

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
INGENIERÍA EN COSERVACIÓN DE SUELO Y AGUA



PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO
PENDENCIA- LEONCIO PRADO - HUÁNUCO

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELO Y AGUA

Presentado por:

BLACIDO DIONICIO, MERY LUZ

Tingo María – Perú

2026



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María- Perú
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 074-2026-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 19 de junio de 2026, a horas 04:00 p.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO
PENDENCIA-LEONCIO PRADO-HUÁNUCO”**

Presentado por la Bachiller: **BLACIDO DIONICIO, MERY LUZ** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

En consecuencia, la sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 01 de julio de 2026

Dr. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ
PRESIDENTE

Dr. WILFREDO ALVA VALDIVIEZO
MIEMBRO

Dr. HECTOR AGUIRRE ESPINOZA
MIEMBRO



Ing. MSc. JOSE VICTOR QUIROZ RAMIREZ
ASESOR



UNAS

VICERRECTORADO DE
INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE
INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE SOPORTE
CIENTÍFICO
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N 211 - 2026 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% y contenido generado por Inteligencia Artificial menor o igual al 20%. Según establece el Art. 29° y 30° del Acuerdo Nro.017-2025-CIUNAS-VRI-UNAS.

Programa de Estudio:

Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO PENDENCIA- LEONCIO PRADO - HUÁNUCO	BLACIDO DIONICIO, MERY LUZ	16 % Dieciséis	0 % Cero

Tingo Maria, 15 de julio de 2026.


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO
ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE

C.C. Archivo

NIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
INGENIERÍA EN COSERVACIÓN DE SUELO Y AGUA



**PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO
PENDENCIA- LEONCIO PRADO – HUÁNUCO**

Área de investigación	: Gestión de cuencas Hidrográficas
Grupo de investigación	: Gestión de cuencas Hidrográficas
Línea de Investigación	: Zonificación Ecológica económica
Autor	: Blacido Dionicio, Mery Luz
Asesor de Tesis	: MSc. José Víctor Quiroz Ramírez
Lugar de Ejecución	: Distrito Rupa Rupa – Tingo María
Duración	: Dos años
Financiamiento	: S/. 7,249.00
Propio	: Si
FEDU	: No
Otros	: No

Tingo María Perú, junio 2026



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE SUELO Y AGUA

“Promoviendo la Calidad de la Investigación”

“Año del bicentenario, de la consolidación de nuestra independencia y de la conmemoración de las heroicas Batallas de Junín y Ayacucho”

REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO UNIVERSITARIO (FIF)

Universidad	:	Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad	:	Recursos Naturales Renovables
Escuela profesional/	:	Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de suelos y agua
Título de Tesis	:	Pérdida de suelo por erosión hídrica de la microcuenca del río Pendencia-Leoncio Prado - Hco
Objetivo General	:	Estimar la pérdida del suelo por erosión hídrica en la microcuenca del río Pendencia mediante el modelo RUSLE integrada a herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG).
Objetivos Específicos	:	Cuantificar los factores del modelo RUSLE(R,K,LS,C,P) y elaborar un mapa de cada factor evaluado para la microcuenca del río Pendencia durante el periodo de 2019 – 2023. Determinar y elaborar un mapa de la pérdida del suelo por erosión hídrica con el modelo RUSLE en la microcuenca del río Pendencia durante el periodo 2019–2023. Proponer medidas de mitigación para la pérdida de suelo en la microcuenca del río Pendencia.
Autor	:	Mery Luz Blacido Dionicio
DNI	:	75113112
Correo Electrónico	:	mery.blacido@unas.edu.pe
Asesor de Tesis	:	Ing. MSc. José Víctor Quiroz Ramírez
Área de Investigación	:	Gestión de cuencas Hidrográficas
Grupo de Investigación	:	Gestión de cuencas Hidrográficas
Línea (s) de investigación	:	Zonificación ecológica y económica
Lugar de Ejecución	:	Microcuenca del río Pendencia, provincia de Leoncio Prado, departamento Huánuco
Fecha Inicio	:	05/04/2024
Fecha Termino	:	05/05/2026
Financiamiento	:	Propio (x) FIF () Eterno ()
Presupuesto	:	S/. 7,249.00

DEDICATORIA

A Dios, por la vida, la salud, por darme sabiduría, fuerzas para seguir y afrontar todas las dificultades que se me presentan, por todas las cosas que me permite hacer y cumplir mis metas sin su bendición nada sería posible.

A mis padres Eusebia Dionicio Millán y Silverio Blacido Ureta por inculcarme valores y por su amor incondicional, a mis hermanas(os) Luis, Shirle, Jhony, Desenia y Klenin Blacido Dionicio por brindarme su apoyo incondicional en todo momento tanto moral, espiritual y ayudarme a ser mejor persona cada día, a mi abuela Victoria y mi abuelo Nicolas que es paz descanse por darme consejos de vida.

“Ora como si todo dependiera de Dios y trabaja como si todo dependiera de ti.”

— Agustín de Hipona

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiarme en todo momento, brindarme fuerzas para afrontar todas las dificultades.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables y Escuela Profesional de Ingeniería en conservación de Suelos y Agua, a los docentes por contribuir en mi formación profesional, por sus conocimientos y experiencias compartidos durante el periodo de estudios.

Al Ing. Msc. Quiroz Ramírez José Víctor asesor del presente estudio, por su asesoramiento, supervisión y apoyo en la ejecución de la investigación.

A los docentes Msc. Bustamante Scaglioni Erle, Ing. Héctor Aguirre Espinoza, Msc. Ricardo Chávez y Ing. Alomía León Cristian, por su apoyo en la elaboración del trabajo de investigación

A los miembros de jurados: Dr. De Lara Suarez Lucio Manrique, Ing. Msc. Rengifo Trigozo, Juan Pablo, Ing. Msc. Wilfredo Alva Valdiviezo y Dr. Héctor Aguirre Espinoza por su apoyo y notas necesarias para la ejecución de este proyecto de tesis.

A mis amigos(as) Mercy, Jhon, Julio, Ariana, Efraín, Ruth y Stefany quienes me apoyaron durante el periodo de estudios.

A toda mi familia por su apoyo incondicional en todo momento, lo cual me motivo a seguir adelante y formarme como profesional

A todas aquellas personas que de manera directa e indirecta colaboraron para la ejecución de esta investigación.

INDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Objetivo general	2
1.2.	Objetivo específico.....	2
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1.	Antecedentes	3
2.2.	Marco teórico	5
2.2.1.	Cuenca hidrográfica.....	5
2.2.2.	Erosión del suelo	6
2.2.3.	Modelo de ecuación RUSLE	15
2.2.4.	Factores de la ecuación RUSLE	16
2.2.5.	Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE – MUSLE).....	21
2.2.6.	Precipitación	22
2.2.7.	SIG en los estudios de pérdida de suelo	22
2.2.8.	Pérdida de suelo.....	23
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1.	Descripción de la zona de estudio	26
3.1.1.	Ubicación política.....	27
3.1.2.	Ubicación geográfica.....	27
3.1.3.	Clima	27
3.1.4.	Vegetación.....	27
3.1.5.	Geografía	27
3.1.6.	Fisiografía.....	28
3.1.7.	Suelo	28
3.1.8.	Hidrográfica.....	28
3.1.9.	Accesibilidad	28
3.2.	Materiales	29
3.2.1.	Materiales	29
3.2.2.	Herramientas y equipos.	29
3.2.3.	Software.....	29
3.2.4.	Componentes de investigación	29
•	Variable dependiente.....	30

• variable independiente:	30
3.3. Metodología	31
3.3.1. Recopilación de información preliminar para el estudio.....	31
3.3.2. Cuantificar los factores del modelo RUSLE(R,K,LS,C,P) y elaborar un mapa de cada factor evaluado para la microcuenca del río Pendencia durante el periodo de 2019 – 2023.....	32
3.3.2.1. Cuantificar y elaborar un mapa del factor de erosividad de la lluvia(R) en mj.mm/ha de la microcuenca del río Pendencia en los años de 2019 a 2023.	32
3.3.2.2. Cuantificar y elaborar un mapa del factor de erodabilidad del suelo(K) en ton.h/MJ.mm de la microcuenca del río Pendencia.	33
3.3.2.3. ...Cuantificar y elaborar un mapa del factor longitud y ángulo de inclinación de la pendiente (LS) de la microcuenca del río Pendencia.	34
3.3.2.4. Cuantificar y elaborar un mapa del factor de cobertura vegetal y cultivo (C) de la microcuenca del río Pendencia.	35
3.3.2.5.Cuantificar y elaborar un mapa del factor de prácticas mecánicas de retención de suelo (P) de la microcuenca del río Pendencia.....	35
3.3.3. Determinar y elaborar un mapa de la pérdida del suelo por erosión hídrica con el modelo RUSLE en la microcuenca del río Pendencia durante el periodo 2019–2023.....	36
3.3.4. Proponer medidas de mitigación para la pérdida de suelo en la microcuenca del río Pendencia.....	37
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
4.1. Cuantificar los factores del modelo RUSLE (R , K,LS,C,P) y elaborar un mapa de cada factor evaluado para la microcuenca del río Pendencia durante el periodo de 2019 – 2023.....	38
4.1.1. Cuantificar y elaborar un mapa del factor de erosividad de la lluvia(R) en mj.mm/ha de la microcuenca del río Pendencia en los años de 2019 a 2023.	38
4.1.2. Cuantificar y elaborar un mapa del factor de erodabilidad del suelo(K) en ton.h/MJ.mm de la microcuenca del río Pendencia.....	41
4.1.3. Cuantificar y elaborar un mapa del factor longitud y ángulo de inclinación de la pendiente (LS) de la microcuenca del río Pendencia.....	45
4.1.4. Cuantificar y elaborar un mapa del factor de cobertura vegetal y cultivo (C) de la microcuenca del río Pendencia.....	47
4.1.5. Cuantificar y elaborar un mapa del factor de prácticas mecánicas de retención de suelo (P) de la microcuenca del río Pendencia.	49
4.2. Determinar y elaborar un mapa de la pérdida del suelo por erosión hídrica con el modelo RUSLE en la microcuenca del río Pendencia durante el periodo 2019–2023.....	50

4.3. Proponer medidas de mitigación para la pérdida de suelo en la microcuenca del río Pendencia.....	52
V. CONCLUSIONES	55
VI. PROPUESTA A FUTURO	56
VII. REFERENCIAS.....	57
VIII. ANEXO.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Niveles de erosividad	17
2. Clasificación de M.O	18
3. Parámetros de estructura del suelo a profundidades de 15 a 18 – Superficiales	18
4. Clases de permeabilidad según su textura.	18
5. Clasificación de los grados de erodabilidad	19
6. Clasificación del factor LS	19
7. Valores de LS en función a la pendiente	20
8. Clasificación referencial del factor C según tipo de cobertura y uso del suelo	20
9. Coordenadas UTM de la microcuenca del río Pendencia.....	26
10. Puntos de muestreo del suelo	30
11. Número mínimo de muestra	32
12. Valores de “P” para cultivos en contorno y su máxima longitud permitida entre obras.	36
13. Determinación de la erosividad o factor R	38
14. Índice de erodabilidad del suelo	43
15. Resultados del factor de longitud y gradiente de pendiente o factor LS	45
16. Uso actual de tierra.....	48
17. Resultado de la pérdida de suelo	51
18. Precipitaciones Media Mensual periodo (2019 – 2023) y estaciones Meteorológicas ubicadas cerca de la microcuenca del Rio Pendencia.....	65
19. Estaciones meteorológicas.....	67
20. Factor de erodabilidad(R).....	68
21. Aplicación del Índice de Fournier (Arnouldus)	69
22. Análisis del suelo realizado en el Laboratorio de Recursos Hídrico.	71
23. Factor K.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Mapa de Ubicación de la microcuenca del río Pendencia	26
2. Valores de erosividad de las estaciones meteorológicas	39
3. Mapa del factor de erosividad	41
4. Mapa del factor de erodabilidad del suelo.....	44
5. Mapa del factor de erosividad	47
6. Mapa del factor de cobertura vegetal y cultivo (C)	49
7. Mapa de pérdida de suelo por erosión hídrica en la microcuenca Pendencia.....	52
8. Red de estaciones termo pluviométricas microcuencas de la provincia de Leoncio Prado Tingo María – UNAS.....	64
9. Comportamiento de la precipitación media mensual en las estaciones Anda, Pendencia, Tingo María, Tulumayo y Aguaytía para el periodo (2019 -2023).....	66
10. Precipitación vs altura	67
11. Regresión lineal de precipitación promedio anual.....	67
12. Valores de erosividad en las estaciones meteorológicas	68
13. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo	70
14. Estación meteorológica Tingo María	74
15. Reconocimiento de zona de estudio	74
16. Reconocimiento de la zona de influencia Nuevo Milenium.....	75
17. Reconocimiento de la zona de influencia Alta San Pedro	75
18. vegetación secundaria joven.....	76
19. Vegetación secundaria baja	76
20. Pastizal o herbazal denso.....	77
21. Cultivo de maíz.....	77
22. Muestreo de suelo.....	78
23. Muestreo del suelo y toma de las coordenadas.....	78
24. Embolsado de la muestra de suelo.....	79
25. Extracción del suelo	79
26. Secado de la muestra	80
27. Agitador mecánico de suelos.....	80
28. Análisis textural del suelo	81
29. Muestreo del suelo en anillo.....	81
30. Anillos con muestras de suelo	82
31. Muestras de suelo en anillo remojado	82
32. Determinar la permeabilidad del suelo	83
33. Suelo descubierto tomado de google earth	83
34. Suelo descubierto en riberas del río.....	84
35. Muros de gaviones al borde del río	84
36. Suelo descubierto reforestado.....	85
37. Muros de contención al borde del río	85
38. Construcción de muro de gaviones borde ríos y carreteras	86

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica de la microcuenca del río Pendencia, Leoncio Prado, Huánuco que abarca 11882.03 hectáreas, con altitud de 634 a 2315 msnm. Se realizó aplicando la metodología RUSLE mediante SIG; donde se integró cinco factores: el factor R se usó las precipitaciones acumuladas mensuales brindado por SENAMHI, el factor K se determinó con clases texturales, materia orgánica y permeabilidad del suelo, el factor LS se estimó mediante un modelo de elevación digital (DEM), el factor C se evaluó a partir de imágenes satelitales PeruSAT-1. Los resultados obtenidos del factor de erosividad(R) oscila entre 271.14 a 320.24 MJ·mm/ha·h·año presentando un nivel moderado de erosividad, el factor de erodabilidad(K) mínima fue de 0.0169 ton·ha·h/ha·MJ·mm clasificado como débilmente erodable y la máxima fue de 0.0436 ton·ha·h/ha·MJ·mm clasificado como fuertemente erodable, el factor de longitud y ángulo de inclinación de la pendiente(LS) oscilo entre 0 a 37.11 clasificado la mayor parte de la microcuenca como muy alta, el factor de cobertura vegetal y cultivo(C) está conformado por bosque muy denso a un 70% y al factor de prácticas mecánicas de retención de suelo(P) se le considero un valor de 1 debido a que hay ausencia de práctica de conservación y finalmente se estimó la erosión hídrica de la microcuenca Pendencia que osciló de 0 a 131.6 t/ha/año siendo el 2% critica con 199.89 hectáreas y el 86 % fue de nula a ligera con 9016.47 hectáreas en los periodos de 2019 a 2023.

Palabras claves: erodabilidad, erosión hídrica, erosividad, SIG, pérdida de suelo y RUSLE.

The Loss of Soil Due to Water Erosion in a Micro-Basin from the Pendencia River in Leoncio Prado, Huánuco

Abstract

The objective of the research was to estimate the soil loss due to water erosion in a micro-basin from the Pendencia river in Leoncio Prado, Huánuco, [Peru,] which covered 11,882.03 acres, at an altitude of 634 to 2315 masl. This was done by applying the RUSLE methodology using SIG; where five factors were integrated: for the R factor, the accumulated monthly precipitations provided by SENAMHI (acronym in Spanish) were used; for the K factor, the textural classes, organic matter and permeability of the soil were determined; the LS factor was estimated using a digital elevation model (DEM); [and] the C factor was evaluated using PeruSAT-1 satellite images. The results that were obtained for the erosivity factor (R) oscillated between 271.14 and 320.24 MJ·mm/ac·h·year, presenting a moderate level of erosivity. For the erodibility factor (K), the minimum was 0.0169 ton·ac·h/ac·MJ·mm, [which was] classified as weakly erodible, and the maximum was 0.0436 ton·ac·h/ac·MJ·mm [which was] classified as highly erodible. The length and angle of incline for the slope (LS) oscillated between 0 and 37.11, [due to which] the majority of the micro-basin was classified as very high. For the vegetative cover and crop (C) factor, 70% was made up of very dense forest, and the mechanical practices for soil retention (P), were considered to be at a value of 1, due to the fact that there was an absence of conservation practices. Finally, the water erosion of the Pendencia micro-basin oscillated between 0 and 131.6 t/ac/year, where 2% was critical, for 199.89 acres, and 86% was null to slight, for 9016.47 acres, during the period from 2019 to 2023.

Keywords: erodibility, water erosion, erosivity, SIG, soil loss, RUSLE

I. INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO (2015) sostiene que la pérdida de suelo por efectos de la erosión constituye uno de los principales problemas a nivel mundial, además la degradación de los recursos naturales, sobre todo del suelo, impacta en la planificación territorial. Los problemas de erosión son más evidentes en áreas con lluvias abundantes, zonas con pendientes pronunciadas y escasez de políticas para el uso y la gestión del recurso suelo. Actualmente en el Perú se estima un equivalente a un campo de fútbol en tierra aproximadamente que se pierde cada cinco segundos, y más del 90% del suelo de la tierra podría degradarse para 2050 (LOSAGRO, 2019). Además, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2017) confirma que la erosión hídrica en el Perú es un serio problema medioambiental que pone en peligro y perjudica la seguridad hídrica. y la seguridad alimentaria.

El modelo RUSLE predice la pérdida anual del suelo por erosión hídrica laminar y de surcos utilizando cinco factores (erosividad por lluvia(R), erodabilidad del suelo(K), longitud de la pendiente y grado de pendiente (LS), manejo y cobertura del suelo(C), prácticas de conservación (P) lo cual se utiliza para planificar mejor el uso y la gestión de la tierra, además permite identificar las zonas más susceptibles a la erosión hídrica y está diseñado para superficies pequeñas y medianas. El planteamiento del problema es, ¿Cuál es la pérdida potencial de suelo por erosión hídrica en la microcuenca del río Pendencia durante el periodo 2019–2023 estimada mediante el modelo RUSLE integrado a herramientas SIG?.

La justificación de la investigación se fundamenta que en la microcuenca del río Pendencia predomina los suelos arcillosos descubiertos debido al mal uso de suelos con cultivo de hoja de coca con 60 ha aproximadamente y 350 ha de cicales abandonados, asimismo en algunos sectores se encuentra suelos franco-arcillosos, su relieve está conformado por planicie, pie de monte y laderas empinadas que con las altas precipitaciones que producen daños en las áreas agrícolas como consecuencia la erosión hídrica laminar. Además, en la actualidad la parte baja está siendo afectadas por inundaciones a causa de las precipitaciones de moderadas a extremas a lo largo de la microcuenca y en consecuencia afectando a la población urbana, rural, agricultores y obras de ingeniería con la pérdida de suelo a causa de la erosión hídrica constituye una pérdida

económica en la agricultura y ganadería, ya que se pierden muchos nutrientes, lo que resulta en una reducción de la producción. De manera que en esta investigación se busca conocer la pérdida de suelo de la microcuenca del río Pendencia por erosión hídrica por medio del método RUSLE y plantear posibles soluciones.

Además, RUSLE fue seleccionado debido a que requiere una menor cantidad de datos de entrada en comparación con otros modelos de erosión, presenta amplia aceptación y validación en estudios realizados a nivel mundial, y permite una integración eficiente con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), facilitando la evaluación espacial de la erosión hídrica a escala de cuenca

Los alcances de la presente investigación permitirán disponer de una línea base técnica para la gestión, protección y conservación del recurso suelo en la microcuenca del río Pendencia. Asimismo, proporcionará información metodológica y práctica que servirá como referencia para futuras investigaciones relacionadas con la gestión y conservación de suelos en cuencas hidrográficas. Los resultados obtenidos contribuirán al diseño e implementación de planes y estrategias de manejo ambiental orientados a la recuperación de áreas degradadas, así como a la protección y conservación sostenible del recurso suelo.

La hipótesis planteada es la siguiente: La pérdida de suelo por erosión hídrica en la microcuenca del río Pendencia supera los niveles tolerables establecidos para la conservación sostenible del recurso suelo.

1.1. Objetivo general

Estimar la pérdida del suelo por erosión hídrica en la microcuenca del río Pendencia mediante el modelo RUSLE integrada a herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

1.2. Objetivo específico

- Cuantificar los factores del modelo RUSLE(R, K,LS,C,P) y elaborar un mapa de cada factor evaluado para la microcuenca del río Pendencia durante el periodo de 2019 – 2023.
- Determinar y elaborar un mapa de la pérdida del suelo por erosión hídrica con el modelo RUSLE en la microcuenca del río Pendencia durante el periodo 2019–2023.
- Proponer medidas de mitigación para la pérdida de suelo en la microcuenca del río Pendencia.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

El mayor impacto negativo de la erosión hídrica se produce en las tierras agrícolas, ya que transporta fertilizantes químicos a los ríos y cambia la calidad del agua. Durante el año, el mundo pierde de 23 y 42 millones de toneladas de nitrógeno y de 15 y 26 millones de toneladas de fósforo. Esta información se comparó con los datos existentes sobre el uso anual de fertilizantes, que cifraban el nitrógeno en 112 millones de toneladas y el fósforo en 18 millones de toneladas. Por lo tanto, la sustitución con nuevos fertilizantes tiene costos económicos que oscilan entre 33.000 y 60.000 millones de dólares para los fertilizantes nitrogenados y entre 77.000 y 140.000 millones de dólares para los fertilizantes fosfatados (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) 2015). La RUSLE (Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo), aunque es bastante sencilla, ofrece un marco integral para calcular la erosión del suelo y los cinco factores que la componen: precipitaciones, suelos, longitud y pendiente, cubierta vegetal y prácticas agrícolas. La modelización brinda información relevante acerca del riesgo relativo de erosión del suelo, puesto que nos permite estimar la probabilidad de que se pierda calidad y establece una base para gestionar las cuencas hidrográficas de manera integrada y para utilizar la tierra de forma sostenible.

En 2015, la Agencia Nacional del Agua (ANA) publicó un estudio de erosión total en la cuenca del río Chicama utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), que ascendió a 4.518 toneladas/ha/año. El nivel bajo en la subcuenca es de 34.9 ton/ha/año, el nivel promedio es de 128.8 ton/ha/año, el nivel promedio es de 153.0 ton/ha/año, el nivel alto es de 253.5 ton/ha/año y el nivel muy el nivel alto es de 260,5 toneladas/año, hectárea/año, el nivel muy crítico es de 351,4 toneladas/hectárea/año. , un total de 1.182,1 t/ha/año (ANA, 2015, p. 285).

Mamani (2025) en su investigación titulada “Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Coata utilizando el modelo RUSLE – 2023” El propósito fue calcular el deterioro del suelo por erosión hídrica usando el modelo RUSLE (Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo), y la metodología se fundamentó en el análisis de cinco elementos: la erosividad de la lluvia (R), la erodabilidad del suelo (K), la topografía (LS), la cobertura vegetal (C) y las prácticas de manejo (P). Los resultados que se obtuvieron del factor R oscilaron entre 635.08 y 1353.48

$\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, lo que señala una gran capacidad erosiva de las lluvias. El factor K fluctuó de $0.0013343 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ a $0.032974 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, lo que muestra una erodabilidad de moderada a fuerte; por su parte, el factor LS tuvo un rango de 0.5 a 16, siendo más elevado en zonas con mayor pendiente y longitud. El factor P se mantuvo entre 0.55 y 1, lo cual sugiere que las prácticas de conservación fueron escasas; por otro lado, el factor C osciló entre 0 (protección buena) y 1 (protección mala). Por lo tanto, se calculó que la pérdida de suelo anual promedio fue de $234.25 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

García L.(2025) en su investigación “Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando el modelo RUSLE en la microcuenca Paliza - Lucanamarca - Huanca Sancos - Ayacucho, 2024” que propuso calcular la erosión hídrica en la microcuenca Paliza (98.48 km^2), que se encuentra en el distrito de Lucanamarca, provincia de Huanca Sancos, región Ayacucho, mediante la aplicación del método RUSLE. El factor R fue calculado a través de la ecuación Wischmeier y Smith (1978), que determinó una erosividad muy alta. El factor K señaló que el suelo tiene una erosión moderada. El factor LS reveló inclinaciones menores en la mayor parte de las áreas y mayores pendientes en las zonas bajas. El factor C se obtuvo a partir de una clasificación supervisada de imágenes del satélite Sentinel 2A, que reconocieron las áreas cubiertas por pastizales y matorrales como la cubierta terrestre más prevalente. Se estableció el factor P basándose en las prácticas de conservación que se observaron en el campo, incluyendo cultivos en terrazas y zanjales de infiltración. En última instancia, la erosión hídrica potencial media fue de $49,92 \text{ t/ha/año}$, considerada como moderada. La erosión real media fue de $6,88 \text{ t/ha/año}$, lo que se considera un nivel bajo.

Gamboa (2023) en su investigación titulada “Estimación de la erosión hídrica aplicando la metodología RUSLE con técnicas de teledetección en la cuenca del río Tumbes 2000-2022”, el propósito del estudio fue calcular el índice de erosión hídrica en la cuenca del río Tumbes, empleando la metodología RUSLE y métodos de teledetección. Se incorporaron los cinco elementos de RUSLE utilizando herramientas SIG; los factores (C), (R), (LS) y (K) se calcularon a partir de imágenes satelitales de Landsat 7 y 8. Según los resultados vinculados con la erosión hídrica potencial, el 31,92% de la cuenca experimenta pérdidas que superan las 200 Tn/Ha/Año , lo cual se considera crítico. Por otro lado, un porcentaje más reducido (8,11%) presenta pérdidas inferiores a 5 Tn/Ha/Año , lo que se considera bajo.

En 2019 se realizó una tesis acerca de pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando el modelo RUSLE en la cuenca del río Supte Grande, provincia Leoncio Prado - Huánuco que tuvo como propósitos calcular la pérdida de suelo por erosión hídrica, empleando el método de la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (RUSLE) que fue propuesto por Renard et al. (1997) y modificado por Rengifo et al. (2022); se recurrió a la herramienta SIG y se llevó a cabo la medición de la pérdida del suelo en el lugar mediante el método de los clavos, para lo cual primeramente se recolectaron las muestras de suelo; conforme a la estratificación por unidades fisiográficas, con los resultados obtenidos del análisis realizado en laboratorio se calculó el factor K, mientras que el factor C se estimó a partir de imágenes satelitales del Sentinel 2 utilizando software SIG, el factor R se estimó a partir de los datos de precipitación de estaciones meteorológicas de la zona de influencia y del factor LS se estableció utilizando un modelo de elevación que fue creado a partir de las cartas nacionales. Los datos sobre la erosión potencial (sin incluir la cobertura vegetal) indican que la mayor parte de la cuenca (61.67%) tiene una pérdida de 50 a 200 t/ha/año, mientras que un porcentaje menor (20.80%) muestra pérdidas menores a 0.5 t/ha/año; esto es lo opuesto a lo hallado en la erosión actual, donde más del 62% muestra pérdidas por debajo de las 0.5 t/ha/año y el porcentaje más pequeño revela pérdidas de entre 15 y 200 t/ha/año. Respecto al método de clavos para la medición en diversas coberturas: el pasto muestra una pérdida alarmante de 9718.80 t/ha/año; sin cobertura, 194.13 t/ha/año; con maíz, 68.27 t/ha/año; con cacao, 47.25 t/ha/año y con purma, 14.27 t/ha/año. Por lo tanto, para reducir el impacto, es necesario poner en marcha proyectos de reforestación con especies forestales (Tuesta, 2018).

2.2. Marco teórico

2.2.1. Cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica es un área topográficamente definida drenada por un curso de agua o un sistema continuo de cursos de agua que tiene una salida simple para todos los flujos de aguas residuales. Esta área tiene una salida simple para permitir la descarga de todo el flujo de aguas residuales. Además, las cuencas hidrográficas actúan como áreas de captación, almacenamiento y drenaje de agua, que luego se utiliza, entre otras cosas, para el consumo de agua para consumo humano, riego y generación de energía. Además, desempeñan importantes funciones medioambientales, como la regulación del suministro de agua y

la protección de los hábitats y caminos de diversas especies animales y vegetales. Además, estas zonas suelen ser el foco de la actividad humana (Pineda et al, 2006).

Una cuenca se refiere a la superficie terrestre cuya escorrentía superficial fluye enteramente a través de una serie de arroyos, ríos y, en última instancia, lagos hacia el océano a través de un solo estuario, estuario o delta. Una cuenca hidrográfica se considera indivisible como unidad de gestión de recursos. A menudo se encuentran contradicciones entre la actividad humana y las funciones ecológicas e hidrológicas de las cuencas. Los proyectos de manejo de cuencas buscan resolver estos conflictos a través de medidas y regulaciones que promuevan un equilibrio entre las actividades de producción y conservación. Lograr este objetivo requiere datos derivados de una descripción física, natural y socioeconómica de la cuenca (Pineda et al., 2006).

La cuenca hidrográfica es reconocida como la unidad territorial más adecuada para la gestión conjunta de los recursos hídricos y puede caracterizarse como un área delimitada por la naturaleza, principalmente por los límites de las áreas de flujo de aguas superficiales que discurren en dirección a un río. Debe reconocerse que la unidad de gestión adecuada es un ecosistema (por ejemplo, una cuenca) y no un recurso natural. En términos económicos, esto significa cuestionar la idea de propiedad privada de los recursos naturales (Garcés, 2011).

2.2.2. Erosión del suelo

2.2.3.4. Factores que influyen en la erosión del suelo

La erosión del suelo constituye un proceso complejo influenciado por la interacción de factores climáticos, topográficos, edáficos, biológicos y humanos. Varios autores coinciden en que la cuantía de la pérdida de suelo se relaciona más con la combinación de estos elementos que con la influencia aislada de alguno en particular (Wischmeier & Smith, 1978).

a. Factores climáticos

El clima es uno de los principales determinantes de la erosión, especialmente en regiones tropicales y montañosas.

- **Precipitación**

La lluvia tiene un impacto significativo, ya que las lluvias intensas generan mayor energía cinética; cuando los eventos se prolongan, la escorrentía aumenta. Una mayor frecuencia de ocurrencias eleva el riesgo de acumulación, y la distribución temporal de lluvias concentradas en cortos intervalos es más erosiva. El impacto de las

gotas de lluvia inicia el desprendimiento de partículas (erosión por salpicadura), que luego son transportadas por la escorrentía superficial. Esta capacidad de erosión se mide a través del factor R en el modelo RUSLE (Renard et al., 1997).

- **Viento**

En regiones áridas y semiáridas, el viento actúa como el principal agente de erosión. La erosión causada por el viento está influenciada por la velocidad del viento, la humedad del suelo, el tamaño y el peso de las partículas, así como la rugosidad de la superficie. Además, cuando la velocidad del viento excede el umbral crítico, se produce deflación y se facilita el transporte por saltación y suspensión. (Garcés, 2011)

b. Factores topográficos

La topografía controla la energía y dirección del flujo superficial.

- **Pendiente**

Hay una relación directa entre la inclinación del terreno y la erosión; mientras mayor sea la inclinación, más rápida será la velocidad del agua, y a mayor velocidad, mayor será la capacidad para transportar sedimentos. Además, en modelos empíricos como el USLE, este efecto se representa a través del factor LS, donde la longitud de la pendiente y las pendientes más largas permiten que la escorrentía se acumule de manera gradual, incrementando la fuerza erosiva aguas abajo (Morgan, 2005).

c. Factores edáficos (propiedades del suelo)

Las características físicas y químicas del suelo determinan su resistencia al desprendimiento y transporte.

- **Textura**

Los suelos limosos son muy susceptibles a la erosión hídrica, suelo: susceptible a la erosión eólica, arcilla: más cohesivo, pero puede provocar escorrentía si tiene baja capacidad de infiltración.

- **Estructura**

Suelos con agregados estables resisten mejor el impacto de la lluvia. La degradación estructural aumenta la erodabilidad.

- **Materia orgánica**

Aumenta la estabilidad de los agregados, la porosidad, la infiltración, la resistencia mecánica y el agotamiento de la materia orgánica aumenta la vulnerabilidad erosiva (FAO, 2015).

- **Permeabilidad e infiltración**

Los suelos con baja capacidad de infiltración contribuyen a la escorrentía superficial, lo que aumenta la pérdida de suelo. Todas estas propiedades se integran en el factor K (erodabilidad) en los modelos de predicción. (Wischmeier y Smith, 1978).

d. Cobertura vegetal

La vegetación es uno de los elementos más relevantes para la protección, su función incluye la interceptación de la lluvia, la reducción de la energía cinética, la reducción del caudal superficial, la consolidación del suelo a través de las raíces, la mejora de la estructura edáfica y la eliminación de la cubierta vegetal incrementa significativamente la erosión, como lo señala la FAO (2015), especialmente en las zonas agrícolas y forestales.

e. Uso y manejo del suelo (factor antrópico)

Las acciones humanas pueden aumentar la erosión natural, ya que prácticas como la agricultura intensiva, el cultivo único, el sobrepastoreo, la tala de bosques, la edificación de infraestructuras, una inadecuada gestión del riego y el manejo de la tierra pueden ser causas que agravan o alivian la situación, según las técnicas implementadas. . (Sergieieva, 2021)

2.2.3.5. Tipos de erosión

La erosión del suelo es un proceso geomorfológico que consiste en el desprendimiento, transporte y deposición de partículas del suelo bajo la influencia de diversas sustancias naturales o artificiales. Este fenómeno forma parte de la dinámica natural del paisaje; Sin embargo, cuando el ritmo de pérdida del suelo excede su capacidad de regeneración, se convierte en un proceso de degradación ambiental (Morgan, 2005). La clasificación de la erosión se puede realizar en función del origen del agente o proceso erosivo dominante (SENAMHI 2017).

a) Erosión natural o geológica

Es aquella que ocurre como consecuencia solamente de las fuerzas de la naturaleza y cuyas tasas de ocurrencia son generalmente bajas. Es causada por los efectos de la lluvia y la escorrentía superficial. El proceso comienza con la erosión por salpicadura, que se produce por el impacto de una gota de lluvia sobre la superficie del suelo, lo que provoca la liberación de partículas finas y la separación de la estructura. Una vez que el agua comienza a fluir sobre la superficie, se desarrolla la erosión laminar, caracterizada por

la eliminación suave y apenas perceptible de una fina capa de suelo. Aunque es difícil de determinar a corto plazo, este tipo de erosión puede causar importantes pérdidas de fertilidad a largo plazo (Wischmeier y Smith, 1978).

Erosión eólica, común en zonas áridas y semiáridas con poca cobertura vegetal y baja humedad del suelo. En este caso, el viento actúa como medio de liberación y transporte de las partículas. El proceso se produce mediante los mecanismos de deflación (eliminación de partículas finas), saltación (movimiento en pequeños saltos) y suspensión (transporte de partículas muy finas a largas distancias). Este tipo de erosión afecta principalmente a suelos arenosos y limosos, reduciendo la calidad del horizonte superficial y contribuyendo a la desertificación (Morgan, 2005).

b) Erosión acelerada o inducida:

Es aquella en la que se agrega la acción del hombre a la acción de los agentes naturales. Este es propiciado por el mal manejo del suelo.

La erosión acelerada es consecuencia de actividades humanas como la deforestación, la agricultura intensiva, el pastoreo excesivo y la urbanización, que aumentan considerablemente el ritmo de pérdida del suelo más allá de su capacidad de regeneración. Según la FAO (2015), la erosión acelerada es una de las principales causas de la degradación del suelo a nivel mundial, afectando la productividad agrícola y la sostenibilidad ambiental.

2.2.3.6. Formas de erosión

La erosión acelerada es consecuencia de actividades humanas como la deforestación, la agricultura intensiva, el pastoreo excesivo y la urbanización, que aumentan considerablemente el ritmo de pérdida del suelo más allá de su capacidad de regeneración. Según la FAO (2015), la erosión acelerada es una de las principales causas de la degradación del suelo a nivel mundial, afectando la productividad agrícola y la sostenibilidad ambiental.

A. Erosión por salpicaduras

Las salpicaduras de tierra se producen cuando las gotas de lluvia caen directamente sobre partículas muy pequeñas de agua o tierra y, debido a la energía cinética del impacto, liberan mucho suelo. La cantidad de tierra desperdiciada es de 50 a 90 veces mayor que el daño causado por el fregado o el arrastre. Se estima que se pulverizan 224 mg/ha de material al aire sobre suelo desnudo debido a las frecuentes lluvias. Sin embargo, el aerosol no suele ser expulsado de esta zona por el propio impacto. La relación entre la

energía y el impulso de la erosión y la precipitación está determinada por la masa, el tamaño, la forma, la velocidad y la dirección de las gotas de lluvia (Pérez, 2019).

Este proceso promueve la formación de una capa superficial sellada que reduce la infiltración y aumenta la escorrentía. Según Wischmeier y Smith (1978), la erosión por aspersión es un factor crítico en el inicio de la pérdida de suelo, especialmente en suelos con baja cubierta vegetal.

B. Erosión laminar

La erosión laminar elimina uniformemente el suelo en capas delgadas porque la corriente superficial de la lámina fluye sobre el suelo en capas delgadas. El impacto de las gotas de lluvia junto con el flujo superficial forma las corrientes microscópicas iniciales. Desde un punto de vista energético, la erosión de las gotas de lluvia es muy importante porque su velocidad de flujo superficial es mucho menor (alrededor de 0,3 a 0,6 m/s). Las gotas de lluvia provocan el aflojamiento de las partículas del suelo y, a medida que aumenta la precipitación, los poros de la capa superficial se llenan, lo que reduce las tasas de infiltración. La fuerza abrasiva y de arrastre del flujo laminar es función de la profundidad del flujo y la velocidad de una partícula de suelo o agregado de un tamaño, forma y densidad determinados (Morgan, 2005).

C. Erosión en surcos

A medida que la escorrentía superficial se concentra, el agua ejerce su efecto en el suelo, lo que provoca que se afloje y dé lugar a canales o arroyos bien definidos conocidos como barrancas o acequias. Este tipo de canales se tornan estables y sencillos de ver. Debido al mayor caudal, a medida que aumenta la pendiente y el radio hidráulico del tramo del río, aumenta el esfuerzo cortante hidráulico, lo que hace que la separación y el control sean más graves (MINAM, 2012). El flujo de agua concentrado afloja el suelo en el perímetro húmedo de los surcos y transporta las masas sueltas junto con el material de las áreas entre los surcos donde a menudo ocurre la erosión por salpicadura y la erosión por placas. La máquina puede eliminar fácilmente la erosión del suelo en el surco. El volumen de suelo que es arrastrado por la erosión del pozo depende de la relación entre el desprendimiento y la capacidad de transporte, así como de la carga sedimentaria. En términos generales, si la carga de sedimentos crece, la capacidad de separación disminuye y viceversa (Morgan, 2005).

D. Erosión en cárcavas

Este tipo de erosión abre zanjas más grandes que las zanjas que transportan agua durante o inmediatamente después de la lluvia. A diferencia de estas situaciones, el escalón mecánico es difícil de retirar sin dejar un hueco donde está la ranura. Por lo tanto, la erosión en cárcavas es una etapa avanzada de la erosión que produce erosión en cárcavas, al igual que la etapa posterior de la erosión laminar. El grado de erosión depende principalmente de las propiedades del suelo, ubicación, tamaño, forma de las zanjas y pendiente de los canales (Rengifo, 2022).

2.2.3.7. Procesos de erosión

La erosión es el efecto de la erosión y el desgaste que resulta en una pérdida significativa de suelo y la formación de huecos y reducción de volumen. transporte. La ablación y transferencia de material de desgaste incluye el transporte; Esta es la segunda etapa de la erosión. En pendientes secas, gravedad, viento, etc. da esta compensación. (SENAMHI, 2017).

La acumulación y el transporte, por otro lado, llevan a la acumulación tarde o temprano. Se denomina sedimentación cuando esto sucede en el fondo de un océano o lago; esta acción cambia la forma de los accidentes geográficos, pero cuando la deposición ocurre en conos de escombros expuestos, dunas o algunos escombros, cambia el patrón. Se cree que estas tres etapas -erosión, transporte, acumulación- están relacionadas e inseparables, hasta el punto de que se acepta referirse a ellas con el término erosión en un sentido amplio. (Panagos, 2014).

A. Desprendimiento de partículas

La solución forma la fase inicial del proceso de erosión. Esto ocurre cuando las fuerzas del agua, el viento o la gravedad exceden las fuerzas cohesivas y cohesivas que mantienen unidas las partículas del suelo. En la erosión hídrica, las gotas de lluvia provocan la degradación estructural y la dispersión de partículas finas, lo que se conoce como erosión por salpicadura. Este proceso reduce la estabilidad de los agregados y puede crear una compactación de la superficie que reduce la infiltración y promueve la escorrentía. Según Wischmeier y Smith (1978), el tamaño de los deslizamientos de tierra depende de la intensidad de las precipitaciones, la estructura del suelo y el contenido de materia orgánica.

B. Transporte de sedimentos

Una vez sueltas, las partículas pueden ser transportadas por un agente erosivo. En la erosión hídrica el transporte se realiza principalmente por escorrentía superficial. La capacidad de transporte depende del caudal y el volumen, así como del tamaño y la densidad de las partículas.

El transporte puede realizarse de tres formas principales:

Suspensión: Las partículas finas se transportan en un flujo. Salazón: Partículas que se mueven en pequeños saltos.

Arrastrar o Rodar: Partículas más gruesas que se deslizan por la superficie. En modelos predictivos como USLE y RUSLE, el transporte está representado indirectamente por factores como la pendiente (LS) y la erosión pluvial (R).

En la erosión eólica, el transporte también ocurre a través de suspensión, saltación y fluencia, siendo la saltación el mecanismo dominante en suelos arenosos (Morgan, 2005).

C. Deposición o sedimentación

La deposición es la etapa final del proceso de erosión y ocurre cuando la energía del portador cae por debajo del nivel requerido para mover las partículas. Esto puede suceder si:

Reduce la pendiente. El caudal se reduce; Aumenta la rugosidad de la superficie. Hay barreras físicas como la vegetación la sedimentación puede provocar que se acumule material en zonas bajas, canales, embalses y sistemas de riego, afectando su funcionamiento. Desde un punto de vista ambiental, la deposición también contribuye al transporte de nutrientes, contaminantes y materia orgánica a los cuerpos de agua. . (INRENA, 1995).)

D. Interacción de procesos

Los procesos de desprendimiento, transporte y deposición no ocurren de forma aislada, sino que forman parte de un sistema continuo influenciado por factores climáticos, topográficos, edáficos y antropogénicos. La intensidad del proceso dependerá de la energía disponible y de la resistencia del suelo. Según la FAO (2015), cuando la tasa de deslizamientos y transporte excede la capacidad de regeneración natural del suelo, se produce una erosión acelerada, lo que afecta negativamente la productividad agrícola y la sostenibilidad de los ecosistemas.

2.2.3.8. Agentes de erosión

Los dos factores más importantes que intervienen en el proceso de erosión son: el viento y el agua. La erosión es hídrica si el agente es el agua, y es eólica si el agente es el viento. La maquinaria, la gravedad y algunos procesos biológicos son otros factores que causan erosión y generan movimientos de tierra a gran o pequeña escala. De todos modos, la erosión causada por el agua es más importante en el Perú porque nuestra actividad económica en gran parte del país es en el sector agrícola. Según la FAO (2015), la intervención humana ha acelerado significativamente el ritmo de erosión en varias regiones del mundo, superando la capacidad natural de regeneración del suelo.

2.2.3.9. Erosión total

La erosión total se refiere a la cantidad global de suelo perdido en un área determinada como resultado de la acción combinada de varios factores y procesos erosivos durante un período de tiempo determinado. Este concepto combina la erosión hídrica y eólica y otros mecanismos de eliminación para dar cuenta de la suma de todos los tipos de solución y transporte de partículas que ocurren en el sistema suelo-paisaje (López, 2021).

Desde un punto de vista cuantitativo, la erosión total suele expresarse en toneladas por hectárea. Cuando las pérdidas anuales superan la capacidad de regeneración edáfica, se produce una erosión acelerada, con impactos negativos en la productividad agrícola, la calidad ambiental y la estabilidad de los ecosistemas (Morgan, 2005).

Para determinar la erosión total se debe tener en cuenta la interacción de factores climáticos, topográficos, edáficos y de cobertura vegetal. En la investigación aplicada, especialmente en zonas agrícolas y montañosas, la erosión total se estima principalmente a partir de modelos empíricos desarrollados para cuantificar la erosión hídrica. Uno de los más utilizados es USLE y su versión mejorada RUSLE, propuesta originalmente por Wismeier y Smith (1978) y posteriormente revisada por Renard et al. (1997).

2.2.3.10. Métodos para cuantificar la erosión

Se utilizan dos métodos: métodos indirectos y métodos directos. Para los métodos indirectos, se desarrollan modelos para estimar la erosión hídrica; Los métodos directos incluyen estudios experimentales. En cuanto a

modelos, los más utilizados son el modelo de Fournier (1960), la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) y el método SLEMSA, que fue creado para naciones del sudeste africano. La medición de variaciones en el nivel superficial, que incluye las clavijas o clavos de madera y los marcos de medición, es uno de los métodos experimentales más destacados. Los pilotes o clavos de erosión son el método más común porque este tipo de medición se puede aplicar a diferentes tipos de suelo desde muy profundo hasta poco profundo, por lo que el tamaño del pilote o clavos dependerá del tipo de suelo. (Castillo, 2019)

A. Métodos directos

Los métodos directos implican medir la pérdida de suelo in situ utilizando equipos o métodos de campo. Uno de los procedimientos más utilizados es la instalación de áreas de escurrimiento, donde se mide la cantidad de agua y sedimentos transportados después de la precipitación. Este método permite determinar tasas de erosión realistas en condiciones controladas, aunque su uso generalmente se limita a pequeñas escalas debido a costos y requisitos técnicos (USDA, 1962).

Otra técnica es el uso de clavos o varillas de erosión, que permiten medir los cambios de la superficie del suelo a lo largo del tiempo. También se utilizan trampas de sedimentos y mediciones en microcuencas experimentales. Si bien estos métodos ofrecen datos precisos, tienen limitaciones en términos de cobertura espacial y representatividad temporal (Morgan, 2005).

B. Métodos indirectos

Los métodos directos implican medir la pérdida de suelo in situ utilizando equipos o métodos de campo.

Uno de los procedimientos más utilizados es la instalación de áreas de escurrimiento, donde se mide la cantidad de agua y sedimentos transportados después de la precipitación. Este método permite determinar tasas de erosión realistas en condiciones controladas, aunque su uso generalmente se limita a pequeñas escalas debido a costos y requisitos técnicos.

Otra técnica es el uso de clavos o varillas de erosión, que permiten medir los cambios de la superficie del suelo a lo largo del tiempo. También se utilizan trampas de sedimentos y mediciones en microcuencas experimentales.

Si bien estos métodos ofrecen datos precisos, tienen limitaciones en términos de cobertura espacial y representatividad temporal (Morgan, 2005).

C. Modelos empíricos

Los modelos empíricos son herramientas matemáticas desarrolladas a partir de datos experimentales y observaciones de campo. El modelo más utilizado es el USLE desarrollado por Wismeier y Smith (1978), que calcula la pérdida media anual de suelo mediante la ecuación:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad \text{Ecuación 1}$$

Esta ecuación fue posteriormente mejorada en RUSLE (Renard et al., 1997), que incluye correcciones por factores de erosión y cobertura vegetal. Estos modelos se utilizan ampliamente en estudios de planificación agrícola y gestión de cuencas hidrográficas debido a su relativa simplicidad y bajos requisitos de datos. Sin embargo, evalúan principalmente la erosión laminar y de pozo, por lo que no incluyen completamente procesos como la canalización o los movimientos de masa.

2.2.3. Modelo de ecuación RUSLE

El modelo empírico RUSLE (Renard et al., 1997) predice la pérdida anual de suelo (E ; $\text{Mg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) por erosión laminar y de surcos como producto de factores de erosión por lluvia y escurrimiento (R ; $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ año}^{-1}$), erosionabilidad del suelo (K ; $\text{Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), pendiente y longitud de pendiente (LS , adimensional), manejo de cobertura (C , adimensional) y prácticas de soporte (P , adimensional) (López et al. 2021). Es un modelo diseñado para estimar la erosión hídrica teniendo en cuenta todos los factores físicos que interfieren en la erosión. Esto ayuda a comprender dónde son más altas las tasas de erosión, qué factores afectan más las tasas de erosión y a implementar medidas de conservación del suelo (Rengifo et al., 2022). Los factores utilizados en este modelo son: (Castillo, 2019)

Ecuación 1

Donde: A : es la pérdida total de suelo (t/ha/año); R : coeficiente de erosión pluvial; K : coeficiente de erosionabilidad del suelo; L : factor de longitud del talud; S : coeficiente; ángulo de inclinación; C : factor de cobertura del suelo; P : factor mecánico de prácticas de retención del suelo. La ecuación universal revisada de pérdida de suelo tiene algunas limitaciones porque el modelo RUSLE sólo considera la pérdida de suelo debido a la erosión laminar y en rollo e ignora los efectos de la erosión de cárcavas y el suelo disperso. (López et al., 2021)

2.2.4. Factores de la ecuación RUSLE

2.2.4.1. Factor R

El factor R representa la erosividad de la lluvia y cuantifica el efecto combinado de la energía cinética y la intensidad máxima de la lluvia en 30 minutos. Fue propuesta originalmente en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) y luego incluida en la versión revisada (RUSLE). Este factor constituye el componente climático del modelo y expresa la capacidad potencial de la precipitación para producir erosión hídrica. Su cálculo se basa en la suma anual del producto entre la energía de cada evento lluvioso y su intensidad máxima en 30 minutos, expresado en $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. meteorológica de Con respecto al factor R, mediante los datos tomados se 2.1.1.1. Índice modificado de Fournier (FAO, 2019).

- **Índice modificado de Fournier**

El índice de Fournier modificado (MIF), que relaciona la distribución de las precipitaciones mensuales con la agresividad climática. Este índice proporciona una aproximación de la erosividad de la lluvia utilizando sólo datos de lluvia mensuales, una herramienta ampliamente utilizada en estudios regionales y en áreas donde la información instrumental es limitada. El Índice Modificado de Fournier (IMF), fue propuesto por Arnoldus (1980), como una alternativa práctica en estudios regionales. El IMF expresa la agresividad climática de la lluvia considerando la distribución mensual (FAO, 2015).

$$IMF = \sum \frac{P_i^2}{P}$$

Donde:

- IMF = Índice Modificado de Fournier.
- P_i = precipitación media mensual del mes i (mm)
- P = precipitación total anual (mm)
- 12 = número de meses del año

Tabla 1. Niveles de erosividad

Rango del Factor R (MJ·mm/ha·h·año)	Nivel de Erosividad
< 150	Muy Baja
150 – 300	Baja
300 – 700	Moderada
700 – 1500	Alta
1500 – 3000	Muy Alta
> 3000	Extremadamente Alta / Crítica

FAO (1997). Renard et al. (1997)

2.2.4.2. Factor de erosividad del suelo (K)

El factor K, que se refiere a la Erodibilidad del Suelo, indica la propensión natural del suelo a perder y movilizar sus partículas debido al impacto de las lluvias y la esorrentía. En el modelo RUSLE, este factor mide la pérdida de suelo por cada unidad de erosividad (R) bajo condiciones estándar de pendiente y tipo de cobertura. Asimismo, Wischmeier, W. H. y Smith, D. D. publicaron este trabajo formalmente a través del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Este factor indica la susceptibilidad natural del suelo a erosionarse debido al impacto de las gotas de lluvia y al escurrimiento superficial.

Factor de erosionabilidad del suelo (K) mediante la siguiente fórmula propuesta por Wischmeier y Smith (1978) pero modificado por FAO (1997)

$$K = \frac{[2.1 \times 10^{-4}(12 - OM)M^{1.14} + 3.25(s - 2) + 2.5(p - 3)]}{100}$$

Donde:

- K = Factor de erodabilidad (t·ha·h / ha·MJ·mm)
- OM = % materia orgánica
- M = (% limo + % arena muy fina) × (100 – % arcilla)
- s = código de estructura del suelo (1–4)
- p = clase de permeabilidad (1–6)

En la erodabilidad del suelo influye la materia orgánica siendo uan combinación de compuestos químicos de origen biológico, posee la capacidad

de optimizar la estructura, la permeabilidad y disminuir la erosión. No obstante, la escorrentía puede continuar moviendo partículas grandes a gran velocidad. La permeabilidad en la sección transversal del perfil es importante porque afecta la escorrentía. (Velásquez, 2008).

Tabla 2. Clasificación de M.O

Clasificación	%M. O	Calificación
1	Menor de 1%	Muy bajo
2	1 - 1.5%	Bajo
3	1.5 - 2.5%	Medio
4	2.5 - 6%	Alto
5	Mayor a 6 %	Muy Alto

Fuente: IDEAM (1999).

Tabla 3. Parámetros de estructura del suelo a profundidades de 15 a 18 – Superficiales

Clasificación	USDA (1983)
1	Granular y Migajoso muy fino (< 1mm)
2	Granular y Migajoso fino (< 1 - 2 mm)
3	Granular y Migajoso Medio (2 - 5 mm) y granular grueso (5 - 10 mm)
4	Granular y prismático muy grueso y columnar (> 10 mm)

Fuente: USDA(1983)

Tabla 4. Clases de permeabilidad según su textura.

USDA (1983) Textura	Tipo de permeabilidad	Rawis et al. (1982) Kfs (m/dia)	Hudson (1982) Kfs (m/dia)
Arenosa	Rápida y muy rápida	> 1.463	> 3
Arenoso Franco, Franca arenosa	Moderada a rápida	0.486 - 1.463	1.5 - 3
Franca, Franco limoso, limosa	Moderada	0.122 - 0.488	0.48 - 1.5
Franca arcilla arenosa, franca arcillosa	Lenta a moderada	0.049 - 0.122	0.12 - 0.48

Fuente: USDA (2005)

Tabla 5. Clasificación de los grados de erodabilidad

Valor de K (T·acre·h / acre·ft·tonf·in)	Valor de K (t·ha·h / ha·MJ·mm)	Clasificación
< 0.06	< 0.0079	Muy poco erodable
0.06 – 0.13	0.0079 – 0.0171	Débilmente erodable
0.13 – 0.25	0.0171 – 0.0342	Moderadamente erodable
0.26 – 0.52	0.0342 – 0.0684	Fuertemente erodable
0.52 – 0.78	0.0684 – 0.1027	Extremadamente erodable

Adaptado de USDA (1962), citado por Amezcua (1990).

2.2.4.3. Factor longitud y pendiente (LS)

El factor de longitud y pendiente de la ladera (LS) es uno de los elementos topográficos esenciales de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), que fue desarrollada por Wischmeier, W. H. y Smith, D. D., y que más tarde fue actualizada en la RUSLE por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Este factor refleja la influencia combinada de la longitud de la pendiente (L) y el ángulo o inclinación de la misma (S) sobre la tasa de erosión hídrica del suelo (SENAMHI (2023)).

La longitud de pendiente se entiende como la medida desde el lugar donde comienza el escurrimiento superficial hasta el lugar donde: El flujo se agrupa en un canal establecido, o La inclinación disminuye lo suficiente como para minimizar la erosión. La longitud de pendiente se entiende como la medida desde el lugar donde comienza el escurrimiento superficial hasta el lugar donde: El flujo se agrupa en un canal establecido, o La inclinación disminuye lo suficiente como para minimizar la erosión.

El factor S refleja cómo el gradiente de la pendiente afecta la erosión. En la actualización del modelo (RUSLE) (Abdulkareem, J. et al. 2019).)

Tabla 6. Clasificación del factor LS

Factor LS	Categorización
Bajo	<15
Moderado	15-30
Alto	30-45
Muy Alto	>45

Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) citado por (Moreno, 2017)

Tabla 7. Valores de LS en función a la pendiente

Grupos de pendientes en %	Factor L.S
0-3	0,3
03-12	1,5
12-18	3,4
18-24	5,6
24-30	8,7
30-60	14,6
60-70	20,2
70-100	25,2
>100	28,5

Fuente: Tomado de Ramos Taipe (2001) citado por (Caycho, 2020)

2.2.4.4. Factor cobertura vegetal (C)

El factor de cobertura vegetal y el manejo del suelo (C) constituye uno de los elementos esenciales de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), formulada por Wischmeier, W. H. y Smith, D. D., y luego actualizada en la versión revisada (RUSLE) por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Este factor refleja el impacto combinado de la cobertura vegetal, los restos de cultivos y las prácticas de manejo agrícola en la disminución de la erosión hídrica del suelo. Se considera uno de los factores más cambiantes del modelo, puesto que varía de acuerdo con el tipo de uso del suelo, el sistema productivo y la estación del año (Panagos et al., 2015).

Tabla 8. Clasificación referencial del factor C según tipo de cobertura y uso del suelo

Tipo de cobertura / Uso del suelo	Descripción general	Rango típico del factor C	Nivel de protección
Bosque primario denso	Cobertura arbórea cerrada, hojarasca abundante	0.001 – 0.01	Muy alta
Bosque secundario	Cobertura parcial, regeneración natural	0.01 – 0.05	Alta
Pastizal permanente	Cobertura herbácea continua	0.01 – 0.05	Alta
Matorral / vegetación arbustiva	Cobertura discontinua	0.05 – 0.15	Moderada
Cultivo en crecimiento (cobertura >50%)	Desarrollo vegetativo activo	0.10 – 0.30	Moderada
Cultivo recién sembrado	Cobertura escasa, suelo parcialmente expuesto	0.30 – 0.50	Baja
Cultivo en surcos tradicionales	Labranza convencional sin conservación	0.40 – 0.60	Baja

Suelo desnudo	Sin cobertura vegetal ni residuos	1	Nula
Área urbana pavimentada	Superficie impermeable	≈ 0 (sin erosión hídrica directa)	Muy alta (sin pérdida de suelo)

Adaptado de Wischmeier y Smith (1978) y Renard et al. (1997).

2.2.4.5. Factor prácticas de conservación (P)

El factor P (Support Practice Factor) en la RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) indica cómo las prácticas de conservación del suelo, ya sean mecánicas o estructurales, afectan la disminución de la velocidad del escurrimiento superficial y, por lo tanto, la erosión causada por el agua. Este factor es adimensional y muestra la relación entre la pérdida de suelo asociada a una práctica específica de conservación y la pérdida que se produciría en un terreno en pendiente sin implementar ninguna medida de control.

El factor P fue incorporado en la USLE por Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. en 1978, y posteriormente se perfeccionó en la RUSLE por Renard, K.G. y otros en 1997. El valor del factor P oscila entre 0 y 1: $P = 1 \rightarrow$ sin prácticas de conservación (situación base) $P < 1 \rightarrow$ existencia de prácticas que disminuyen la erosión. A menor valor de P, mayor es la efectividad de la práctica implementada (Borrelli et al., 2020).

2.2.5. Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE – MUSLE)

Entre los enfoques de detección de erosión hídrica se destacan: USLE y sus modificaciones MUSLE (USLE modificada) y RUSLE (USLE revisada), ANSWERS (Simulación de respuesta ambiental de cuencas hidrográficas de fuente difusa regional), AGNPS (Fuente difusa agrícola), CREAMS (Sustancias químicas y gestión de sistemas, FiRE., Gestión de sistemas). López Cadenas del Llano entre otros; Además, existen mezclas totales o parciales de los enfoques anteriores. 680 USLE es un modelo diseñado para predecir la cantidad de pérdida de suelo debido a la escorrentía en áreas específicas bajo sistemas de cultivo y manejo específicos. (Wischmeier y Smith, 1978). USLE se expresa en el sistema métrico internacional como:

La USLE se expresa, en el sistema métrico internacional, como:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

donde:

A, es la pérdida de suelo en t/ha.año.

R, es el factor erosividad de la lluvia en Mjmm/ha.año.

K, es el factor erosionabilidad del suelo en $(t/ha)/(Mj.mm/ha.h)$

L, es el factor longitud del terreno (adimensional).

S, es el factor pendiente del terreno (adimensional).

C, es el factor cobertura y manejo de la vegetación (adimensional).

P, es el factor prácticas de conservación (adimensional).

El cálculo de la erosión actual se obtiene mediante USLE multiplicando todos los coeficientes que lo componen: $R * K * LS * C * P$. Para la erosión potencial, se puede obtener simplemente multiplicando sus coeficientes $R * K * LS$ (CORTOLIMA, 2004).

2.2.6. Precipitación

La lluvia es el factor principal que provoca la erosión hídrica, ya que proporciona la energía requerida para el deslizamiento, transporte y asentamiento de las partículas del suelo. En modelos predictivos como la RUSLE, la lluvia se incorpora a través del factor R (erosividad de la lluvia), que mide el potencial erosivo vinculado a la intensidad y energía cinética de los eventos de lluvia.

La precipitación se describe como cualquier tipo de agua que desciende desde la atmósfera hacia la Tierra, abarcando lluvia, nieve y granizo. En áreas tropicales y subtropicales, la lluvia es la forma predominante y la más importante en los procesos de erosión (FAO, 2015).

Desde la perspectiva hidrológica, los aspectos más relevantes de la lluvia en relación con la erosión son la intensidad ($mm \cdot h^{-1}$), duración, frecuencia, distribución temporal y energía cinética de las gotas.

De acuerdo con Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. (1978), el potencial erosivo de una lluvia se basa fundamentalmente en su energía cinética total (E) y en su intensidad máxima en 30 minutos (I30). Esta relación dio lugar al índice EI30, que es la base del factor R en la USLE y más tarde en la RUSLE.

2.2.7. SIG en los estudios de pérdida de suelo

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son una herramienta esencial para la evaluación espacial de la erosión del suelo, sobre todo al utilizar modelos empíricos como la RUSLE. La combinación de bases de datos sobre clima, suelo, topografía y cobertura del terreno dentro de un sistema SIG facilita la estimación más precisa y eficiente de la erosión espacial.

La aplicación de los SIG en la erosión hídrica se afianzó en la década de 1990, cuando se incorporaron modelos digitales de elevación (DEM) y algoritmos para calcular de manera automatizada el factor LS, como el que propusieron Desmet, P.J.J. y Govers, G. (1996).

Integración de la RUSLE en entornos de SIG

La fórmula general: $A = R * K * LS * C * P$

puede ser aplicada en SIG a través de álgebra de mapas, donde cada componente se visualiza como una capa raster georreferenciada. La multiplicación pixel por pixel produce un mapa continuo de la pérdida potencial de suelo ($t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$).

De acuerdo con Renard, K.G. et al. (1997), la espacialización incrementa de manera significativa la capacidad predictiva del modelo en comparación con metodologías puntuales.

2.2.8. Pérdida de suelo

Los problemas ambientales, como la degradación del suelo, son un asunto que se pasa por alto, sin recibir la atención debida de los actores políticos del sector, ya que no se reconoce adecuadamente la importancia del suelo como un recurso natural esencial para asegurar la seguridad alimentaria (Condori et al., 2022). La erosión del suelo es uno de los procesos fundamentales que inician la degradación. Este proceso de erosión se caracteriza por ser lento, recurrente, progresivo e irreversible, y es complicado de revertir por parte del ser humano, pudiendo clasificarse en factores energéticos y de resistencia. Los primeros abarcan la severidad de las precipitaciones, una de las características menos comentadas en meteorología y climatología, pero de suma relevancia en las ciencias agrícolas y forestales, dado que actúa como un agente activo en la degradación de la humedad del suelo y está estrechamente relacionada con la sostenibilidad agroambiental de este recurso (Castelán et al., 2013).

La erosión hídrica representa un fenómeno variado, ya que pierde gradualmente los nutrientes del suelo, conocido como el manto orgánico de la parte superior del suelo. Además, altera el nivel de composición de la materia orgánica, lo que resulta en una disminución significativa de esta. En otras palabras, la erosión provocada por la lluvia crea condiciones muy desfavorables para el crecimiento vegetal. (SENAMHI, 2017).

Hay una relación entre la erosión del suelo y la disminución del promedio global de productividad, que se estima en un 0,3% de la producción agrícola

anual debido a esta erosión. Si los problemas de erosión continúan, se prevé que para 2050 haya una reducción del 10% en los rendimientos anuales potenciales, lo que implicará que 150 millones de hectáreas de tierra se destinen a cultivos, equivalente a un campo de fútbol cada cinco segundos para ese año (FAO, 2015).

Las intensas lluvias ocurren durante el invierno y la primavera, momentos en los que el suelo es más vulnerable a la erosión, debido a que las precipitaciones caen sobre suelos que están parcialmente congelados, lo que permite que la erosión alcance la línea de congelación y resulte más complicado detenerla. (Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA), 2022).

Según la ley de caída de los cuerpos, formulada por Aristóteles, cuando el agua se mueve a lo largo de una distancia, su velocidad varía conforme a la raíz cuadrada de la distancia vertical. No obstante, no solo se produce este cambio en la velocidad, sino que además su capacidad erosiva cambia en función del cuadrado de esa velocidad. Por lo tanto, se puede afirmar que la inclinación del terreno es un factor crucial, ya que, si se incrementa 4 veces, el agua que fluye por la pendiente se moverá al doble de su velocidad, multiplicando así su potencial erosivo del suelo hasta 4 veces. (Álvarez, 2012)

La erosión está determinada por elementos como el clima, la topografía, el tipo de suelo, la vegetación y las actividades humanas; todos estos elementos se clasifican en erosividad y erosionabilidad. La erosividad indica el potencial erosivo de los factores geológicos principales y está relacionada con el clima (precipitaciones, hielo y viento). La erosionabilidad muestra la vulnerabilidad del suelo a ser movilizado. Este aspecto depende del tipo de suelo (su estructura y el contenido de materia orgánica, ya que la presencia de áridos previene la erosión), así como de la pendiente y la cobertura vegetal. (Tamariz, 2013). La eliminación de la vegetación es el principal factor que inicia el proceso de erosión; además, un uso inadecuado de la tierra y el manejo agrícola disminuyen su capacidad productiva, ya que se cultiva en pendientes abruptas sin considerar medidas de protección del suelo, lo que deja el suelo expuesto a las gotas de lluvia y a la intensidad del escurrimiento (FAO, 2015).

En este marco, evaluar el grado de agresividad inundable de un área nos permite sugerir de manera sostenible su uso presente y/o futuro, considerando su potencial erosivo, y planificar el adecuado manejo de cualquier terreno según su riesgo de erosión. También es una herramienta crucial para la toma de decisiones en investigación y

transferencia de tecnología, que incluye acciones dirigidas a la conservación y gestión integrada de los recursos hídricos subterráneos en cualquier zona. Además, las gotas de lluvia poseen energía cinética derivada de su masa y velocidad de caída, las cuales, al impactar el suelo, afectan sus propiedades como la estructura y compactación, que se ven gravemente alteradas. (Huerta, 2014).

La erosión del suelo en Perú representa un serio problema ambiental que perjudica y pone en riesgo la seguridad hídrica y alimentaria, siendo este fenómeno más intenso y dañino en la sierra andina, donde se encuentran ecosistemas mayormente acuáticos. Se llevan a cabo entregas de alimentos a las grandes ciudades costeras. Por otro lado, dado que la precipitación es el factor primordial que impulsa los procesos de erosión hídrica, este fenómeno se relaciona con la formación de sedimentos que pueden obstruir los cauces de los ríos, disminuir la calidad del flujo y reducir la capacidad reguladora de los embalses; por esta razón, el SENAMHI se vio motivado a llevar a cabo este estudio, que ofrece información fundamental para entender la evolución de las tasas de erosión en el Perú a lo largo de 30 años. Para alcanzar este objetivo, se empleó información de teledetección y se utilizó el método RUSLE como modelo matemático para evaluar la erosión hídrica. (Rengifo, 2022)

La información presentada en esta nota técnica, titulada Atlas Hidrológico Regional de la erosión de suelos en Perú se distingue de investigaciones anteriores en la nación e incorpora la primera serie de mapas cronológicos sobre este fenómeno, es decir, una sucesión de mapas anuales correspondientes desde 1981 hasta 2014. La base geoespacial multitemporal es PISCO (Datos Interpolados del SENAMHI de Observaciones Climáticas e Hidrológicas del Perú), siendo la precipitación mensual la variable más significativa en la elaboración de estos mapas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción de la zona de estudio

El estudio fue desarrollado en la microcuenca del río Pendencia, entre los distritos de Hermilio Valdizán y Pueblo Nuevo, provincia de Leoncio Prado, departamento Huánuco. La microcuenca abarca una extensión de 11882.032 ha, se encuentra a 35 minutos aproximadamente desde Tingo María, su coordenada se UTM se muestra en la tabla 9 y figura 1.

Tabla 9. Coordenadas UTM de la microcuenca del río Pendencia

Coordenadas UTM			
Este	Norte	Altitud	Zona
611 900 m	8 988 000 m	850 m s. n. m.	18S

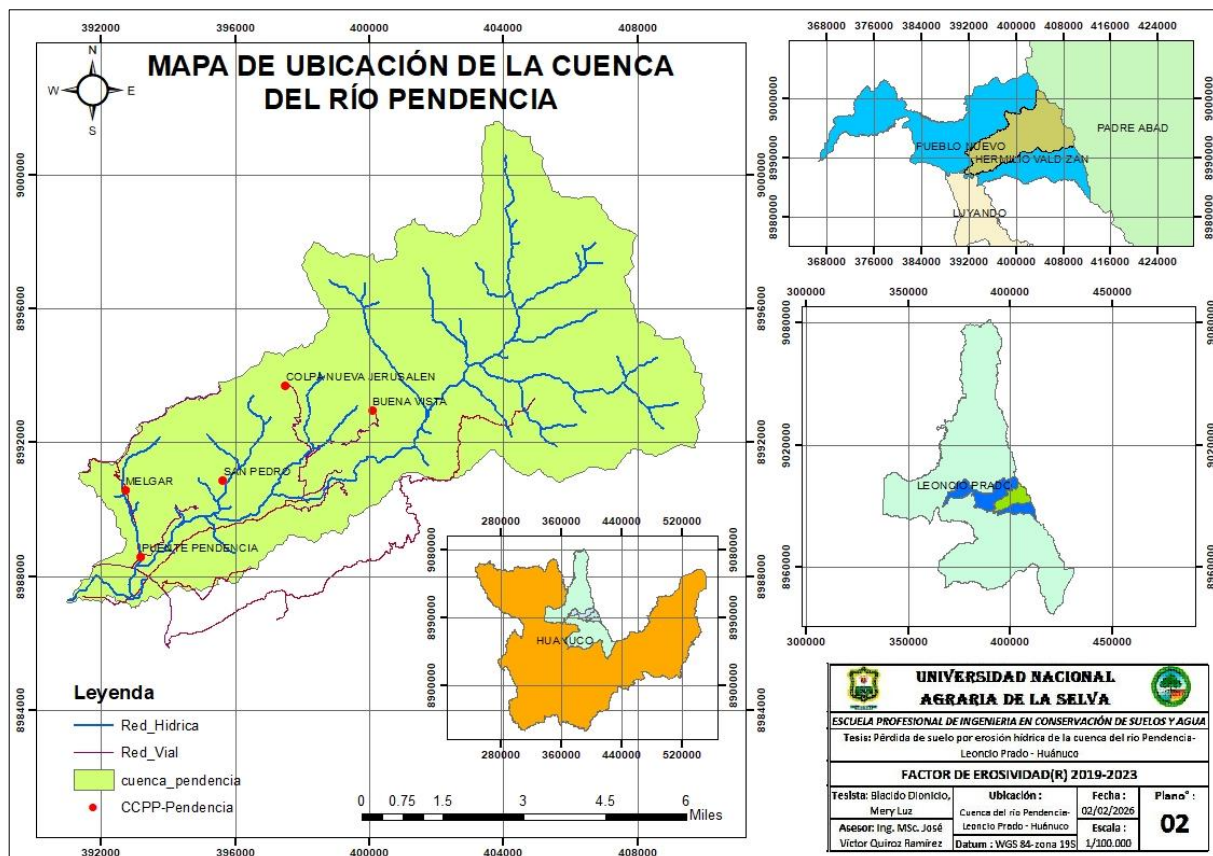


Figura 1. Mapa de Ubicación de la microcuenca del río Pendencia

Fuente: Elaboración propia

3.1.1. Ubicación política

Microcuenca	: Río Pendencia
Distrito	: Hermilio Valdizán y Pueblo Nuevo
Provincia	: Leoncio Prado
Departamento	: Huánuco

3.1.2. Ubicación geográfica

El proyecto se realizó en la microcuenca del río Pendencia que tiene un área de 11882.032 ha, ubicado geográficamente entre las coordenadas UTM 611 900 m este y 8 988 000 m norte con una altitud de 850 m s. n. m zona 18S. Dentro de esta se encuentra asentadas 9 centro poblados: Colpa Nueva Jerusalén, Buena Vista, San Pedro, Mariano Melgar, Alto Pendencia, Puente Pendencia, Nuevo Milenium, Belén y Alto Peregrino.

3.1.3. Clima

De acuerdo con el Mapa de clasificación climática peruano, que fue realizado por SENAMHI la zona de selva alta como la de la microcuenca del río Pendencia pertenece generalmente a climas cálidos-húmedos o templados húmedos, propios de la Selva alta, con temperatura máxima anual promedio de 30.6 °C, y temperatura mínima anual promedio de 23.5°C y con una humedad relativa promedio entre 85% y 87%. (SENAMHI, 2017).

3.1.4. Vegetación

La microcuenca del río Pendencia es una zona de selva alta amazónica. La vegetación predominante es principalmente bosques húmedos tropicales, con áreas de bosque secundario y vegetación degradada debido a deforestación y actividades agrícolas. En las zonas intervenidas se observa la presencia de cultivos como cacao, café y plátano, reflejando un uso del suelo mixto entre cobertura natural y productiva. (MINAM, 2012)

3.1.5. Geografía

La microcuenca del río Pendencia se ubica dentro de la provincia de Leoncio Prado, forma parte de la cuenca alta del río Huallaga, presenta un relieve de que va desde zonas altas con pendientes pronunciadas hasta valles fluviales en los tramos bajos. La zona tiene una densidad poblacional baja a moderada, con preeminencia de actividades rurales y agropecuarias. El bosque húmedo tropical constituye una cobertura

significativa, pese a ser degradado por actividades antrópicas. La cuenca presenta importancia hidrológica y potencial para el desarrollo sostenible de actividades económicas y de gestión de recursos hídricos (Villota, 2005).

3.1.6. Fisiografía

La cuenca del río Pendencia se ubica en la provincia de Leoncio Prado departamento Huánuco se encuentra dentro de la región natural de selva alta, en la vertiente oriental de los Andes peruanos. Producto de los procesos tectónico, fluviales y de erosión hídrica las unidades fisiográficas predominantes es montañas y colinas disectadas en la parte alta, laderas medias con procesos erosivos activos y planicies aluviales recientes en los tramos bajos del río. (INRENA, 1995)

3.1.7. Suelo

La microcuenca del río Pendiente posee una diversidad de suelos, en la zona media predomina Phaeozems háplicos y Phaeozems luvicos, según la clasificación del suelo (FAO/UNESCO, 2015), que tiene textura franca a franco-arenosa, con fertilidad moderada con pH alrededor de 6.3, aptos para cultivos de cacao, café, plátano y papayo. En zonas altas se encuentra suelos superficiales con horizonte AC, son poco profundos con baja fertilidad, propios de sedimentos recientes aportados por la dinámica del río.(UNAS, 2019).

3.1.8. Hidrográfica

El río Pendencia recibe aportes de quebradas temporales y permanentes; afluentes de primer y segundo orden que sirve para abastecer el consumo poblacional, actividades agrícolas y regulación hídrica local asimismo transporte de sedimentos, especialmente en sectores de alta pendiente. Y se desemboca en el río Huallaga. El río Pendencia presenta un patrón de drenaje dendrítico, típico de zonas con litología homogénea y relieve irregular presenta un régimen hidrológico predominantemente pluvial, mostrando incrementos de caudal durante la época de lluvias (ANA, 2016)

3.1.9. Accesibilidad

La accesibilidad a la microcuenca se realiza principalmente desde la ciudad de Tingo María que tiene una duración de 45 minutos, a través de carreteras vecinales no asfaltados y caminos rurales, cuya transitabilidad se ve limitada en temporadas de precipitación intensa.

3.2. Materiales

3.2.1. Materiales

- Cartas nacionales 18K y 19L a escala 1:100, 000 del Instituto Geográfico Nacional. (IGN).
- Imagen Satelital PeruSAT de la microcuenca Pendencia.
- Registro de las precipitaciones diarias de las estaciones: Tingo María, Aucayacu; Tulumayo; Supte; Pendencia; Anda y Divisoria de los años 2019-2023.
- Materiales de campo: Cinta métrica; cuaderno de apuntes; lapiceros; machete; pala recta; bolsas de polietileno; botas y cilindros.

3.2.2. Herramientas y equipos.

- Laptop
- GPS Gramin
- Balanza
- Cámara digital
- Microondas
- Equipo para sacar la permeabilidad

3.2.3. Software

- ArcMap 10.8.2
- Microsoft Office (Word, Excel)

3.2.4. Componentes de investigación

3.2.4.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicativo donde se busca generar conocimientos orientados a solución de problemas de erosión hídrica de la microcuenca Pendencia. Además, la investigación aplicada se identifica por usar conocimientos científicos para resolver problemas concretos enfocado a contextos reales que contribuye al manejo y conservación del recurso suelo y permitiendo realizar un diagnóstico riguroso de la realidad de la microcuenca y evaluar su influencia en la pérdida de suelo ocasionada por la erosión hídrica.

3.2.4.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación es descriptivo debido a que su finalidad es analizar y describir las características de los factores que afectan la erosión hídrica del suelo, incluyendo la erosividad de las lluvias, la capacidad del suelo para ser erosionado, el desnivel y la extensión de la superficie, el recubrimiento vegetal y las

técnicas de conservación. (Bernal, 2016), todo ello va partir de datos estadísticos y relaciones entre variables permitiendo comprender estos procesos y evaluar las zonas con mayor susceptibilidad a la pérdida de suelo, clasificadas según su nivel de intensidad (baja, media o alta) mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG.)

3.2.4.3. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es no experimental debido a que no se manipulan los variables, sino que se analizan tal como ocurren en su contexto natural y este diseño nos permite evaluar la interacción de los factores ambientales como el clima, el suelo y la geografía. Que influye en el proceso de erosión del suelo mediante el uso de información ya existente y herramientas de análisis espacial (APA, 2020).

3.2.4.4. Variables de investigación

- **Variable dependiente**

Pérdida anual del suelo

- **variable independiente:**

Erosividad de la lluvia (R); Erodabilidad del suelo(K); Gradiente y longitud de la pendiente (LS); Cobertura vegetal(C) y Prácticas de conservación del suelo (P)

3.2.4.5. Población y muestra

La microcuenca Pendencia abarca 11882.03 ha, de donde se extrajo 17 muestras de suelo, designadas de manera aleatoria usando la metodología del MINAM mediante un cálculo del tamaño de número de muestras mínima en función del área (MINAM, 2019). Asimismo, formaron parte de la población los elementos ambientales como la precipitación, la topografía y cobertura vegetal los cuales influyen de manera directa en la estimación de la pérdida del suelo.

Tabla 10: Puntos de muestreo del suelo

N°	Descripción	Lugar	Este	Norte
1	SP-01	San Pedro	395797.0693	8993166.6
2	MM-02	Mariano Melgar	391886.5904	8991018.124
3	PP-03	Puente Pendencia	393323.2996	8990195.752
4	LM-04	Los milagros	392169.4947	8988262.018
5	AP-05	Alto Peregrino	399338.3213	8989695.478
6	PP-06	Puente Pendencia	393020.0009	8987265.444
7	AP-07	Alta Pendencia	395973.7271	8988900.527

8	CNJ-08	Colpa Nueva Jerusalén	397712.543	8994117.868
9	SC-09	San Cristóbal	399916.2152	8990891.535
10	AP-10	Alta Pendencia	396175.0404	8988078.937
11	NM-11	Nuevo Milenium	408022.2918	8993640.846
12	NM-12	Nuevo Milenium	405115.6954	8992173.47
13	NM-13	Nuevo Milenium	403048.698	8991810.418
14	B-14	Belen	402217.7125	8992206.738
15	B-15	Belen	401706.5237	8991650.119
16	SP-16	San Pedro	395611.0307	8991231.663
17	BV-17	Buena Vista	401391.3241	8993388.056

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.4.6. Técnicas e instrumentos de recolección

La investigación involucra técnicas e instrumentos de recolección de datos semidetallado porque se describe y se explica las técnicas utilizadas que es el análisis documental, observación indirecta y análisis espacial SIG y los instrumentos a usar fueron los registros climatológicos obtenidos del SENAMHI, Imagen Satelital de PeruSAT, Cartografía nacional, Modelos Digitales de Elevación (MDE) y software ArcMap.

3.2.4.7. Análisis e interpretación de los resultados

El análisis de la pérdida de suelo se realizó usando el sistema de información geográfico (SIG), con la información obtenida del campo, laboratorio e información descargadas. Como resultados se obtuvo mapa de erosividad de la lluvia (R), erodabilidad del suelo (K), topografía (LS) y cobertura vegetal (C) finalmente superponer todo el factor permitirá estimar la pérdida del suelo reconocer las áreas más susceptibles a la erosión. (Chuvieco, 2016)

3.3. Metodología

3.3.1. Recopilación de información preliminar para el estudio.

- **Número de muestras del suelo de la microcuenca**

Aplicando la metodología del MINAM se calculó el número de muestreo de suelos que se realizará teniendo en cuenta el área de la microcuenca Pendencia (11882.03 ha) mediante la siguiente fórmula:

$$N = a + b(S)$$

Donde: N = Número de muestreo

$$a = 5$$

$$N = 5 + 0.001(11882.03)$$

$$b = 0,001$$

$$N = 16.888 = 17 \text{ Puntos de muestreo}$$

$$S = \text{Área de la cuenca(ha)}$$

Tabla 11: Número mínimo de muestra

Mínimo de muestras (A)	Constante	s (ha)	N
5	0.001	< 1 000	6
5	0.001	5 000	10
5	0.001	10 000	15
5	0.001	20 000	25
5	0.001	30 000	35
5	0.001	> 50 000	45

Fuente: MINAM, 2019

- **Información cartográfica**

Se recopiló información de cartas nacionales a una escala de 1/100 000, MINAM, Red hidrográfica, centros poblados, curvas de nivel, datos meteorológicos, límite departamental, provincial y distrital en formato shapefile para crear mapa base.

- **Información espacial**

Con la información cartográfica se realizó Modelo de Elevación Digital (DEM), asimismo se solicitó imagen Satelital a PerúSAT de la microcuenca del río Pendencia para su respectivo procesamiento.

- **Análisis del suelo**

Para el muestro del suelo se excavó la superficie del suelo de 0.10 a 0.20 m de profundidad y 0.15m de ancho de donde se recolectó un kilo de suelo de cada punto. Obteniendo 17 kilos de suelo los cuales fueron llevados al laboratorio para analizar la materia orgánica, permeabilidad y textura.

3.3.2. Cuantificar los factores del modelo RUSLE(R,K,LS,C,P) y elaborar un mapa de cada factor evaluado para la microcuenca del río Pendencia durante el periodo de 2019 – 2023.

3.3.2.1. Cuantificar y elaborar un mapa del factor de erosividad de la lluvia(R) en mj.mm/ha de la microcuenca del río Pendencia en los años de 2019 a 2023.

Para la determinación de este factor se utilizó los datos de precipitación proporcionado por las estaciones meteorológicas cercanas a la microcuenca Pendencia que son la estación Tingo María; Aucayacu; Tulumayo; Supte; Pendencia; Anda y Divisoria durante el periodo de 2019 a 2023 los cuales fueron descargados del SENHAMI. Se trabajó con los datos de precipitación media anual para cuantificar el factor R y se usó la fórmula del Índice Modificado de Fournier (IMF) (FAO, 1980), donde el IMF

es igual al factor R y para realizar el mapa del factor R se realizó una interpolación mediante la herramienta *Kriging* del IMF.

$$IMF = \sum \frac{P_i^2}{P}$$

Donde:

- IMF = Índice Modificado de Fournier.
- P_i = precipitación media mensual del mes i (mm)
- P = precipitación total anual (mm)
- 12 = número de meses del año

3.3.2.2. Cuantificar y elaborar un mapa del factor de erodabilidad del suelo(K) en ton.h/MJ.mm de la microcuenca del río Pendencia.

Para generar el raster del factor K, se realizó análisis muestras del suelo en el laboratorio de la textura por método de Bouyoucos; permeabilidad con el permeámetro de carga constante(múltiple) y materia orgánica por método de Black y Walkley de los 17 muestras de suelo que fueron seleccionadas aleatoriamente con la herramienta Create Random Points en ArcMap, posteriormente con los resultados obtenidos se exportó a ArcMap y se realizó la estimación del factor K con la herramienta Raster Calculator usando la siguiente fórmula propuesta Wischmeier y Smith (1978) pero modificado por FAO (1997).

$$K = \frac{[2.1 \times 10^{-4}(12 - OM)M^{1.14} + 3.25(s - 2) + 2.5(p - 3)]}{100}$$

Donde:

- K = Factor de erodabilidad (t·ha·h / ha·MJ·mm)
- OM = % materia orgánica
- M = (% limo + % arena muy fina) × (100 - % arcilla)
- s = código de estructura del suelo (1-4)
- p = clase de permeabilidad (1-6)

Por último, con la información del factor erosionabilidad del suelo K se genera un mapa de erosionabilidad del suelo con la herramienta *Kriging*. (Castillo, 2019).

3.3.2.3. Cuantificar y elaborar un mapa del factor longitud y ángulo de inclinación de la pendiente (LS) de la microcuenca del río Pendencia.

Para determinar el factor LS se partió del Modelo Digital de Elevación (DEM) descargado de INEGI y siguiendo la metodología propuesta por Moore y Burch (1986) y adoptada en el modelo RUSLE (Renard et al., 1997) se calculó el factor LS.

En ArcMap se exportó el DEM y se sometió a un proceso de corrección de depresiones con la herramienta *Fill* (módulo de hidrología), posteriormente con la herramienta *Flow Direction* se genera raster de dirección de flujo, a base de ello se calculó la acumulación del flujo usando la herramienta *Flow Accumulation*, obteniéndose el número de celdas que contribuyen al flujo en cada punto del terreno. Y mediante la herramienta *Slope* se generó el mapa de pendiente en grados.

Para calcular el factor LS, se calculó el factor F con la herramienta Raster Calculator colocando la siguiente fórmula donde Slope es la pendiente que se generó anteriormente.

$$F = ((\sin("Slope" * 0.01745) / 0.0896) / (3 * \text{Power}(\sin("Slope" * 0.01745), 0.8) + 0.56))$$

Posteriormente se calculó el factor M con la *siguiente* fórmula con la misma herramienta *Raster Calculator* y usando el factor F calculado anteriormente.

$$M = "Factor_F" / (1 + "Factor_F")$$

Para calcular el Factor L se usó la siguiente fórmula ejecutado en *Raster Calculator*. Usando información obtenido anteriormente.

$$L = ((\text{Power}(("FlowAcc" * 625), ("Factor_M" + 1)) - \text{Power}(("FlowAcc" * 625), ("Factor_M" + 1))) / (\text{Power}(25, ("Factor_M" + 2)) * \text{Power}(22.13, "Factor_M"))$$

Para calcular el factor S se colocó la siguiente fórmula en *Raster Calculator*.

$$\begin{aligned} & \text{Con}(\tan("Slope" * 0.01745) < 0.09, \\ & 10.8 * \sin("Slope" * 0.01745) + 0.03, \\ & 16.8 * \sin("Slope" * 0.01745) - 0.50) \end{aligned}$$

Finalmente, para calcular el factor LS se multiplicó el factor L con S.

3.3.2.4. Cuantificar y elaborar un mapa del factor de cobertura vegetal y cultivo (C) de la microcuenca del río Pendencia.

Para ello se utilizó una metodología propuesta por Van der Knijff, J. M. et al. (2000) usando imagen multiespectral del satélite PeruSAT-1, con resolución espacial de 2 m, con corrección geométrica y recorte de la imagen al límite de la Microcuenca de río Pendencia mediante la herramienta Extract by Mask.

Posteriormente se calculó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) lo cual permite evaluar la densidad vigor de la vegetación mediante la siguiente formula con la herramienta *Raster Calculator* en ArcMap.

$$NDVI = \frac{(NIR + Red)}{(NIR - Red)}$$

Donde:

NIR = Banda infrarroja cercana

Red = Banda roja

Seguidamente se realizó una conversión del NDVI a factor C mediante una relación empírica usando la siguiente fórmula propuesta en estudios basados en RUSLE.

$$C = e^{-\alpha \left(\frac{NDVI}{\beta - NDVI} \right)}$$

Donde:

α y β son coeficientes de ajuste (comúnmente $\alpha = 2$ y $\beta = 1$).

e = base del logaritmo natural.

Finalmente, con la herramienta *Reclassify* se clasificó por categorías de cobertura (bosque, cultivo, pasto, suelo desnudo) y asignar valores C y se realizó el mapa del factor C.

3.3.2.5. Cuantificar y elaborar un mapa del factor de prácticas mecánicas de retención de suelo (P) de la microcuenca del río Pendencia.

El factor P es un indicador positivo de la disminución de la erosión del suelo cuando se lleva a cabo una práctica de conservación. Ejemplos de estas prácticas son el cultivo en contorno, que consiste en cultivar siguiendo las curvas de nivel. Se crea un archivo Raster con valor de uno, porque no se tiene información acerca de las prácticas para conservar el suelo, para poder calcular este parámetro. (Castillo, 2019).

Tabla 12. Valores de “P” para cultivos en contorno y su máxima longitud permitida entre obras.

Gradiente de Pendiente (%)	Factor P	Máxima longitud de pendiente (m)
1 – 2	0,60	120 – 180
3 – 5	0,50	90 – 100
6 – 8	0,50	60 – 65
9 – 12	0,60	40
13 – 16	0,70	25
17 – 20	0,80	20
21 – 25	0,90	15

Fuente: Wischmeier y Smith (1978), citado por INETER (2005).

3.3.3. Determinar y elaborar un mapa de la pérdida del suelo por erosión hídrica con el modelo RUSLE en la microcuenca del río Pendencia durante el periodo 2019–2023.

La pérdida media anual del suelo se determinó por el modelo RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), lo cual permitió cuantificar la erosión hídrica a partir de cinco factores erosividad por lluvia (R), erodabilidad del suelo (K), longitud de la pendiente (L), grado de la pendiente (S), factor cobertura del suelo (C) y factor prácticas conservacionistas (P) y se calculó con la siguiente fórmula mediante la herramienta *Raster calculator* (Renard et. al., 1997)

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

Donde:

A = pérdida de suelo (t/ha/año)

R = factor de erosividad de la lluvia

K = factor de erodabilidad del suelo

LS = factor topográfico (longitud e inclinación de pendiente)

C = factor de cobertura vegetal

P = factor de prácticas de conservación

Finalmente, como resultado se obtuvo un mapa raster de pérdida anual del suelo expresado por año (t/ha/año).

3.3.4. Proponer medidas de mitigación para la pérdida de suelo en la microcuenca del río Pendencia.

Con los resultados ya obtenidos se identificó las zonas con mayor susceptibilidad a la erosión en la microcuenca del río Pendencia y se planteó dar medida para mitigar la pérdida de suelo con medidas estructurales, agronómicas y de gestión territorial.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Cuantificar los factores del modelo RUSLE (R , K,LS,C,P) y elaborar un mapa de cada factor evaluado para la microcuenca del río Pendencia durante el periodo de 2019 – 2023.

Para ello se realizó diferentes actividades para determinar la pérdida de suelo por erosión hídrica en la microcuenca del río Pendencia, en el departamento de Huánuco los resultados obtenidos fueron los siguientes

4.1.1. Cuantificar y elaborar un mapa del factor de erosividad de la lluvia(R) en mj.mm/ha de la microcuenca del río Pendencia en los años de 2019 a 2023.

Para determinar el factor de erosividad se utilizaron datos de los registros de precipitación acumulada mensual y anual de las estaciones Tingo María, Tulumayo, Supte, Aucayacu, Pendencia, Anda y Aguaytía correspondiente al periodo 2019 – 2023(ver anexo, figura 8) al que se aplicó la fórmula del Índice Modificada de Fournier (IMF)(ver anexo, Tabla 20).

Mediante los resultados obtenidos se observó que en la tabla 11 y figura 2 la estación meteorológica Aucayacu tuvo un valor R de 379.71 mj.mm/ha teniendo un mayor grado de influencia en la microcuenca Pendencia, pero el nivel de erosividad fue moderada correspondiente a zonas con lluvias menos intensas y poca capacidad de causar erosión de la misma forma que en las estaciones Tingo María, Aucayacu, Supte y Divisoria, por su parte las estaciones con menor valor R fue la estación Tulumayo con 245.4 mj.mm/ha con un nivel bajo de erosión igual que la estación Pendencia y Anda con mínima capacidad de causar erosión por precipitación.

Tabla 13. Determinación de la erosividad o factor R

N°	ESTACIONES	Este(m)	Norte (m)	Altitud (msnm)	P.TOTAL ANUAL	Factor R(MJ-mm/ha-h-año)	Nivel de Erosividad
1	Tingo María	390121.00	8970701	660	3154.66	303.65	Moderada
2	Aucayacu	377776.91	9012717	586	3851.24	379.71	Moderada
3	Tulumayo	389088.54	8988734	613	2466.44	245.40	Baja
4	Supte	399086.09	8981985	665	3178.08	319.70	Moderada
5	Pendencia	399360.81	8993965	1358	2641.46	271.09	Baja
6	Anda	397207.86	9000194	1822	2559.67	261.26	Baja
7	Divisoria	413441	8988304	1672	2995.01	333.81	Moderada

Fuente: elaboración propia

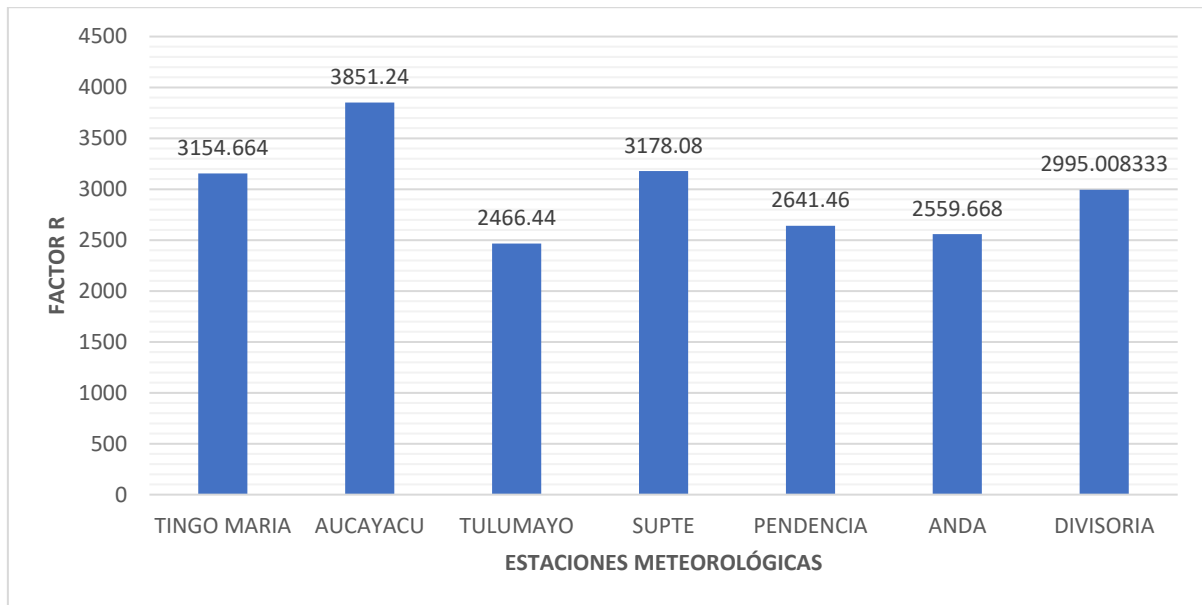


Figura 2. Valores de erosividad de las estaciones meteorológicas Fuente: elaboración propia

Según la figura 3 se observó que los datos interpolados mediante la herramienta Kriging al IMF en toda la microcuenca Pendencia donde se apreció que el factor R oscila entre 271.14 a 320.24 MJ·mm/ha·h·año presentando un nivel moderado de erosividad que corresponde a zonas lluviosas, ya que la lluvia posee una energía cinética suficiente para desprender partículas de suelo y existe riesgo real de que el agua de escorrentía transporte sedimentos especialmente si el suelo carece de cobertura vegetal.

Según la investigación de Silva (2025) que realizó en la cuenca del río Grande en el distrito de La Encañada en la provincia de Cajamarca el factor R calculado del periodo de 2013 a 2023 de las estaciones Augusto Weberbauer, Granja Porcón, Celendín y La Encañada fue de 89.53, 363.51, 235.06 y 228.76 correspondientemente. Los valores mínimos del Factor R alcanzaron los 97.75 MJ·mm/ha·años típicos de áreas con precipitaciones menos fuertes y menor potencial de provocar erosión, y los valores más altos, que alcanzan hasta 635.51 MJ·mm/ha·año, producen una mayor energía capaz de desintegrar el suelo y elevar considerablemente la probabilidad de erosión. En contraste a la microcuenca del río Pendencia que presenta un nivel de erosividad moderada debido a que tiene se relaciona con la ocurrencia de precipitaciones frecuentes y de intensidad variable características de la zona. La energía cinética generada por las lluvias favorece el desprendimiento de partículas del suelo y el desarrollo de escorrentía superficial, incrementando el potencial erosivo del agua sin embargo no alcanza niveles altos de erosividad, posiblemente debido a la distribución

temporal de las precipitaciones y a la presencia de áreas con cobertura vegetal que contribuyen a disminuir el impacto directo de las gotas de lluvia.

Mamani J.(2024) menciona que los resultados obtenidos del factor R oscilan entre valores 635.08 a 1353.48 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ en la cuenca del río Coata - Juliaca derivado de las precipitaciones que está influenciado por la magnitud y la intensidad con la que ocurren las precipitaciones en contraste de la microcuenca del río Pendencia que factor R osciló entre 271.14 a 320.24 MJ·mm/ha·h·año que es mucho menor a los obtenidos de la cuenca del río Coata esto se puede deber a la marcada influencia de la precipitación en la dinámica de la microcuenca.

Mamani (2024) reportó valores del factor de erosividad de la lluvia (R) entre 635.08 y 1353.48 MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·año⁻¹ en la cuenca del río Coata, ubicada en Juliaca. En comparación, la microcuenca del río Pendencia presentó valores considerablemente menores, con un rango de 271.14 a 320.24 MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·año⁻¹. Esta diferencia puede atribuirse a las características climáticas y pluviométricas propias de cada zona de estudio, ya que el factor R está directamente relacionado con la cantidad, intensidad y distribución temporal de las precipitaciones.

Asimismo, la cuenca del río Coata se localiza en el altiplano puneño, donde los eventos de precipitación pueden presentar mayores intensidades y variabilidad espacial, incrementando la energía cinética de las lluvias y, por ende, la capacidad de erosión. Por otro lado, en la microcuenca del río Pendencia los valores más bajos del factor R sugieren una menor agresividad de las precipitaciones durante el periodo evaluado, lo que se traduce en una menor capacidad potencial de desprendimiento y transporte de partículas del suelo.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi) (2023) menciona que la erosividad de precipitación identificado en la selva alta presentan mayores tasas anuales. Además, Panagos et al. (2017) Indica que el factor de erosividad de las precipitaciones influyen en los procesos hidrológicos y erosivos del suelo y mediante ello se define las prácticas de conservación del suelo y agua. Según el mapa global de erosividad de la lluvia, los valores más altos se concentran en regiones tropicales y subtropicales, alcanzando promedios anuales de hasta 8.000 MJ.mm/(ha.h.año) en zonas como el Caribe y alrededor de 7.400 en el Sudeste Asiático. Estas áreas, que incluyen Camboya, Indonesia, Malasia, Filipinas, Bangladesh, África Central (Congo, Camerún),

gran parte de Sudamérica (Brasil, Colombia, Perú) y América Central, son altamente propensas a la erosión hídrica debido a lluvias intensas y frecuentes.

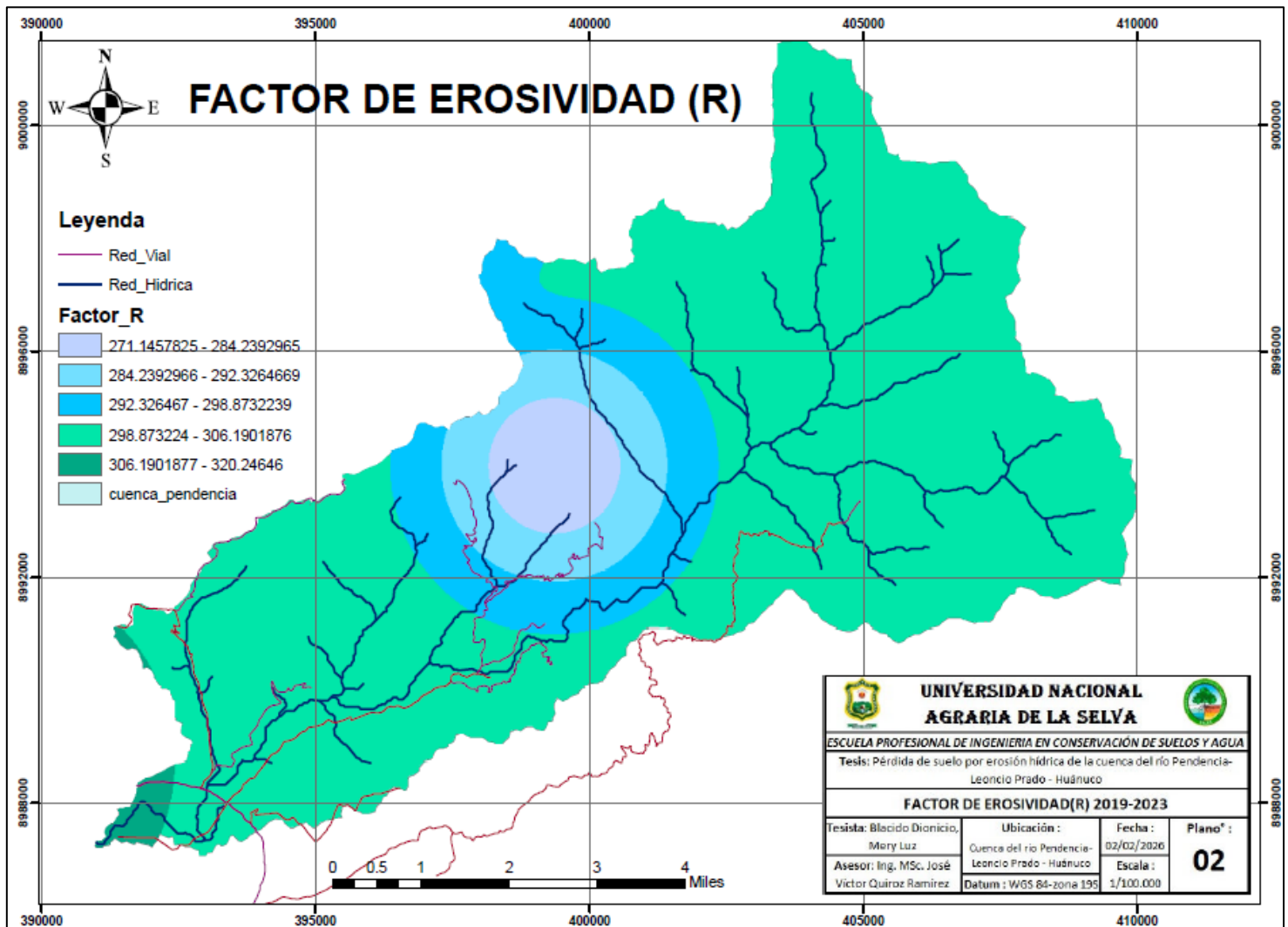


Figura 3. Mapa del factor de erosividad

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Cuantificar y elaborar un mapa del factor de erodabilidad del suelo(K) en ton.h/MJ.mm de la microcuenca del río Pendencia.

En la tabla 12 se observó los resultados obtenidos del análisis del suelo de las 17 muestras que se extrajo de la microcuenca Pendencia, pertenecientes a Colpa Nueva Jerusalén, San Pedro, Puente Pendencia, Buena Vista, Mariano Melgar, Los Milagros, Alto Peregrino, Alta Pendencia, San Cristóbal, Nuevo Milenium y Belén.(ver anexo, figura 13)

La erodabilidad máxima alcanzada en la microcuenca de río Pendencia (ver anexo, figura 21) fue de 0.0436 ton·ha·h/ha·MJ·mm obtenido de Mariano Melgar seguido por el suelo de San Cristóbal con 0.0371, Nuevo Milenium con 0.0349 y 0.0363ton·ha·h/ha·MJ·mm y Buena Vista con 0.0427 todos clasificado como fuertemente

erodable típico de suelo con baja estabilidad estructural, con alta susceptible al desprendimiento y en consecuencia formación frecuente de surcos y cárcavas, por otro lado los suelos clasificados medianamente erodable fueron de Puente Pendencia(0.0202), Los Milagros(0.0219), Alto Peregrino(0.0295), Puente Pendencia(0.0298), Alta Pendencia(0.0287, 0.0327), Colpa Nueva Jerusalén(0.0205), Nuevo Milenium(0.0301), Belén(0.0306 y 0.0282) y San Pedro(0.0293) donde los suelos presentan una textura francas o franco-limosas, con estructura media que tienden a ser sensibles a lluvias fuertes, pendientes y la erosión se apreciable si no hay cobertura vegetal, finalmente la erodabilidad mínima obtenido fue de San Pedro con 0.0169 ton·ha·h/ha·MJ·mm clasificado como débilmente erodable suelos con buena estructura, moderada estabilidad de agregados de textura franco-arenosas y presenta una erosión ligera bajo lluvias intensas. Wischmeier, Walter H. & Smith, Dwight D. (1978) menciona que el factor K es la susceptibilidad intrínseca del suelo al desprendimiento del suelo y transporte a consecuencia de la lluvia y escorrentía.

En la investigación de Mamani (2025) de la cuenca del río Coata los resultados de la erodabilidad fluctuaron entre 0.0013343 t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹ a 0.032974 t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹ que según la clasificación llegan hasta un suelo fuertemente erodable similar al obtenido en la microcuenca del río Pendencia que la erodabilidad oscila entre 0.0169 a 0.0436 t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹. La similitud elevada de ambos estudios puede atribuirse a las características edáficas tal como el bajo contenido de la materia orgánica, textura de fracciones fina dominante y las condiciones de degradación derivado del uso inadecuado del suelo. En contraste de la microcuenca Paliza la erodabilidad obtenido fue de 0.0166 a 0.0176 t. ha.H/MJ.ha.mm siendo clasificado débilmente erodable a medianamente erodable de manera que la susceptibilidad a la erosión de la microcuenca es mínima (Garcia, 2025), eso puede deberse a características favorables del suelo que le otorgan mayor resistencia al desprendimiento y transporte de partículas por el agua. fuertemente erodable.

Tabla 14. Índice de erodabilidad del suelo

Lugar	Clase textural	Estructura	%MO	permeabilidad	factor-K	Clasificación
San Pedro	Arcillosa	2	2.511	4.09	0.01690712	Levemente erodable
Mariano Melgar	Franco arcillo arenoso	3	1.632	4.35	0.04358705	Fuertemente erodable
Puente Pendencia	Arcillosa	2	1.626	4.74	0.02017565	Medianamente erodable
Los milagros	Arcillosa	2	2.95	4.53	0.02185083	Medianamente erodable
Alto Peregrino	Arcillo Arenoso	3	2.26	3.93	0.02945459	Medianamente erodable
Puente Pendencia	arcillosa	2	1.82	5.33	0.02981847	Medianamente erodable
Alta Pendencia	Arcillosa	3	1.318	5.23	0.02873978	Medianamente erodable
Colpa Nueva Jerusalen	Arcillosa	3	3.076	3.34	0.02054077	Medianamente erodable
San Cristobal	Arcillosa	3	2.762	4.77	0.0371184	Fuertemente erodable
Alta Pendencia	Arcillo Arenoso	2	2.762	4.77	0.0326921	Medianamente erodable
Nuevo Milenium	Arcillo Arenoso	2	2.637	4.68	0.03012308	Medianamente erodable
Nuevo Milenium	Franco arcillo arenoso	3	3.892	4.01	0.03486961	Fuertemente erodable
Nuevo Milenium	Franco arcillo arenoso	2	2.762	5.20	0.03626444	Fuertemente erodable
Belen	Arcillosa	3	1.632	4.19	0.03056772	Medianamente erodable
Belen	Arcillosa	2	1.695	5.14	0.02820277	Medianamente erodable
San Pedro	Arcillosa	2	1.255	4.72	0.02929775	Medianamente erodable
Buena Vista	Franco arcilloso	3	1.534	3.38	0.04265235	Fuertemente erodable

Fuente: Elaboración propia

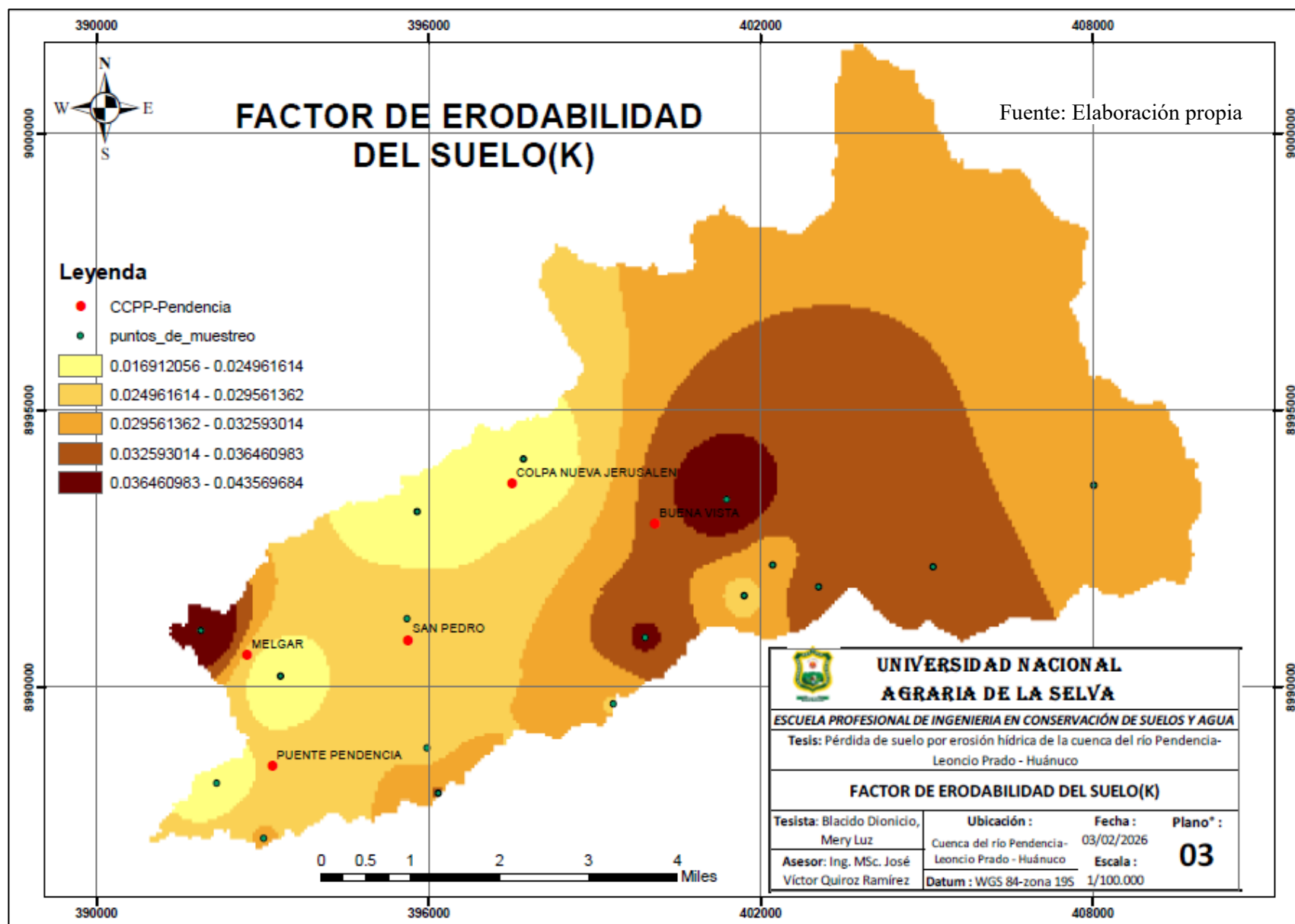


Figura 4. Mapa del factor de erodabilidad del suelo

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Cuantificar y elaborar un mapa del factor longitud y ángulo de inclinación de la pendiente (LS) de la microcuenca del río Pendencia.

En la tabla 13 se observa el factor LS obtenido de la microcuenca del río Pendencia fue de 0 a 37.11 donde de 0 – 1 abarcó 1853.14. ha con un relieve plano a suavemente ondulado, pendientes muy bajas y por ello presenta una baja velocidad de escorrentía en consecuencia la capacidad erosiva es muy baja donde el agua se infiltra con facilidad (Lal, 1998); de 1 a 5 abarcó 1502.66 ha que presenta un relieve ligeramente ondulado con pendientes suaves y da inicio a la concentración de escorrentía, la erosión es baja a moderada aunque depende de la cobertura vegetal que puede presentar; de 5 a 10 abarca 3104.16 hectáreas que presenta un relieve moderadamente accidentado con pendientes medias donde los canales de drenaje están bien definidos e implica mayor erosión por mayor energía del flujo e incremento notable de arrastre de suelo, finalmente de 10 a 37.11 abarcó mayor extensión de la microcuenca con 3783.24 hectáreas donde su relieve es escarpado a muy accidentado esto está presente en zonas más altas donde los pendientes son fuertes a muy fuertes tiene una alta acumulación de flujo por ello la erosión es alta a muy alta y están propensas a la formación de cárcavas y surcos por ellos son áreas críticas requiere prioridad de manejo

Tabla 15. Resultados del factor de longitud y gradiente de pendiente o factor LS

Nº	Factor LS	Ha	Descripción
1	0 - 1	1853.14	Relieve plano a suavemente ondulado
2	1 - 5	1502.66	Relieve ligeramente ondulado
3	5 - 10	3104.16	Relieve moderadamente accidentado
4	10 - 37.11	3783.24	Relieve escarpado a muy accidentado

Fuente: Elaboración propia

Según la investigación de Perales (2019) realizada en la cuenca Subte en provincia de Leoncio Prado el factor LS obtenido excedió el rango máximo de 7 que abarco 4118.54 hectáreas siendo el 51.84 % de toda la cuenca clasificado como muy alta típico de pendiente muy accidentados, mientras que en la microcuenca de río Pendencia Factor LS máxima obtenida fue de 37.11 que también abarco la mayor parte de la microcuenca, esto puede deberse principalmente a la presencia predominante de terrenos con pendientes moderadas a pronunciadas y longitudes de ladera considerables, condiciones geomorfológicas que favorecen la acumulación y concentración del flujo superficial y se incrementa la velocidad de escorrentía y por consiguiente, la capacidad del agua para desprender y transportar partículas de suelo. Además, este resultado implica que

una gran parte de la microcuenca presenta condiciones topográficas que favorecen el desarrollo de procesos erosivos, constituyéndose el relieve en uno de los factores más influyentes sobre la pérdida potencial de suelo. En consecuencia, las áreas con mayores valores de LS requieren una atención prioritaria para la implementación de prácticas de conservación, tales como terrazas, barreras vivas, sistemas agroforestales y revegetación de laderas.

García (2025) indica que en la microcuenca Paliza el factor LS oscila entre 0 – 16.58, donde el 90.87% del área corresponde a pendientes suaves lo que reduce la velocidad de escorrentía superficial y en consecuencia presenta menor susceptibilidad a la erosión hídrica, en contraste de la microcuenca pendencia donde la mayor parte con 36% presenta relieve escarpado a muy accidentado, lo que favorece la concentración y aceleración del flujo superficial lo cual implica mayor vulnerabilidad pérdida potencial del suelo.

En la investigación realizada por Mamani (2024) la cuenca del río Coata en Juliaca el factor LS calculada oscila entre 0.5 a 16 donde los valores más altos fueron de zonas de mayor longitud y pendiente. En contraste a lo encontrado en la microcuenca del río Pendencia donde el valor máximo encontrado fue de 37.1. Mediante la formulación del modelo RUSLE, se muestra que el factor de pendiente (S) tiene un efecto mayor en el pronóstico de pérdida de suelo que el factor de longitud de pendiente (L), por lo que al aumentar la inclinación de la ladera esta implican en aumentos más significativos de erosión que incrementos equivalentes en longitud de pendiente. (McCool et al., 1987)

En la figura 5 se observa la mapa del fator LS estimado de la microcuenca del río Pendencia donde se aprecia que la parte baja de la microcuenca y cerca a los cauces de los ríos el factor LS es mínimo y se clasifica de nivel bajo a muy bajo con relieve plano a suavemente ondulado, mientras que los niveles alto a muy alto con relieve escarpado a muy accidentado se distribuyen en las partes altas de la microcuenca, y el nivel moderado con relieve moderadamente accidentado se encuentran en los intermedios (Departamento General de Irrigación, s.f.). González del Tánago (1991) señala que tanto la longitud como la pendiente de ladera influyen de manera considerable en las tasas de erosión del suelo y el relieve un factor influente en la emisión de sedimentos.

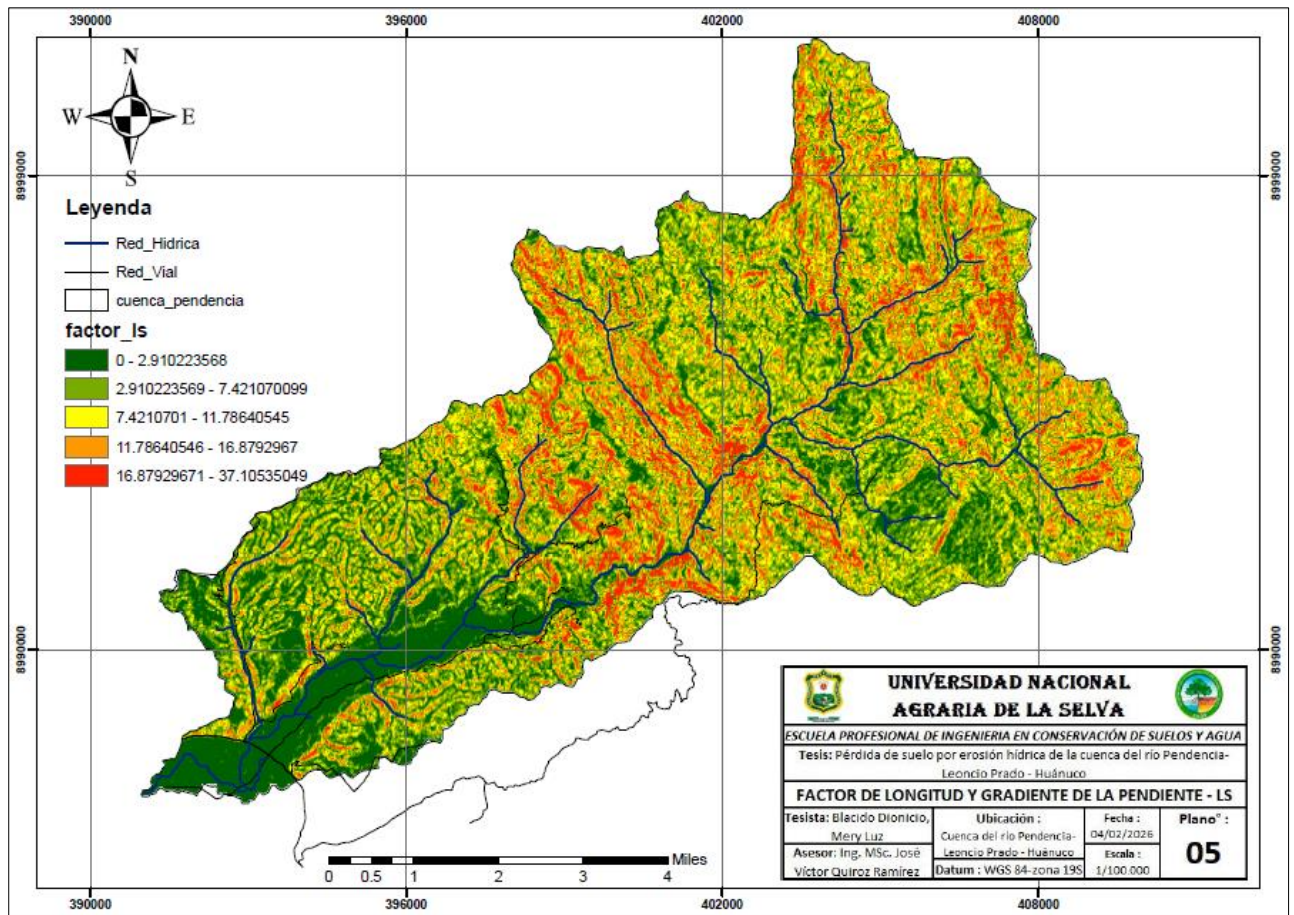


Figura 5. Mapa del factor de erosividad

Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Cuantificar y elaborar un mapa del factor de cobertura vegetal y cultivo (C) de la microcuenca del río Pendencia.

Los resultados obtenidos del factor C se observan en la tabla 14, donde el 70% de toda la microcuenca está conformado por bosque muy denso donde se encuentra árboles altos con copas cerradas que reduce la energía de impacto de las lluvias asimismo alta acumulación de hojarasca que amortigua la caída de las gotas de agua, el sistema radicular abundante y profundo estabilizan el suelo y hay alta infiltración baja escorrentía en consecuencia la pérdida de suelo es muy baja, el 15% es bosque alta donde los árboles están dispersos y la cobertura en menos cerrada con menos acumulación de hojarasca y tiene buena protección contra la caída de las lluvias, moderada reducción de escorrentía en consecuencia baja erosión. El 8% de la microcuenca abarca vegetación media donde se puede encontrar arbustos, pastizales densos con menos raíces profundas y cultivo en crecimiento de modo que la protección del suelo es parcial y existe mayor exposición entre las plantas dando como resultado la erosión moderada que depende del manejo. La vegetación baja abarca el 5% de la microcuenca donde se puede evidenciar pastos cortos, cultivos recién sembrados parcialmente expuesto y cobertura del suelo

discontinua, de modo que hay alta energía de impacto de las gotas de agua y mayor escorrentía superficial dando como resultado erosión moderada a alta. Finalmente tenemos a suelo expuesto o intervenido que abarca el 2% dentro de ella encontramos áreas agrícolas recién aradas, construcciones, caminos, zonas deforestadas y taludes sin protección. (Renard, K. G. et al. 1997).

Tabla 16. Uso actual de tierra

Nº	Factor C	Cobertura	Ha	%
1	0 - 0.05	Bosque muy denso	7806.4039	70%
2	0.05 - 0.15	Bosque / vegetación alta	1637.6816	15%
3	0.15 - 0.3	Vegetación media	878.1029	8%
4	0.3 - 0.5	Vegetación baja	599.1797	5%
5	0.5 - 1	Suelo expuesto / intervención	245.8575	2%

Fuente: Elaboración propia

Del Castillo (2023) en su investigación de la cuenca del río Sacanche, departamento de San Martín, encontró valores representativos 58.90% y 13.83% de bosque forestal y pasto respectivamente lo cual contribuyó a que el suelo no se erosione, no obstante, en las zonas que cuenta con suelo desnudo sin cobertura el porcentaje es del 3.22%, con valor de C en 1. Similar al obtenido en la microcuenca del río Pendencia, donde el bosque denso abarca la mayor parte de la microcuenca y el suelo expuesto abarca menos área. En contraste la microcuenca Paliza donde la pradera abarco mayor extensión de la microcuenca con 32.82% seguido por matorrales y pastizales con 25.28%, indicando una protección moderada, teniendo en cuenta que dicha microcuenca pertenece a Ayacucho zona sierra del Perú, mientras que la mínima área abarca suelo desnudo con 0.07% siendo los suelos con mayor vulnerabilidad a la erosión (García, 2025).

El factor de cobertura vegetal tiene una influencia directa en la reducción de la erosión hídrica en la microcuenca del río Pendencia, de modo que el valor máximo del factor C representa los suelos descubiertos y los valores mínimos representa la vegetación (Morgan, 2005), así como se puede observar en la figura 6, el color verde claro representa al bosque denso y el color rojo representa la vegetación baja.

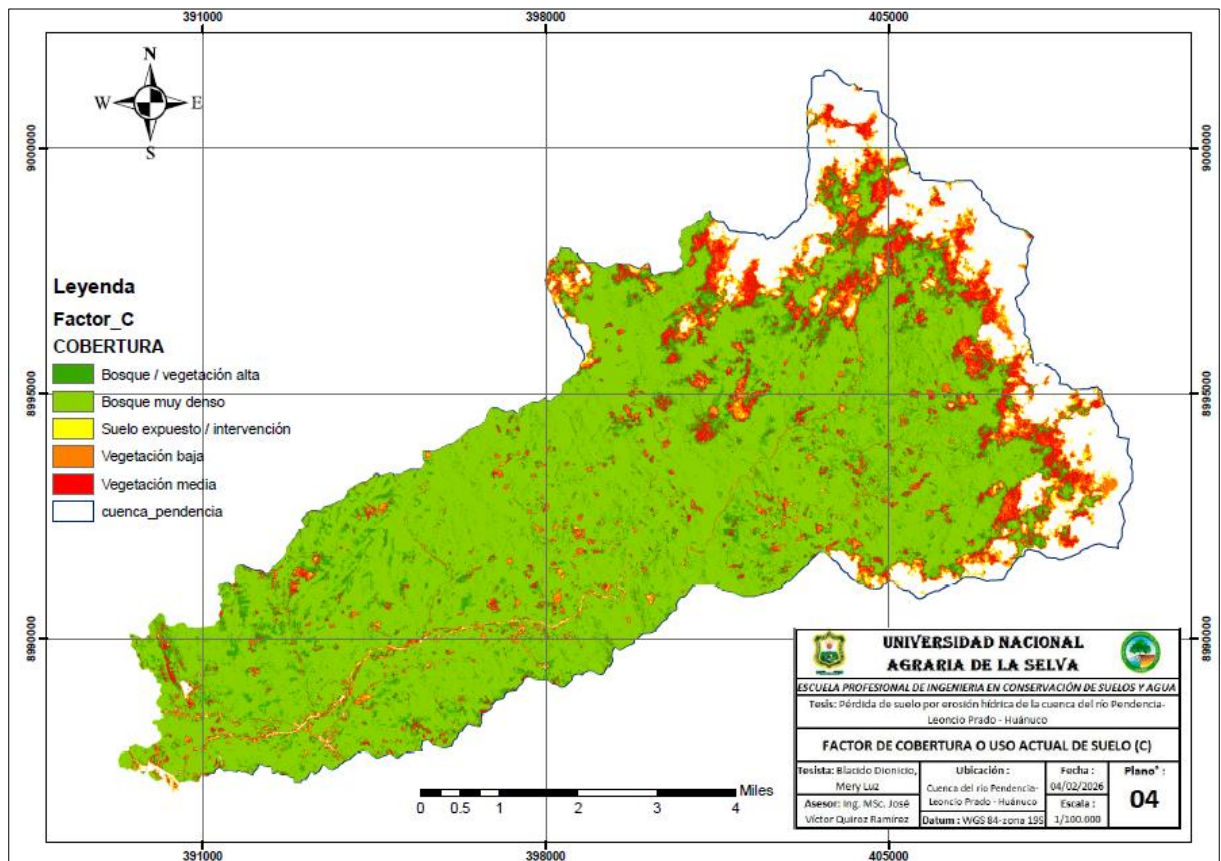


Figura 6. Mapa del factor de cobertura vegetal y cultivo (C)

Fuente: Elaboración propia

4.1.5. Cuantificar y elaborar un mapa del factor de prácticas mecánicas de retención de suelo (P) de la microcuenca del río Pendencia.

El factor P representa las prácticas de conservación del suelo y manejo del suelo orientadas a reducir la erosión hídrica, en la microcuenca Pendencia se asignó el valor uniforme de 1 debido a que hay ausencia de prácticas de conservación, obras de control de erosión o medidas de manejo del terreno y la topografía que contribuyan a disminuir la pérdida de suelo, de acuerdo con los criterios establecidos por (Renard et al. 1997). Este valor refleja un escenario en el que la erosión ocurre sin ningún tipo de intervención antrópica destinada a mitigar sus efectos.

La asignación de un valor de P igual a 1 evidencia la alta vulnerabilidad de la microcuenca frente a los procesos erosivos, especialmente en sectores con pendientes pronunciadas y cobertura vegetal reducida. En estas condiciones, la escorrentía superficial actúa libremente sobre el terreno, favoreciendo el desprendimiento y transporte de partículas de suelo.

Asimismo, Morgan (2005) señala que el factor P expresa la efectividad de las prácticas de conservación, tales como terrazas, cultivo en curvas de

nivel, barreras vivas y otras medidas de manejo, las cuales son particularmente importantes en áreas agrícolas ubicadas en pendientes elevadas. Por ello, la ausencia de estas prácticas en la microcuenca del río Pendencia sugiere la necesidad de implementar estrategias de conservación del suelo que permitan reducir la erosión hídrica, mejorar la estabilidad del terreno y promover un manejo sostenible de los recursos naturales.

4.2. Determinar y elaborar un mapa de la pérdida del suelo por erosión hídrica con el modelo RUSLE en la microcuenca del río Pendencia durante el periodo 2019–2023.

Se utilizó el modelo RUSLE para calcular la pérdida de suelo en la microcuenca Pendencia. En donde se tuvo en cuenta la multiplicación de los cinco factores: erosividad de la lluvia (R), erodabilidad del suelo (K), longitud y topografía del suelo (LS), cobertura vegetal (C) y, por último, las prácticas de conservación (P). Renard, 1997).

El resultado obtenido de la pérdida del suelo en la microcuenca del río Pendencia se observa en la tabla 15 y figura 7 donde los valores oscilan entre 0 – 131.6 t/ha/año, donde la mayor parte de la microcuenca a un 86.92% con 9016.47 hectáreas presentó una pérdida de suelo nula a ligera con tasas bajas de erosión debido a la buena cobertura vegetal con pendientes suaves en consecuencia menor escorrentía. Renard et al. (1997) menciona que una baja erosión revela que la microcuenca está protegida con el factor C y P, y esto contribuye a la reducción de desprendimiento y transporte de partículas. Por otra parte el 11.16 % presenta una pérdida de suelo moderada un indicador de desequilibrio parcial de los factores como la cobertura vegetal y pendientes de la microcuenca, de acuerdo a Wischmeier(1978) cuando la cobertura vegetal es limitada la pérdida de suelo crece regresivamente y más aún si las pendientes son altas y la escorrentía superficial aumenta de manera que es necesario realizar prácticas preventiva. Finalmente, el 2 % de la microcuenca presenta una pérdida de suelo fuerte a alta que representan áreas críticas con alta pérdidas de suelo debido a las pendientes pronunciadas, falta de cobertura vegetal y los suelos son más susceptibles a la erosión con carencia de prácticas de conservación. Según Morgan (2005) los terrenos con pendiente y con ausencia de vegetación adecuada puede sobrepasar los niveles tolerables de erosión y afectar a la productividad del suelo por consiguiente el proceso de degradación se vuelve acelerada. Asimismo, Renard et al. (1997) menciona que la combinación de valores grandes de R, LS y C puede aumentar exponencialmente la pérdida de suelo calculada por RUSLE.

Tabla 17. Resultado de la pérdida de suelo

N°	Rango de Pérdida (t/ha/año)	Área (ha)	%	Descripción
1	0 - 10	9016.47	86.92	Nula a Ligera
2	10 - 50	1157.36	11.16	Moderada
3	50 - 131.6	199.80	1.93	Fuerte / Alta

Fuente: Elaboración propia

Perales (2019) en su investigación realizada en la cuenca del río Subte en Leoncio Prado estimó la pérdida del suelo por erosión hídrica donde los valores oscilaron de 0 a 200 t/ha/año donde la mayor parte de la cuenca presentó una pérdida de suelo normal y ligera con un 81 % de toda la cuenca y un 5% pérdida de suelo severa. El autor atribuye este comportamiento a la existencia de mayor cobertura vegetal de bosque y purma que actúan como una barrera natural frente al impacto de las precipitaciones y reducen la escorrentía superficial.

De manera similar, Del Castillo (2023) en la cuenca del río Sacanche, departamento de San Martín, determinó que el 85.1 % del área presentó pérdidas de suelo bajas y únicamente el 3 % se clasificó entre alta y crítica. Estos resultados fueron asociados a la alta protección brindada por la cobertura vegetal existente, la cual contribuye a disminuir la energía de las gotas de lluvia, aumentar la infiltración y reducir el transporte de sedimentos.

Los resultados obtenidos en la microcuenca del río Pendencia guardan concordancia con ambos estudios, debido a que la mayor parte del área también se clasificó dentro de la categoría de pérdida de suelo nula a ligera. Esta similitud sugiere que, a pesar de la presencia de sectores con pendientes pronunciadas y áreas intervenidas, aún existen extensiones importantes con cobertura vegetal que contribuyen a controlar los procesos erosivos. Asimismo, evidencia la importancia de la vegetación como factor protector frente a la erosión hídrica, ya que ayuda a conservar la estructura del suelo, reducir la escorrentía superficial y limitar la pérdida de sedimentos.

Sin embargo, la presencia de áreas con uso inadecuado del suelo y cobertura vegetal degradada en la microcuenca del río Pendencia podría incrementar el riesgo de erosión en determinados sectores, por lo que resulta necesario promover medidas de conservación y recuperación de la cobertura vegetal para evitar que las pérdidas de suelo aumenten en el futuro.

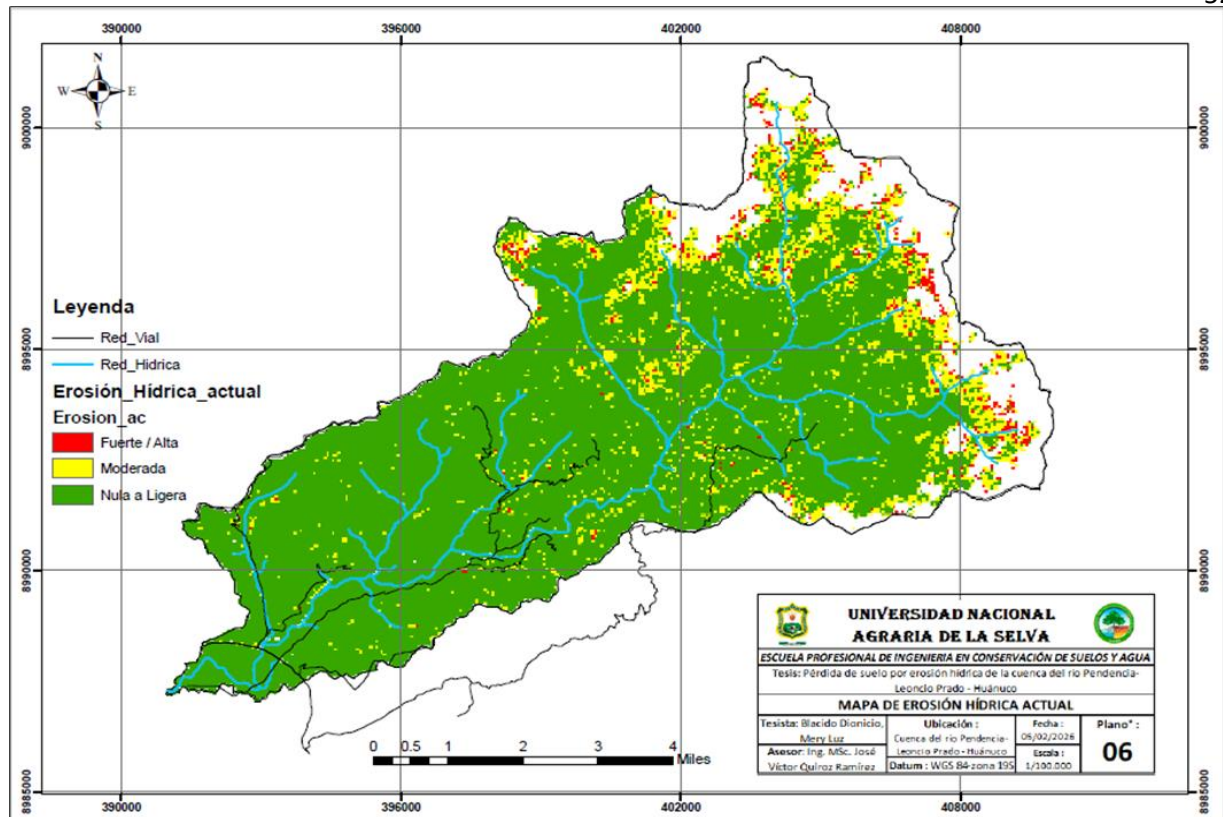


Figura 7. Mapa de pérdida de suelo por erosión hídrica en la microcuenca Pendencia

Fuente: Elaboración propia

4.3. Proponer medidas de mitigación para la pérdida de suelo en la microcuenca del río Pendencia.

De acuerdo con la determinación de la pérdida de suelo calculado para la microcuenca del río Pendencia con la metodología Revised Universal Soil Loss Equation(RUSLE), donde se identificaron zonas con nivel moderada y fuerte pero solo una mínima parte de la microcuenca presenta una pérdida de suelo fuerte a alta. Para ello se propone medidas para mitigar la pérdida de suelo por erosión hídrica.

Estabilizar ladera con muros de gaviones(ver anexo, figura 37) en los bordes de la carretera en el caserío de Nuevo Milenium ya que es un suelo suelto, con poca cobertura vegetal propensos a deslizamientos con los muros se construye una estructura flexible, que estabiliza el talud asimismo se puede usar los muros de gaviones en las riberas del río(ver anexo, figura 36) para disipar la energía del agua donde las rocas reducen la presión hidrostática del agua evitando que el suelo sea arrastrado, asimismo el muro estabiliza el talud y protege la base contra la erosión debido a que el flujo del agua no impacta directamente al terreno y de esta manera se conserva la estabilidad de la ladera y se evita la pérdida del suelo en el caserío de San Cristóbal.

Asimismo, se plantea estabilizar las pendientes con geotextil para controlar la erosión superficial e incorporar cobertura vegetal con estacas vivas nativas, pastos o arbustos que desarrollan raíces profundas amarrando las partículas y aumentando la resistencia del terreno, ya las raíces aumentan la cohesión del suelo y el geotextil reduce el arrastre. Evitando que el suelo este descubierto y las intensas lluvias infiltradas saturan el talud y de esta manera reducir la erosión y formación de cárcavas en la microcuenca del río Pendencia.

Otra propuesta es la reforestación de suelos descubiertos con arbustos que tienen raíces profundas (ver anexo, figura 35) ya que al estar el suelo descubierto la lluvia impacta directamente al terreno generando escorrentía superficial y arrastra sedimentos provocando pérdida de suelo fértil con cada lluvia el suelo se degrada y disminuye su capacidad productiva en cambio si hay vegetación estabilizan el terreno mejora la infiltración y reduce la velocidad del agua.

Como información extra se plantea la construcción de terrazas con neumáticos reciclados rellenos con tierra rocas y compactados para dar mayor soporte con vegetación nativa para que las raíces fijen el suelo esto en zonas con pendientes pronunciados y sin cobertura vegetal ya que estos funcionan como muros que contienen el suelo y reduce la erosión hídrica.

Renald et al., (1997) sostiene que la erosión hídrica se puede mitigar mediante la modificación de los factores relacionados con la cobertura y prácticas de manejo, asimismo Soil Erosion and Conservation argumenta que la vegetación contribuye a la reducción de erosión ya que actúa como amortiguador de la energía cinética de las gotas y mejora la infiltración del agua en el suelo. Morgan (2005) plantea implementar las terrazas agrícolas y curvas a nivel en especial en laderas con erosión alta, promover las prácticas de agricultura de conservación con rotación de cultivo y labranza mínima, para reducir la velocidad de escorrentía se plantea la construcción de barreras vivas y zanjas de infiltración con la finalidad de reducir la pérdida de suelo.

Como propuesta a futuro, se recomienda realizar una zonificación de áreas prioritarias para la implementación de medidas de conservación de suelos en la microcuenca del río Pendencia, utilizando el mapa de pérdida de suelo obtenido mediante el modelo RUSLE. Esta zonificación deberá identificar y delimitar espacialmente las áreas críticas con niveles de erosión alta y muy alta, estimar la superficie afectada y establecer

criterios técnicos para la selección de medidas específicas de mitigación, tales como muros de gaviones, terrazas de conservación, reforestación y estabilización de taludes.

Asimismo, se recomienda elaborar un mapa de priorización que integre variables como pérdida de suelo, pendiente, cobertura vegetal, uso actual del suelo y proximidad a infraestructura vulnerable, con la finalidad de optimizar la inversión y focalizar las acciones de conservación en los sectores con mayor riesgo de degradación. Esta información permitirá diseñar un plan de manejo integral para la microcuenca y evaluar la efectividad de las medidas propuestas mediante escenarios futuros de reducción de la erosión hídrica.

V. CONCLUSIONES

1. Se determinó el factor de erosividad usando el Índice Modificado de Fournier (IMF), donde los valores fueron 271.1457 a 320.2464 MJ.mm/(ha.h.año) para toda la microcuenca Pendencia clasificando a un nivel moderado de erosividad que corresponde a zonas lluviosas.

El factor de erodabilidad (K) calculada oscilan entre 0.0436 a 0.0169 ton·ha·h/ha·MJ·mm, con una clasificación representativa de medianamente erodable que corresponde a suelos con textura francas o franco-limosas con estructura media.

Mediante la cuantificación del factor de longitud y ángulo de inclinación se obtuvo valores de 0 a 37.11, donde la mayor parte de la microcuenca presentó un relieve escarpado a muy accidentado.

La determinación del factor C o también llamado cobertura vegetal de la microcuenca se clasificó en bosque muy denso, bosque/vegetación alta, vegetación media, vegetación baja y suelo expuesto o intervenido donde en la microcuenca Pendencia prevaleció el bosque denso con 70%. Por otro lado, el factor P se consideró 1 debido a la ausencia de prácticas de conservación del suelo en la microcuenca del río Pendencia.

2. Al emplear la metodología RUSLE para estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica se obtuvo valores de 0 a 131.6 t/ha/año donde la clasificación más representativa fue de nula a ligera abarcando el 86.9 % de toda la microcuenca del río Pendencia, concluyendo que la microcuenca estudiada presenta una pérdida de suelo mínimo con 2%.
3. La propuesta de mitigación formulada para la microcuenca del río Pendencia se orienta a reducir la pérdida de suelo por erosión hídrica mediante la implementación de medidas estructurales, agronómicas y de gestión territorial. Entre las principales acciones destacan la construcción de muros de gaviones, estabilización de taludes con geotextiles, reforestación y establecimiento de terrazas de conservación.

VI. PROPUESTA A FUTURO

1. Implementar las prácticas mecánicas de conservación del suelo como la construcción de terrazas agrícolas de formación lenta o terrazas de infiltración, porque ayudan a reducir la erosión, retener agua y conservar la fertilidad del suelo en zonas con pendientes elevadas, construcción de muros de gaviones de contención en suelos propensos a deslizamiento, proteger los suelos descubiertos con pendientes pronunciadas con geotextil y diques de contención de manera que se reduzcan la velocidad de escorrentía y disminución de transporte de sedimentos.
2. Promover proyectos de restauración ecológica y reforestación con especies nativas, barreras vivas y o sistema de agroforestación en zonas críticas o con ausencia de cobertura vegetal.
3. Promoción de una agricultura sostenible responsable enfocado a la conservación usando técnicas como rotación de cultivos, cero o mínima labranza, uso de cultivos de cobertura además la implementación de sistemas agroforestales de multiestratos en áreas con suelos degradados de la región amazónica. Este sistema consiste en la asociación de especies vegetales de diferentes alturas y ciclos de crecimiento, imitando la estructura natural del bosque. Su aplicación favorece la recuperación de la fertilidad del suelo, mejora la retención de humedad, reduce los procesos de erosión y aumenta la biodiversidad.
4. Realizar ordenamiento territorial enfocado en la susceptibilidad erosiva, y mediante el uso de mapas de pérdida de suelo estimado, limitar actividades agrícolas en zonas de alta pendiente, priorizar intervenciones en zonas clasificadas como Fuerte/Alta, integrar criterios de conservación en planes de desarrollo local.
5. Realizar monitoreo continuo mediante SIG y teledetección utilizando imágenes satelitales para actualizar el factor C y evaluar los cambios de cobertura vegetal.
6. Difundir los resultados a los gobiernos locales y gobierno regional para contribuir al plan de ordenamiento territorial y zonificación.

VII. REFERENCIAS

- Alvarez J. (2012) El fenómeno de la caída de los cuerpos. Recuperado de: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmfe/v58n1/v58n1a9.pdf>
- ANA(2015) Autoridad Nacional del Agua. Evaluación de Recursos Hídricos en la Cuenca de Huallaga. Recuperado de: https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/19/ANA0000049_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- ANA. (2016). Plan de gestión de los recursos hídricos de la cuenca del río Huallaga. Lima, Perú.
- Amezquita, E. (1990). El agua y la erodabilidad de los suelos, en fundamentos para la interpretación de análisis de suelos plantas y aguas para riego. Memorias del Seminario Taller Sociedad colombiana de la Ciencia del Suelo. San Fe, Colombia.
- Amezquita, E. (1990). El agua y la erodabilidad de los suelos. En: Fundamentos para la conservación de suelos en América Latina.
- Autoridad Nacional del Agua – ANA. (2010). Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú. Lima.
- Berón F. (2017). Estimación de la pérdida del suelo por erosión hídrica de la cuenca alta del arroyo Napostá Grande, Buenos Aires, Argentina. Recuperado de: https://redargentinadegeografiafisica.files.wordpress.com/2017/11/eje7_beron-f-gil-v-zapperi-p.pdf
- Bernal, C. A. (2010). Metodología de la investigación: Administración, economía, humanidades y ciencias sociales (3.^a ed.). Pearson Educación.
- Boardman, J., & Poesen, J. (2006). *Soil Erosion in Europe*. John Wiley & Sons.
- Burbano-Orjuela, H. 2016. El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. Revista de Ciencias Agrícolas, 33(2), 117.
- Cardoza Vázquez, R. y otros, 2007. Protección, restauración y conservación de suelos forestales, Zapopan, Jalisco, México: CONAFOR.
- Castelán R. & Tamariz V. & Linares G. & Cruz A. (2013) Agresividad de las precipitaciones en la subcuenca del río San Marcos, Puebla, México, Universidad Técnica de Machala, Machala - Ecuador
- Castillo D. & Rojas A. (2019) Erosión hídrica del suelo como efecto de la precipitación pluvial del fenómeno del niño costero en la Subcuenca Huancay, Chicama 2017. Recuperado de: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/41021?show=full>
- Caycho, T. L. (2020). Modelación geoespacial con sig en la identificación de las zonas vulnerables y cuantificación de la erosión hídrica, cuenca del río Huarney. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria la Molina.

- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED). (2017). Informe de evaluación de riesgos por inundación fluvial por desborde del río Pendencia en los centros poblados del distrito de Daniel Alomía Robles. Lima, Perú. Recuperado de: <https://sigrid.cenepred.gob.pe>
- Chuvienco, E. (2016). Fundamentos de teledetección espacial (4.^a ed.). Ediciones Rialp.
- Clérico, C. & García, P. F., (2001). Aplicaciones del modelo usle/rusle para estimar pérdidas de suelo por erosión en Uruguay y la región sur de la cuenca del río de la plata. Agrociencia
- Condori F. & Pino E. & Tacora P. (2022) Pérdida de suelos por erosión hídrica en laderas semiáridas de la subcuenca Cairani-Camilaca, Perú. Recuperado de: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292022000200007#B25
- Damián E. & Andrade D. & Torres J. (2018) Introducción a la metodología de la investigación científica. Recuperado de: <https://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/15424/1/Introduccion%20a%20la%20Metodologia%20de%20la%20investigacion%20cientifica.pdf>
- Del Castillo Gonzales, J. J. (2023). *Evaluación de la pérdida del suelo por erosión hídrica utilizando metodología RUSLE con SIG en la cuenca del río Sacanche – San Martín* [Trabajo académico, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/fd23788f-39e3-42e5-9bd3-1381391c38d5>
- Departamento General de Irrigación. (s.f.). *Recursos hídricos de Mendoza en su contexto regional*. Aquabook. https://aquabook.agua.gob.ar/378_0
- Escobar C.(2017) - EROSIÓN Y MOVIMIENTOS EN MASA. Recurado de: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57334/erosionymovimientosenmasa.pdf?sequence=9&isAllowed=y>
- FAO (2015) Estado Mundial del Recurso Suelo. Resumen Técnico. Recuperado: https://www.icia.es/icia/download/Agroecolog%C3%ADa/Material/Estado_suelo.pdf
- FAO. (2015). Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia.
- FAO (1997). Land Husbandry: A framework for soil and water conservation. Soils Bulletin 77.
- FAO. (2011). Hydrology and watershed management. FAO Water Reports.
- FAO. (2012). Land cover classification system (LCCS). Roma.
- FLORES N. (2003) Restauración de bosques y manejo del agua. Foro – planificación y gestión municipal para el desarrollo sostenible. 20 al 22 de noviembre del 2003. Universidad Nacional Agraria de la Selva tingo María – Perú
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2019). *Soil erosion: The greatest challenge to sustainable soil management*. Rome: FAO.

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1997). *Soil resources assessment: Guidelines for soil description*. FAO.
- Garcés Antonio (2011) Paradigmas del conocimiento y sistemas de gestión de los recursos hídricos: La gestión integrada de cuencas hidrográficas. Recuperado: http://revistasbolivianas.umsa.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1995-10782011000100005&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- García Allecahuaman, L. L. (2025). *Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando el modelo RUSLE en la microcuenca Paliza-Lucanamarca-Huanca Sancos-Ayacucho, 2024* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Institucional UNSCH. <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/9f3c2ec1-ee55-40a1-80b9-dc9a254bf964>
- Gómez U. (2019) Estimación de la Erosión Hídrica Mediante el Método RUSLE en la Región Cañera de la Subcuenca Pujiltic. Recuperado de: <https://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/64161>
- González del Tánago, M. (1991). *Hidrología forestal y conservación de suelos*. Madrid: Escuela Técnica
- Gonzales Rojas, J. M. (2023). *Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando el modelo RUSLE en la cuenca del río Coata* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional José Antonio de Sucre. <https://repositorio.unaj.edu.pe/items/61d868ba-cea9-46ea-8aba-096bb9c188f7>
- Gutierrez, L., Huerta, A., Sabino, E., Bourrel, L., Frappart, F., & Lavado-Casimiro, W. (2023). *Rainfall erosivity in Peru: A new gridded dataset based on GPM-IMERG and comprehensive assessment (2000–2020)*. Remote Sensing, 15(22), 5432. <https://doi.org/10.3390/rs15225432> Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6.ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Holdridge, L. R. (1987). Ecología basada en zonas de vida. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA).
- Huerta P. & Loli O. (2014) Erosión hídrica en la cuenca alta del río Moche. Recuperado de: <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v13n1/a02v13n1.pdf>
- Hudson, N. (1995). Soil Conservation (3rd ed.). Iowa State University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge University Press.
- INRENA. (1995). Mapa fisiográfico del Perú. Instituto Nacional de Recursos Naturales. Lima.
- Lal, R. (2001). Soil degradation by erosion. Land Degradation & Development, 12(6), 519–539. <https://doi.org/10.1002/ldr.472>

- López M. & Guzmán G. (2021) Medición de la erosión del suelo y la conectividad de los sedimentos a distintas escalas. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012822699500011>
- LOSAGRO (2019) Erosionamiento de la tierra en el Perú. Recuperado: <https://solagro.com.pe/blog/erosion-de-la-tierra-del-cultivo-en-el-peru/>
- Nalvarte W. (2006) Perspectivas de Reforestación en el Alto Huallaga. Recuperado de: <https://www.cnf.org.pe/noticias/Memoria%20taller%20Alto%20Huallaga/Memoria%20-%20Alto%20Huallaga.pdf>
- McCool, D. K., Brown, L. C., Foster, G. R., Mutchler, C. K., & Meyer, L. D. (1987). *Revised slope steepness (S) and slope length (L) factors for the Universal Soil Loss Equation*. USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory.
- Mamani, J. A. (2024) Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Coata utilizando el modelo RUSLE – 2023. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca. <https://hdl.handle.net/20.500.14845/411>
- MINAM. (2012). Mapa nacional de cobertura vegetal del Perú. Lima.
- Moore, I. D., & Burch, G. J. (1986). Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Science Society of America Journal*, 50(5), 1294–1298.
- Moreno, R. H. (2017). Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando el método usle y haciendo uso del sig en la cuenca del río Olleros - distrito de Olleros periodo 2015. Huaraz, Perú: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Morgan, R. P. C. (2005). *Soil erosion and conservation* (3rd ed.). Blackwell Publishing.
- Muñoz F. & Rengifo I. & Toro O. (2022) Modelo USLE para estimar la erosión hídrica en siete municipios de la zona andina colombiana. Recuperado: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612022000200029
- Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA) (2022) erosión del suelo, estudios y técnicas ONERN. (1976). *Inventario, evaluación y uso racional de los recursos naturales de la selva peruana*. Lima, Perú.
- Panagos, P., et al. (2014). Soil erodibility in Europe. *Science of the Total Environment*, 479–480, 189–200.
- Panagos, P., et al. (2015). Rainfall erosivity in Europe. *Science of the Total Environment*.
- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., & Alewell, C. (2017). *Estimate of European scale rainfall erosivity using RUSLE-R and Isolines*. *Scientific Reports*, 7, 4175. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04282-8>
- Pastor Huete, P. (2020). *Cartografía de servicios ecosistémicos y cálculo del riesgo de erosión del suelo en la cuenca del río Henares* (Trabajo de Fin de Grado). Universidad de Alcalá. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10017/45512>

- Pérez-Salinas, J. E., Rufino-Rodríguez, F., López-Santos, A., Torres-González, J. A., Meraz-Jiménez, A. de J., Díaz-Romo, A., & Valdivia-Martínez, O. (2019). *Erodibility and erosion risk of black soils of central Mexico: Study of a Phaeozem*. REVISTA TERRA LATINOAMERICANA, 37(4), 391–400. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i4.531>
- Pineda C. & Diego Machado & Eduardo Casanova & Jesús Viloria (2006) EVALUACIÓN FÍSICA DE TIERRAS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO GUÁRICO CON FINES DE PRODUCCIÓN SUSTENTABLE DE AGUA1. Recuperado de: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2006000300005
- Pulgar Vidal, J. (1996). Geografía del Perú: Las ocho regiones naturales del Perú. PEISA
- Quezada M. (2019) Erosión hídrica del suelo como efecto de la precipitación pluvial del fenómeno del niño costero en la Subcuenca Huancay, Chicama 2017. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/41021>
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D., and Yoder, D. (1997). Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agriculture Handbook (Washington)(703).
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., and Porter, J. P. (1991). RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation. Journal of Soil and Water Conservation, 46(1), 30-33.
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., & Yoder, D. C. (1997). Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). USDA Agriculture Handbook No. 703.
- Rengifo I. & Muñoz F. & Toro O. (2022) Modelo USLE para estimar la erosión hídrica en siete municipios de la zona andina colombiana. Recuperado: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612022000200029
- SENAMHI (2017) Erosividad de la lluvia en el Perú para el periodo 2000-2020. Recuperado;<https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/2636/Erosividad-de-la-lluvia-en-el-Per%C3%BA-para-el-periodo-2000-2020.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Sergieieva K. (2021) Erosión Hídrica En La Agricultura: Causas Y Prevención. Recuperado de: <https://eos.com/es/blog/erosion-hidrica/>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI. (2023, 21 de noviembre). *Senamhi realiza estudio para identificar zonas con mayor erosividad de lluvia*. Gobierno del Perú. <https://www.gob.pe/institucion/senamhi/noticias/869918-senamhi-realiza-estudio-para-identificar-zonas-con-mayor-erosividad-de-lluvia>
- Silva Heras, L. H. (2025). *Estimación de la erosión hídrica, aplicando el modelo RUSLE, en la cuenca del río Grande, distrito de La Encañada, provincia Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/8435>

- Tamariz V. & Castelán R. & Linares G. & Cruz A. (2013) Agresividad de las precipitaciones en la subcuenca del río San Marcos, Puebla, México, Universidad Técnica de Machala, Machala - Ecuador
- Tuesta R. (2018) Evaluación de la vulnerabilidad y riesgo por inundación del río Huallaga en la ciudad de Tingo María en un entorno SIG. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA. Repositorio la UNAS. https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/1380/JHTR_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS). (2019). Caracterización físico-química de suelos en la microcuenca Pendencia, provincia de Leoncio Prado, Huánuco. Repositorio Institucional UNAS. Recuperado de: <https://repositorio.unas.edu.pe>
- Universidad Nacional Agraria de la Selva. (s.f.). Guía para la elaboración de tesis de pregrado. Comisión de Investigación Universitaria de la UNAS (CIUNAS). Tingo María, Perú.
- United States Department of Agriculture(USDA) (1962). *Rainfall erosion and its control*. Soil Conservation Service. Washington, D.C.
- Van der Knijff, J. M., Jones, R. J. A., & Montanarella, L. (2000). *Soil erosion risk assessment in Europe*. European Soil Bureau, Joint Research Centre, European Commission.
- Velásquez, S. (2008). Erosion de suelo utilizando el Rusle. Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza. Cantón de Coronado – Costa RicaB
- Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a estudios ambientales. Universidad Nacional de Colombia.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning* (Agriculture Handbook No. 537). U.S. Department of Agriculture.

VIII. ANEXO



AÑOS	ESTACIONES	MESES												ACUM./AÑO
		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	
		MUY LLUVIOSO (≥ 350 mm/mes)			LLUVIOSO (≥ 250 mm/mes)	MEDIO LLUVIOSO (≥ 150 mm/mes)	POCO LLUVIOSO (≤ 150 mm/mes)			MEDIO LLUVIOSO (≥ 150 mm/mes)	LLUVIOSO (≥ 250 mm/mes)	MUY LLUVIOSO (≥ 350 mm/mes)		
2019	TINGO MARÍA	547.60	159.10	500.90	212.00	214.20	128.20	230.60	64.50	122.80	312.60	365.80	690.30	3548.60
	SUPTE	356.80	340.50	638.70	199.80	187.30	137.40	279.20	54.20	71.30	432.00	252.60	580.10	3529.90
	ANDA	263.60	393.40	547.00	139.00	138.80	120.00	69.50	27.50	95.00	268.70	128.00	499.30	2689.80
	AUCAYACU	699.70	424.40	927.80	130.70	255.70	238.60	317.70	115.00	108.30	333.20	233.00	717.50	4501.60
	PENDENCIA	388.70	291.30	540.30	205.30	115.30	116.00	153.70	23.70	34.50	111.50	192.40	488.20	2660.90
	AGUATYA	475.50	548.40	650.60	556.50	248.10	153.40	119.70	12.00	168.00	342.20	395.80	576.40	4246.60
	TULUMAYO	225.20	285.20	483.70	119.50	122.00	224.00	91.60	41.50	104.70	275.60	159.50	416.50	2549.00
2020	TINGO MARÍA	527.80	373.90	351.60	294.80	219.70	367.50	262.20	29.20	132.20	129.60	290.90	700.00	3679.40
	SUPTE	520.50	325.30	289.90	267.00	192.60	300.90	229.30	30.40	110.00	115.90	288.70	689.90	3360.40
	ANDA	541.40	245.20	211.60	255.20	185.20	360.10	240.50	13.60	119.50	80.40	279.90	634.00	3166.60
	AUCAYACU	599.10	567.30	353.10	243.60	278.80	429.80	296.50	160.70	250.30	164.60	196.60	411.80	3952.20
	PENDENCIA	476.80	271.80	269.30	272.50	186.50	349.60	174.70	26.00	128.40	56.10	258.20	681.60	3151.50
	AGUATYA	362.80	787.30	106.30	342.00	273.00	224.00	314.20	71.50	352.30	150.90	92.00	713.70	3790.00
	TULUMAYO	504.40	206.70	187.80	257.00	207.00	319.60	92.20	19.80	73.90	58.30	241.40	602.20	2770.30
2021	TINGO MARÍA	303.00	241.20	588.40	266.80	231.30	197.60	175.70	222.30	102.30	339.10	677.20	318.41	3663.31
	SUPTE	276.70	256.00	399.20	310.30	166.40	197.70	156.30	242.80	70.90	249.20	502.60	523.90	3352.00
	ANDA	276.50	146.20	284.54	336.30	159.00	138.00	39.80	113.00	76.40	333.20	340.00	290.00	2532.94
	AUCAYACU	437.00	356.50	375.00	290.50	291.90	272.50	100.00	245.30	239.50	301.30	414.10	497.90	3821.50
	PENDENCIA	323.10	196.40	305.90	215.00	228.50	192.60	56.80	114.20	96.20	220.00	355.40	390.00	2694.10
	AGUATYA	510.90	525.20	332.40	416.90	235.00	402.50	137.70	53.30	153.40	426.40	673.00	555.60	4422.30
	TULUMAYO	295.40	155.30	355.00	285.60	190.00	241.80	71.20	136.90	74.00	208.00	371.70	280.70	2665.60
2022	TINGO MARÍA	356.50	508.60	384.50	281.10	270.00	105.00	134.50	164.10	162.70	218.80	231.40	227.10	3044.30
	SUPTE	310.00	507.20	400.00	280.00	292.00	84.00	118.50	155.20	165.20	220.00	233.20	257.80	3023.10
	ANDA	210.00	315.00	180.20	130.00	115.00	84.00	62.00	150.00	138.00	170.00	182.70	217.20	1954.10
	AUCAYACU	534.80	538.70	615.00	286.70	176.90	240.70	153.60	167.30	66.20	357.50	126.00	286.70	3550.10
	PENDENCIA	300.00	405.00	135.20	110.70	132.00	115.60	116.40	190.00	200.20	215.00	110.50	397.50	2428.10
	AGUATYA	552.80	425.70	544.60	194.00	294.70	240.20	175.80	331.60	102.00	329.20	274.20	507.90	3972.70
	TULUMAYO	293.90	312.10	381.50	163.60	133.40	153.50	88.00	139.60	165.50	243.60	132.10	275.20	2482.00
2023	TINGO MARÍA	373.50	344.10	297.10	180.90	158.50	214.40	64.80	76.90	138.90	180.60	338.50	458.40	2826.60
	SUPTE	340.00	435.00	290.00	210.50	115.00	54.90	118.50	40.10	130.30	225.00	187.40	481.30	2628.00
	ANDA	305.00	395.00	215.00	161.00	140.00	115.00	62.00	69.30	88.50	137.40	275.00	491.70	2454.90
	AUCAYACU	416.20	539.90	331.90	314.30	314.30	113.30	153.10	65.80	88.30	130.30	491.40	472.00	3430.80
	PENDENCIA	240.00	355.00	235.00	145.90	120.00	115.60	116.40	43.70	134.40	138.50	325.00	303.20	2272.70
	AGUATYA	858.60	561.50	354.80	164.40	361.60	100.70	103.50	143.60	150.90	230.80	506.40	505.60	4042.40
	TULUMAYO	234.10	306.90	207.80	87.10	160.20	71.60	158.10	45.60	119.60	110.70	328.80	390.20	2220.70

Figura 8. Red de estaciones termo pluviométricas microcuencas de la provincia de Leoncio Prado Tingo María – UNAS

Tabla 18. Precipitaciones Media Mensual periodo (2019 – 2023) y estaciones Meteorológicas ubicadas cerca de la microcuenca del Rio Pendencia

ESTACIONES	Altitud (msnm)	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO ANUAL	TOTAL, ANUAL
Anda	1822	319.30	298.96	287.67	204.30	147.60	163.42	94.76	74.68	103.48	197.94	241.12	426.44	213.31	2559.67
Pendencia	1358	345.72	303.90	297.14	189.88	156.46	177.88	123.60	79.52	118.74	148.22	248.30	452.10	220.12	2641.46
Supte	665	360.80	372.80	403.56	253.52	190.66	154.98	179.76	104.54	109.54	248.42	292.90	506.60	264.84	3178.08
Tingo María	660	421.68	324.302	424.594	242.04	213.526	193.82	169.47	107.582	130.724	235.05	367.578	324.302	262.89	3154.66
Tulumayo	613	351.42	252.42	280.22	176.32	150.14	146.28	116.76	81.76	111.62	181.18	246.94	371.38	205.54	2466.44
Aucayacu	586	537.36	485.36	520.56	253.16	263.52	258.98	204.18	150.82	150.52	257.38	292.22	477.18	320.94	3851.24
Aguaytia	315	552.12	569.62	397.74	334.76	282.48	224.16	170.18	122.4	185.32	295.9	388.28	571.84	341.23	4094.8
PROMEDIO MENSUAL		412.63	372.48	373.07	236.28	200.63	188.50	151.24	103.04	129.99	223.44	296.76	447.12	PROMEDIO ANUAL	3135.19

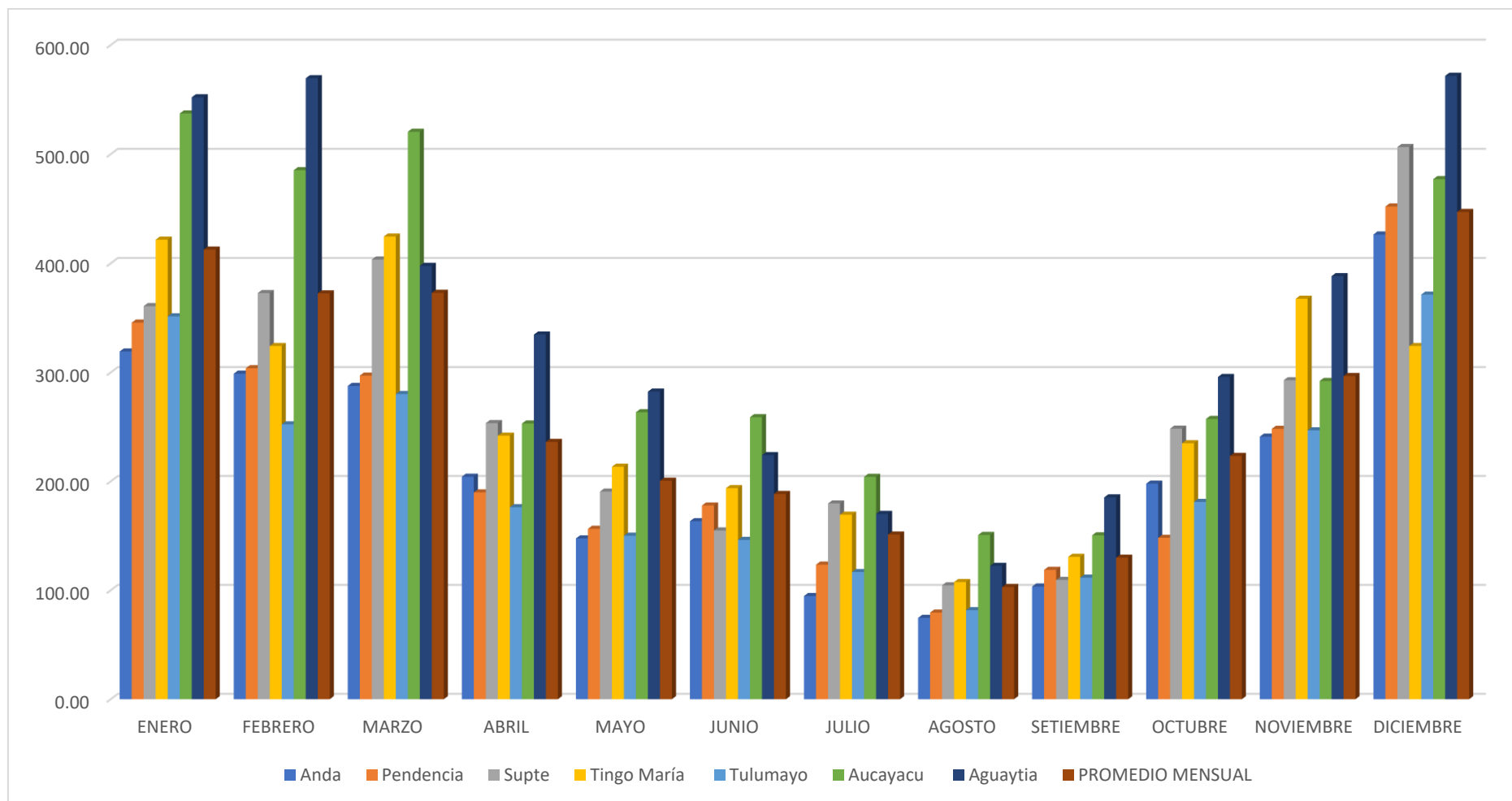


Figura 9. Comportamiento de la precipitación media mensual en las estaciones Anda, Pendencia, Tingo María, Tulumayo y Aguaytía para el periodo (2019 -2023)

Tabla 19. Estaciones meteorológicas

ESTACIONES	Altitud (msnm)	TOTAL ANUAL
Anda	1822	2559.668
Pendencia	1358	2641.46
Supte	665	3178.08
Tingo María	660	3154.664
Tulumayo	613	2466.44
Aucayacu	586	3851.24

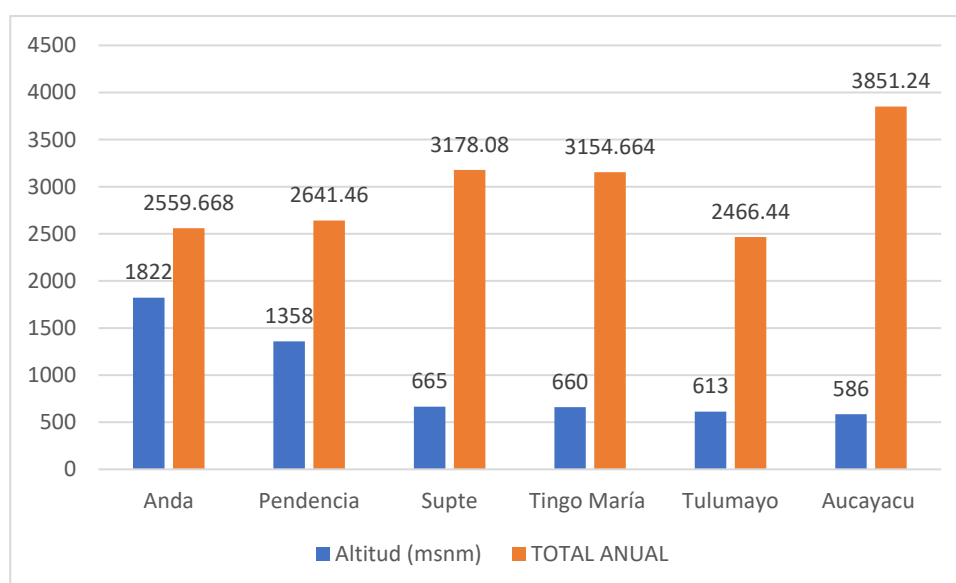
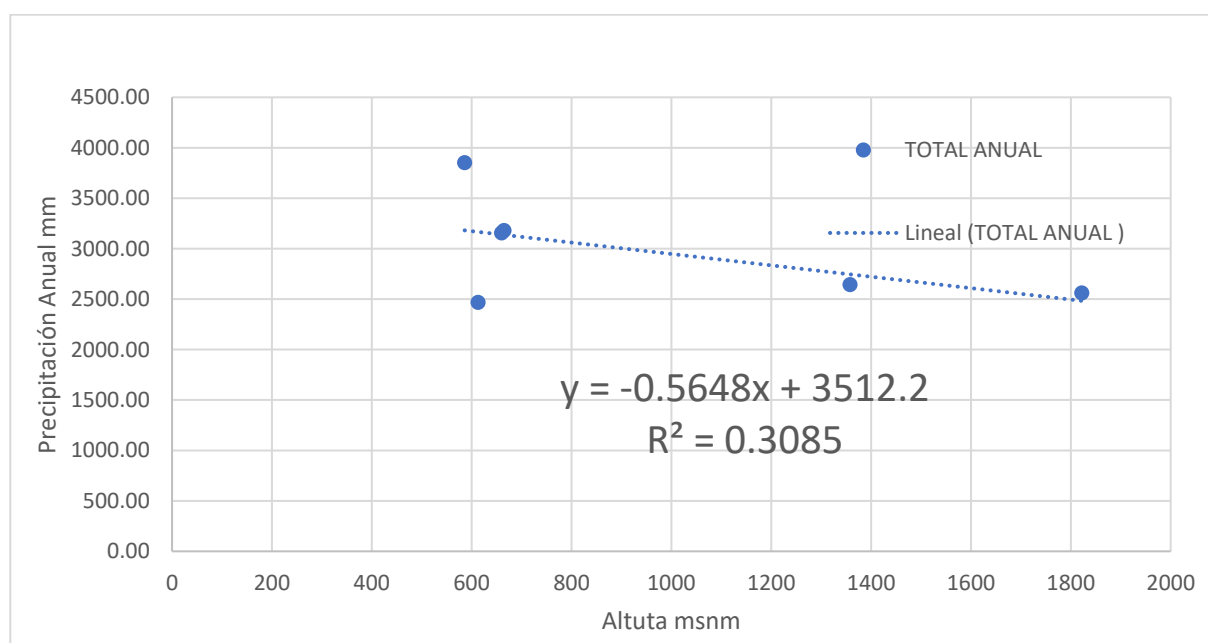

Figura 10. Precipitación vs altura

Figura 11. Regresión lineal de precipitación promedio anual

Tabla 20. Factor de erodabilidad(R)

N°	Estaciones	Este(m)	Norte (m)	Altitud_(msnm)	P.TOTAL_ANUAL	Factor_R(MJ-mm/ha-h-año)	Nivel de Erosividad
1	Tingo María	390121.00	8970701	660	3154.66	303.65	Moderada
2	Aucayacu	377776.91	9012717	586	3851.24	379.71	Moderada
3	Tulumayo	389088.54	8988734	613	2466.44	245.40	Baja
4	Supte	399086.09	8981985	665	3178.08	319.70	Moderada
5	Pendencia	399360.81	8993965	1358	2641.46	271.09	Baja
6	Anda	397207.86	9000194	1822	2559.67	261.26	Baja
7	Divisoria	413441	8988304	1672	2995.01	333.81	Moderada

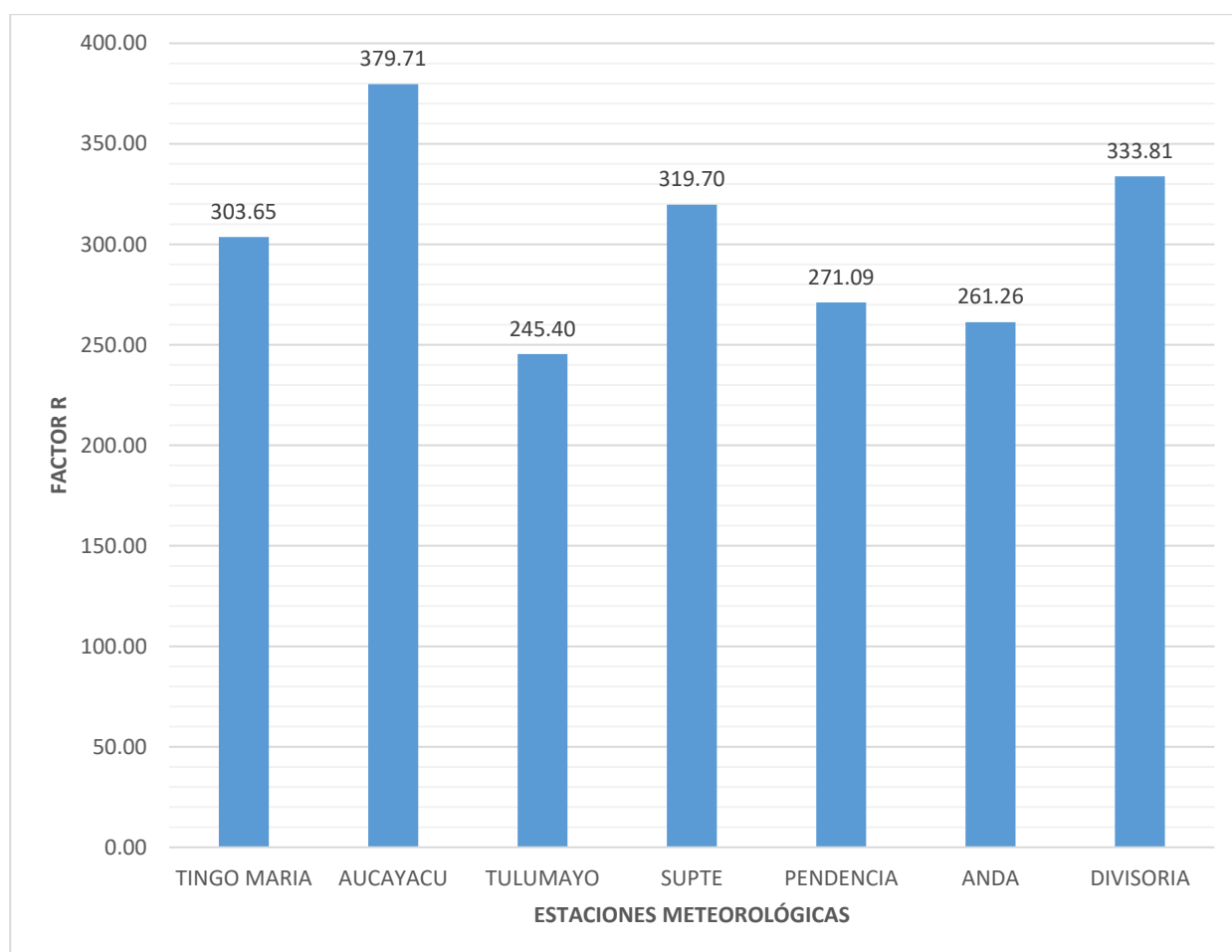
**Figura 12.** Valores de erosividad en las estaciones meteorológicas

Tabla 21. Aplicación del Índice de Fournier (Arnouldus) $IMF = \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{P}$

	PMA	IMF	IMF	IMF	IMF	IMF	IMF	IMF	IMF	IMF	IMF	IMF	IMF	Factor_R
TINGO MARIA	3154.66	56.37	33.34	57.15	18.57	14.45	11.91	9.10	3.67	5.42	17.51	42.83	33.34	303.65
AUCAYACU	3851.24	74.98	61.17	70.36	16.64	18.03	17.42	10.82	5.91	5.88	17.20	22.17	59.12	379.71
TULUMAYO	2466.44	50.07	25.83	31.84	12.60	9.14	8.68	5.53	2.71	5.05	13.31	24.72	55.92	245.40
SUPTE	3178.08	40.96	43.73	51.24	20.22	11.44	7.56	10.17	3.44	3.78	19.42	26.99	80.75	319.70
PENDENCIA	2641.46	45.25	34.96	33.43	13.65	9.27	11.98	5.78	2.39	5.34	8.32	23.34	77.38	271.09
ANDA	2559.67	39.83	34.92	32.33	16.31	8.51	10.43	3.51	2.18	4.18	15.31	22.71	71.04	261.26
DIVISORIA	2995.01	55.65	66.92	30.46	12.39	6.78	6.69	2.12	4.90	6.22	9.63	30.25	101.79	333.81

Coeficiente de Pearson (r=0.7825)

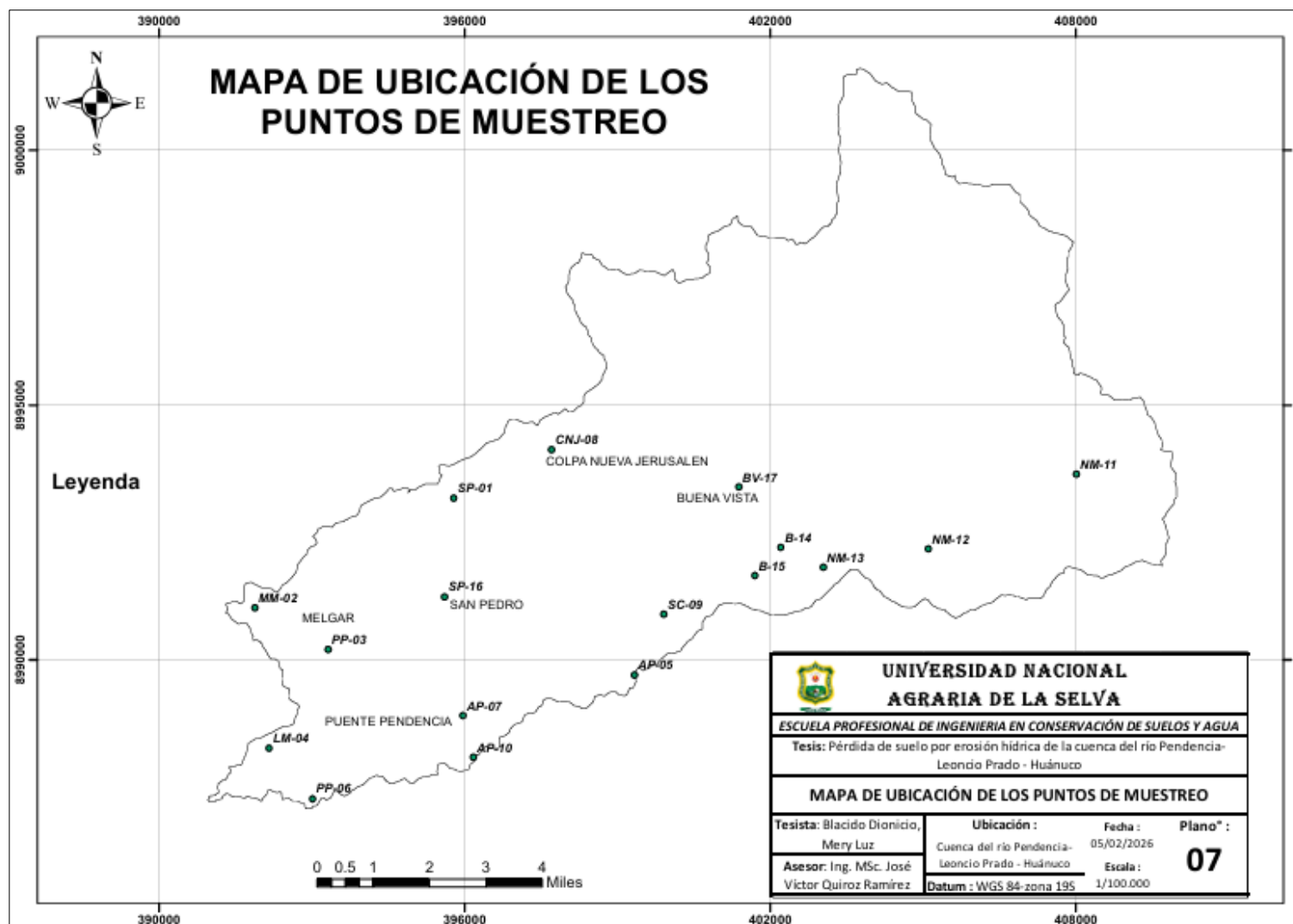


Figura 13: Mapa de ubicación de los puntos de muestreo

Tabla 22. Análisis del suelo realizado en el Laboratorio de Recursos Hídrico.

N°	Descripción	Lugar	Este	Norte	%Arena	%Limo	%Arcilla	Clase textural	Estructura	%MO	Permeabilidad
1	SP-01	San Pedro	395797.069	8993166.6	30.48	11.84	57.68	Arcillosa	2 Granular fina	2.511	4.09
2	MM-02	Mariano Melgar	391886.59	8991018.124	44.72	17.36	37.92	Franco arcillo arenoso	3 Granular media	1.632	4.35
3	PP-03	Puente Pendencia	393323.3	8990195.752	30.48	11.68	57.84	Arcillosa	2 Granular fina	1.626	4.74
4	LM-04	Los milagros	392169.495	8988262.018	35.76	12.08	52.16	Arcillosa	2 Granular fina	2.95	4.53
5	AP-05	Alto Peregrino	399338.321	8989695.478	37.44	14.8	47.76	Arcillo Arenoso	3 Granular media	2.26	3.93
6	PP-06	Puente Pendencia	393020.001	8987265.444	40	11.28	48.72	arcillosa	2 Granular fina	1.82	5.33
7	AP-07	Alta Pendencia Colpa	395973.727	8988900.527	31.76	13.12	55.12	Arcillosa	3 Granular media	1.318	5.23
8	CNJ-08	Nueva Jerusalén	397712.543	8994117.868	32.48	13.52	54	Arcillosa	3 Granular media	3.076	3.34
9	SC-09	San Cristóbal	399916.215	8990891.535	33.04	25.36	41.6	Arcillosa	3 Granular media	2.762	4.77
10	AP-10	Alta Pendencia	396175.04	8988078.937	47.12	11.12	41.76	Arcillo Arenoso	2 Granular fina	2.762	4.77
11	NM-11	Nuevo Milenium	408022.292	8993640.846	44	11.68	44.32	Arcillo Arenoso	2 Granular fina	2.637	4.68
12	NM-12	Nuevo Milenium	405115.695	8992173.47	48.4	13.68	37.92	Franco arcillo arenoso	3 Granular media	3.892	4.01
13	NM-13	Nuevo Milenium	403048.698	8991810.418	48.56	11.68	39.76	Franco arcillo	2 Granular fina	2.762	5.20

								arenoso				
14	B-14	Belén	402217.712	8992206.738	39.44	11.68	48.88	Arcillosa	3	Granular media	1.632	4.19
15	B-15	Belén	401706.524	8991650.119	30.48	19.52	50	Arcillosa	2	Granular fina	1.695	5.14
16	SP-16	San Pedro	395611.031	8991231.663	38.96	12.56	48.48	Arcillosa	2	Granular fina	1.255	4.72
17	BV-17	Buena Vista	401391.324	8993388.056	31.76	31.76	36.48	Franco arcilloso	3	Granular media	1.534	3.38

Tabla 23. Factor K

Lugar	Clase textural	Estructura	%MO	permeabilidad	factor-K	Clasificación
San Pedro	Arcillosa	2	2.511	4.09	0.01690712	Levemente erodable
Mariano Melgar	Franco arcillo arenoso	3	1.632	4.35	0.04358705	Fuertemente erodable
Puente Pendencia	Arcillosa	2	1.626	4.74	0.02017565	Medianamente erodable
Los milagros	Arcillosa	2	2.95	4.53	0.02185083	Medianamente erodable
Alto Peregrino	Arcillo Arenoso	3	2.26	3.93	0.02945459	Medianamente erodable
Puente Pendencia	arcillosa	2	1.82	5.33	0.02981847	Medianamente erodable
Alta Pendencia	Arcillosa	3	1.318	5.23	0.02873978	Medianamente erodable
Colpa Nueva Jerusalén	Arcillosa	3	3.076	3.34	0.02054077	Medianamente erodable
San Cristóbal	Arcillosa	3	2.762	4.77	0.0371184	Fuertemente erodable
Alta Pendencia	Arcillo Arenoso	2	2.762	4.77	0.0326921	Medianamente erodable
Nuevo Milenium	Arcillo Arenoso	2	2.637	4.68	0.03012308	Medianamente erodable

Nuevo Milenium	Franco arcillo arenoso	3	3.892	4.01	0.03486961	Fuertemente erodable
Nuevo Milenium	Franco arcillo arenoso	2	2.762	5.20	0.03626444	Fuertemente erodable
Belén	Arcillosa	3	1.632	4.19	0.03056772	Medianamente erodable
Belén	Arcillosa	2	1.695	5.14	0.02820277	Medianamente erodable
San Pedro	Arcillosa	2	1.255	4.72	0.02929775	Medianamente erodable
Buena Vista	Franco arcilloso	3	1.534	3.38	0.04265235	Fuertemente erodable



Figura 14. Estación meteorológica Tingo María

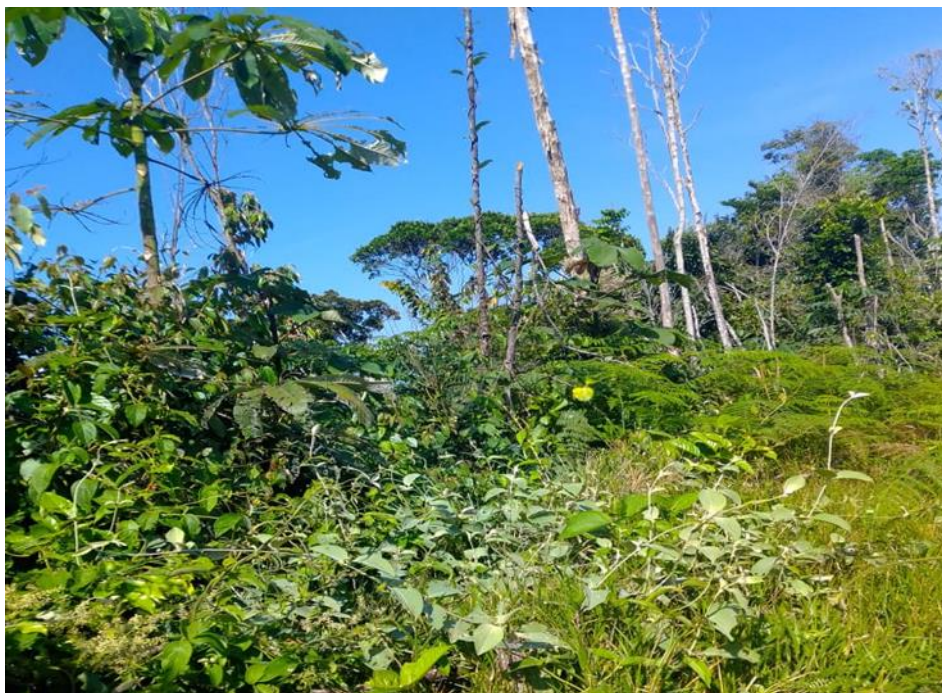


Figura 15. Reconocimiento de zona de estudio



Figura 16. Reconocimiento de la zona de influencia Nuevo Milenium



Figura 17. Reconocimiento de la zona de influencia Alta San Pedro



Figura 18. vegetación secundaria joven



Figura 19. Vegetación secundaria baja



Figura 20. Pastizal o herbazal denso



Figura 21. Cultivo de maíz



Figura 22. Muestreo de suelo



Figura 23. Muestreo del suelo y toma de las coordenadas



Figura 24. Embolsado de la muestra de suelo



Figura 25. Extracción del suelo



Figura 26. Secado de la muestra



Figura 27. Agitador mecánico de suelos.



Figura 28. Análisis textural del suelo



Figura 29. Muestreo del suelo en anillo.



Figura 30. Anillos con muestras de suelo



Figura 31. Muestras de suelo en anillo remojado

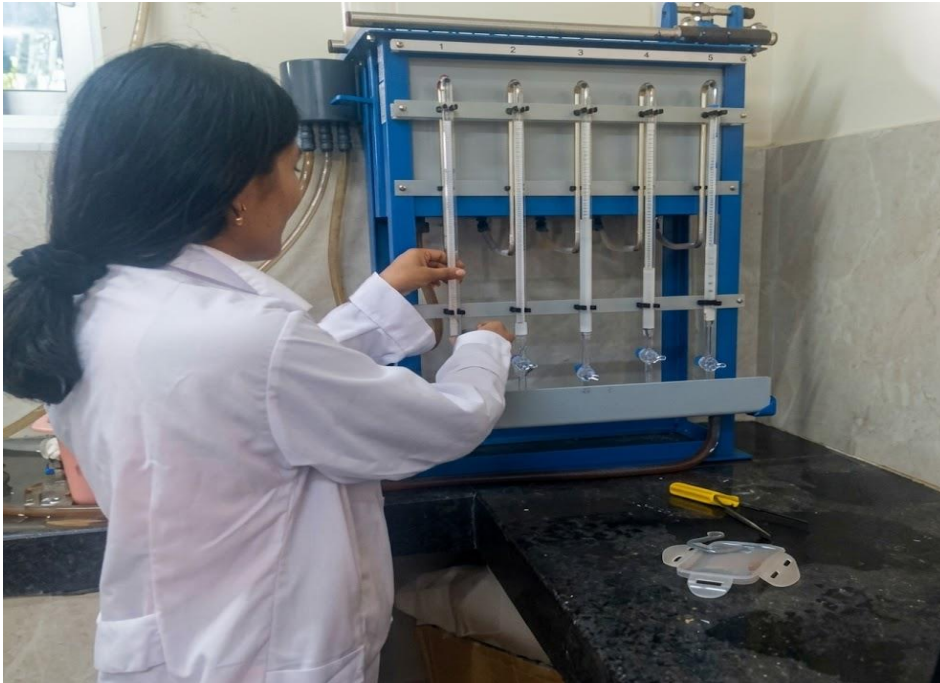


Figura 32. Determinar la permeabilidad del suelo

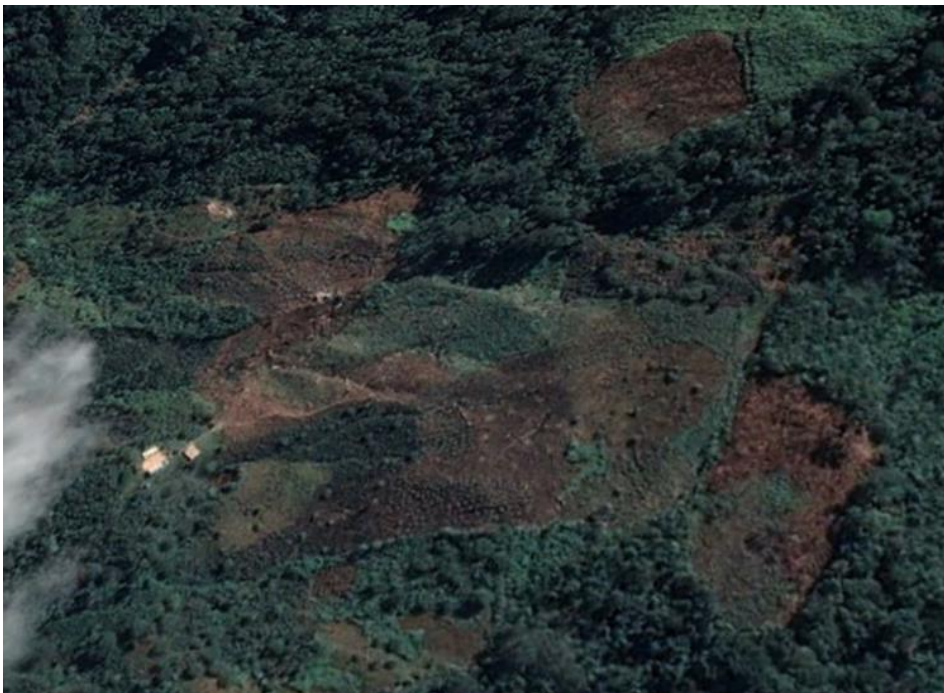


Figura 33. Suelo descubierto tomado de google earth

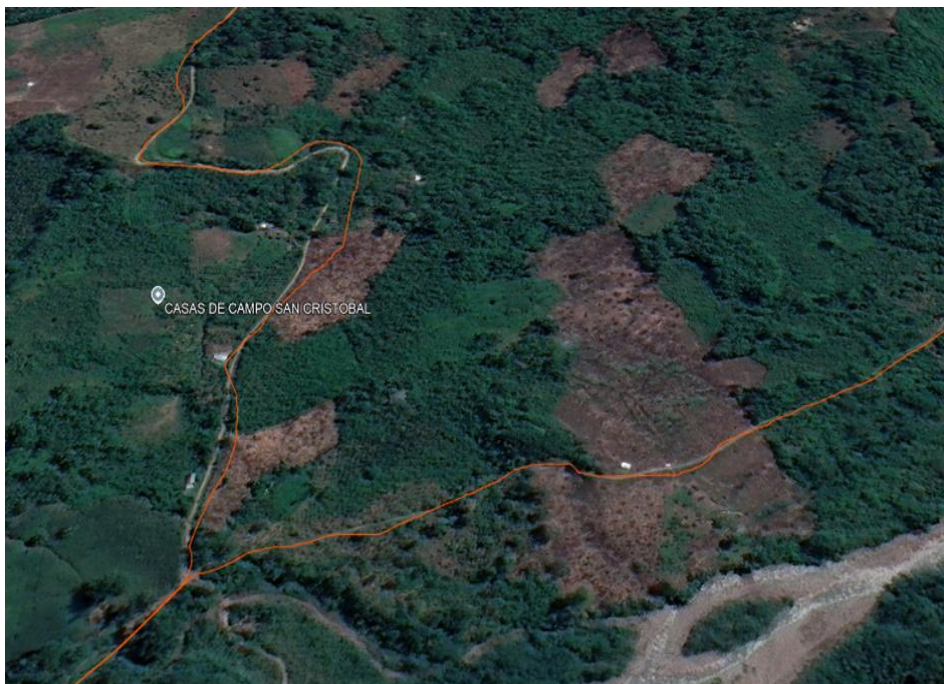


Figura 34. Suelo descubierto en riberas del río.

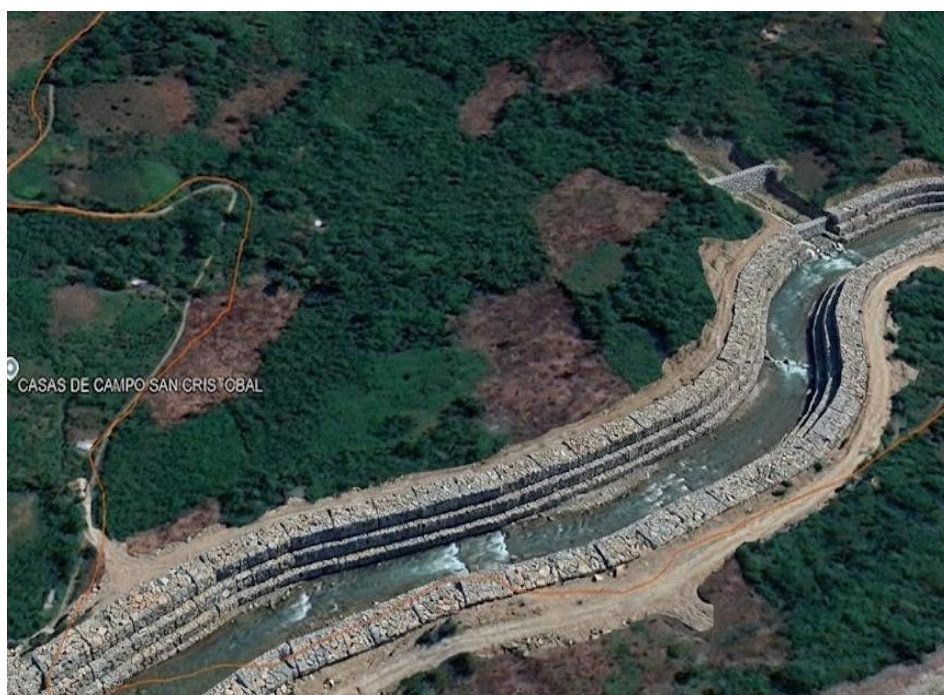


Figura 35. Muros de gaviones al borde del río



Figura 36. Suelo descubierto reforestado

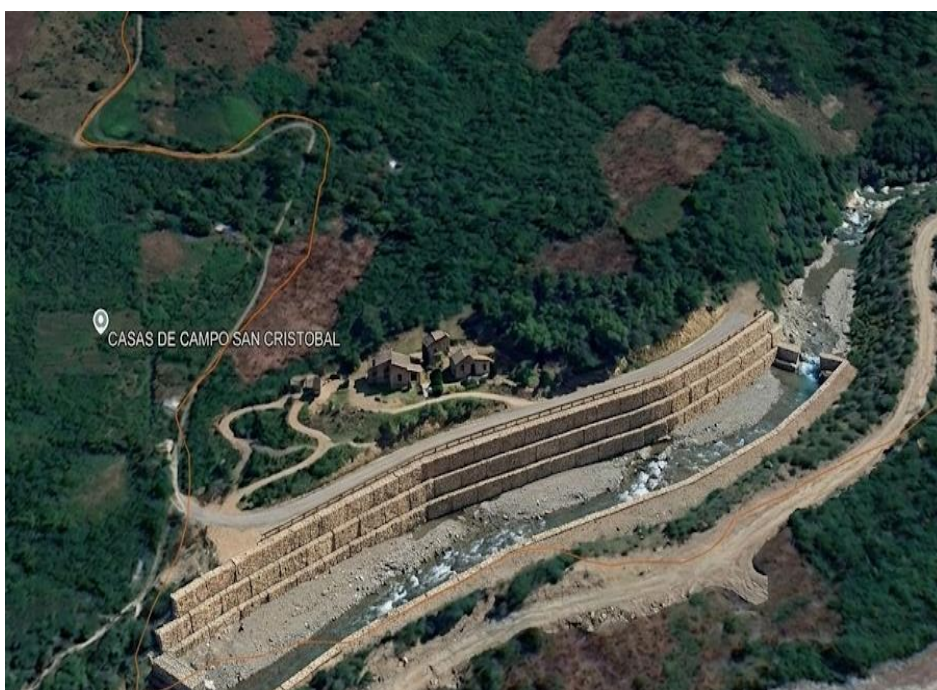


Figura 37. Muros de contención al borde del río



Figura 38. Construcción de muro de gaviones borde ríos y carreteras