del agua en movimiento.	Reducción de Cobertura Vegetal	Tipo de Cobertura Vegetal: Zona agrícola Pastizales Matorrales Bosques Sin cobertura	Método Corine Land Cover

	Precipitación	Es una partícula líquida o sólida (hidrometeoro) que se encuentra en suspensión en la atmósfera que llega a precipitarse por acción de la gravedad; llegando a aportarse en la superficie terrestre.	Aumento de Precipitación	Nivel precipitación: Alta Media Baja	ISOYE TAS, SIG
	Pendiente	Es el ángulo que se forma entre el plano horizontal y tangente a la superficie del terreno en un determinado punto.	Incremento de pendiente	Nivel de pendiente: Plano Inclinado Empinado	SIG

Fuente: Elaboración propia (2023)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes Nacionales

En la tesis: “Evaluación de la erosión hídrica en tres tipos de uso de suelo en la microcuenca Pomacochas” (9), tuvo como objetivo principal evaluar la erosión en tipos de uso de suelo como el Sistema de pasto cultivado, sistemas de pasto enmalezado y sistema silvopastoril, así como también hallar si existe relación entre la escorrentía y precipitaciones, y si existen otros factores que logran influir en el proceso de erosión en la microcuenca. Para desarrollar la investigación, en la metodología se usaron 12 parcelas con diversos tratamientos que se repitieron 4 veces durante la época lluviosa de la región. Durante el experimento se observó que la escorrentía tuvo un cambio significativo entre los sistemas. El sistema que tuvo mejores resultados fue el sistema silvopastoril debido a que disminuyó un 82% de la escorrentía y la erosión se redujo a la mitad. Demostrando de esta manera que este sistema representa ser una buena opción como estrategia para la conservación tanto del suelo y del agua, y sirve justamente a la tesis como una opción a tomar en cuenta para su implementación ya que genera menos pérdidas.

En la investigación: “Evaluación de la erosión hídrica utilizando como cobertura vegetal el cultivo de Camote” (10). Realizado en una ladera de la selva central de nuestro país, en la cual para el desarrollo de la metodología se utilizaron parcelas para analizar la escorrentía con lluvia natural, en 5 tratamiento distintos que estuvieron a favor de la máxima pendiente: vegetación natural, cultivo de camote en surcos, cultivo de camote en surcos en contorno con aporque, cultivo de camote en surcos en contorno sin aporque y suelo desnudo, en pendientes de 30%, 35%, 40%, 45%, 50% y 60% respectivamente. Como era de esperarse el suelo desnudo tuvo mayores pérdidas de suelo y presentó valores altos en escorrentía. Y para los tratamientos donde hubo cobertura hubo una considerable reducción en el tratamiento con pendiente del 50% y en comparación al de suelo desnudo con un 82% en pérdida de suelo y un 52% menos de escorrentía. En esta zona de estudio se demostró que la cobertura del camote sirve como estrategia para disminuir pérdida de suelo y pérdidas de agua. Puede ser una opción para tomar en cuenta en la presente investigación, pero por el tipo de suelo y por la altura de la zona, sería complicado aplicarla ya que probablemente el cultivo no se adapte a las condiciones del lugar.

En la investigación: “Estimación de la erosión hídrica para la conservación de suelo en la cuenca Huatatas en Ayacucho” (11), tuvo como objetivo el cuantificar y conocer las zonas que se encuentran en situación de vulnerabilidad por erosión hídrica. Se desarrolló la metodología

a partir del recojo de información de los diversos factores del modelo USLE como datos meteorológicos, relieve o topografía, cobertura vegetal y textura del suelo de la zona de estudio para así generar más información a través de herramientas SIG para dar una clasificación de acuerdo con los rangos establecidos por la FAO. En el análisis de la información procesada en mapas se obtuvo que el área de la cuenca Huatatas tiene una calificación de severa y muy severa, en consecuencia, se propuso medidas que contrarresten este fenómeno que causa la pérdida de suelo. Para la investigación se utilizó métodos como zanjas de infiltración y terrazas, plantación de pinos para zonas donde la pendiente era mayor. Otro resultado que la investigación determinó fue la fuerte relación de las zonas de mayor erosión con las zonas donde la pendiente es fuerte. Lo cual favorece a la hipótesis de la investigación, ya que como investigadores hay unas razones para creer que la relación de estas variables es fuerte.

En la investigación: “Determinación del riesgo de erosión hídrica en la cuenca del río Rímac durante el Fenómeno El Niño 2016-2017” (12), que tuvo como principal objetivo determinar el riesgo de erosión hídrica en la zona mencionada. Para ello se usó el modelo Corine para ver el comportamiento de la erosión tanto potencial y actual, para ello se obtuvo información de cuatro factores: cobertura vegetal, erosividad, topografía y erodabilidad, a su vez se utilizaron imágenes satelitales para la elaboración de mapas. El análisis de la información arrojó que la zona posee una extensión de 121 831 hectáreas. En erosión potencial en la zona el 63% del terreno posee una calificación Alta, el 16% del terreno posee una erosión moderada y el 21% de calificación Baja. En los resultados de erosión actual, el 43% del área de la zona presenta un indicar Alto, mientras que el indicar Moderado posee un porcentaje de 33% del terreno total y un nivel Bajo lo posee el 24% restante del terreno. Para esta investigación uno de los factores determinantes y desencadenantes de la erosión hídrica es la precipitación, a su vez la cercanía que existe a la cordillera de Los Andes hace que esta zona este constantemente expuesta a las lluvias que es característico de la sierra peruana. La investigación también coincide con el planteamiento de que el factor precipitación es el principal factor que va a desencadenar el proceso de erosión y es importante porque sirve de base para esta investigación.

En la tesis: “Análisis temporal del nivel de la erosión hídrica de la subcuenca del río Ichu 2013 y 2017” (13). El estudio se desarrolló en una pequeña cuenca del río Ichu con un área de 138,317.2 ha y se ubica entre las coordenadas geográficas UTM 501381.5 m (X) y 8586997.9 m (Y). El propósito general fue estimar la extensión de la erosión hídrica en la cuenca del río Ichu en 2013 y 2017. Los métodos comunes utilizados fueron el análisis e integración del método de Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) y el análisis espacial utilizando el Sistema de Información Geográfica (SIG). Los resultados concluyen que hubo fluctuaciones

extremas entre 2013 y 2017 debido a dos factores muy importantes: la cobertura vegetal y las precipitaciones.

La tesis: “Erosión Hídrica Media Anual en la Unidad Hidrográfica del Río Seco, Tarma - Junín” (14), tuvo como objetivo calcular la erosión hídrica media anual en la unidad hidrológica del río seco, para ello se aplicaron la Ecuación Universal de Perdida de Suelo (USLE), la unidad hidrográfica del río Seco tiene un área de 16478.58 ha, de la cual el 0.93% la erosión es nula o ligera, el 11,15% es erosión moderada, el 30,25% erosión alta y el 57.67% es erosión muy alta. Se menciona que si el suelo no tiene protección alguna provocaría que las gotas de lluvia sean el principal favor de la erosión.

La tesis: “Influencia de la cobertura vegetal en la erosión hídrica de suelo en la comunidad de San Mateo, Perú” (15), tuvo como objetivo evaluar la pérdida de masa de suelo por la erosión hídrica en la comunidad de San Mateo, Lima. El estudio se desarrolló entre setiembre del 2015 a agosto del 2016. Para el estudio se utilizaron 16 varillas por cada parcela en cuatro bloques y en cuatro tratamientos, que justamente sirvió para indicar la pérdida de masa de suelo con un total de área de 129,96 m². Se utilizó un diseño al azar y como Tukey como prueba de hipótesis al 95%, ello para determinar la diferencia entre los 4 tratamientos. Los resultados obtenidos indican que en las parcelas con cobertura vegetal nativa como *Festuca amethystina* produjo en comparación con otros tipos de cobertura la menor pérdida por erosión con un 10901 t/ha-año. El investigador concluye así que esta cobertura actuó como un eficiente protector del suelo tanto así que disminuyó considerablemente la erosión hídrica.

La tesis: “Mitigación de la erosión hídrica para la conservación del suelo en la subcuenca del río Ichu, Huancavelica” tuvo como objetivo plantear una propuesta de mitigación de la erosión hídrica para la conservación del suelo y para ello, se utilizó la Ecuación universal de pérdida de suelos revisada, así como sistemas de teledetección, herramientas SIG e información satelital (16). Los resultados obtenidos fueron un nuevo mapa de uso de suelo y con ello un nuevo factor C y debido a una nueva práctica de conservación un nuevo factor P. Los mapas indican pérdidas de suelo 22,7 a 23,7 t/ha-año, las nuevas prácticas de conservación permitirán reducir el impacto a un 21.7 y 22.1 t/ha-año en dos de los 4 escenarios. Concluyendo así que las buenas prácticas de conservación ambiental influyen significativamente en el impacto de la erosión hídrica. Asimismo, la información generada servirá como base para la implementación de estrategias ante este fenómeno.

La Tesis, “Determinación de la Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Chicama, 2021” (17), ubicado en la parte sierra de La Libertad. Tuvo como objetivo determinar la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Chicama mediante la metodología

RUSLE, obteniendo como resultado que el nivel predominante de pérdida de suelo en la cuenca del río Chicama es Baja con valores entre 0 – 5 tn/ha/año para el 73.89% de su superficie, así mismo mencionan que las subcuencas Medio Alto Chicama, Medio Bajo Chicama y Medio Chicama, presentan un mayor nivel de erosión hídrica y esto se debe a las fuertes precipitaciones a la cual están expuestas por la altitud que se encuentran y a la cobertura vegetal.

En la Tesis, “Estimación de la erosión hídrica aplicando la metodología RUSLE con técnicas de teledetección en la cuenca del río Tumbes 2000-2022” (18), se determinó la tasa de erosión hídrica en la cuenca del río Tumbes, mediante la metodología RUSLE y técnicas de teledetección, la cual tuvo como resultado una tasa de erosión actual baja, es decir, 5.06 tn/ha/año, la mayoría de la cuenca (58.16%) presenta pérdidas menores a 5 tn/ha/año y en menor porcentaje (0.25%) erosión mayor a 200 tn/ha/año. En la parte media y alta de la cuenca los niveles de erosión son media, alta, muy alta y crítica debido mayormente a la poca vegetación ya que este ofrece protección y amortiguamiento.

La tesis “Erosión hídrica del suelo como efecto de la precipitación pluvial del fenómeno del niño costero en la Subcuenca Huancay, Chicama 2017” (19), tuvo como objetivo determinar la cantidad del suelo perdido en función a la erosión hídrica como consecuencia de la precipitación pluvial debido al fenómeno del niño costero utilizando el método RUSLE. Para el estudio se recopiló información del satélite Landsat, en conjunto con información de 7 estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la zona de estudio. Como resultado de toda la extensión de la zona de estudio se obtuvo que en un 13.8% en un nivel muy ligero, 5% en nivel ligero, 23.5% de nivel fuerte y 57.7% con un nivel severo de erosión hídrica.

2.1.2. Antecedentes Internacionales

En el artículo: “Riesgo de Erosión Hídrica y Estimación de pérdida de suelo en paisajes geomorfológicos Volcánicos en México”(20), tuvo como objetivo evaluar el riesgo de erosión hídrica y pérdida de suelos en paisajes geomorfológicos volcánicos de la cuenca del río Mololoa, Nayarit, México, para ello utilizaron la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, en la que mencionan que el 57,6% de los paisajes geomorfológicos del área de estudio son las unidades Sierras de San Juan, Volcan, Sanganguey y Tepeltitit presentan riesgo de erosión muy alto y alto, de los cuales el 66% del área de estudio presenta afectación por erosión hídrica; el 13.7% presenta erosión muy alta, el 16.6% presenta erosión hídrica moderada y el 35,7% presenta pérdidas de suelo menores a 10 t/(ha*año). Este artículo aporta en la tesis ya que consideran que la intensidad de la erosión hídrica está influenciado más que nada por la Cobertura Vegetal, ya que al aumentar la cobertura vegetal disminuye exponencialmente la tasa de erosión hídrica.

La investigación desarrollada por Vega (21), en la provincia de Mayabeque se evaluó cualitativamente la erosión en los suelos de Cuba mediante la metodología Corine, desarrolló la metodología teniendo en cuenta todos los factores del método, elaborando mapas temáticos que demuestran la presencia de este fenómeno. Y mediante las herramientas SIG obtuvo un mapa de erosión potencial en su zona de estudio representado en clases según la intensidad de erosión. Como resultados se determinó que, en el distrito de Guayabal se obtuvo la clasificación de erosión baja, y erosión moderada y alta para diversos puntos del distrito de Nazareno. En el análisis al comparar estos dos distritos se obtuvo que ambos tenían la misma erosividad de la lluvia, dependía del relieve del distrito de Nazareno para tener una erosión potencial. Lo cual es un dato importante para la presente investigación, ya que, si bien es cierto la precipitación es el factor desencadenante en el proceso de erosión se debe tener en cuenta también otros factores como en este caso el relieve influye mucho para que una zona sea de alto potencial erosivo, o sea el relieve quien controle de alguna manera este proceso.

En la investigación realizada por Santos (22) sobre la estimación de la erosión hídrica en el suelo en la vertiente del Pacífico de Guatemala, y dentro de su metodología usaron el modelo USLE para hallar la erosión. Durante sus análisis observaron que los datos presentados por el MARN (Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales de su país) eran mayores a los obtenidos en su investigación, con una diferencia de 167 t/ha/año. Las principales razones para este suceso es la información más específica, como el detalle de las condiciones y el uso que tiene el terreno, así como los muestreos de suelo y datos de intensidades de precipitaciones en puntos específicos. De acuerdo con el uso de suelo se hallaron 3 cultivos como los granos básicos, café y matorrales con un porcentaje del 37.23% del área de toda la vertiente con una calificación de erosión muy alta, esto se debe a que los cultivos se encuentran en lugares donde la pendiente supera el 15%. Debido y gracias a esta información se toman en cuenta algunas estrategias que nos servirán para tomarlas en cuenta en las recomendaciones de nuestra investigación y de esta forma contribuir en la conservación de suelo, utilizar otras mejoras como el manejo de sombras, u otras estrategias para la reforestación de las zonas afectadas.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Erosión Hídrica

La erosión hídrica es causada por el desprendimiento y transporte del suelo por la lluvia, la escorrentía, el derretimiento de la nieve o el hielo y el riego (23). La erosión excesiva puede amenazar la producción de productos agrícolas y forestales. La erosión también puede afectar las estructuras de transporte y almacenamiento de agua y contribuir a la contaminación de las

superficies terrestres. La erosión hídrica puede ocurrir dentro de riachuelos, las áreas que están alrededor de los riachuelos, barrancos, áreas forestales y canales de arroyos.

Figura 1. Erosión hídrica



Fuente: Estudio Especializado: Análisis de los cambios de cobertura y uso de tierra.

La erosión hídrica es uno de los muchos factores que son dañinos para la productividad de las tierras agrícolas, lo que eventualmente hace que la tierra sea completamente inadecuada para la agricultura (24). Dependiendo de sus causas y etapas, existen diferentes tipos de erosión provocada por el agua. Para prevenir cualquier tipo de erosión hídrica y sus efectos adversos, el agricultor debe saber qué significa cada uno de esos tipos y cómo tratar el suelo para garantizar que nunca se produzcan problemas relacionados con el agua.

Afortunadamente, la agricultura moderna ofrece diferentes formas de ayudar a los agricultores a controlar la salud de su suelo. Estos incluyen el seguimiento de los parámetros de humedad y precipitación, lo que permite a los productores detectar la amenaza de degradación de la tierra por el agua y tomar las medidas necesarias de manera oportuna.

Las características de las precipitaciones, la topografía, los factores del suelo, el uso de la tierra y el clima son elementos importantes que afectan la erosión del suelo (21). Las medidas de conservación que se han utilizado eficazmente para reducir la erosión del suelo en áreas agrícolas incluyen contorneado, cultivo en franjas, labranza de conservación, terrazas, franjas de amortiguamiento y uso de poliacrilamida en áreas irrigadas. Se han desarrollado prácticas especializadas de control de la erosión para su uso en canales de arroyos, sitios de construcción y áreas forestales. Uno de los medios más eficaces para reducir la erosión es mantener una cubierta vegetal o de residuos en la superficie del suelo.

- Erosión por salpicadura: las gotas de lluvia pueden tener suficiente energía cinética cuando caen sobre el suelo, por lo que el impacto puede producir desprendimiento y movimiento aéreo de pequeñas partículas del suelo (25).
- La erosión laminar se produce por las fuertes lluvias en el suelo desnudo, donde el agua fluye como una hoja hacia el suelo con pendiente suave, eliminando las partículas del suelo en capas delgadas de manera más o menos uniforme (13).
- La escorrentía ocurre cuando la precipitación excede las tasas de infiltración del suelo. La turbulencia de la escorrentía superficial a menudo puede causar más erosión que el impacto inicial de la gota de lluvia (26).
- Las lluvias torrenciales o el derretimiento de la nieve crean agua corriente que elimina el suelo mediante la erosión de hojas, riachuelos o barrancos (24).
- La erosión de los arroyos se produce en arroyos discretos excavados en el suelo. Cuando los riachuelos se vuelven demasiado profundos para eliminarlos arando, se forman cárcavas (24).
- La erosión de barranco se produce cuando el agua fluye a lo largo de una depresión lineal que erosiona una zanja (26).
- La erosión de los arroyos o valles se produce cuando el agua fluye continuamente a lo largo de una característica lineal, erosionándose hacia abajo, extendiendo el valle hacia la ladera y a la vez profundizándolo.

En todas las etapas, la erosión más intensa ocurre durante las épocas de inundación, ya que una mayor cantidad de agua que se mueve más rápido puede actuar de manera más erosiva porque puede transportar una mayor carga de sedimentos (arcilla y limo como partículas suspendidas, granos lijados con arena como carga de saltación, y guijarros y cantos rodados como carga rodante / deslizante).

En las primeras etapas de la erosión de la corriente, la actividad erosiva es predominantemente vertical con un gradiente del corriente relativamente empinado que forma valles con una sección transversal típica en V (27). Cuando se alcanza algún nivel de base, la actividad erosiva cambia demasiado a la erosión lateral, lo que ensancha en el fondo del valle y crea una estrecha llanura aluvial. Cuando el gradiente de la corriente se vuelve casi plano, se forman meandros y se vuelve importante la deposición lateral de sedimentos.

A partir de la zonificación de USLE se define el grado de erosión hídrica aplicando la Clasificación Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos, confeccionada por FAO, PNUMA y UNESCO (1980) (1), que se define en cuatro categorías que se resumen en el cuadro 1.

Tabla 2. Grados de erosión hídrica real y potencial

Grado de erosión o Nivel Erosivo	t/ha/año
Ligera	0 - 10
Moderada	10 - 50
Alta	50 - 200
Muy Alta	Mayor a 200

Fuente: FAO – PNUMA – UNESCO, 1980

La ecuación universal para hallar la erosión hídrica por pérdida de suelo promedio anual:

$$E = R * LS * K * C \dots \text{(Ecuación 1)}$$

Donde

R : es el factor de erosividad de las lluvias, unidad MJ*mm/ha*año.

LS : es el factor medido de acuerdo con la longitud de la pendiente y a su inclinación, unidad %.

K : es el factor de erodabilidad del suelo, unidad t*ha*h/ha*MJ*cm

C : es el factor de la cobertura vegetal

2.2.2. Precipitación

La precipitación es cualquier agua líquida o congelada que se forma en la atmósfera y vuelve a caer a la Tierra. Viene en muchas formas, como lluvia, aguanieve y nieve. Junto con la evaporación y la condensación (20), la precipitación es una de las tres partes principales del ciclo global del agua. La precipitación se forma en las nubes cuando el vapor de agua se condensa en gotas de agua cada vez más grandes. Cuando las gotas son lo suficientemente pesadas, caen a la Tierra. Si una nube es más fría, como lo estaría en altitudes más altas, las gotas de agua pueden congelarse para formar hielo. Estos cristales de hielo luego caen a la Tierra en forma de nieve, granizo o lluvia, dependiendo de la temperatura dentro de la nube y en la superficie de la Tierra. La mayor parte de la lluvia comienza como nieve en lo alto de las nubes. A medida que los copos de nieve caen a través del aire más cálido, se convierten en gotas de lluvia.

Figura 2 Efecto de la precipitación



Fuente: CENEPRED, 2014

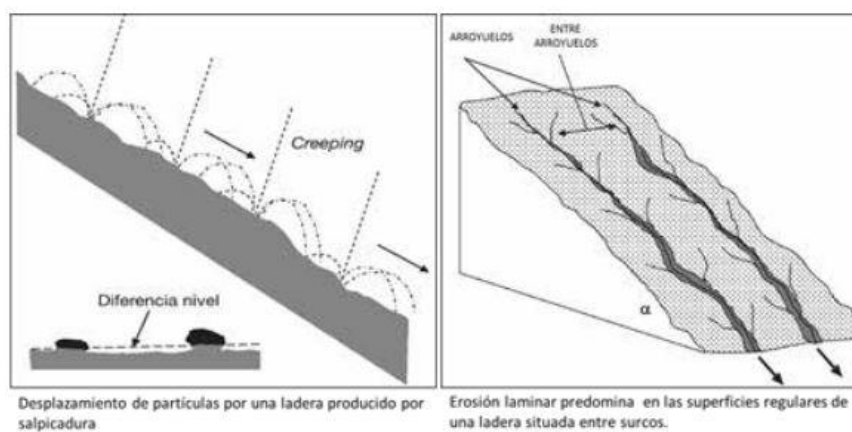
Las partículas de humo o polvo en la atmósfera son fundamentales para la precipitación. Estas partículas, llamadas "núcleos de condensación". Éstas proporcionan una superficie para la condensación del vapor de agua. Esto ayuda a que las gotas de agua se agrupen y sean lo suficientemente grandes como para caer a la Tierra (8). Un error común es que cuando caen las gotas de lluvia, tienen forma de lágrima. De hecho, las gotas de lluvia más pequeñas (las que miden aproximadamente 1 milímetro (0,039 pulgadas) de ancho) son casi perfectamente esféricas. Las gotas de lluvia más grandes (2-3 milímetros (.078-.118 pulgadas) de ancho) también son redondas, pero con una pequeña sangría en la parte inferior. Se parecen más a los frijoles cuando caen a la Tierra. Las gotas de lluvia muy grandes (más de 4.5 milímetros (.177 pulgadas) tienen una sangría enorme y se parecen más a un paracaídas. Estas gotas extragrandes generalmente terminan dividiéndose en dos gotas más pequeñas. Las marcas en las gotas de lluvia son causadas por la resistencia del aire.

La precipitación es siempre agua dulce, incluso cuando se origina en el océano. Esto se debe a que la sal marina no sufre evaporación, solo el agua. Sin embargo, algunos agentes contaminantes que se encuentran en la atmósfera pueden contaminar las gotas de agua antes de que caigan a la Tierra (2). La precipitación que resulta de este fenómeno se llama lluvia ácida. La lluvia ácida no daña directamente a los humanos, pero puede hacer que los arroyos y lagos sean más ácidos. Esto daña gravemente los ecosistemas acuáticos porque los animales y las plantas no pueden adaptarse a la acidez.

2.2.3. Pendiente

Aunque la pendiente tiene una poderosa influencia sobre la erosión, la presencia de erosión y fuerte escorrentía en pendientes suaves (2% en el Sahel o en las tierras altas europeas) indica que este fenómeno puede ocurrir sin necesidad de una pendiente pronunciada: la acción de la lluvia es suficiente (8). La influencia de la pendiente en el desarrollo de las laderas es bien conocida por los geomorfólogos, por lo que algunos de ellos incluso especificarían la edad del paisaje en términos de la pendiente y la forma de sus laderas. Laderas escarpadas y los valles profundos se encuentran en una forma de relieve joven como los Alpes, mientras que, en una forma de relieve adulta y senil, como en el viejo continente africano, hay mesetas, pendientes suaves, frontones y vastas penillanuras.

Figura 3 Pendiente y erosión



Fuente: CENEPRED, 2014

Estimar la influencia de la concavidad, convexidad, regularidad o alabeo de una pendiente es un procedimiento muy delicado. Este factor se descuida con demasiada frecuencia, lo que explica en gran parte por qué los autores obtienen resultados tan divergentes (21). A medida que las parcelas erosionadas envejecen y están expuestas a una erosión severa, se vuelven cada vez más cóncavas, ya que la base de la parcela permanece fija (el canal de escorrentía) y la mitad de la parcela se erosiona más rápidamente que la parte superior. Esto significa que cada año se debe reajustar la pendiente de las parcelas para que los resultados no se falsifiquen por defecto.

Según Wischmeier (1974), con una pendiente media suave, el transporte de sedimentos se reduce en una pendiente deformada o cóncava (debido a la sedimentación localizada), pero aumenta en una pendiente convexa debido al gradiente de la porción más empinada. La presencia de pendientes cóncavas en un paisaje indica que debe haber atrapamiento,

sedimentación y depósito coluvial en el valle (Almorox Alonso 1994). En general, la erosión en la ladera excede el transporte de sedimentos en el río, aunque este no es el caso en el área mediterránea, donde la principal causa del transporte de sedimentos es la energía y el volumen de escorrentía (Heusch 1971; Arabi y Roose 1989).

A medida que aumenta el gradiente, la energía cinética de la lluvia permanece constante, pero el transporte se acelera hacia el pie a medida que aumenta la energía cinética de la escorrentía y supera la energía cinética de la lluvia cuando la pendiente (S) excede el 15% (2). En 1940, Zingg demostró que la pérdida de suelo aumenta exponencialmente con el gradiente de la pendiente. En Estados Unidos el exponente es 1.4:

$$E = KS^{1.4} \dots \text{(Ecuación 2)}$$

Todas las pendientes naturales están sujetas a continuas fuerzas de erosión. Ya sea que la pendiente se haya formado recientemente como parte de un nuevo desarrollo o se encuentre en su estado natural original, es posible que se requiera alguna forma de protección contra la erosión.

Para el sub-factor L se tienen las ecuaciones.

$$L = \frac{(A(i,j)+D^2)^{m+1} - A(i,j)^{m+1}}{D^{m+2}(22.13)^m} \dots \text{(Ecuación 3)}$$

$$m = \frac{F}{(1+F)} \dots \text{(Ecuación 4)}$$

$$F = \frac{\text{sen}\theta / 0.0896}{3(\text{sen}\theta)^{0.8} + 0.56} \dots \text{(Ecuación 5)}$$

Donde:

L : es el factor de longitud de pendiente

A(i,j) : es el área aportador unitaria a la entrada de un pixel y D es el tamaño de un pixel del ráster usado.

m : es un exponente adimensional

\theta : es la pendiente en grados, él mismo que multiplicado por 0.01745 para conseguir el ángulo en radianes

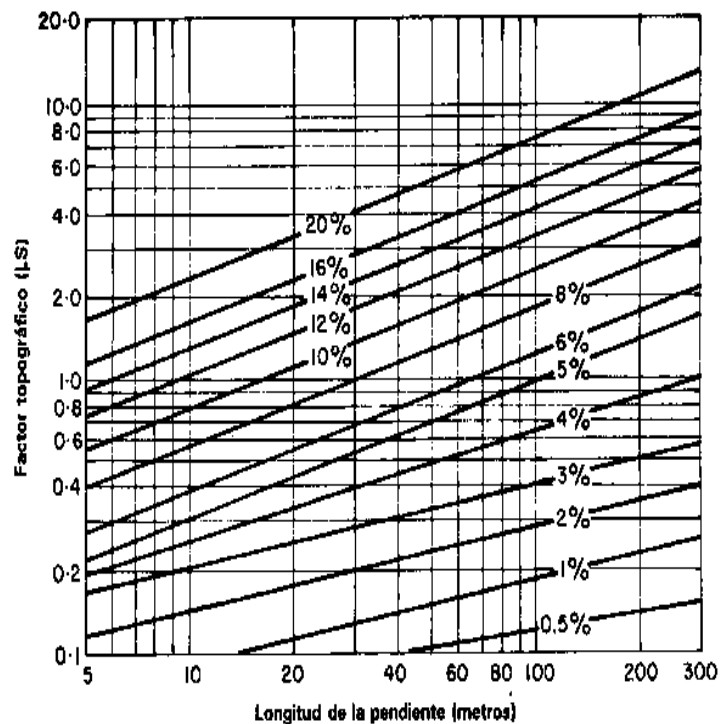
Para el sub-factor S se tiene la ecuación:

$$S = \begin{cases} 10.8 * \text{sen}\alpha(i,j) + 0.03 & \text{tan}\alpha(i,j) < 0.09 \\ 16.8 * \text{sen}\alpha(i,j) + 0.5 & \text{tan}\alpha(i,j) \geq 0.09 \end{cases} \dots(\text{Ecuación 6})$$

La erosión del suelo por el agua está muy influenciada por la longitud y la gradiente (porcentaje) de pendiente.

En la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo los factores de longitud de la pendiente L y la inclinación de la pendiente S se combinan tal como se indica en la siguiente Figura:

Figura 4 Nomograma del Factor Topográfico. Factor pendiente/longitud combinando en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (de USDA, 1978



Fuente: Wischmeier y Smith, 1965. Adaptado por M.H. Koolhaas, 1977

2.2.4. Erodabilidad o erosionabilidad

La erosionabilidad del paisaje es la propensión de un paisaje a ser erosionado por la labranza y es un gradiente de pendiente de unión (Θ), curvatura de pendiente (\emptyset) y propiedades físicas del suelo (23). La erosionabilidad de un suelo como material con mayor o menor grado de coherencia se define por su resistencia a dos fuentes de energía: el impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo y la acción cortante de la escorrentía entre terrones en surcos o riachuelos.

Los primeros estudios sobre la erosionabilidad de los materiales fueron realizados por Hjulström en canales. El diagrama de Hjulström muestra que hay tres sectores, según la velocidad del agua y el diámetro de las partículas del suelo. El análisis del sector de erosión muestra que el diámetro de las partículas de la materia más frágil es de unas 100 micras, es decir, arena fina (8). Con materia más fina, la cohesión se desarrolla simplemente a medida que las superficies de las arcillas se frotan entre sí, mientras que los grupos más gruesos se vuelven cada vez más pesados y, por lo tanto, más difíciles de transportar.

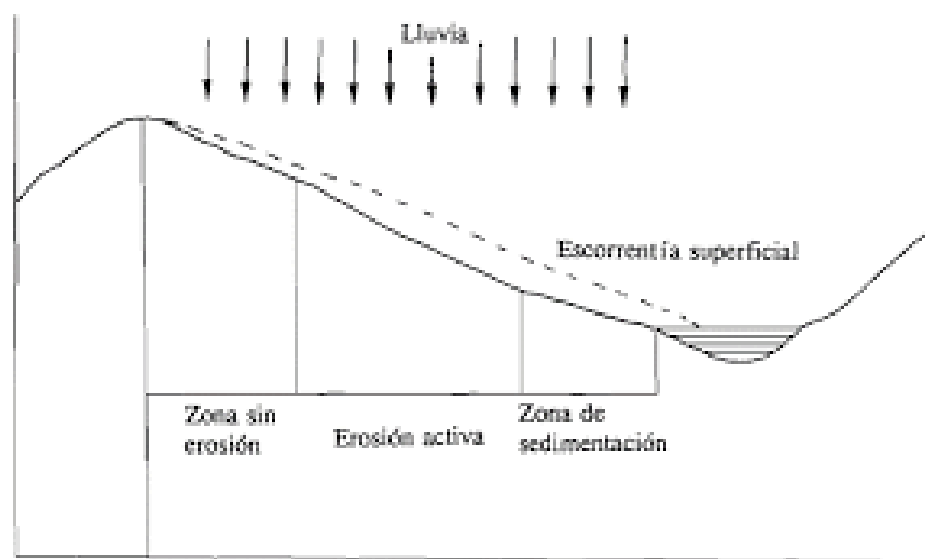
Este tipo de juicio se ocupa de Resistencia a la fuerza erosiva del río o la escorrentía en un ambiente húmedo. Los científicos del suelo se han dado cuenta de que los suelos reaccionan a diferentes velocidades al ataque de las gotas de lluvia y la degradación estructural. Se ha realizado toda una serie de pruebas de laboratorio y de campo para tratar de definir la estabilidad estructural con respecto al agua, por ejemplo, las cápsulas de Ellison (1944) donde los agregados tamizados se exponen a la energía de las gotas de lluvia, la prueba de estabilidad estructural de Hénin (Hénin y Monnier 1956) donde los agregados se sumergen y tamizan bajo el agua, la prueba de gota de agua donde los terrones graduados (30 gr) se exponen a gotas de agua que caen desde una altura específica (McCalla 1944) o la prueba de dispersión de Middleton (28) que busca comparar el contenido de partículas de forma natural dispersado en agua con y sin dispersante.

2.2.5. Erosividad

La alta erosividad de las lluvias puede atribuirse a fuertes tormentas de intensidades comparativamente altas y, a menudo, de larga duración. El potencial de erosión de la superficie del suelo (8). En un contexto eólico, esto se refiere a la energía y fuerza eólica. En términos simples, los vientos de baja velocidad tienen menos (o ningún) potencial erosivo en comparación con los vientos más fuertes. En términos generales de transporte eólico, cuando la erosividad excede la erosionabilidad, se producirá un movimiento de sedimentos.

Erosividad es el término utilizado para describir el potencial del impacto de las gotas de lluvia, la escorrentía del deshielo o el agua aplicada con un sistema de riego por lluvia para desprender y erosionar el suelo. En la escala más pequeña, la erosión comienza por uno de dos procesos: el impacto y el desprendimiento de las gotas de lluvia, donde una partícula del suelo se desprende físicamente y, a menudo, se rompe en pedazos más pequeños, o se apaga (29). El resultado de estos dos procesos, que generalmente ocurren simultáneamente, es que estas partículas de suelo más pequeñas se mueven cuesta abajo y llenan los poros a través de la superficie del suelo y las áreas de baja retención. El resultado es una disminución de las tasas de infiltración de agua y la pérdida de sitios donde el agua podría estancarse e infiltrarse.

Figura 5 Atlas de Erosividad



Fuente: Atlas de Erosión de Suelos por Regiones Hidrogeológicas del Perú

El agua que no se infiltra se acumula en depresiones. Cuando la depresión se llena hasta el nivel de la grieta o abertura más baja entre los elementos de rugosidad, el agua fluirá a la siguiente depresión de la pendiente descendente. A medida que aumenta el volumen, se formará un pequeño riachuelo. Una unión de estos riachuelos forma un canal continuo más grande llamado riachuelo. Los surcos son conductos muy eficientes para eliminar el agua y el suelo de las laderas (26). Aunque el siguiente paso en este proceso depende de la topografía de la ladera y la cantidad de lluvia, los arroyos generalmente tienden a conectarse geoméricamente hacia abajo para convertirse en canales de flujo concentrados.

Los barrancos efímeros son canales de flujo concentrados que son lo suficientemente pequeños como para que la labranza o las prácticas de manejo posteriores los llenen con tierra del campo

circundante. Este tipo de erosión es común en campos cultivados para la producción de cultivos o pastos, donde la superficie del suelo está desnuda durante períodos de unas pocas semanas a varios meses (24). El siguiente tipo de erosión es el barranco clásico, que es una excavación que puede comenzar desde un barranco efímero o una disminución en la elevación de la base de una vía fluvial existente. El desarrollo completo depende de una elevación de la base más baja y los procesos resultantes de caída y corte de cabeza para excavar grandes volúmenes de suelo que se pueden lavar. Los barrancos clásicos son difíciles y costosos de controlar o rehabilitar. Pueden dividir las tierras cultivadas en campos tan pequeños que no pueden cultivarse.

Grandes áreas de tierras de cultivo abandonadas en el Piamonte en el sureste de los Estados Unidos desde 1860 hasta 1920 sufrieron una erosión extrema en barrancos. En el peor de los casos, los barrancos pueden provocar el desplazamiento de granjas individuales y aldeas enteras (13). Los barrancos más pequeños se ven comúnmente donde se encuentran capas restrictivas en tierras forestales que se han convertido en tierras de cultivo.

Los procesos de destrucción masiva están asociados con las laderas de las colinas y montañas. Los ejemplos de erosión por pérdida de masa o movimiento de masa ocurren como escombros o flujos de lodo, derrumbes rotacionales y deslizamiento del suelo, cuyas descripciones se pueden encontrar en otra parte. El impacto que estos eventos tienen sobre los procesos ecológicos depende de su magnitud, extensión y frecuencia (8). Grandes eventos, como caída de escombros y corrientes de lodo asociados con erupciones volcánicas, esencialmente cambiar la trayectoria ecológica de las comunidades de plantas y animales en las áreas afectadas.

A escalas más pequeñas, las grandes tormentas pueden crear una multitud de pequeños escombros y corrientes de lodo o depresiones rotacionales que causan perturbaciones locales o destrucción de plantas y animales, pero con el único efecto duradero o crónico es la eliminación de los escombros o el lodo depositado al pie de una pendiente y en o cerca de un canal de corriente activo (21). El proceso de arrastre del suelo provocado por el proceso de saturación del suelo junto con el suelo sobre las capas que obstaculizan el perfil del suelo (característica física o suelo congelado), aunque es crónico, tiende a ocurrir a un ritmo que influye, pero no perturba las comunidades de plantas y animales.

El factor erosividad se halla mediante:

$$R = 21.56 * IMF^{0.927} \dots \text{(Ecuación 7)}$$

Donde:

IMFE: es el índice modificado de Fourier y se determinan de la siguiente fórmula.

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \frac{pi^2}{P} \dots \text{(Ecuación 8)}$$

Donde:

Pi: Precipitación del mes i (mm)

P: Precipitación total anual (mm)

2.2.6. Cobertura Vegetal

La cobertura vegetal es aquella capa que puede ir desde simple pastizales a complejos bosques que han sido formados de forma natural o con la ayuda de la mano del hombre como los cultivos, que cuyo objetivo es el de cubrir el suelo de forma temporal o permanente con diversas especies, algunas mejoran las condiciones de fertilidad del suelo debido a esto uno de los propósitos de promover la utilización de los cultivos de cobertura ha sido el poder de reducir la dependencia de fertilizantes de síntesis química.

Tabla 3. Índices de factor C de acuerdo con la cobertura vegetal

Símbolo	Descripción	Factor
HhCaE	Herbazal Húmedo en colinas altas empinadas	0.028
HhCmME	Herbazal Húmedo en Colinas Medias Moderadamente Empinadas	0.028
HMhCcaE	Herbazal y Matorral Húmedo en Colinas Altas Empinadas	0.038
HMhCcAE	Herbazal y Matorral Húmedo en Colinas Atlas Empinadas	0.038
MmHMbE	Matorral Muy Húmedo en Montañas Bajas Muy Empinadas	0.076
SD	Suelos Desnudos	1
Cl	Cultivos	0.4
AR	Afloramiento	1
CP	Centros Poblados	1
PF	Plantación Forestal	0.014

Fuente:(30)

2.2.7. Tipo de Suelo

Los tipos de suelo de acuerdo con la textura del suelo se define como las partículas que se encuentran en un diámetro menor a los 2 milímetros, propiamente dicha de la tierra fina, y de acuerdo con esto podemos encontrar texturas de tipo limosas, arenosas y arcillosas dependiendo el diámetro que tengan las partículas. En el cuadro siguiente se muestra a detalle de acuerdo con diversos sistemas de clasificación, pero la más aceptada y con la que más se trabaja es la clasificación USDA (Departamento de Agricultura de Estado Unidos).

Tabla 4. Textura del suelo

Separado	Rango de diámetro de partícula (mm)		
	USDA	ISSS*	DIN y BSI**
ARENA	2 – 0.05	2 – 0.02	2 – 0.08
LIMO	0.05 – 0.002	0.02 – 0.002	0.08 – 0.002
ARCILLA	< 0.002	< 0.002	< 0.002

* Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo

** DIN: Instituto Alemán de Estándares; BSI: Instituto Británico de Estándares.

Fuente: Introducción a la ciencia del suelo

El factor K, que representa el grado que posee el suelo a ser susceptible a la erosión.

Para este factor se relaciona tanta textura del suelo, presencia de materia orgánica, permeabilidad. Para hallar dicho factor se hace uso de monogramas (Sharpley & Williams, 1990).

$$100K = 0.1317 * [2.1 * (M^{1.14} / 10000) * (12 - a) + (3.25(b - 2) + 2.5(c - 3))] \dots (\text{Ecuación 9})$$

Donde:

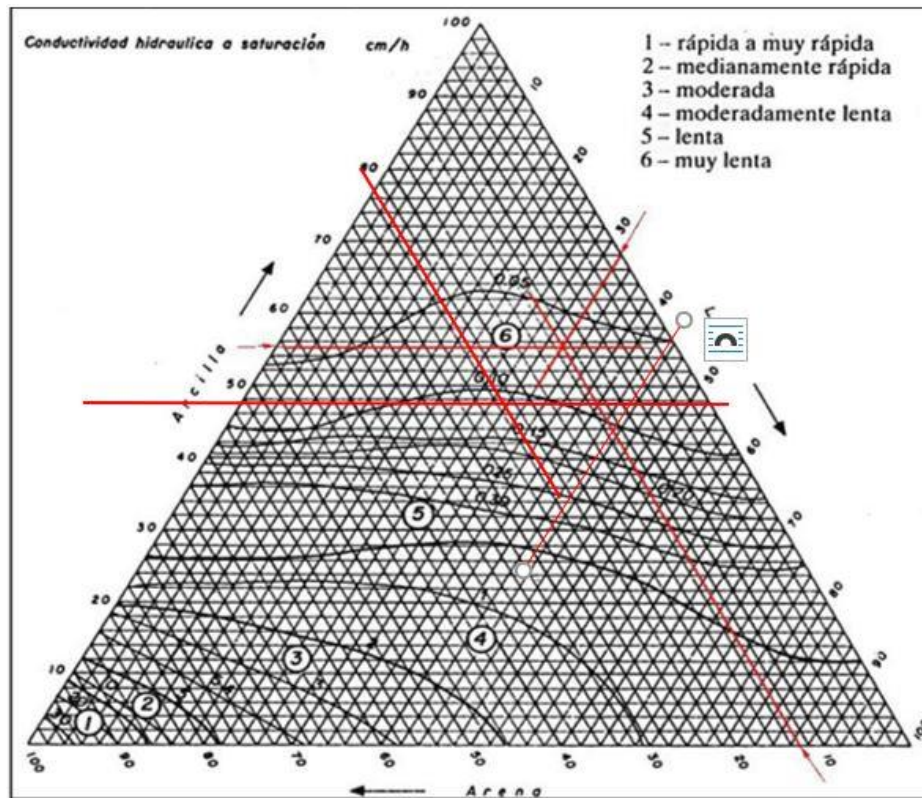
$$M = (\% \text{Limo} + \% \text{arena muy fina}) * (100 - \% \text{arcilla})$$

a = Materia Orgánica (%)

b = Clase de estructura

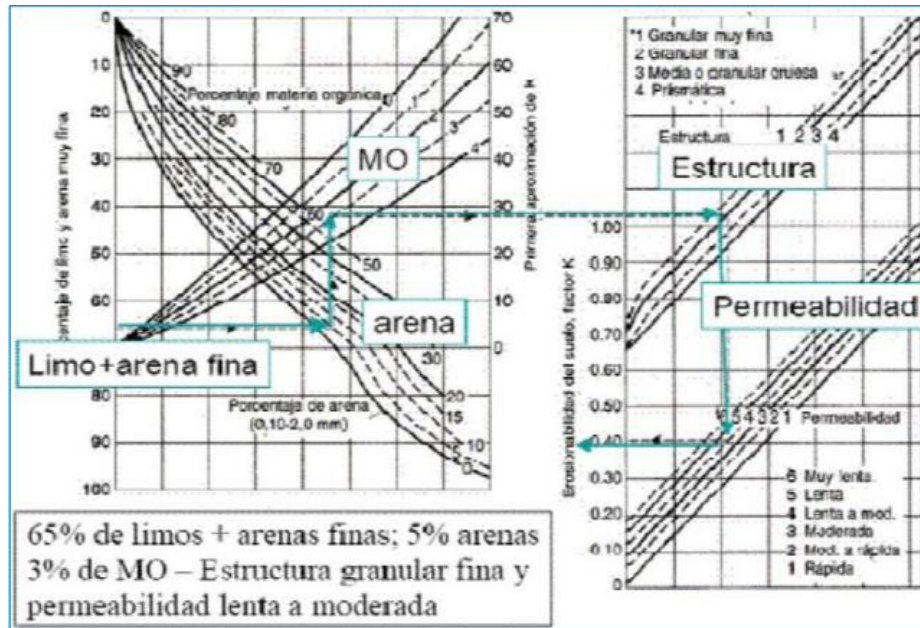
c = Clase de permeabilidad

Figura 6 Triángulo de permeabilidad de suelos



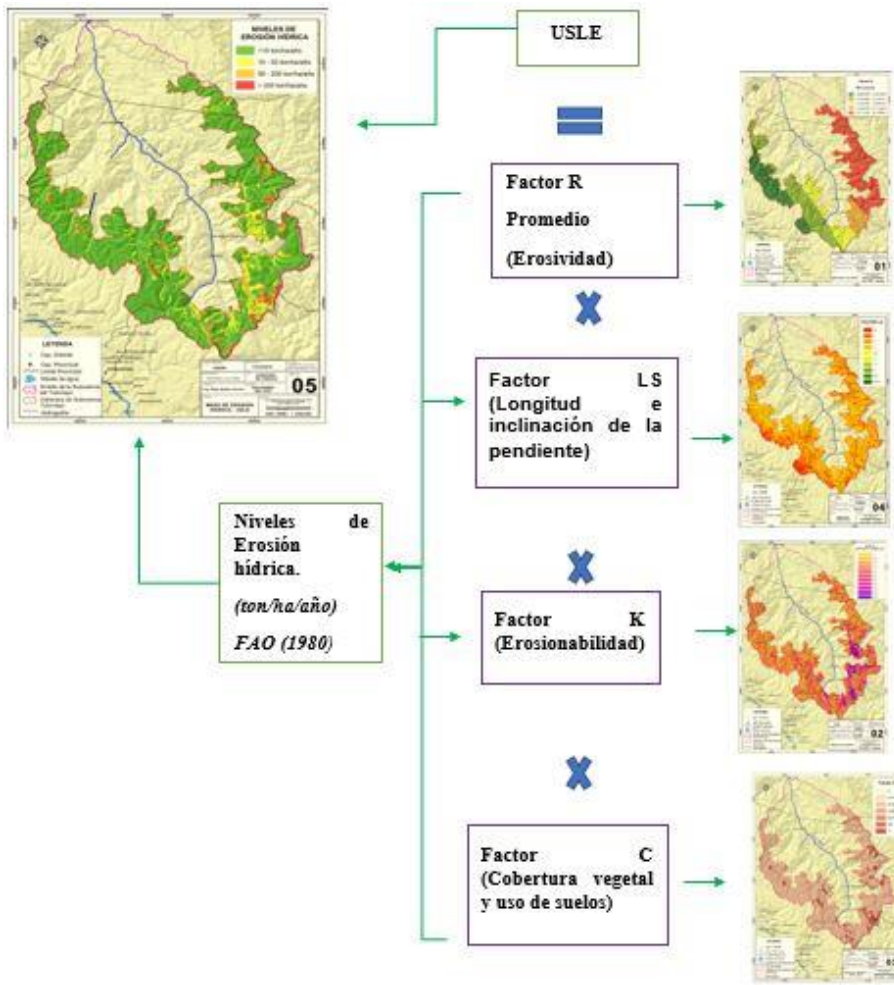
Fuente: Soil Taxonomy del USDA

Figura 7 Monograma del factor K



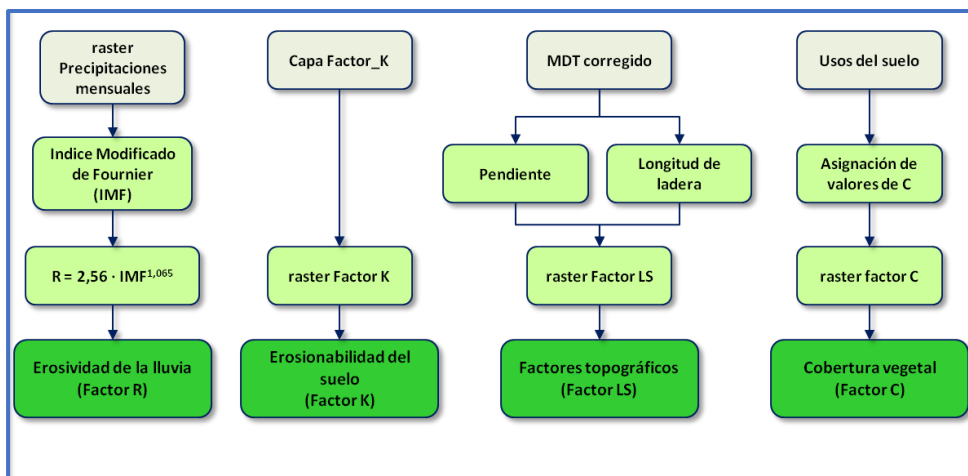
Fuente: Wischmeier & Smith, (1978)

Figura 8 Cálculo de erosión hídrica mediante la metodología USLE



Fuente: Elaboración propia

Figura 9 Procedimiento para calcular la erosión en SIG de la cabecera de cuenca del río Tulumayo



Fuente: Elaboración propia

2.3. Definición de término básicos

- a) Agregado, suelo: Muchas partículas finas se mantienen en un solo grupo. Los agregados naturales del suelo o también llamados peds, como por ejemplo los bloques o primas, gránulos. Asimismo, los terrones son agregados producidos por labranza o tala.
- b) Agregados: Partículas de suelo pegadas o cementadas. Los agentes responsables de cementar las partículas incluyen materia orgánica y carbonatos de calcio.
- c) Aireación, suelo: El intercambio de aire en el suelo con aire de la atmósfera. El aire en un suelo bien aireado es similar al de la atmósfera; el aire en un suelo mal aireado es considerablemente más alto en dióxido de carbono y más bajo en oxígeno.
- d) Aluvión: Material depositado por el agua corriente, incluidos los sedimentos depositados en cauces, llanuras aluviales, lagos y estuarios.
- e) Angulo de reposo: El ángulo máximo de pendiente en el que el material suelto y sin cohesión se detendrá sobre una pila de material similar.
- f) Arcilla: Como componente del suelo, las partículas minerales del suelo de menos de 0,002 milímetros de diámetro. Como clase de textura del suelo, material de suelo que es 40 por ciento o más de arcilla, menos del 45 por ciento de arena y menos del 40 por ciento de limo.
- g) Canalización: Ingeniería humana de canales de ríos para ampliar, enderezar, terraplenes o proteger canales existentes, crear nuevos canales o proteger estructuras adyacentes.
- h) Capacidad de agua disponible (capacidad de humedad disponible): La capacidad de los suelos para retener el agua disponible para la mayoría de las plantas. Se define comúnmente como la diferencia entre la cantidad de agua del suelo en la capacidad de humedad del campo y la cantidad en el punto de marchitez. Se expresa comúnmente como pulgadas de agua por pulgada de suelo. La capacidad, en pulgadas, en un perfil de 60 pulgadas o en una capa límite se expresa como:
 - i) Cohesión: La resistencia interna de las partículas individuales del suelo a separarse unas de otras.
 - j) Compactación: Proceso por el cual una masa de suelo pierde espacio poroso y alcanza una mayor densidad aparente en respuesta a una mayor carga o esfuerzo de compresión.
 - k) Contrafuerte: Contención lateral proporcionada por masas de tierra o rocas y columnas estructurales empotradas, como pilotes y troncos de árboles bien enraizados.
 - l) Cubierta del dosel: Vegetación que se proyecta sobre un arroyo o la costa, incluida la cobertura de la copa (generalmente a más de 3 pies sobre la superficie del agua) y el saliente (menos de 3 pies sobre la superficie del agua).
 - m) Desapego: La remoción de fragmentos transportables de material de suelo de una masa de suelo por un agente erosivo, generalmente gotas de lluvia, agua corriente o viento; mediante el desprendimiento, las partículas de suelo o los agregados se preparan para el transporte.

- n) Erosión acelerada: Erosión que es mayor que la erosión experimentada en el sitio en el pasado reciente.
- o) Fragmentos gruesos: Partículas minerales o de roca de más de 2 milímetros de diámetro.
- p) Pendiente coluvial: Cualquier pendiente en la que el proceso de pérdida de masa esté ahora o haya estado activo, lo que da como resultado la incorporación de astillas fracturadas o fragmentos de roca en la matriz del suelo. Este proceso generalmente se clasifica como arrastre del suelo. Se producen formas más rápidas de movimiento de masas, como flujos de tierra, deslizamientos de rocas, avalanchas y caídas, en pendientes más pronunciadas.
- q) Pendiente compleja: Pendiente irregular o variable. Es difícil planificar o construir terrazas, desvíos y otras medidas de control del agua en una pendiente compleja. Pendiente trasera: El componente geomórfico que forma la superficie inclinada más empinada y el elemento principal de muchas laderas. Las pendientes traseras de perfil suelen ser empinadas, lineales y pueden incluir o no segmentos de acantilados.
- r) Sedimento grueso: Sedimentos con tamaños de partículas superiores a 2,0 mm, que incluyen grava, guijarros y cantos rodados. (Compárese con sedimento fino).
- s) Suelo de textura gruesa: Arena o arena arcillosa.
- t) Terraza aluvial: Una terraza de arroyo formada por aluvión no consolidado (incluida la grava), formado a través de un renovado corte descendente de la llanura de inundación o fondo del valle por un arroyo rejuvenecido o mediante el recubrimiento posterior de una terraza con aluvión.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Métodos y alcance de la investigación

3.1.1. Método de investigación

El presente estudio se basa en un método de Análisis y Síntesis. El método analítico consiste en la descomposición y/o separación de un todo en sus partes, mientras que el método sintético que implica unir los elementos para formar un todo.

3.1.2. Alcance o nivel de investigación

El alcance del presente estudio es de carácter descriptivo ya que vamos a describir el fenómeno de erosión hídrica en la cabecera de cuenca, busca especificar alguna de las características,, describir los factores y recoger información de las diferentes variables involucradas en este proceso(31).

3.1.2.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación desarrollada es aplicada, ya que estudia un fenómeno que está causando pérdidas de suelo en la zona de estudio como también en todos los países en vía de desarrollo y al analizar este fenómeno en recomendaciones se da soluciones que van a mitigar las consecuencias causadas por la erosión hídrica (31).

3.2. Diseño de investigación

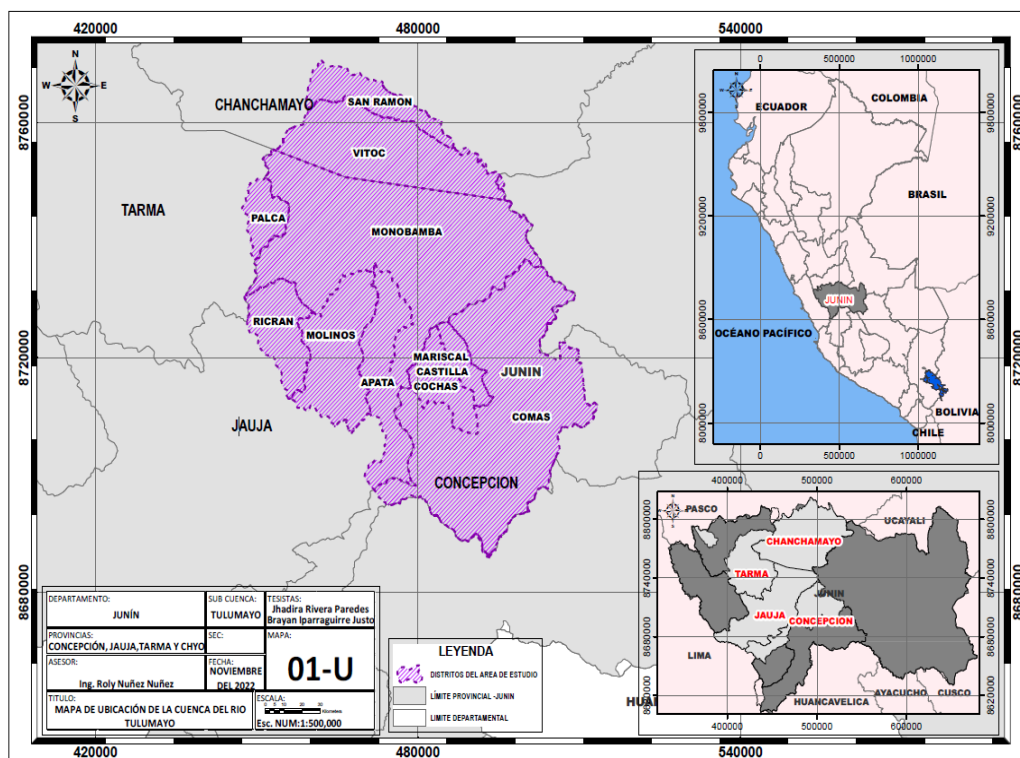
Se considera que la presente investigación tuvo un diseño no experimental, no se manipularon las variables, solo se observaron los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos” (31). Asimismo, un diseño de corte longitudinal, porque se obtuvieron datos a partir de imágenes de satélite del año 2020 y el año 2021 y 2022 los datos se tomaron en campo. Es un diseño de campo, las variables estudiadas surgen directamente de la realidad, sin ser modificada o alterada.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población corresponde a la superficie total de la cuenca del río Tulumayo: 326,569.64 hectáreas, comprende distritos de Comas, Cochab, Mariscal Castilla, Apata, Molinos, Ricran, Palca, Monobamba y San Ramón.

Figura 10 Mapa de la cuenca del río Tulumayo

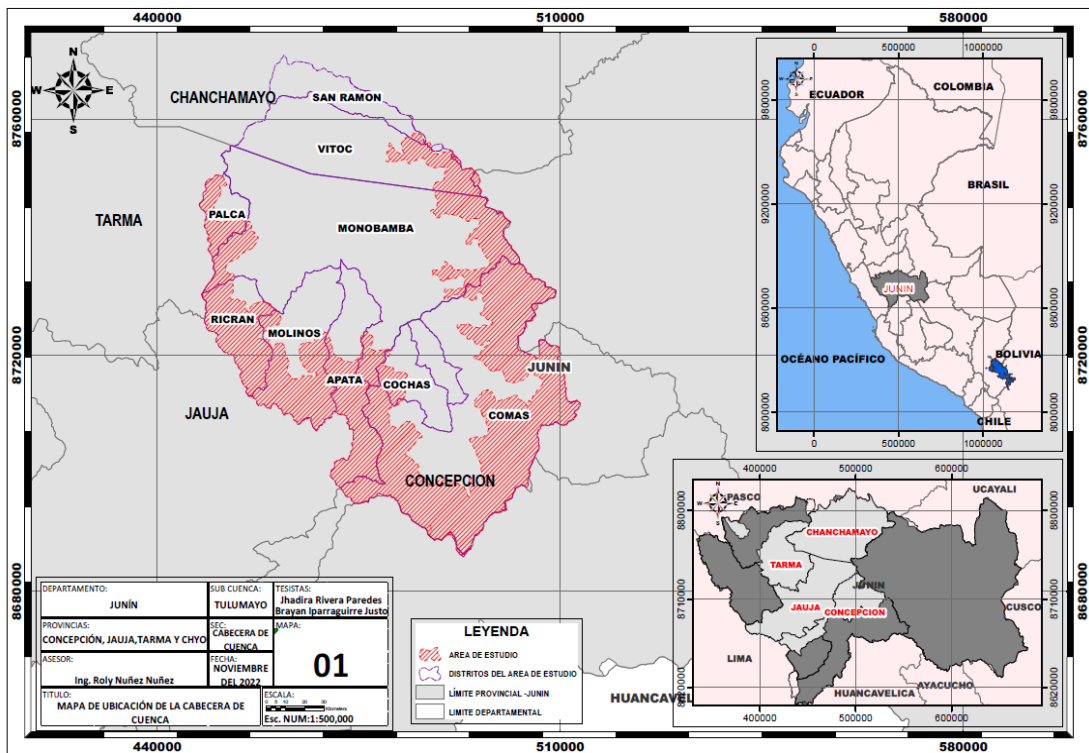


Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Muestra

La muestra corresponde a la cabecera de la cuenca de río Tulumayo: 133,824.50 hectáreas, lo que equivale al 40.97% de la extensión total de la cuenca. Es una muestra no probabilística con base en la toma de decisiones de los investigadores, y por las características únicas de la población (31). La delimitación se realizó siguiendo el Marco Metodológico de Criterio Técnico para la Identificación, Delimitación y Zonificación de cabecera de Cuenca, aprobado mediante el Decreto Supremo N° 014-2021-MIDAGRI (7), en el cual se siguen los siguientes pasos.

Figura 11 Mapa de la cabecera de cuenca del río Tulumayo



Fuente: Elaboración propia

3.3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Observación

Se eligieron los instrumentos en función a los objetivos del trabajo de investigación principalmente en las variables e indicadores. El cuestionario fue el tipo de instrumento a aplicar, el cual consiste “en muchas indagaciones con respecto a por lo menos un factor que debe estimarse” (29). Los instrumentos que se van a utilizar en la presente investigación son:

- GPS
- Mapas temáticos (mapa base, mapa de pendientes, mapa de isoyetas, mapas de zonas de vida, mapa de cobertura vegetal)
- Cámara fotográfica
- Laptop
- Desktop
- Microsoft Office

- Software SIG

Procedimiento de Identificación y delimitación de la cabecera de Cuenca del Río Tulumayo:

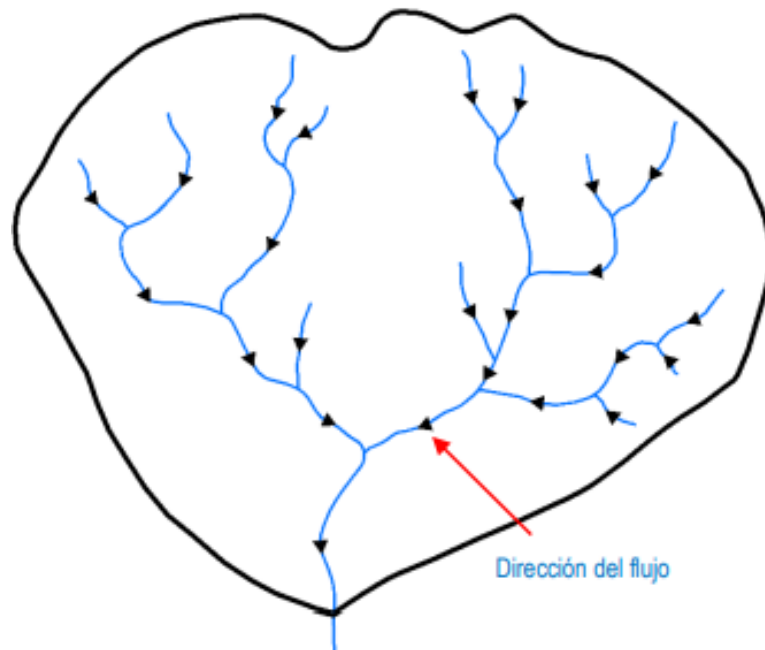
Trabajo de Gabinete – Procesamiento de la información

1. Acondicionamiento de la red hídrica vectorial

En este proceso, que tiene como ingrediente principal la información vectorial de la red hidrográfica de la Carta Nacional Topográfica de 1:100 000, se delimitó por la divisoria de aguas.

En la figura 13, se observa el proceso en el cual se establece la conectividad integral de la red hídrica, abarcando también los cuerpos de agua.

Figura 12 Conectividad Hidrológica



Fuente: Marco metodológico de criterios técnicos para la identificación, delimitación y zonificación de cabeceras de cuenca

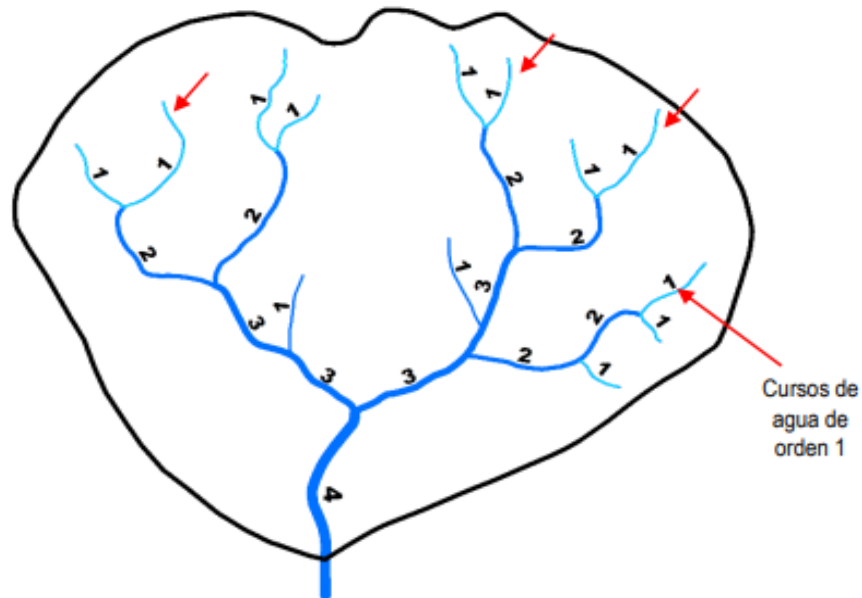
Para efectos del presente estudio no se usó el primer pasó ya que para cumplir el objetivo del trabajo no es necesario la codificación de la cuenca.

Criterios Técnicos para delimitación de cabeceras de cuenca

1. Seleccionar los cursos de agua de orden 1

Luego de acondicionar la red hídrica se procede a la identificación rápida de los cursos de agua iniciales con el fin de poder aislarlos.

Figura 13. Selección de cursos de agua de orden 1



Fuente: Marco metodológico de criterios técnicos para la identificación, delimitación y zonificación de cabeceras de cuenca

2. Delimitación de las cabeceras de cuencas

En este segundo paso del proceso de delimitación, usando el software Arcgis 10.5 creamos un shapefile polígono para encerrar a los cursos de agua de orden 1 sin ninguna otra clasificación justamente con el objetivo de delimitar la cabecera de cuenca. Este parte del proceso de ordenar es parte de la metodología Strahler. La guía Metodológica nos recomienda que para lograr mejores resultados de delimitación utilicemos Modelos Digitales de Elevación o Imágenes satelitales. Es por ello que se usó el programa Copérnico para descargar las imágenes satelitales con un máximo de 10% de nubosidad por escena. Para el estudio se utilizaron las imágenes del Satélite Sentinel, se escogió imágenes entre los meses de mayo y julio, son meses de estiaje y la presencia de nubes es mínima en comparación con la época lluviosa.

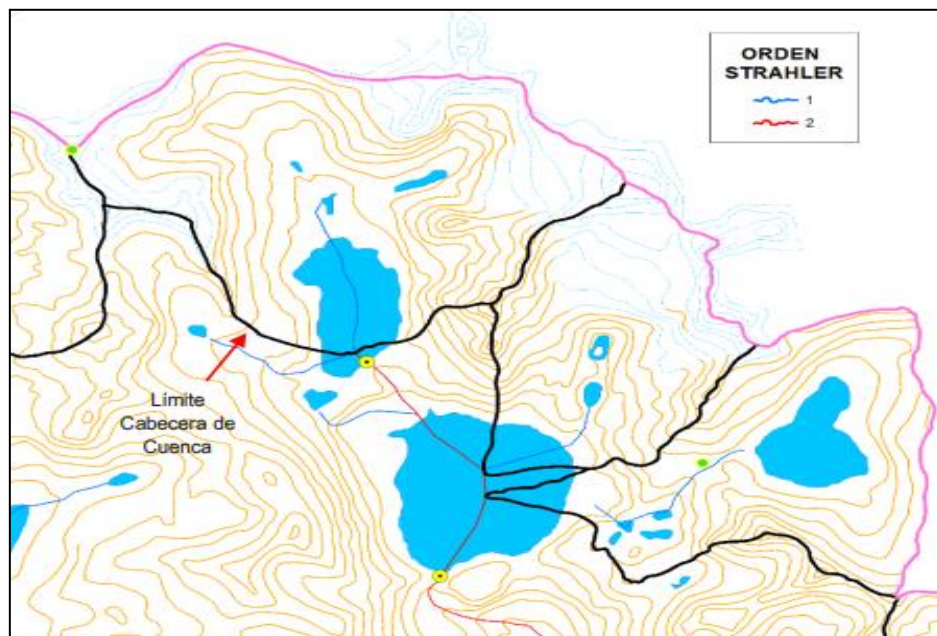
Posteriormente, para el tratamiento de estas imágenes se usó el comando ArcToolBox → la herramienta Data Management Tools → Raster → Raster Processing → Composite bands

Para este proceso se utilizaron las bandas 2, 3, 4 (bandas del espectro visible) y la banda 8 (espectro no visible). Ordenando y combinando estas bandas se obtiene una capa de color rojiza, que son los rayos infrarrojos que nos permitirán reconocer de una mejor manera.

3. Casos Especiales

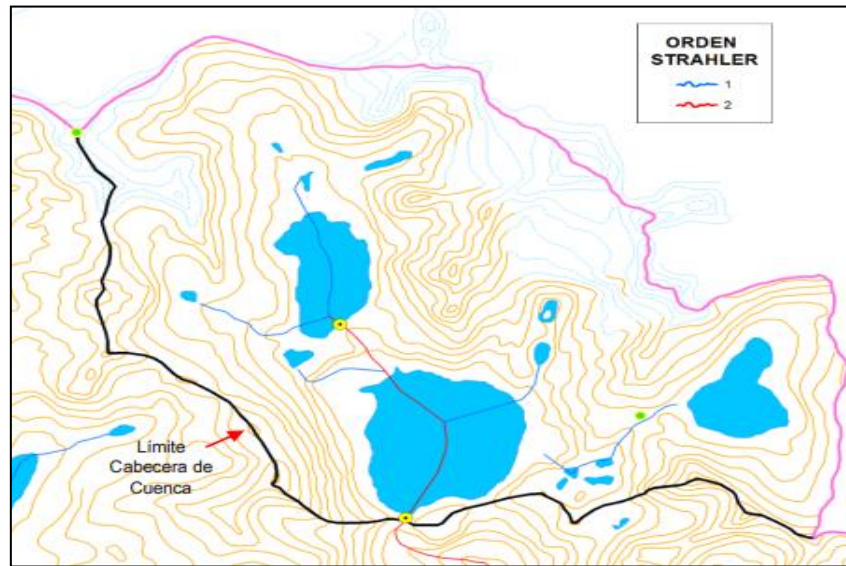
Inmediatamente luego de la delimitación en referencia a los cursos de agua de orden 1, para el primer caso vamos a tener la excepción frente a las lagunas, ya que, si alguna de estas se encuentra dividida por el límite de una cabecera de orden 1, esta laguna deberá ser incluida íntegramente en la cabecera de la cuenca de orden 1. (véase figuras N° 08 y 09).

Figura 14. Cabecera de orden 1. Los límites atraviesan lagunas



Fuente: Marco metodológico de criterios técnicos para la identificación, delimitación y zonificación de cabeceras de cuenca

Figura 15. Cabecera de cuenca de orden 1 modificada. Se incluye íntegramente las lagunas



Fuente: Marco metodológico de criterios técnicos para la identificación, delimitación y zonificación de cabeceras de cuenca

El segundo caso especial es cuando no se encuentra registrado cartográficamente el curso de agua de primer orden en la cabecera de cuenca y ya sea confirmada por modelos de elevación digital (DEM) u otras fuentes de información, estas deben ser delimitadas.

El tercer caso especial es más relevante a los otros dos pasos, puesto que el MINAM ha identificado 10 ecosistemas de vital importancia dentro de las cuales destacan: glaciar, peri glaciar, lago, lagunas, bofedales, bosques relicto altoandino, pastizales, etc. Todos estos ecosistemas provisionan de agua a los cursos de aguas nacientes, y por ello es clave su delimitación dentro de la cuenca porque sin ellas no existiría los afluentes para el río principal.

Procedimiento para determinación de la erosión hídrica:

Se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE).

Factor R o factor de erosividad de la lluvia

Para ello se utilizaron datos de precipitación media mensual de las estaciones de Comas y Runatullo. Para así determina el IFM y posteriormente continuar con la metodología se prosiguió a realizar el geoprocésamiento para obtener un mapa de erosividad en el software.

Factor Topográfico (L S)

Para continuar con la metodología se prosiguió a realizar el geoprocesamiento para obtener un mapa de altitudes. Para lo cual se siguió el siguiente proceso.

ArcToolBox → 3D Analyst Tools → Data Management → TIN → Create TIN

Posterior a este procedimiento, se hizo una clasificación en 15 clases con intervalos de 300 metros para una mejor observación.

De igual manera se realizó el procedimiento solo para la cabecera de la cuenca del río Tulumayo.

Se convirtió la capa de altitudes a una imagen de modelamiento de elevación digital con la herramienta:

ArcToolBox → 3D Analyst Tools → Conversion → from TIN → TIN to raster.

Luego de este proceso, es necesario tener un mapa de sombras para obtener una mejor visualización del relieve de nuestra capa.

ArcToolBox → 3D Analyst Tools → Raster surface → Hillshade

Como último paso se generará el mapa de pendientes con clasificación en grados, siguiendo el siguiente proceso.

ArcToolBox → 3D Analyst Tools → Raster surface → Slope

Factor Vegetación (C)

Para efectos de la tesis se utilizó los factores que ya se establecieron por la ZEE (Zonificación Ecológica y Económica de Junín) del 2015, así como lo indicado en la Tabla N° 3.

Factor de erosionabilidad (K)

Usando el nomograma de erodabilidad se pueden obtener datos más precisos del factor K. El nomograma gráficamente calcula K para un suelo específico considerando la distribución de tamaño de las partículas, contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad del perfil. Se basa en una ecuación que fue establecida en los Estados Unidos a partir de datos de campo de parcelas de erosión

Erosión hídrica (E)

Luego de hallar los anteriores factores LS, K, R y C con la herramienta Raster Calculator se procedió hallar la erosión con la ecuación de método universal (USLE).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Grado de Erosión

El grado de erosión que predomina en la cabecera de la cuenca del río Tulumayo es Ligera, es decir menor a 10 toneladas por hectáreas al año, con 111,511.61 ha, ocupando un 83.33% del ámbito de la cabecera, esto debido a la existencia de cobertura vegetal conformado por asociación vegetal no boscosa constituidas por pastizales con presencia de bofedales permanentes y matorrales en buen estado de conservación (ver Figura 19). Seguido del grado de erosión Moderada, entre 10 y 50 toneladas por hectárea al año abarca una superficie de 14,715.60 ha que ocupan un 11 % del ámbito de la cabecera de la cuenca del río Tulumayo.

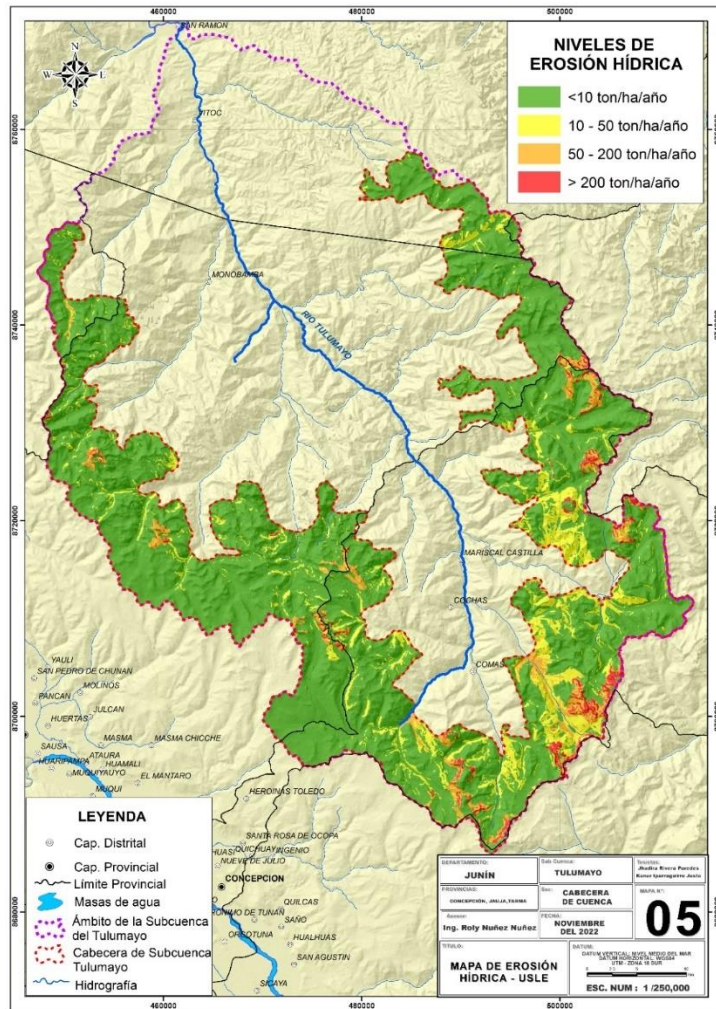
Tabla 5. Grados de erosión hídrica en la cabecera de la cuenca del río Tulumayo

Grado de erosión	t/ha/año	Superficie (ha)	Ocupación (%)
Ligera	0 - 10	111,511.61	83.33
Moderada	10 – 50	14,715.60	11.00
Alta	50 – 200	5,350.36	4.00
Muy Alta	Mayor a 200	2,246.93	1.68
Total:		133,824.50	100.00

Fuente: Elaboración propia

El ámbito total de la cuenca del río Tulumayo tiene una superficie de 326, 569.64 hectáreas. De las cuales, la cabecera de la cuenca en mención tiene una superficie de 133,824.50 hectáreas. En la que se han identificado 618 lagunas con una superficie total de 2 777.35 hectáreas, 32 masas glaciares que hacen una superficie total de 379.06 hectáreas y 96 bofedales permanentes con una superficie total de 2 285.32 hectáreas.

Figura 16. Mapa de erosión hídrica en la cabecera de cuenca del río Tulumayo



Fuente: Elaboración propia

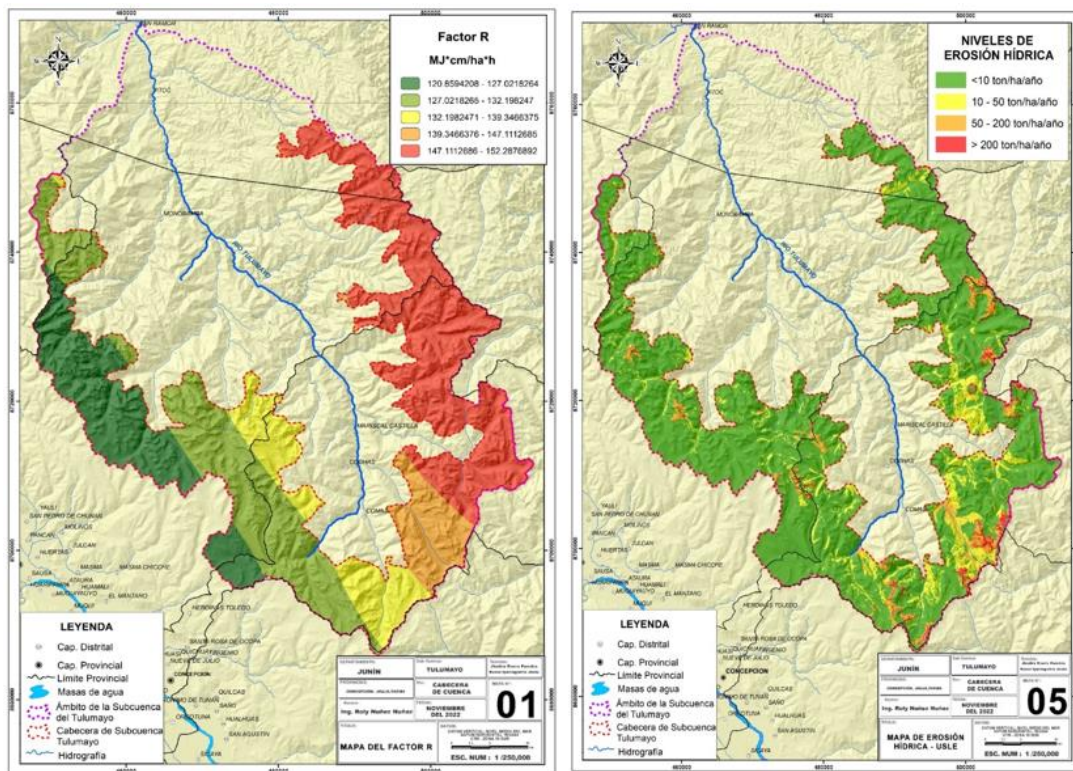
La erosividad de la lluvia en la margen izquierda de la cabecera de cuenca del río Tulumayo tienen valores desde bajo hasta medio es decir van desde 120.859 MJ*cm/ha*h hasta 136 MJ*cm/ha*h mientras que en la margen derecha de la cabecera de cuenca del río Tulumayo se encuentran los valores altos hasta 152.288 MJ*cm/ha*h (Ver Figuro 16). En comparación a los mapas tanto del Factor R y de erosión, se ve que superficies de la margen derecha tiene mayor pérdida de suelo, en los rangos de 139.19 MJ*cm/ha*h hasta 147.11 MJ*cm/ha*h hay erosión.

Tabla 6. Datos de los resultados del factor R

Cuadro del Factor R		
Factor R	Superficie	Ocupación
120.85 - 127.02	26244.58	19.61%
127.02-132.19	33709.29	25.19%
132.19-139.34	16560.73	12.37%
139.34-147.11	11216.44	8.38%
147.11-152.28	46093.46	34.44%
Total:	133824.5	100%

Fuente: Elaboración propia

Figura 17. Mapas del factor R y erosión



Fuente: Elaboración propia

La longitud e inclinación de la pendiente a lo largo de la cabecera de cuenca tiene mayores extensiones de terreno en pendientes entre 7.50% a 10%, así mismo las superficies con mayor porcentaje del factor LS ocupan una pequeña parte del territorio. A su vez también se ven la influencia en la erosión final. (Ver Figura 17). Debido a que, a mayor intensidad de la

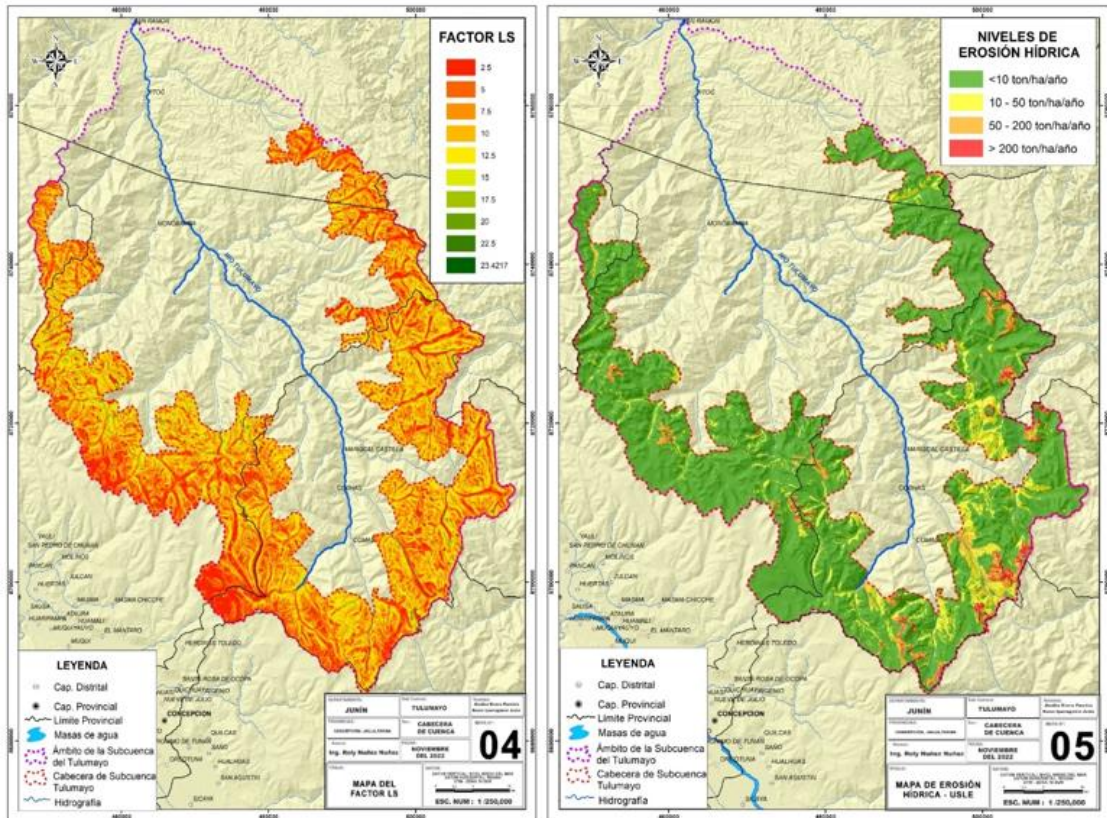
pendiente, la velocidad con la que escurre el agua incrementará y como consecuencia trae una mayor erosión

Tabla 7. Datos de los resultados del factor LS

Tabla: Longitud e Inclinación de la Pendiente (LS)		
Factor LS	Superficie Ha	Ocupación
2.50	20011.53	14.954%
5.00	24973.87	18.662%
7.50	27590.80	20.617%
10.00	26850.78	20.064%
12.50	21184.29	15.830%
15.00	9875.07	7.379%
17.50	2598.25	1.942%
20.00	604.36	0.452%
22.50	131.89	0.099%
23.42	3.65	0.003%
Total:	133824.50	100%

Fuente: Elaboración propia

Figura 18. Mapas del factor LS y erosión



Fuente: Elaboración propia

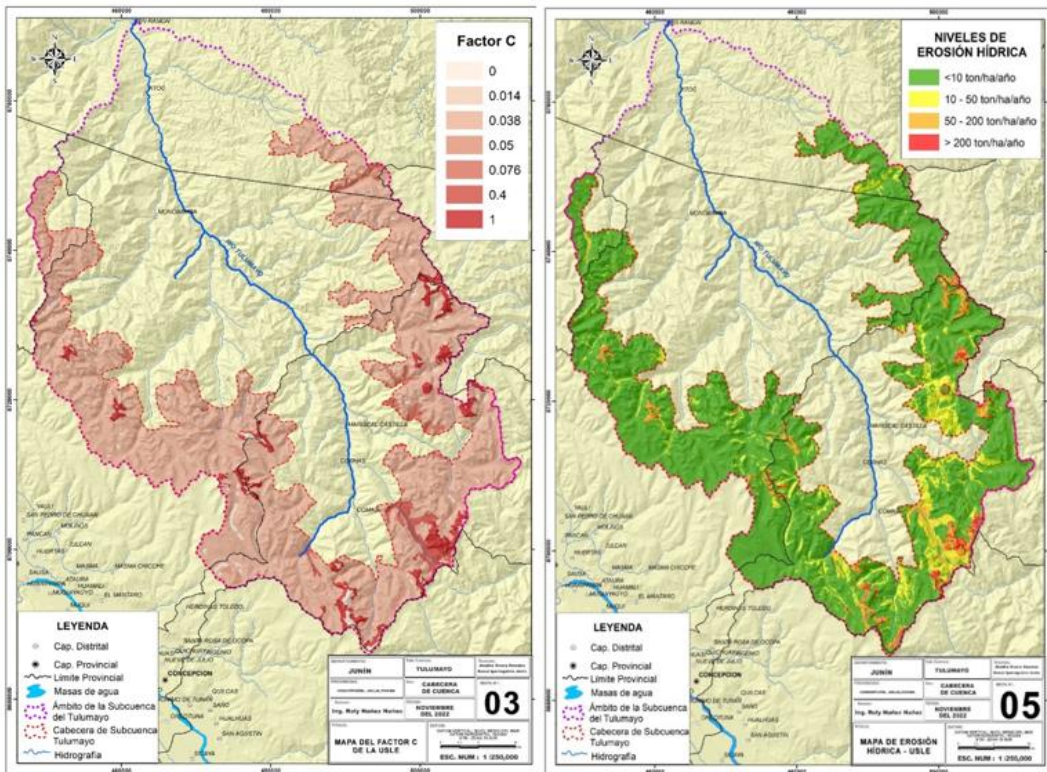
La presencia de cobertura vegetal o no, también influye en el proceso de erosión, a lo largo de la cabecera encontramos 11 tipos de cobertura vegetal (ver Figura 18), y explica el porqué de su influencia ya que son los pastizales nativos de uso precario extensivo los que tienen mayor presencia con un 66.26% del total del área estudiada. Este tipo de cobertura presenta un índice de 0.038 que se traduce en una alta protección para los suelos. Y como contraste, se evidencia que en las zonas donde hay menos presencia de cobertura, por ende, un índice cercano a 1, el grado de erosión es mayor porque la protección que proporciona este tipo de cobertura es nula.

Tabla 8. Datos de los resultados del factor C

Nº	Cobertura Vegetal_UGI	Factor C	Superficie ha	%
1	Lagunas	0	2606.96	1.95%
2	Nevados	0	1417.08	1.06%
3	Bosques primarios fragmentados	0.014	156.46	0.12%
4	Bosques primarios sin uso	0.014	180.65	0.13%
5	Pastizales nativos con arbustos con uso pecuario extensivo	0.038	16173.61	12.09%
6	Pastizales nativos de uso pecuario extensivo	0.038	88675.97	66.26%
7	Pastizales nativos con arbustos sin uso	0.038	10097.24	7.55%
8	Pastizales nativos hidromorfos (Bofedales)	0.05	1994.8	1.49%
9	Vegetación arbustiva natural con uso pecuario extensivo	0.076	171.5	0.13%
10	Vegetación arbustiva natural sin uso	0.076	2509.91	1.88%
11	Terrenos con cultivos extensivos en secano	0.4	2377.21	1.78%
12	Terrenos con cultivos extensivos y bordes forestales en secano	0.4	142.44	0.11%
13	Suelo desnudo	1	7320.68	5.47%
TOTAL			133824.50	

Fuente: Elaboración propia

Figura 19. Mapas del factor C y erosión



Fuente: Elaboración propia

4.2. Discusión de Resultados

Grado de Erosión

El grado de erosión que predomina en la cabecera de la cuenca del río Tulumayo es Ligera, es decir menor a 10 toneladas por hectáreas al año, con 111,511.61 ha, ocupando un 83.33% del ámbito de la cabecera, esto debido a la existencia de cobertura vegetal conformado por asociación vegetal no boscosa constituidas por pastizales con presencia de bofedales permanentes y matorrales en buen estado de conservación. Así como también se concluye en la Tesis titulada: “Influencia de la cobertura vegetal en la erosión hídrica de suelo en la comunidad de San Mateo, Perú”, donde hay una fuerte influencia de la cobertura vegetal que está constituido principalmente *Festuca amethystina* debido a que sus raíces proporcionan buena estabilidad estructural y favorece a la infiltración de agua en los suelos que poseen este tipo de cobertura natural (propia de la zona) y así actúa como un eficiente protector de suelo disminuyendo así considerablemente la erosión hídrica a diferencia y teniendo como resultado la pérdida de 10.9 toneladas por hectáreas por año, a diferencia de los suelos desnudos que llegaron a tener valores por encima de los 44 toneladas por hectáreas al año. De igual manera en la tesis titulada “Estimación de la erosión hídrica aplicando la metodología RUSLE con

técnicas de teledetección en la cuenca del río Tumbes 2000-2022”, muestra resultados de 5 tn/ha/año lo que significa una Erosión Hídrica Baja, sin embargo, en la parte media y alta de la cuenca los niveles de erosión son media, alta, muy alta y crítica debido mayormente a la poca vegetación ya que este ofrece protección y amortigua el impacto de las gotas de lluvia.

La segunda área que predomina en la cabecera de la Cuenca del Río Tulumayo es el que tiene grado de erosión moderada entre 10 y 50 toneladas por hectárea al año, que abarca una superficie de 14,715.60 ha, ocupando el 11 % del ámbito del área estudiado. Sin embargo, la distribución de las zonas con grado de erosión Alta que ocupan un 4% del ámbito de la cabecera y las zonas con grado de erosión muy Alta, mayor a 200 toneladas por hectárea al año, es de 2,246.93 ha equivalentes al 1.68 % del ámbito de la cabecera, están determinadas por el factor Cobertura Vegetal (C) sin cobertura vegetal o con escasa cobertura vegetal en consecuencia de la quema de pastizales e incendios forestales. Así también, Solano (32) determina en la subcuenca del río Shullcas en Huancayo para el 2013 una erosión hídrica Alta, con 163.13 tn/ha/año en zonas sin vegetación.

Influencia de la Precipitación en la Erosión Hídrica

Se determinó el cálculo de la precipitación para entender la influencia en la erosión del suelo. Diversos estudios destacan la influencia de la precipitación en la erosión (12).

Lo cual te da a entender que a mayor erosividad mayor será la erosión, este estudio coincide con la información presentada por SENAMHI en su publicación “Erosividad de la lluvia en el Perú para el periodo 2000-2020” (32) menciona que el mes de mayor erosividad es marzo (954 MJmm/ha*h) seguido de diciembre, enero y febrero (793 a 846 MJ*mm/ha*h) y muestra sus menores valores entre junio y septiembre (224 a 397 MJ*mm/ha*h) y según la información de sus mapas se aprecia que para la cuenca del Tulumayo entre los meses de mayor erosividad es marzo (alrededor de 800 MJ*mm/ha*h), seguido de diciembre, enero y febrero (alrededor de 600 MJ*mm/ha*h) y muestra sus menores valores entre junio y septiembre (150 a 250 MJ*mm/ha*h), lo cual coincide con los resultados obtenidos ya que la erosividad de la lluvia en la margen derecha es superior a la margen izquierda de la cabecera de cuenca del río Tulumayo en 31.432 MJ*cm/ha*h. Asimismo, también es importante evaluar la intensidad y la duración de la precipitación, ya que actúa como impulsor para que la erosión hídrica se materialice (19).

lo cual coincide con los resultados obtenidos donde la erosividad de la lluvia en la margen derecha predomina en la margen Izquierda en 31.432 MJ*cm. ha-1.h-1, debido a que la, margen derecha colinda con la región selva, en esta región tropical ocurre el fenómeno de

evapotranspiración por la abundante vegetación, la cual es causal de la alta precipitación, de esta manera se puede dar validez a lo dicho por Solano(33) que en zonas con mayor precipitación existen mayores índices de erosividad.

Influencia de la Pendiente en la Erosión Hídrica

Se determinó el cálculo de la pendiente para entender la influencia en la erosión del suelo. Diversos estudios destacan la influencia de la pendiente en la erosión (13)

De acuerdo a Atauje (11), mencionan que el producto de la longitud e inclinación mientras más altos se encuentren sus valores, mayor será la pérdida de suelo, debido a que durante el recorrido de una gota de lluvia se logra desprender mayor cantidad de partículas de suelo, lo que se demuestra que en la cuenca Huatatas un 5.73% de su superficie presentan valores de pendientes mayores al 15% que poseen un grado de erosión muy severo para esta cuenca, hablamos de valores que van desde los 50 tn/ha/año hasta los 125 tn/ha/año. De igual manera ocurre en nuestra cabecera de cuenca para pendientes menores a 15%, la erosión presenta valores que van de 0 a 10 tn/ha/año, y para pendientes que superan el 15% el grado aumenta con valores por encima de las 10 tn/ha/año erosionadas, y esto ocurre ya que, si el terreno es más inclinado, la gota de la lluvia alcanzará mayor velocidad lo que implica una alteración en la parte superficial del suelo que trae como consecuencia el desgaste. Castillo Lázaro y Rojas Ibañez (19) también lo menciona en su estudio puesto que el 11.7% del total de su área de estudio presentaba una pendiente de nivel alto, y son en estas mismas áreas donde se registró mayor pérdida de suelo por erosión hídrica, haciendo evidente que la pendiente influye en la erosión hídrica.

Estado de la Cobertura Vegetal

Muchos estudios demuestran que la cobertura vegetal influye en la erosión del suelo (33), (20), ya que a mayor presencia de cobertura vegetal menor será la erosión y eso es innegable.

Solano(33) determina en la Subcuenca del río Shullcas una erosión hídrica alta en zonas sin vegetación con factor C de 1.00 y erosión hídrica de 163.13 tn/ha/año que representa el 5.75% de la superficie total, sin embargo obtuvo una erosión baja en zonas con plantaciones forestales, zonas con pajonales y césped de puna, que tienen factores C con valores menores a 0.038 y una erosión hídrica de 11.32 tn/ha/año que representa 79.96% de su totalidad, lo que demuestra que las especies forestales típicas de la zona proporcionan una buena protección ante la erosión. Así es como también, el 85.9% de la cabecera de cuenca del río Tulumayo está cubierta por pastizales nativos con y/o sin arbusto de uso pecuario, característico de la zona, que poseen un factor C no mayor a 0.038 que le otorga a esta superficie un grado de erosión ligero, mientras que el 7.55% de la cabecera posee suelos desnudos con un factor C igual a 1, y en consecuencia

se traduce en pérdidas de más de 10 tn/ha/año, lo que Solano(33) llamaría zonas con erosión hídrica no permisible ($>10\text{tn/ha/año}$).

Cabe resaltar la cabecera de cuenca del rio Tulumayo presenta una característica de una asociación vegetal no boscosa con presencia de bofedales permanentes y con matorrales en buen estado de conservación, lo que influye en el grado de erosión ligero de la cabecera. Así como en zonas donde hay presencia de agricultura, el suelo presenta una protección adicional, y esto se puede evidenciar en la investigación de Egusquiza (12), que tienen una superficie del 74% de su cuenca protegida y esto gracias a que en gran parte de esta se puede encontrar cultivos de maíz, papa, habas y entre otros propios de la zona, así como también la presencia de bofedales en buen estado de conservación.

CONCLUSIONES

- a. El grado de erosión que predomina en la cabecera de cuenca del Rio Tulumayo es Ligera, la cual representa el 83.33 % de la superficie total y da una pérdida de suelos de 10 t/ha/año, y un grado de moderado para un área de 11% de la superficie total con una perdida estimada entre 10 t/ha/año a 50 t/ha/año.
- b. La precipitación influye significativamente en la erosión hídrica, ya que, actúa como factor desencadenante y esto se puede observar en la margen derecha de la cabecera de cuenca del rio Tulumayo que tiene valores desde 139.34 MJ*cm/ha*h hasta 152.28 MJ*cm/ha*h son valores altos y es esta misma área la que presentan mayor superficie de suelo erosionado, aproximadamente mayor a 200 t/ha/año de suelo perdido. Así mismo es importante recalcar que las precipitaciones son más intensas en esa margen debido a que el área presenta características de la selva de la región Junín, es decir, la precipitación es más intensa en ciertos periodos del año, pero con presencia de precipitaciones durante el año, respecto a la otra margen que presenta características de la sierra, que solo presenta precipitaciones desde octubre hasta marzo, siendo más intensas en los últimos 3 meses.
- c. La pendiente influye moderadamente en la erosión hídrica, debido a que a mayor grado de inclinación y longitud mayor será el arrastre de partículas del suelo; en la cabecera de cuenca del rio Tulumayo predominan pendientes que son mayores a 15 % lo cual abarca el 56.511% de la superficie, son en estas áreas donde la erosión presenta valores entre 10 ton/ha/año hasta y/o mayores a 200 ton/ha/año, principalmente en la provincia de Concepción en sus centros poblados de Chuicon, Aychana, Mismi, Tunsho, Cuchis, Maraynioc, Palala, Ichahuanca,
- d. La cobertura vegetal presente en la cabecera de cuenca está constituida por pastizales propios de la zona algunas de ellas con uso extensivo le otorgan al suelo una mejor estabilidad frente a este fenómeno, erosión, que al encontrarse cubierta por vegetación logra mantener sus propiedades. Por ello, en base a las investigaciones revisadas se ha concluido que es el factor más determinante debido a que se logra relacionar con los otros factores. Si en un suelo donde hay mayor presencia de lluvia, pero contiene cobertura vegetal logrará disminuir considerablemente el efecto de la energía cinética de la lluvia, asimismo si este suelo tiene una pendiente pronunciada, pero es provista de cobertura, el suelo tendrá un mejor agarre, gracias a las raíces y su vez logrará disminuir la velocidad de arrastre que posee la gota de la lluvia.

RECOMENDACIONES

- e. Se recomienda a los gobiernos regionales, municipalidades provinciales, municipalidades distritales, así como a la Autoridad Nacional del Agua utilizar el Marco Metodológico de Criterios Técnicos para la Identificación, Delimitación y Zonificación de Cabecera de Cuenca, aprobado mediante Decreto Supremo N° 014-2021-MIDAGRI, para identificar y delimitar las cabeceras de cuenca en sus respectivos ámbitos.
- f. Se recomienda al Instituto de Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIGEM priorizar en sus líneas de investigación la recuperación y conservación de los servicios ambientales que brindan estos ecosistemas.
- g. Se recomienda al Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres - CENEPRED considerar la información para la elaboración de los diferentes instrumentos de Gestión de Riesgos.
- h. Se recomienda a la Unidad Zonal Junín de AGRORURAL del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego - MIDAGRI, al Gobierno Regional Junín, a las Municipalidades Provinciales y Distritales del ámbito de influencia de la cabecera de cuenca del río Tulumayo, así como a la ONG Yunkawasi, formulen y ejecuten proyectos de conservación de las praderas altoandinas en asociación con silvopastura, prácticas de manejo y conservación de suelos como la implementación de terrazas de formación lenta en asociación de silvopastura y terrazas de absorción lenta y rehabilitación de cárcavas y surcos, así como la construcción de zanjas de infiltración con clausura de pastos.
- i. Se recomienda a los investigadores, técnicos y tomadores de decisiones echar mano de los sistemas de información geográfica SIG y la teledetección satelital como herramientas geotecnológicas durante la identificación y delimitación del ámbito de cabeceras de cuenca, siguiendo el Marco Metodológico de Criterios Técnicos para la Identificación, Delimitación y Zonificación de Cabecera de Cuenca, aprobado mediante Decreto Supremo N° 014-2021-MIDAGRI y para el cálculo de la erosión hídrica a través del modelo USLE.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FAO. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. *Boletín de Tierras y Aguas de la FAO (FAO)*. Online. 2000. [Accessed 8 May 2023]. Available from: https://scholar.google.com/scholar_lookup?q=Manual+de+practicas+integradas+de+manejo+y+conservacion+de+suelos
2. LE BISSONNAIS, Yves, MONTIER, Cécile, JAMAGNE, Marcel, DAROUSSIN, Joël and KING, Dominique. Mapping erosion risk for cultivated soil in France. *CATENA*. 3 January 2002. Vol. 46, no. 2, p. 207–220. DOI 10.1016/S0341-8162(01)00167-9.
3. MONTANARELLA, Luca and ALAVI PANAH, Seyed Kazem. *Estado Mundial del Recurso Suelo - Resumen Técnico*. . 2016. ISBN 978-92-5-308960-4.
4. SENAMHI. *Atlas de Erosión de Suelos por Regiones Hidrogeológicas del Perú*. Online. Lima, 2017. Available from: https://ideseq.senamhi.gob.pe/portalideseq/files/tematica/atlas/erosi%C3%B3n_de_suelo/Atlas_Erosion_Suelos_por_Regiones_Hidrologicas_Peru.pdf
5. INEI. *PERÚ - INEI:: Anuario de Estadísticas Ambientales 2013* Online. Lima, 2013. [Accessed 17 June 2023]. Available from: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1140/
6. LUQUE POMA, Griselda and ROSADO SEMINARIO, Malena. *Zonas Críticas por Peligros Geológicos en la Región Junín* Online. Técnico. Junín : INGEMMET, 2014. Available from: https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca/9356_informe-tecnico-zonas-criticas-por-peligro-geologico-en-la-region-junin.pdf
7. AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. Marco metodológico de criterios técnicos para la identificación, delimitación y zonificación de cabeceras de cuenca. *Repositorio Institucional - ANA*. Online. 2021. [Accessed 8 May 2023]. Available from: <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4893>Accepted: 2021-07-14T16:43:06Z
8. MOREJÓN MIRANDA, Yilian María. *Análisis del estado actual y tendencias previsibles de los recursos edáficos e hídricos en cuencas del occidente de Cuba*. Online. <http://purl.org/dc/dcmitype/Text>. Universitat d'Alacant / Universidad de Alicante, 2009. [Accessed 8 May 2023]. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=125657>
9. REYNA VELAYSOSA, Gilbert Antonio. Evaluación de la erosión hídrica en tres tipos de uso de suelo de la Microcuenca Pomacochas, región Amazonas. *Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza - UNTRM*. Online. 2021. [Accessed 16 June 2023]. Available from: <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/2568>Accepted: 2022-02-11T19:57:05Z
10. PASTOR JÁUREGUI, Rocío del Pilar. Evaluación de la erosión hídrica en la zona de Chanchamayo- Junín 4 utilizando con la cobertura vegetal el cultivo de camote (Ipomoea batatas L.). *Universidad Nacional Agraria La Molina*. Online. 1992. [Accessed 2 June 2023]. Available from: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/1840>Accepted: 2016-08-26T16:54:45Z
11. ATAUIJE CAMASCA, Diana Elvira. Estimación de la erosión hídrica para la conservación de suelos en la cuenca Huatatas, Ayacucho - 2017. *Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga*. Online. 2018. [Accessed 17 June 2023]. Available from: <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3534>Accepted: 2020-01-09T20:26:28Z

12. EGUSQUIZA VELASQUEZ, Katherin Luz. Determinación del riesgo de erosión hídrica en la cuenca alta del río Rímac, durante el Fenómeno El Niño 2016-2017. *Universidad Continental*. Online. 2019. [Accessed 2 June 2023]. Available from: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/5376>Accepted: 2019-04-10T17:18:58Z
13. ALVAREZ TICLLASUCA, Adiel. Análisis Temporal del Nivel de la Erosión Hídrica de la Subcuenca de río Ichu 2013 y 2017. Online. 25 April 2019. [Accessed 9 May 2023]. Available from: <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2603>
14. CHACCHI QUIROZ, Siles. *Erosión Hídrica Media Anual en la Unidad Hidrográfica del Río Seco, Tarma - Junín*. Online. Huancayo : UPLA, 2021. [Accessed 2 June 2023]. Available from: <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/3074>Accepted: 2022-01-19T17:04:34Zpublisher: Universidad Peruana Los Andes
15. QUISPE OJEDA, Teodosio Celso. *Influencia de la cobertura vegetal en la erosión hídrica del suelo en la comunidad San Mateo, Perú*. Online. Universidad Nacional Agraria La Molina, 2018. [Accessed 12 January 2024]. Available from: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3600>Accepted: 2018-10-02T14:41:02Z
16. ESCOBAR SOLDEVILLA, Mabel Yesica. Mitigación de la erosión hídrica para la conservación del suelo en la subcuenca del río Ichu, Huancavelica. *Universidad Nacional Agraria La Molina*. Online. 2019. [Accessed 12 January 2024]. Available from: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4156>Accepted: 2019-10-25T18:49:05Z
17. BOCANEGRA ALZA, Yohan Aymar and GUZMAN VENTURA, Yomar Evelin. *Determinación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Chicama, 2021*. Online. Universidad Nacional de Trujillo, 2023. [Accessed 23 January 2024]. Available from: <https://hdl.handle.net/20.500.14414/16439>
18. GAMBOA CRUZ, Adrian Oswaldo. Estimación de la erosión hídrica aplicando la metodología RUSLE con técnicas de teledetección en la cuenca del río Tumbes 2000-2022. Online. Universidad Nacional de Tumbes, 2023. [Accessed 23 January 2024]. Available from: <https://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/64161>Accepted: 2023-05-11T18:51:15Z
19. CASTILLO LÁZARO, David Arturo and ROJAS IBÁÑEZ, Alexandra Abigail. Erosión hídrica del suelo como efecto de la precipitación pluvial del fenómeno del niño costero en la Subcuenca Huancay, Chicama 2017. Online. Universidad César Vallejo, 2019. [Accessed 27 January 2024]. Available from: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/41021>Accepted: 2020-02-25T13:47:16Z
20. NÁJERA GONZÁLEZ, Oyolsi, BOJÓRQUEZ SERRANO, José I., FLORES VILCHEZ, Fernando, MURRAY NÚÑEZ, Rafael M. and GONZÁLEZ GARCÍA-SANCHO, Areli. Riesgo de erosión hídrica y estimación de pérdida de suelo en paisajes geomorfológicos volcánicos en México. *Cultivos Tropicales*. June 2016. Vol. 37, no. 2, p. 45–55.
21. VEGA, Marina B., FEBLES, J. M., TOLÓN, A. and LASTRA, X. Evaluación de la erosión potencial de los suelos mediante la metodología CORINE en distritos pecuarios de la provincia Mayabeque, Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 2011. Vol. 45, no. 4, p. 423–428.

22. SANTOS, Alma. *Estimación de la erosión hídrica del suelo a partir del modelo USLE en la vertiente del Pacífico de Guatemala* Online. 2023. [Accessed 16 June 2023]. Available from: <https://icc.org.gt/es/estimacion-de-la-erosion-hidrica-del-suelo-a-partir-del-modelo-usle-en-la-vertiente-del-pacifico-de-guatemala/>
23. BOÑÓN, Germán H Alcántara. *Estudio especializada: Análisis de los Cambios de Cobertura y uso de la Tierra*. . 2014.
24. FRANCO, Rodolfo. *Composiciones Landsat en ARCGIS*. . 2017.
25. ALMOROX ALONSO, Javier. *Métodos de estimación de la erosión hídrica*. . Madrid : Editorial Agrícola Española, 1994. ISBN 978-84-85441-33-4.
26. CISNEROS, José, CHOLAKY, Carmen, GUTIERREZ, Alberto, GONZALES, Jorge, REYNERO, Miguel, DIEZ, Alejandro and BERGESIO, Leonardo. *Erosión Hídrica Principios y técnicas de manejo. 1a Edición*. 2012. P. 290.
27. GIL TARRILLO, Wilder. *Cambios de cobertura y uso del suelo con imágenes satelitales del distrito de San Silvestre de Cochán, periodo 2001 - 2018. Universidad Nacional de Cajamarca*. Online. 2019. [Accessed 9 May 2023]. Available from: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3012>Accepted: 2019-06-26T12:29:11Z
28. MIDDLETON, H. E. *Properties of Soils Which Influence Soil Erosion. Soil Science Society of America Journal*. 1930. Vol. B11, no. 2001, p. 119–121. DOI 10.2136/sssaj1930.036159950B1120010021x.
29. ARIAS, Fideas G. *El proyecto de Investigación Introducción a la Metodología Científica*. . 2012.
30. CAMACHO-ZOROGASTÚA, Katherine and GOMEZ-LORA, Walter. *Erosión hídrica por lluvias máximas en diferentes tiempos de retorno en la subcuenca Cumbaza - Región San Martín. Cátedra Villarreal*. Online. 2018. Vol. 6, no. 2. [Accessed 15 October 2023]. DOI 10.24039/cv201862275.
31. HERNÁNDEZ SAMPIERE, Roberto, FERNANDEZ COLLADO, Carlos and BAPTISTA LUCIO, Pilar. *Metodología de la Investigación*. . 1a Edición. Mexico, 2014. ISBN 978-1-4562-2396-0.
32. GUTIERREZ, L. and SABINO, E. *Erosividad de Lluvia en el Perú para el Periodo 2000 - 2020*. Online. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI, 2022. Available from: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-104.pdf>
33. SOLANO PERALTA, Roosevelt. *Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la subcuenca del Río Shullcas 2000 – 2013, Huancayo*. Online. Universidad Nacional del Centro del Perú, 2016. [Accessed 10 May 2023]. Available from: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3486>Accepted: 2018-01-17T03:07:27Z

ANEXOS

Figura 20. Apertura de Calicata



En la Figura N°20, se evidencia el inicio de la excavación para la calicata, la cual tendrá una profundidad de 0.40, la toma de muestra se realizó de acuerdo con la Guía para Muestreo de Suelos, posterior a ello se llevó al laboratorio para su análisis; el punto tiene como coordenadas E 491944, N9710238.

Figura 21. Toma de muestras de Calicata – Camino a la comunidad campesina Tunso



En la Figura N°21, se evidencia la excavación de la calicata de 30cm en la carretera Comas – Tunso, la toma de muestra se realizó de acuerdo a la Guía para Muestreo de Suelos, el punto tiene como coordenadas E 490256, N8705118.

Figura 22. Punto de Muestreo – Anexo de Tunso



En la Figura N°22, se evidencia erosión hídrica, ocasionada por las fuertes lluvias. La toma de muestra de suelo se realizó en el anexo de Tunso y de acuerdo a la Guía para Muestreo de Suelos, el punto tuvo como coordenadas: E0486294; N8708355.

Figura 23. Punto de Muestreo – Anexo Aracancha



En la Figura N°23, se evidencia que se realizó la calicata de 0.3x0.30m y profundidad 0.30m y se anotó las coordenadas: E0492687; N8710085, este punto se encuentra en el Anexo Aracancha.

Figura 24. Deslizamientos – Anexo Aracancha



Según la Figura N°24, se evidencia que en Anexo Aracancha hay deslizamientos ocasionados por las precipitaciones, también se observa pérdida de cobertura vegetal; gran cantidad de personas se dedicó a la siembra y cosecha a de Olluco.

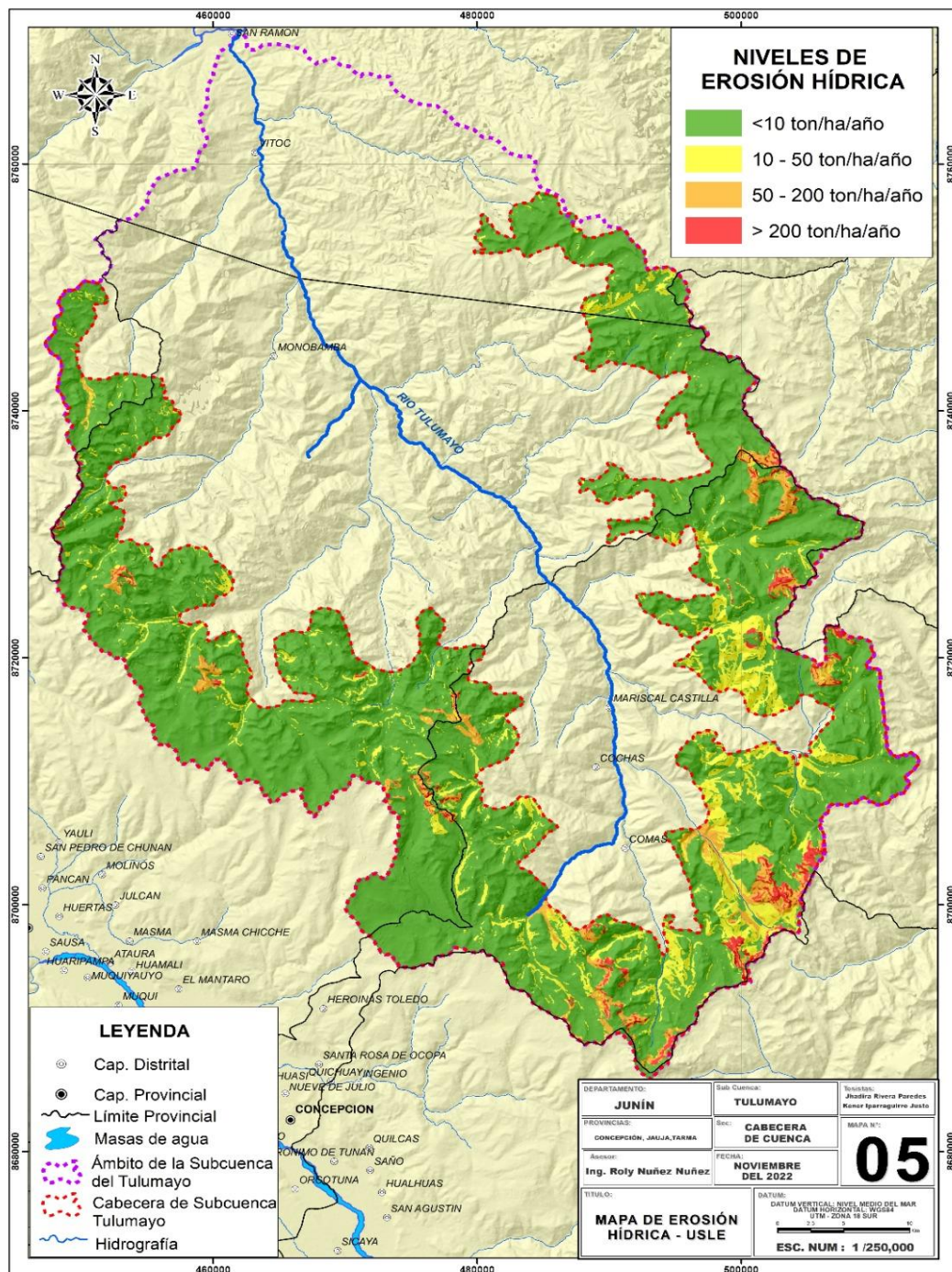
Figura 25. Punto de Muestras - Anexo Maraynioc



Según la Figura N°25, se observa que se tomó muestras de suelo del Anexo Maraynioc cuyas coordenadas son: E0496875; N8709770. En ese anexo se observa pérdida de deslizamientos, así como pérdida de cobertura vegetal.

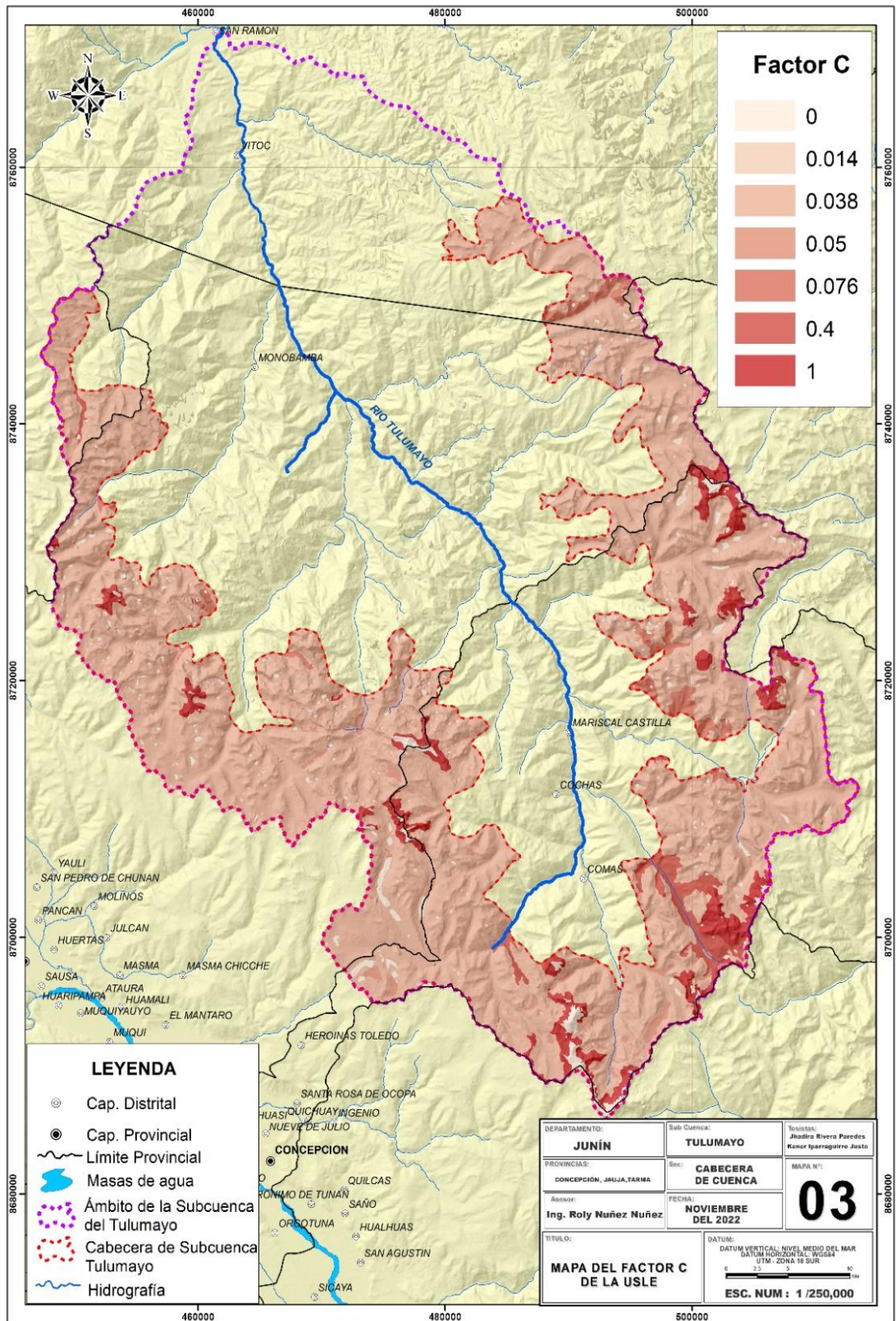
MAPAS

Figura 26. Mapa de erosión hídrica de acuerdo con USLE



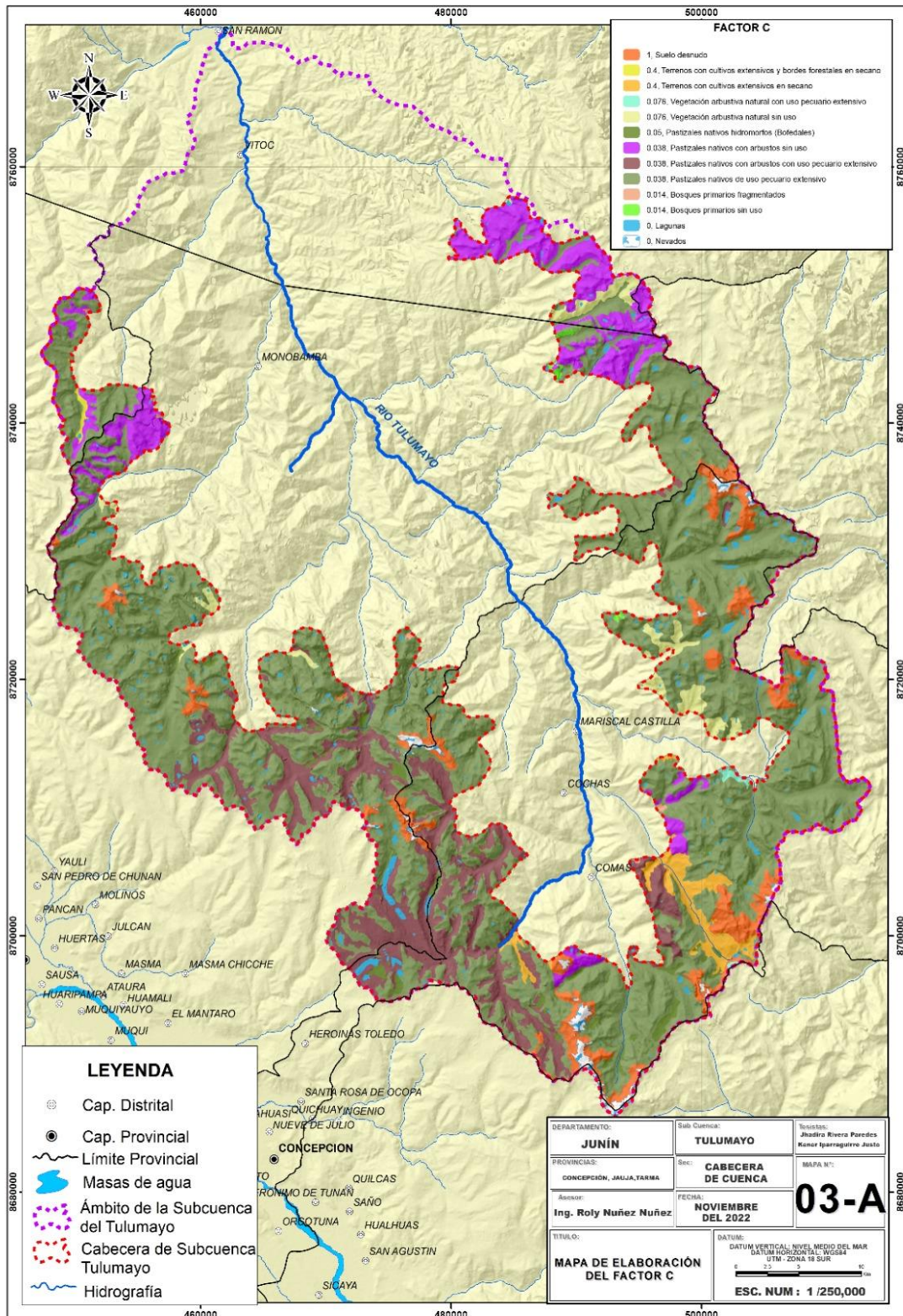
Fuente: Elaboración Propia

Figura 27. Mapa del factor C de acuerdo a USLE



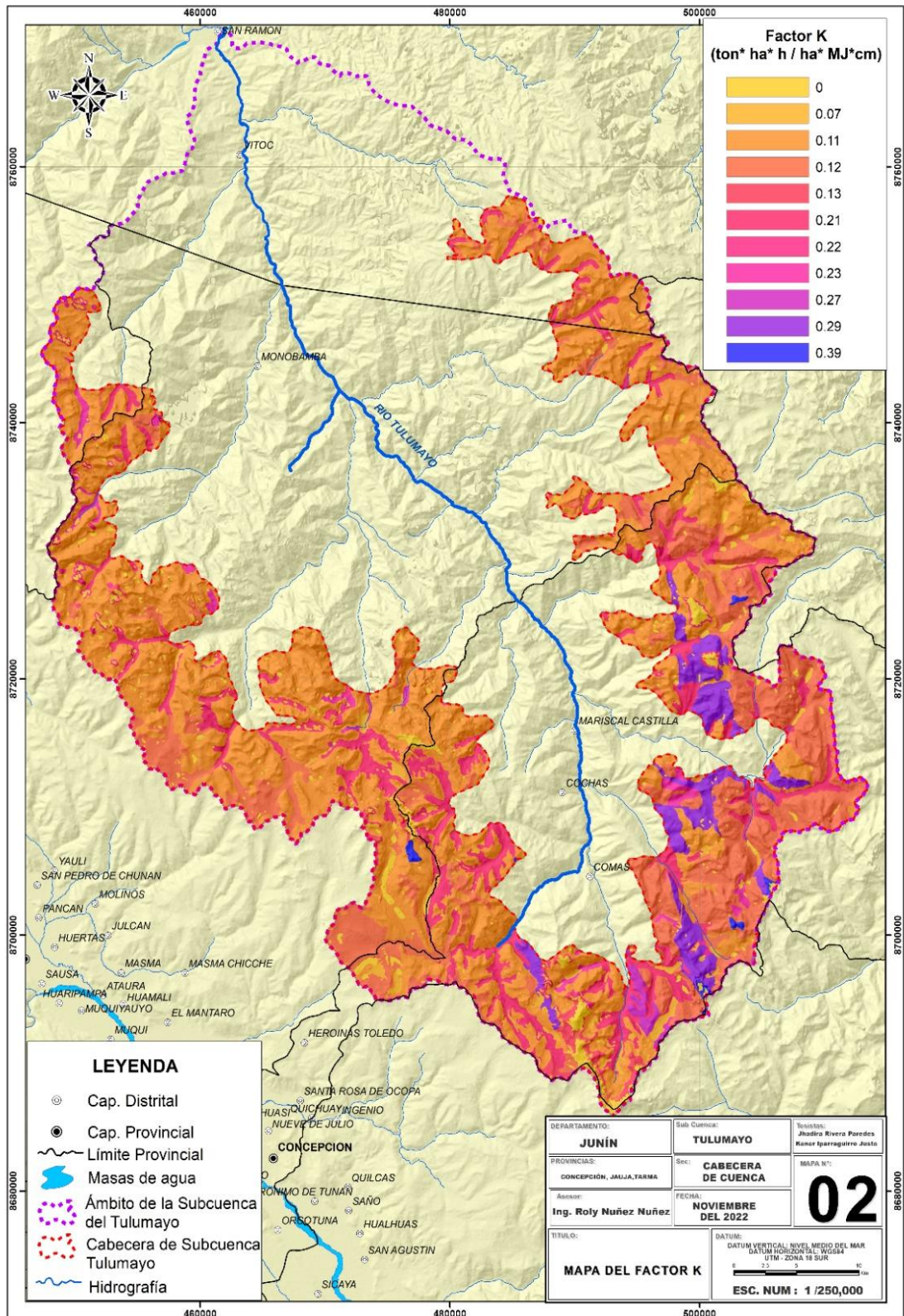
Fuente: Elaboración Propia

Figura 28. Mapa del Factor C



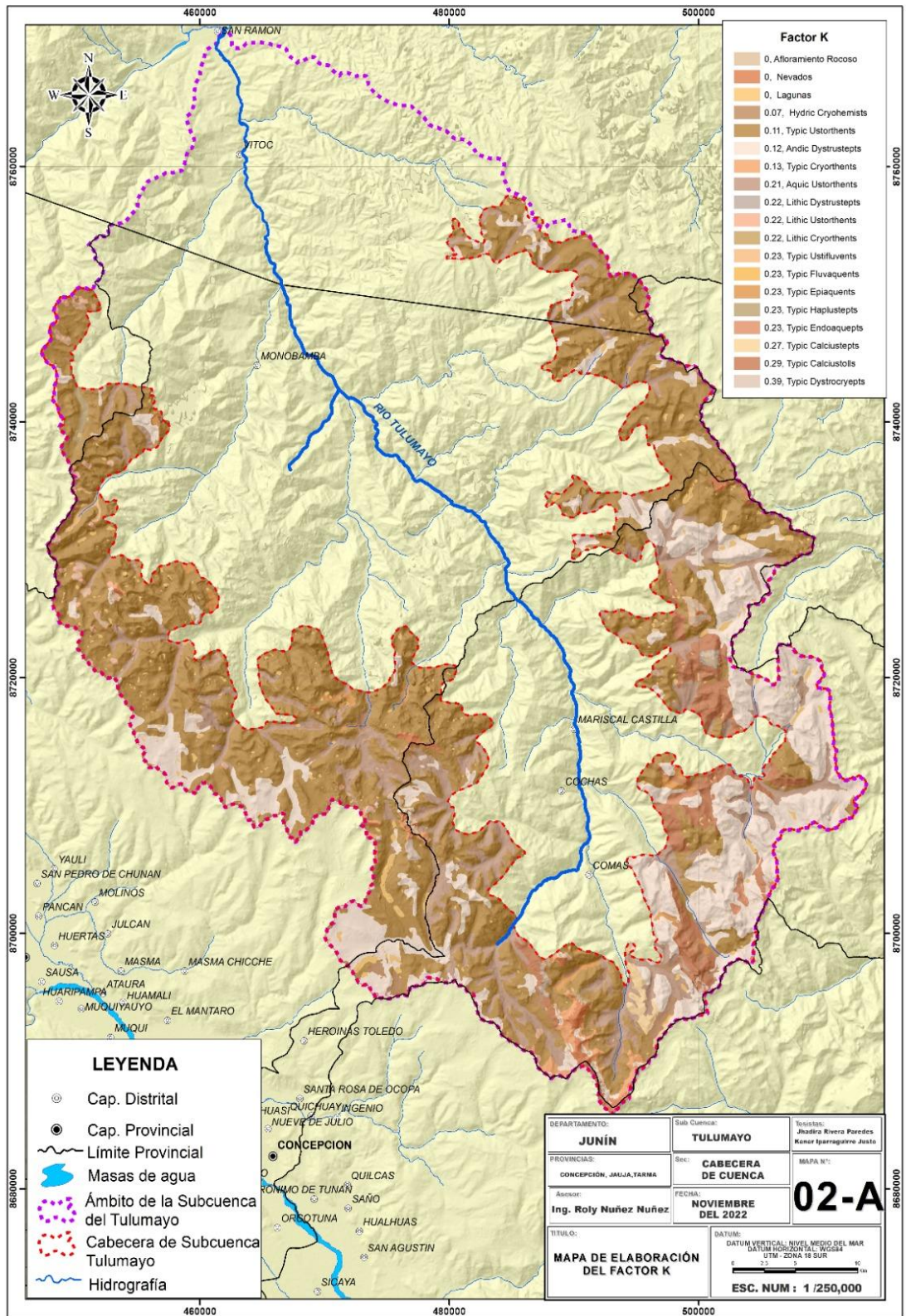
Fuente: Elaboración propia

Figura 29. Mapa del Factor K de acuerdo a USLE



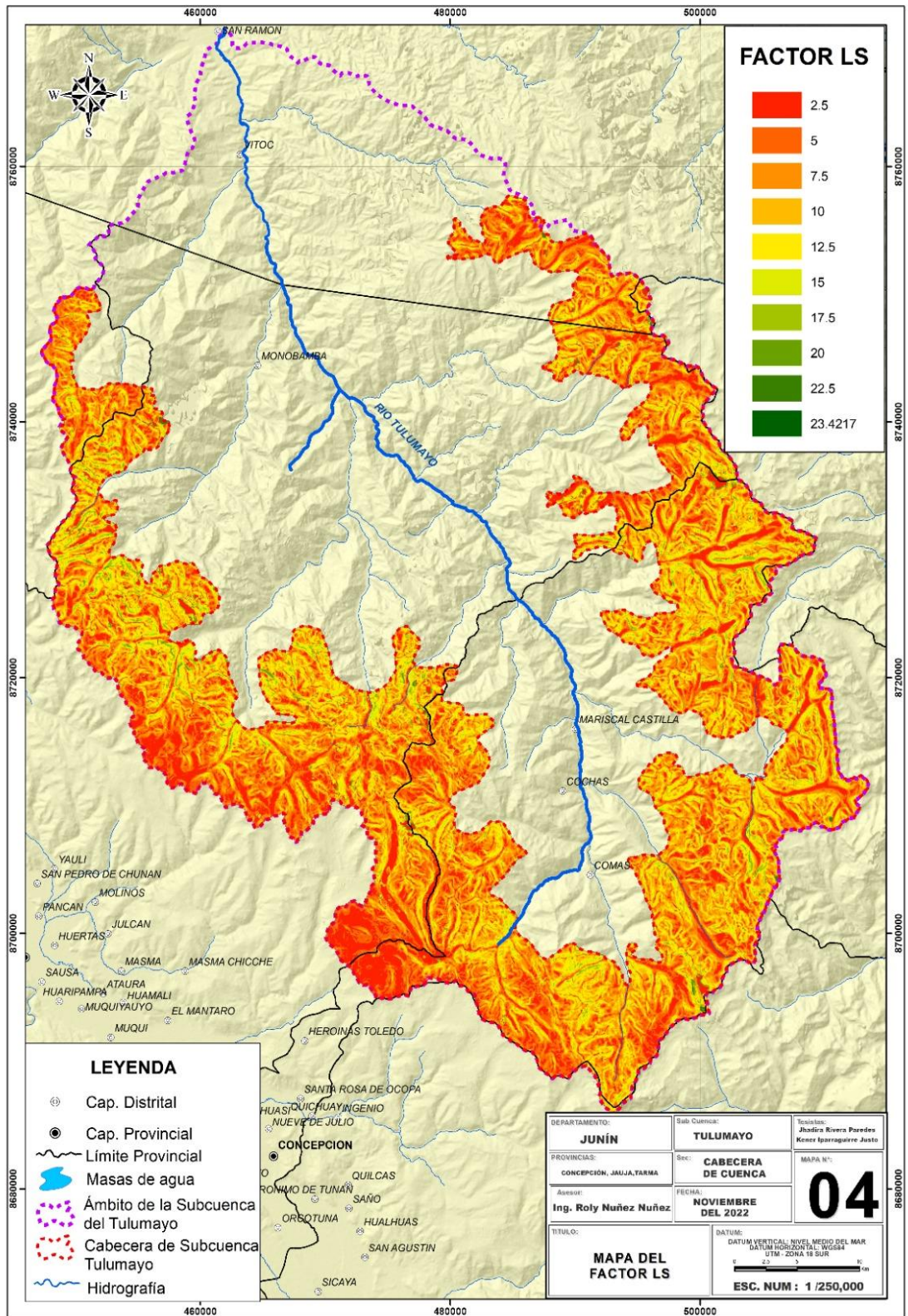
Fuente: Elaboración propia

Figura 30. Mapa del Factor K



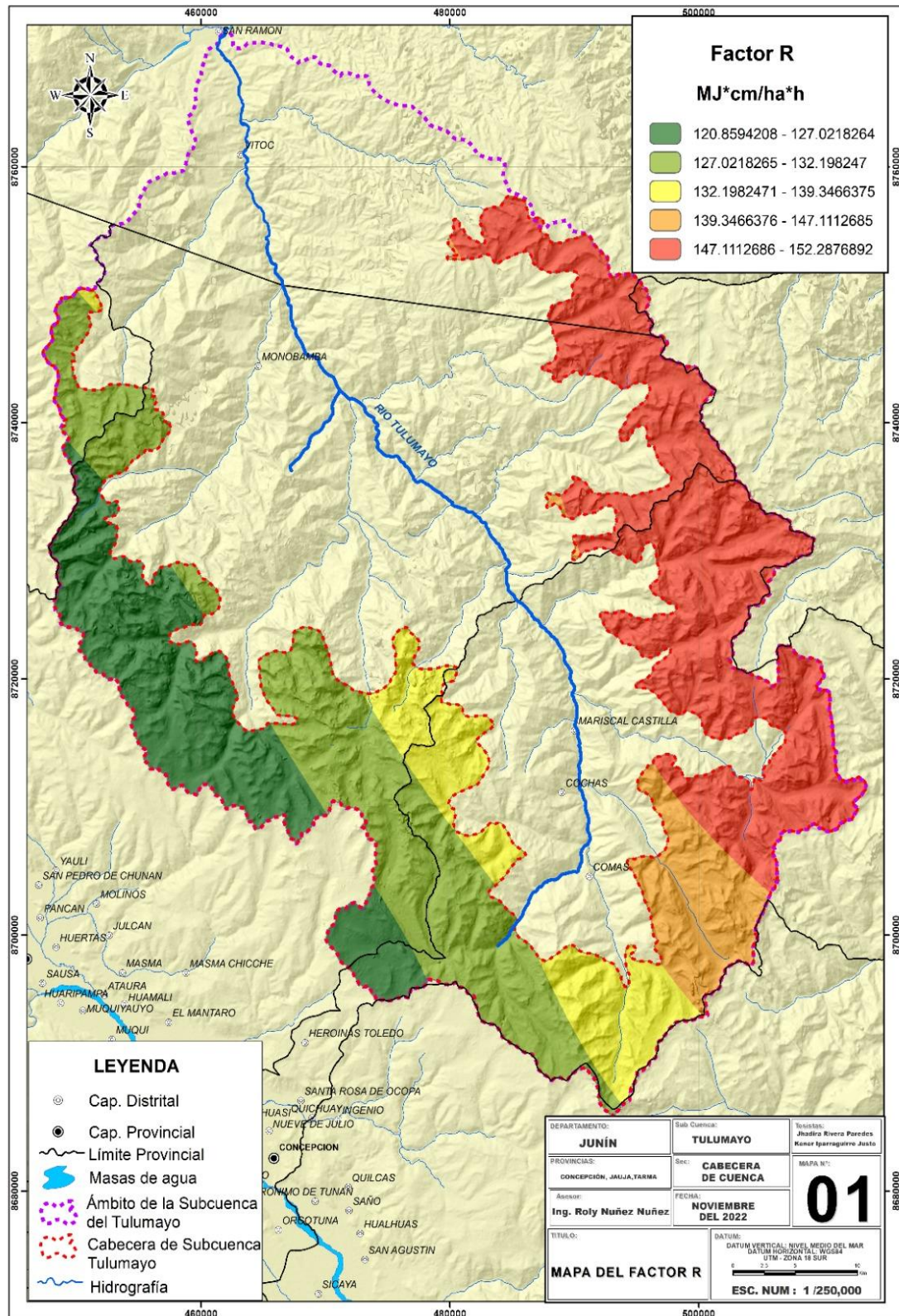
Fuente: Elaboración propia

Figura 31. Mapa del Factor LS



Fuente: Elaboración propia

Figura 32. Mapa del Factor R



Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Resultados de la clase textural de las Muestras de suelo

M	X	Y	Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural	M	Permeabilidad
1	490256	8705118	64%	19.80%	16.60%	Franco arenosa	69.56%	4
2	490491	8705928	80%	11.80%	8.60%	Arena Francosa	83.54%	3
3	490456	8706296	68%	19.80%	12.60%	Franco arenosa	76.39%	3
4	490719	8707582	76%	13.80%	10.60%	Franco arenosa	79.92%	3
5	490682	8706946	84%	9.80%	6.60%	Arena Francosa	87.24%	3
6	490122	8705583	80%	11.80%	8.60%	Arena Francosa	83.54%	3
7	489934	8705472	90%	7.80%	2.60%	Arenosa	94.87%	1
8	489943	8705474	84%	9.80%	6.60%	Arena Francosa	87.24%	2
9	490017	8705714	88%	7.80%	4.60%	Arenosa	91.01%	1
10	489997	8705977	88%	5.80%	6.60%	Arena Francosa	87.24%	2
11	489952	8706429	77%	13.80%	9.00%	Franco arenosa	82.81%	3
12	489749	8706494	79%	13.80%	7.00%	Arena Francosa	86.49%	3
13	489708	8706504	71%	15.80%	13.00%	Franco arenosa	75.69%	3
14	487482	8707579	81%	9.80%	9.00%	Arena Francosa	82.81%	3

1 5	48653 4	870821 4	75%	13.80 %	11.00 %	Franco arenosa	79.21 %	3
1 6	48646 4	870836 3	73%	11.80 %	15.00 %	Franco arenosa	72.25 %	3
1 7	48629 4	870835 5	77%	13.80 %	9.00%	Franco Arenosa	82.81 %	3
1 8	48560 3	870096 6	66%	21.80 %	12.20 %	Franco arenosa	77.09 %	3
1 9	48602 1	870178 5	64%	22.60 %	13.50 %	Franco arenosa	74.91 %	3
2 0	48602 1	870192 6	60%	24.90 %	15.10 %	Franco arenosa	72.08 %	4
2 1	48627 2	870221 7	56%	33.30 %	10.80 %	Franco arenosa	79.66 %	3
2 2	48632 1	870227 3	64%	21.30 %	14.80 %	Franco arenosa	72.68 %	3
2 3	48634 7	870234 2	62%	27.30 %	10.80 %	Franco arenosa	79.66 %	3
2 4	48635 8	870238 3	80%	13.30 %	6.80%	Arenoso francosa	86.96 %	3
2 5	48610 5	870216 6	62%	23.30 %	14.80 %	Franco arenosa	72.68 %	3
2 6	48610 3	870217 1	58%	29.30 %	12.80 %	Franco arenosa	76.13 %	3
2 7	48634 3	870248 1	82%	13.30 %	4.80%	Areno francosa	90.73 %	2
2 8	48692 9	870346 0	74%	21.30 %	4.80%	Franco arenosa	90.73 %	3
2 9	48799 6	870408 6	72%	23.30 %	4.80%	Franco arenosa	90.73 %	3
3 0	49056 7	870421 6	78%	17.30 %	4.80%	Areno francosa	90.73 %	3
3 1	49056 9	870418 7	64%	25.30 %	10.80 %	Franco arenosa	79.66 %	3

3 2	49135 9	870395 7	58%	29.30 %	12.80 %	Franco arenosa	76.13 %	3
3 3	49188 0	870325 0	22%	67.30 %	10.80 %	Franco limosa	79.66 %	4
3 4	49216 0	870274 9	22%	69.30 %	8.80%	Franco limosa	83.27 %	4
3 5	49226 0	870254 6	64%	27.30 %	8.80%	Franco arenosa	83.27 %	3
3 6	49316 4	869916 7	60%	27.30 %	12.80 %	Franco arenosa	76.13 %	3
3 7	49453 2	869814 7	40%	47.30 %	12.80 %	Franco a	76.13 %	4
3 8	49238 9	871018 0	39%	43.60 %	17.40 %	Franco	68.23 %	4
3 9	49194 4	871023 7	45%	20%	34.80 %	Franco arcillo arenoso	42.58 %	5
4 0	49268 7	871008 5	35%	46.10 %	18.80 %	Franco	66.02 %	4
4 1	49306 2	871019 0	47%	44.10 %	8.70%	Franco	83.36 %	4
4 2	49342 2	871005 0	72%	14.80 %	13.60 %	Arena franca	74.65 %	3
4 3	49400 1	870961 5	32%	40.80 %	27.60 %	Franco arcillo limoso	52.42 %	4
4 4	49481 2	870859 7	44%	26.90 %	29.60 %	Franco arcilloso	49.63 %	5
4 5	49572 5	870715 5	30%	38.80 %	31.70 %	Franco arcilloso	46.65 %	5
4 6	49610 5	870894 9	40%	42.90 %	17.60 %	Franco	67.90 %	4
4 7	49617 1	870913 9	50%	34.70 %	15.60 %	Franco	71.23 %	4
4 8	49609 9	870955 5	37%	43.90 %	19.50 %	Franco	64.80 %	4

49	496758	8709702	66%	16.10%	17.50%	Franco arenosa	68.06%	4
50	496610	8709815	42%	43.40%	14.60%	Franco	73.02%	4
51	496506	8710376	28%	57.40%	14.30%	Franco limosa	73.36%	4
52	492250	8707655	64%	25.40%	10.30%	Franco arenoso	80.46%	3
53	491693	8707117	38%	45.40%	16.30%	Franco	70.06%	4
54	491658	8706915	6%	49.50%	44.10%	Arcillos o limoso	31.25%	6
55	491972	8705351	36%	49.40%	14.30%	Franco	73.53%	4

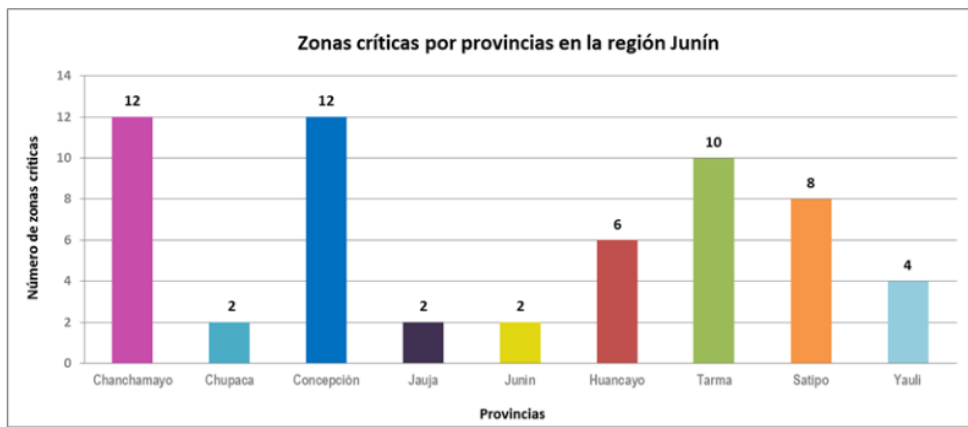
Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Erosionabilidad según Taxonomía de Suelos

N°	Ordenes	SubGrupo	Factor K	Superficie	Ocupación
1	Afloramiento Rocoso	Afloramiento Rocoso	0.00	972.55	0.73%
2	Entisols	Aquic Ustorthents	0.21	15920.85	11.90%
3	Entisols	Lithic Cryorthents	0.22	56.63	0.04%
4	Entisols	Lithic Ustorthents	0.22	863.14	0.64%
5	Entisols	Typic Cryorthents	0.13	1234.22	0.92%
6	Entisols	Typic Epiaquepts	0.23	1040.59	0.78%
7	Entisols	Typic Fluvaquepts	0.23	21.68	0.02%
8	Entisols	Typic Ustifluvents	0.23	204.17	0.15%
9	Entisols	Typic Ustorthents	0.11	69272.24	51.76%
10	Histosols	Hydric Cryohemists	0.07	1993.06	1.49%
11	Inceptisols	Andic Dystrustepts	0.12	30606.54	22.87%
12	Inceptisols	Lithic Dystrustepts	0.22	147.44	0.11%
13	Inceptisols	Typic Calciustepts	0.27	671.20	0.50%
14	Inceptisols	Typic Dystrocryepts	0.39	383.57	0.29%
15	Inceptisols	Typic Endoaquepts	0.23	331.70	0.25%
16	Inceptisols	Typic Haplustepts	0.23	243.46	0.18%
17	Lagunas	Lagunas	0.00	2606.96	1.95%
18	Mollisols	Typic Calciustolls	0.29	5837.42	4.36%
19	Nevados	Nevados	0.00	1417.08	1.06%
				133824.50	100%

Fuente: Elaboración propia

Figura 33. Zonas Críticas por provincias en la región Junín



Fuente: INGEMMET