

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA



**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR LOS
MÉTODOS USLE Y VARILLAS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO AZUFRE
– DISTRITO DE LA ENCAÑADA”**

TESIS

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO HIDRÁULICO

Presentado por el bachiller:

IDELSO GUSTAVO CORTEZ ROJAS

Asesorado por:

Dr.Ing. JOSÉ FRANCISCO HUAMÁN VIDAURRE

Cajamarca –Perú

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** IDELSO GUSTAVO CORTEZ ROJAS
DNI: 77474573
Escuela Profesional: INGENIERÍA HIDRÁULICA
- Asesor:** Dr. Ing. JOSÉ FRANCISCO HUAMÁN VIDAURRE.
Facultad: INGENIERÍA.
- Grado académico o título profesional**
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
- Tipo de Investigación:**
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:** ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR LOS MÉTODOS USLE Y VARILLAS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO AZUFRE-DISTRITO DE LA ENCAÑADA.
- Fecha de evaluación:** 05 de Abril de 2025
- Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 19 %
- Código Documento: oid:3117:** 439833277
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 18 de Abril de 2025



FIRMA DEL ASESOR

Nombres y Apellidos: JOSÉ FRANCISCO HUAMÁN VIDAURRE

DNI: 26609077



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258601 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 18/04/2025 22:08:22-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR LOS MÉTODOS USLE Y VARILLAS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO AZUFRE - DISTRITO DE LA ENCAÑADA"

ASESOR : Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0143-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 22 de abril de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **veintitrés días del mes de abril de 2025**, siendo las diez horas (10:00 a.m.) en la Sala de Audiovisuales (Ambiente 1A - Segundo Piso), de la facultad de Ingeniería, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.
Vocal : Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez.
Secretario : M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR LOS MÉTODOS USLE Y VARILLAS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO AZUFRE - DISTRITO DE LA ENCAÑADA", presentado por el Bachiller en Ingeniería Hidráulica **IDELSO GUSTAVO CORTEZ ROJAS**, asesorado por el Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA :⁰⁷..... PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA :¹⁷..... PTS.
EVALUACIÓN FINAL :¹⁸..... PTS

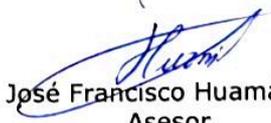
..... *Dieciocho* (En letras)

En consecuencia, se lo declara *Aprobado* con el calificativo de *Dieciocho* acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las *diece* horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.


Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.
Presidente


Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez.
Vocal


M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez
Secretario


Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.
Asesor

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por darme la oportunidad de llegar a esta etapa de mi vida y completar este trabajo de investigación.

Mi agradecimiento al Dr. Ing. Francisco Huamán Vidaurre, quien, con su apoyo incondicional y valiosas orientaciones, ha jugado un papel esencial en mi formación académica, permitiéndome desarrollar este proyecto de investigación.

A mis amados padres, quienes siempre han sido el motor de mis sueños y aspiraciones, y que estuvieron a mi lado en los momentos más difíciles durante mis jornadas de estudio. Siempre han sido mis mayores ejemplos de vida.

A los Drs. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz, Luis Andrés León Chávez, Luis Vásquez Ramírez, y al M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez, jurados de tesis, por sus valiosas recomendaciones y sugerencias que contribuyeron a la mejora y culminación de este trabajo.

A mis amigos, compañeros de clase, y a todas las personas que de alguna manera ayudaron a hacer posible este trabajo de investigación.

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por estar a mi lado en cada momento de este recorrido, brindándome la fortaleza y sabiduría necesarias para finalizar este trabajo.

A mis padres, José Asunción Cortez Azañero y María Zoila Rojas Huaripata, por su apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida, por ser la base fundamental de mi desarrollo profesional y personal, y por enseñarme valores esenciales como el esfuerzo, la honestidad y el deseo de superación.

A mis hermanos Zoña, Nelly, Vilma y William Cortez Rojas, por su constante respaldo y por impulsarme siempre a seguir persiguiendo mis sueños.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	I
DEDICATORIA	II
RESUMEN	VIII
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1.1 Contextualización.	1
1.1.2 Descripción del problema.	1
1.1.3 Formulación del problema.	2
1.2 HIPÓTESIS	2
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.3.1 Justificación científica.	2
1.3.2 Justificación técnica – practica.	3
1.3.3 Justificación institucional y personal.	3
1.4 DELIMITACION DE LA INVESTIGACIÓN.	3
1.5 LIMITACIONES	4
1.6 OBJETIVOS	4
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	4
2.1 ANTECEDENTES	4
2.1.1 INTERNACIONALES	4
2.1.2 NACIONALES	5
2.1.1 LOCALES	6
2.2 BASES TEÓRICAS	7
2.2.1 Ciclo hidrológico	7
2.2.2 Cuenca hidrográfica	7
2.2.3 Parámetros geomorfológicos.	8
2.2.4 Precipitación media anual de la cuenca	13
2.2.5 Propiedades físicas del suelo	14
Tabla 1:Clasificación de partículas del suelo según su tamaño (U.S.D.A)	15
Tabla 2:Clases de permeabilidad con respecto a la textura y estructura del suelo ..	17
2.2.6 Erosión de suelos	18
2.2.7 Erosión hídrica	19
2.2.8 Factores que intervienen en el proceso de erosión hídrica	20

2.2.9	Tolerancia de pérdida de suelo.....	22
2.2.10	Ecuación universal de la pérdida de suelo, USLE.....	22
2.2.11	Parcelas experimentales de varillas de erosión.....	31
2.2.12	Prueba T-student.....	34
CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....		34
3.1	MATERIALES.....	34
3.2	METODOLOGIA DEL TRABAJO.....	39
3.2.1	Categorizar el área de estudio.....	40
3.2.2	Identificar áreas de erosión hídrica mediante criterios e índices de erosión y la técnica SIG.....	40
3.2.3	Cuantificar la pérdida anual de suelo mediante los métodos USLE y varillas de erosión.....	40
3.2.4	Analizar la variación entre los métodos de varillas de erosión y USLE..	43
3.2.5	Determinar un factor de relación entre el método indirecto USLE y el método directo varillas de erosión.....	43
CAPITULO IV: ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		44
4.1	RESULTADOS	44
4.1.1	Categorizar el área de estudio.....	44
4.1.2	Identificar áreas de erosión hídrica mediante criterios e índices de erosión y la técnica SIG.....	49
4.1.3	Cuantificar la pérdida anual de suelo mediante los métodos USLE y varillas de erosión.....	56
4.1.4	Cuantificación de la pérdida anual del suelo mediante varillas de erosión. 66	
4.1.5	Analizar la variación entre los métodos de varillas de erosión y USLE..	74
4.1.6	Determinar un factor de relación entre el método indirecto USLE y el método directo varillas de erosión.....	76
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		77
5.1	CONCLUSIONES	77
5.2	RECOMENDACIONES	78
CAPITULO VI: BIBLIOGRAFÍA		79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de partículas del suelo según su tamaño (U.S.D.A).....	15
Tabla 2: Clases de permeabilidad con respecto a la textura y estructura del suelo.....	17
Tabla 3: Clasificación FAO - PNUMA UNESCO	22
Tabla 4: Valores de LS, según pendiente del terreno.....	29
Tabla 5: Valores de Cobertura vegetal, Factor C	30
Tabla 6: Factor P de prácticas de conservación	31
Tabla 7: Calculo de pendiente del cauce principal.....	46
Tabla 8: Datos de precipitaciones e intensidades medidas en campo	54
Tabla 9: Datos de precipitaciones e intensidades medidas en campo	55
Tabla 10: Resumen de análisis de suelos de muestras de parcelas.....	57
Tabla 11: Códigos USLE de permeabilidad del suelo.	58
Tabla 12: Códigos de estructura del suelo USLE.....	59
Tabla 13: Códigos de estructura y permeabilidad del suelo.....	59
Tabla 14: Determinación del factor K para las muestras evaluadas.....	60
Tabla 15: Factores k promedio de la subcuenca azufre.....	60
Tabla 16: Factor LS promedio de la subcuenca azufre.	62
Tabla 17: Factor C promedio de la subcuenca azufre.	64
Tabla 18: Datos de campo parcela N°1	68
Tabla 19: Valores de erosion y sedimentacion parcela N°1	68
Tabla 20: Datos de campo parcela N°2	69
Tabla 21: Valores de erosion y sedimentacion parcela N°2.....	70
Tabla 22: Datos de campo parcela N°3	71
Tabla 23: Valores de erosion y sedimentacion parcela N°3.....	71
Tabla 24: Datos de campo parcela N°4	72
Tabla 25: Valores de erosion y sedimentacion parcela N°4.....	72
Tabla 26: Datos de campo parcela N°5	74
Tabla 27: Valores de erosion y sedimentacion parcela N°5.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Criterio de J.W. Alvarod.....	10
Figura 2: Número de orden del cauce	13
Figura 3: Isoyetas de precipitación.....	14
Figura 4: Triangulo textual de suelos, con las 12 clases mayores, y escalas de tamaño de partículas.....	15
Figura 5: Ubicación geográfica de Cajamarca en Perú.....	36
Figura 6: Ubicación geográfica distrito de la Encañada	37
Figura 7: Vista panorámica del área de estudio	37
Figura 8: Lugar de investigación - subcuenca Rio Azufre.....	38
Figura 9: Área de la subcuenca	44
Figura 10: Curva Hipsometrica	46
Figura 11: Identificación de las parcelas de erosión	49
Figura 12: Parcela n°1 y extracción de muestra de suelo para laboratorio	50
Figura 13: Parcela n°2 y extracción de muestra de suelo para laboratorio	50
Figura 14: Parcela n°3 y extracción de muestra de suelo para laboratorio	51
Figura 15: Parcela n°4 y extracción de muestra de suelo para laboratorio	52
Figura 16: Parcela n°5 y extracción de muestra de suelo para laboratorio	52
Figura 17: Muestras de suelo dejadas en laboratorio.....	53
Figura 18: Instalación de pluviómetro	53
Figura 19: Varillas de fierro de 30cm	67
Figura 20: Insatalacion de varillas de erosion en parcela N°1Fuente: Elaboración propia.67	67
Figura 21: Detalle de parcelas instaladas	67
Figura 22: Insatalacion de varillas de erosion en parcela N°2	69
Figura 23: Insatalacion de varillas de erosion en parcela N°3	70
Figura 24: Insatalacion de varillas de erosion en parcela N°4.....	72
Figura 25: Insatalacion de varillas de erosion en parcela N°5	73

PALABRAS CLAVE:

- Erosión Hídrica: Proceso que implica la pérdida de suelos en cuencas por parte de la acción del agua.
- USLE: Es una herramienta adecuada para estimar las pérdidas de suelo ocasionadas por la erosión.
- Varillas de erosión: Este método ampliamente utilizado consiste en clavar en el suelo una varilla medidora de manera que en su parte superior se puedan "leer" los cambios en el nivel de la superficie del suelo.
- Categorizar: La categorización es el acto de clasificar y organizar cosas según un grupo, una clase o, como es de esperar, una categoría.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el centro poblado Combayo y tuvo como objetivo estimar la erosión hídrica mediante los métodos de USLE y varillas de erosión en la subcuenca del río Azufre a fin de analizar la variación entre ambos métodos, para el año 2023. Teniendo como base los siguientes objetivos específicos: Categorizar el área de estudio, identificar áreas de erosión hídrica mediante criterios e índices de erosión y la técnica de SIG, estimar la pérdida anual de suelo mediante los métodos USLE y varillas de erosión, analizar la variación entre ambos métodos, finalmente hallar un factor de relación entre el método indirecto USLE y el método directo varillas de erosión. El estudio realizado reveló una alta tasa de erosión hídrica. La subcuenca con un área de 106.38ha, caracterizada por una topografía abrupta, con una pendiente promedio de 47.59%, y una escasa cobertura vegetal, presenta condiciones propicias para la pérdida de suelo. La combinación de estos factores, junto con una rápida concentración del flujo hídrico debido a la forma y altitud de la cuenca, ha resultado en una tasa de erosión promedio de aproximadamente 492.71 Tn/ha/año según el método USLE y 446.28 Tn/ha/año según las mediciones en parcelas, obteniendo un factor de relación de 0.91 entre ambos métodos, asimismo el análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre ambos métodos, validando la utilización del USLE para estimar la erosión a escala de cuenca. Estos resultados evidencian la necesidad urgente de implementar medidas de conservación de suelos, como la construcción de terrazas, la reforestación y el manejo adecuado del pastoreo, para mitigar la pérdida de suelo y proteger los recursos naturales de la zona.

Palabras clave: Erosión hídrica, USLE, Varillas de erosión, Categorizar.

ABSTRACT

This research work was developed in the Combayo populated center and its objective was to estimate the water erosion using the USLE and erosion rods methods in the Azufre river sub-basin in order to analyze the variation between both methods, for the year 2023. Based on the following specific objectives: Categorize the study area, identify areas of water erosion using erosion criteria and indices and the GIS technique, estimate the annual soil loss using the USLE and erosion rods methods, analyze the variation between both methods, and finally find a relationship factor between the indirect USLE method and the direct erosion rods method. The study carried out revealed a high rate of water erosion. The sub-basin with an area of 106.38ha, characterized by a steep topography, with an average slope of 47.59%, and sparse vegetation cover, presents conditions favorable for soil loss. The combination of these factors, together with a rapid concentration of water flow due to the shape and altitude of the basin, has resulted in an average erosion rate of approximately 492.71 Tn/ha/year according to the USLE method and 446.28 Tn/ha/year according to plot measurements, obtaining a relationship factor of 0.91 between both methods. Likewise, the statistical analysis showed no significant differences between both methods, validating the use of USLE to estimate erosion at the basin scale. These results show the urgent need to implement soil conservation measures, such as terracing, reforestation, and proper grazing management, to mitigate soil loss and protect the area's natural resources.

Keywords: Water erosion, USLE, Erosion rods, Categorize.

CAPITULO I:INTRODUCCIÓN

La erosión, un fenómeno cada vez más frecuente a nivel mundial, está acelerando los procesos de desertificación en diversas cuencas peruanas, incluyendo la del río Azufre. La falta de estudios específicos sobre esta última subcuenca impide una evaluación precisa de su estado y la implementación de medidas de mitigación adecuadas.

El presente trabajo de investigación se realizó en la parte baja de la cuenca del río Azufre, centro poblado Combayo, distrito de la Encañada en las coordenadas este:786132 y norte: 9219256 comprendiendo un área de 106.38 Ha, teniendo como finalidad cuantificar la erosión del suelo ocasionada por las precipitaciones haciendo uso del método USLE y método de varillas de erosión.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1 Contextualización.

La pérdida de suelo en la subcuenca del río Azufre es un problema ambiental complejo y multifactorial, resultado de la interacción entre factores naturales y actividades humanas. La topografía accidentada, los suelos frágiles y las fuertes precipitaciones, combinados con prácticas agrícolas inadecuadas, deforestación, sobrepastoreo, han acelerado los procesos erosivos. Las consecuencias de esta degradación son múltiples: disminución de la productividad agrícola, contaminación de fuentes de agua y aumento del riesgo de desastres naturales como deslizamientos de tierra.

1.1.2 Descripción del problema.

Perdida de suelos en la subcuenca del río Azufre distrito de La Encañada, originado por la erosión hídrica, trayendo consigo el incremento de volumen de sedimentos en los ríos,

eutrofización de las aguas y disminución de fertilidad de los suelos afectando a una serie de actividades socioeconómicas.

1.1.3 Formulación del problema.

La investigación busca responder a la pregunta:

¿Cuál es el volumen de suelo que se pierde por erosión hídrica en la subcuenca del río Azufre durante el año 2023, utilizando el modelo USLE y el método de las Varillas de Erosión?

1.2 HIPÓTESIS

En respuesta a la pregunta anterior se propone la hipótesis: El método directo varillas de erosión y el método USLE cuantificarán aproximadamente el volumen de suelo erosionado en la subcuenca del río Azufre para el periodo 2023.

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Justificación científica.

La utilización de los métodos USLE y varillas de erosión en la subcuenca del río Azufre es fundamental para obtener una estimación más precisa y confiable de la pérdida de suelo, lo que permitirá una gestión más efectiva de los recursos naturales en la zona. Al validar y refinar el modelo USLE, identificar áreas críticas de erosión y evaluar la efectividad de medidas de conservación, esta investigación contribuirá a la toma de decisiones informadas y a la protección del medio ambiente. Además, los resultados obtenidos pueden servir como referencia para estudios futuros y contribuir al avance del conocimiento científico en el campo de la erosión hídrica.

1.3.2 Justificación técnica – practica.

Mediante la aplicación del modelo USLE y el uso de varillas de erosión, podremos cuantificar la pérdida de suelo en la subcuenca del río Azufre y determinar las áreas más vulnerables. Esta información es esencial para diseñar estrategias de manejo sostenible que reduzcan la erosión y protejan los recursos naturales, contribuyendo a un futuro más sostenible para la localidad.

1.3.3 Justificación institucional y personal.

La investigación propuesta se enmarca dentro de los esfuerzos de la Universidad Nacional de Cajamarca por contribuir al desarrollo sostenible de la región. Al abordar la problemática de la erosión hídrica en la subcuenca del río Azufre, se busca generar conocimiento científico que permita diseñar estrategias para proteger los suelos, garantizar la seguridad alimentaria y mejorar la calidad de vida de las comunidades rurales, contribuyendo así a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, y personalmente dicho estudio contribuirá con la obtención de mi título profesional.

1.4 DELIMITACION DE LA INVESTIGACIÓN.

La investigación se delimita a estimar la relación entre el método indirecto USLE y el método directo varillas de erosión, para la erosión hídrica en la subcuenca del río azufre estimando el volumen de suelo que se perderá para el año 2023. La subcuenca a evaluar está localizada en el departamento de Cajamarca, provincia de Cajamarca distrito de La Encañada, centro poblado Combayo con coordenadas UTM E: 786132 y N: 9219256 la cual comprende un área de 106.38 Ha.

1.5 LIMITACIONES

En esta investigación, se espera no tener limitaciones de ningún tipo, debido a que se cuenta con todos los equipos y conocimiento necesario para determinar los resultados.

1.6 OBJETIVOS

Objetivo general

Estimar la erosión hídrica mediante los métodos de USLE y varillas de erosión en la subcuenca Azufre a fin de analizar la variación entre ambos métodos, para el año 2023.

Objetivo específico

- Categorizar el área de estudio.
- Identificar áreas de erosión hídrica mediante criterios e índices de erosión y la técnica de SIG.
- Estimar la pérdida anual de suelo mediante los métodos USLE y varillas de erosión.
- Analizar la variación entre los métodos de varillas de erosión y USLE.
- Determinar un factor de relación entre el método indirecto USLE y el directo varillas de erosión.

CAPITULO II:MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 INTERNACIONALES

Olivares, Lobo, & Verbist (2015), En su investigación, evaluaron la capacidad del modelo Universal de Pérdida de Suelo (USLE) para estimar la erosión hídrica en un Alfisol de la comuna de San Pedro de Melipilla, Chile. Utilizando datos de sedimentos de parcelas experimentales con distintos tratamientos de conservación de suelos, como subsolado, zanjas de infiltración y pradera natural, los autores compararon las estimaciones del modelo USLE

con las mediciones directas de pérdida de suelo. Al emplear tanto la aproximación de Arnoldus como la ecuación de ICONA para calcular el factor R, adaptado a las condiciones locales, los resultados obtenidos mostraron una buena concordancia entre las estimaciones del modelo y los datos de campo, lo que sugiere que el USLE puede ser una herramienta útil para evaluar la erosión hídrica en la región."

Ovalles Ureña (2014) El estudio titulado Análisis comparativo de la Pérdida de Suelo de la Cuenca Alta de la Presa de Sabana Yegua, Usando Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Métodos Directos tuvo como objetivo principal evaluar la efectividad del modelo Revisado de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (RUSLE) para estimar la erosión hídrica en la cuenca analizada. Para ello, se aplicó el modelo RUSLE utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG) y se compararon los resultados con las mediciones directas de pérdida de suelo en parcelas experimentales. El modelo RUSLE indicó una pérdida estimada de suelo de 163 t/ha/año, mientras que las mediciones directas reportaron una pérdida de 10.4 t/ha/año. Las diferencias observadas se atribuyen a factores como la metodología utilizada, la precisión de los datos espaciales, la distribución temporal de las mediciones y la falta del factor P en el modelo RUSLE. Además, las parcelas experimentales estaban bajo prácticas de conservación de suelo, lo que también impactó los resultados obtenidos.

2.1.2 NACIONALES

Camacho Zorogastúa (2012), En su tesis para optar al título de Ingeniero Ambiental, se analizó la erosión hídrica en la subcuenca del río Cumbaza, ubicada en la región de San

Martín, con el fin de identificar áreas vulnerables y sugerir acciones para mitigar el problema. Utilizando la ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), el estudio evaluó cómo interactúan las precipitaciones máximas con la cobertura vegetal. Los resultados obtenidos indicaron una alta susceptibilidad a la erosión, con tasas de pérdida de suelo que variaron entre 52 y 87 t/ha/año en un primer análisis, y entre 18.8 y 30.2 t/ha/año al considerar diferentes tiempos de retorno en un segundo análisis. Estos resultados subrayan la relevancia de la cobertura vegetal como elemento clave para la protección del suelo. Como estrategia de mitigación, se propuso la implementación de sistemas agroforestales utilizando la especie *Guadua* sp. (bambú) en la zona de estudio.

Tapia Muñoz (2011) El estudio titulado "Cuantificación de la Erosión Hídrica Superficial en las Laderas Semiáridas de la Sierra Peruana" tuvo como objetivo principal analizar la pérdida de suelo causada por la erosión hídrica y evaluar la efectividad de las zanjas de infiltración como medida de mitigación. Para ello, se realizaron mediciones de erosión en laderas semiáridas de la región andina del Perú, utilizando 22 microcuencas como muestra. Los resultados obtenidos indicaron que, al implementar las zanjas de infiltración, la tasa promedio de erosión fue de 24.44 toneladas por hectárea al año, mientras que sin su uso la tasa alcanzó las 45.04 t/ha/año. Con base en estos hallazgos, se concluyó que las zanjas de infiltración constituyen una estrategia eficaz para reducir la erosión y mejorar la retención de agua de lluvia en las laderas.

2.1.1 LOCALES

Sánchez Muñoz (2018) El presente estudio, realizado en la cuenca Ronquillo (Cajamarca, Perú), evaluó la capacidad de transporte de sedimentos en zonas con diferente grado de erosión. A través de la instalación de parcelas experimentales en zonas de baja erosión (Z1) y alta erosión (Z2), se determinó que la capacidad de transporte de sedimentos promedio fue

de 5.0 g/m²/h en Z1 y de 26.2 g/m²/h en Z2, siendo los sedimentos finos los más abundantes en esta última. Los resultados indican que la actividad antrópica, la pendiente del terreno y la cobertura vegetal influyen significativamente en el transporte de sedimentos. Las tormentas de corta duración y alta intensidad fueron las que generaron mayor transporte de sedimentos.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Ciclo hidrológico

El agua, un elemento esencial para la vida y los procesos geológicos, existe en tres estados: sólido, líquido y gaseoso. Estos estados se interconvierten mediante procesos como la evaporación, condensación, sublimación, fusión y congelación. La evaporación transforma el agua líquida en vapor, mientras que la condensación produce el paso inverso. La sublimación implica la transformación directa del agua sólida (hielo) en vapor o viceversa. La fusión y la congelación corresponden a los cambios de estado entre el estado líquido y sólido. Estos procesos son fundamentales en el ciclo hidrológico, que regula el clima y moldea la superficie terrestre. (Agustín y Weimar ,2009).

2.2.2 Cuenca hidrográfica

Es la zona geográfica definida por el Divortium Acuarium, en la cual se desarrolla el ciclo hidrológico y donde interactúan diversos factores naturales, sociales, económicos, políticos e institucionales, los cuales varían a lo largo del tiempo. (Vásquez, A .1997).

La cuenca de drenaje de un río o arroyo es la extensión de tierra en la que el agua de la lluvia se recoge y fluye hacia un único cauce. Cada corriente fluvial tiene una cuenca específica que corresponde a cada tramo de su trayecto (Villón, M.2000).

la cuenca hidrográfica es la unidad básica de estudio, la cual se define de la siguiente manera:

Una cuenca es una porción de terreno donde el agua, sedimentos y nutrientes convergen hacia un punto de salida común, ya sea un lago interior (cuenca endorreica) o un océano (cuenca exorreica). La cuenca hidrográfica, delimitada por la divisoria de aguas, abarca la superficie y los procesos hidrográficos superficiales, mientras que la cuenca hidrológica incluye también la componente subterránea. Dentro de una cuenca se distinguen zonas con funciones específicas: la cabecera, donde nace el agua y se regula el flujo hídrico; la zona de captación y transporte, donde el agua fluye y puede erosionar el suelo, siendo la vegetación un factor clave para su protección; y la zona de emisión, donde el agua emerge, como en lagunas costeras o manantiales. La interacción entre factores climáticos, geológicos, biológicos y antrópicos moldea la dinámica de las cuencas, influenciando procesos como la precipitación, infiltración, escorrentía y evapotranspiración. La gestión sostenible de las cuencas es esencial para garantizar la provisión de agua, la protección de los ecosistemas y la mitigación de los riesgos asociados al agua, como inundaciones y sequías. (Gámez, W.2010)

2.2.3 Parámetros geomorfológicos.

- **Área de la cuenca:** Este elemento, cuya relevancia en la hidrografía del sistema varía según la ubicación de la cuenca, requiere primero una delimitación para su cuantificación. La delimitación de la cuenca se realiza tomando como referencia un punto clave del cauce principal, denominado punto emisor, que corresponde al punto más bajo de la cuenca.(Ortiz, O 1994).
- **Perímetro de la cuenca:** Es la medida de la curva cerrada que representa el Divortium Acuarium, habitualmente expresada en kilómetros, y se calcula utilizando un curvómetro (Ortiz, O 1994).

- **Longitud del cauce:** La longitud del cauce es una variable vinculada a la geometría de la cuenca y al tiempo de concentración. De esta manera, refleja el nivel de intensidad de la escorrentía directa de la cuenca. Se determina utilizando un curvómetro y se mide en kilómetros, representando la distancia entre el punto emisor y el extremo final de un tramo que tiene el mismo orden que la cuenca. (Ortiz, O 1994).
- **Pendiente de la cuenca (S_C):** La pendiente promedio de la cuenca está estrechamente vinculada, aunque de manera compleja, con procesos como la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la aportación de agua subterránea a los cauces. Este factor físico influye significativamente en el tiempo que tarda el flujo en desplazarse por el terreno, afectando directamente la magnitud de las crecidas o avenidas. (Cahuana y Yugar 2009).

Existen varios métodos para determinar la pendiente promedio de una cuenca, uno de los más destacados es el criterio de Albord. Este enfoque analiza la pendiente entre las curvas de nivel, utilizando la franja definida por las líneas medias que conectan dichas curvas. Según este criterio, la pendiente de una de estas franjas se calcula de la siguiente manera:

- **Coefficiente Orográfico (Co):** La expresión (3) representa el coeficiente orográfico de una cuenca (Ordoñez, J. 2011)

$$Co = \frac{H_m^2}{A} \quad \dots (Ec. 3)$$

Donde: H_m , es altitud media (m); A , es Área de la cuenca(m²).

- **Relación de confluencias (rc):** Parámetro adimensional que proporciona información acerca del drenaje de la cuenca. (Vásquez, A .1997)

$$rc = \frac{n_i}{n_i + 1} \quad \dots (Ec. 4)$$

Donde: n_i , es número de cursos de orden i.

- **Altitud media:** Se determina a partir de la altura promedio H de la curva hipsométrica. (Ortiz, O 1994).
- **Pendiente del cauce principal:** En términos generales, la pendiente del cauce principal cambia a lo largo de su recorrido, por lo que es esencial aplicar un método apropiado para obtener una pendiente representativa. La idea simplificada de que la pendiente es simplemente el cociente entre la diferencia de altitudes y la longitud del cauce resulta ser imprecisa y errónea. Para superar esta limitación, se han creado técnicas que se basan en el perfil longitudinal del río o del terreno, tomando en cuenta una pendiente equivalente. (Ortiz, O 1994).

Ecuación de Taylor y Schwars:

$$S_0 = \left[\frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right]^2 \quad \dots (Ec. 5)$$

Donde: S_0 , es pendiente del cauce principal; n , es número de tramos iguales en los cuales se subdivide el perfil y S_1, S_2, \dots, S_n es la pendiente de cada tramo, según $s = \frac{H}{L}$

- **Tiempo de concentración:** Según Sergio Fatorelli y Pedro Fernández (Diseño Hidrológico, 2011), uno de los parámetros clave en los cálculos de la relación entre precipitación y escorrentía es el tiempo de concentración de la cuenca. Este se refiere al tiempo que tarda una partícula de agua en recorrer desde el punto más remoto hasta el punto de salida o desagüe de la cuenca. (Fatorelli y Fernández, 2011)

Existen diversas fórmulas para su estimación, entre las más usadas se tiene:

Kirpich Según el Soil Conservation Service (SCS), se desarrolló una fórmula para calcular el tiempo de concentración basada en estudios realizados en siete cuencas en Tennessee (EE. UU.), con áreas que varían entre 0.0051 y 0.433 km², ubicadas en canales con pendientes pronunciadas (entre 3% y 10%). Esta fórmula es una de las más utilizadas y describe el tiempo de concentración de la siguiente manera:

$$T_c = 0.000325 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77} \quad \dots (Ec. 6)$$

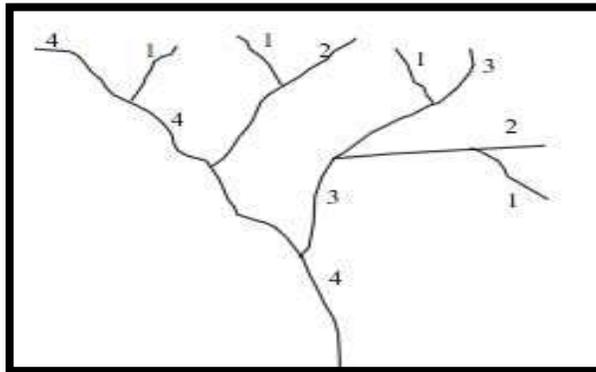
Dónde: L , es la longitud del cauce principal en metros y S , es la pendiente del cauce principal m/m.

- **Número de orden del cauce:**

Este número indica el nivel de ramificación de la red de drenaje. Existen diferentes enfoques para clasificar los cauces dentro de la red de drenaje de una cuenca hidrográfica, dependiendo del criterio utilizado.

Según el sistema de clasificación de Horton, los cauces de primer orden (1) son aquellos que no reciben afluentes. Los cauces de segundo orden (2) están alimentados por afluentes de primer orden, y los cauces de tercer orden (3) reciben aportes de cauces de segundo orden. Un cauce de orden n puede recibir tributarios que van desde el orden $n-1$ hasta el de primer orden. (Cahuana y Yugar 2009).

Figura 2: Número de orden del cauce



Fuente: (Cahuana y Yugar 2009)

2.2.4 Precipitación media anual de la cuenca

Es fundamental entender la cantidad de precipitación que ocurre en una cuenca. Al calcular la altura o lámina de lluvia, es posible determinar el volumen de agua que se ha precipitado, multiplicando esa altura por el área total de la cuenca (Vásquez, A.1997).

- **Método de las isoyetas**

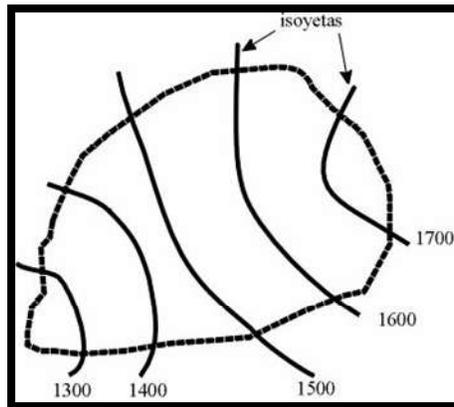
Este enfoque implica identificar las líneas que conectan puntos con la misma cantidad de precipitación, conocidas como isoyetas, y calcular el área situada entre dos isoyetas

adyacentes. Es considerado el método más preciso, especialmente en áreas montañosas. (Vásquez, A .1997).

$$P_{med} = \frac{1}{A_t} * \sum_{i=1}^n \frac{P_{I-1} + P_I}{2} * A_I \quad \dots (Ec. 7)$$

Dónde: Pmed, es precipitación media; At, es área total de la cuenca; Pi, es altura de precipitación de isoyetas i; Ai, es área parcial comprendida entre las isoyetas; n, es número de áreas parciales.

Figura 3: Isoyetas de precipitación



Fuente: Referenciado de (Vásquez, A.1997)

2.2.5 Propiedades físicas del suelo

- **Textura del suelo**

La textura del suelo se refiere a la proporción relativa de partículas presentes en un horizonte del suelo, agrupadas según su tamaño en arena, limo y arcilla, con diámetros que varían entre 2 mm y menos de 0.002 mm. Los fragmentos de tamaño superior a 2 mm se consideran fragmentos gruesos del suelo, y se clasifican como gravas finas, medias o gruesas, dependiendo de su diámetro. Asimismo, el tamaño de las partículas afecta la

dimensión de los espacios entre ellas, lo que influye en la distribución de los poros en el suelo (FAO, 2009). Esta clasificación es empleada por el U.S.D.A.

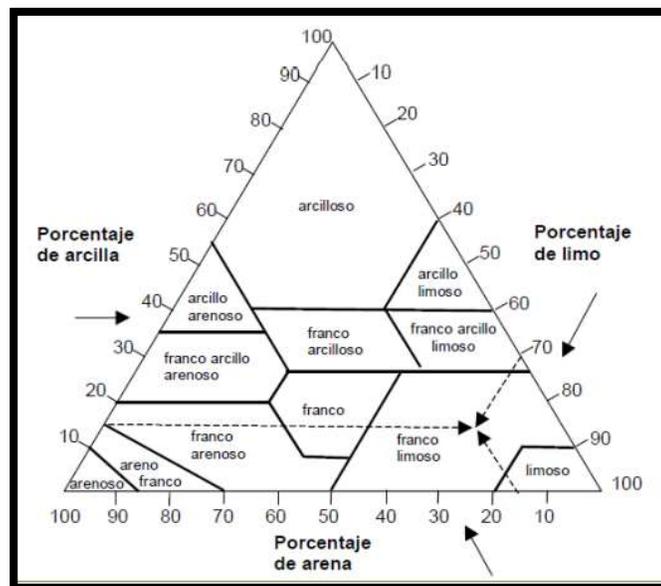
Tabla 1: Clasificación de partículas del suelo según su tamaño (U.S.D.A)

Nombre		Diámetro (mm)
Arcilla		<0.002
Limo		0.002 - 0.05
Arena	Muy fina	0.05 - 0.1
	Fina	0.1 - 0.25
	Media	0.25 - 0.5
	Gruesa	0.5 - 1
	Muy gruesa	1 - 2
Gravas	Fina	2 - 6
	Media	6 - 20
	Gruesa	20 - 60

Fuente: Adaptado de FAO, (2009)

- **Característica de los suelos según su textura**

Figura 4: Triángulo textual de suelos, con las 12 clases mayores, y escalas de tamaño de partículas.



Fuente: Referenciado de Echevarría, Picone y Videla, 2014

Textura arcillosa: Este tipo de suelo es plástico y difícil de manejar. Tiene una gran capacidad para retener agua y nutrientes debido a su microporosidad y alta capacidad de intercambio catiónico, pero presenta baja permeabilidad.

Textura arenosa: Son suelos ligeros y sueltos, que ofrecen una excelente aireación y tienen alta permeabilidad. Son fáciles de trabajar, pero tienen poca plasticidad y retienen pocos nutrientes, lo que provoca una gran lixiviación de los minerales.

Textura limosa: Este tipo de suelo carece de propiedades coloidales que favorezcan la formación de estructura, por lo que tiende a compactarse fácilmente, dificultando la circulación del agua y la aireación.

Textura franca o equilibrada: Gracias a la combinación balanceada de arena, limo y arcilla, estos suelos tienen una excelente relación entre la capacidad de retención de nutrientes y la permeabilidad.

- **Estructura del Suelo**

Se refiere a la disposición de los granos individuales en agregados o partículas secundarias, junto con el espacio de poros relacionado. Esto da lugar a interacciones fisicoquímicas entre las arcillas y los grupos funcionales presentes en la materia orgánica. La estructura del suelo, resultante de la agrupación de partículas individuales en unidades más grandes llamadas agregados, es influenciada por diversos factores, incluyendo la presencia de cargas eléctricas en las arcillas y la interacción con cationes. La forma de los agregados puede ser laminar, bloque, prismática, columnar, granular o migajosa, y su tamaño se clasifica en una escala que va desde muy fina a muy gruesa. La estabilidad de los agregados, descrita en términos de firmeza (débil, moderada o fuerte), es crucial para la funcionalidad del suelo. La estructura masiva, caracterizada por la ausencia de agregados, representa un caso especial. (Jordán López, 2005 - 2006).

- **Permeabilidad**

La permeabilidad del suelo, expresada como la facilidad con la que fluyen el agua y el aire a través de sus poros, es una propiedad esencial que depende de una combinación de factores. El tipo de suelo, caracterizado por su distribución granulométrica y estructura, influye significativamente en la permeabilidad, al igual que el tamaño de las partículas, la viscosidad del fluido, la densidad del suelo, la relación de vacíos y el grado de saturación. La permeabilidad controla procesos fundamentales como la infiltración, la percolación y la aireación, y juega un papel crucial en la dinámica del agua y los nutrientes en el suelo. (Jordán López, 2005 - 2006).

Tabla 2: Clases de permeabilidad con respecto a la textura y estructura del suelo

Símbolo	Clases de permeabilidad	Centímetros de percolación por hora	Textura probable	Estructura Probable
Lenta				
1	Muy Lenta	Menos de 0.125	Muy pesada a pesada	Masiva columnar
2	Lenta	0.125 - 0.5	Pesada a media	Prismática
Moderada				
3	Moderadamente lenta	0.52 - 2	Pesada a media	Prismática
4	Moderada	2 - 6.25	Media a liviana	Bloques subangulares
5	Moderadamente rápida	6.25 - 12.5	Media a liviana	Bloques subangulares
Rápida				
6	Rápida	12.5 - 25	Liviana a gruesa	Grano simple
7	Muy rápida	Más de 25	Gruesa a gravosa	Grano simple

Fuente: Adaptado de Alva, (1976)

- **Densidad aparente** La densidad aparente se refiere a la cantidad de masa de sólidos del suelo que se encuentra en el volumen total que ocupa el suelo, incluyendo también el volumen de los poros. Para medirla, se utiliza el cilindro de Kopecky con una muestra intacta, y se determina mediante la fórmula correspondiente.

$$D_a = \frac{M_{ss}}{V_c} \quad \dots \text{(Ec. 8)}$$

Donde: D_a , es densidad aparente del suelo en g/cm³; M_{ss} , masa del suelo seco a 105°C en gramos; V_c , volumen del cilindro donde se tomó la muestra de suelo en cm³.

2.2.6 Erosión de suelos.

La erosión se refiere al deterioro de los suelos, sedimentos, regolitos, fragmentos rocosos y paisajes, provocado por agentes externos como el viento, el agua y el hielo (Pidwirny, M. 2006).

Este proceso implica el desprendimiento y transporte de partículas del suelo debido a la acción de factores como el agua, el viento o la actividad biológica. Puede ocurrir de forma natural (geológica) como resultado de transformaciones ambientales a lo largo de extensos períodos geológicos, contribuyendo tanto a la formación de suelos como al modelado de los relieves terrestres. Sin embargo, en muchos casos, la erosión se ve acelerada por actividades humanas, lo que constituye un problema grave para el desarrollo agrícola. La erosión acelerada afecta no solo los rendimientos agrícolas, sino que también reduce la vida útil de infraestructuras de regulación, obstruyendo embalses con sedimentos, colmatando los lechos de los ríos y, en ocasiones, generando inundaciones, problemas de drenaje y salinización de los terrenos. Existen dos tipos principales de erosión: eólica e hídrica (Vásquez, A. 1997).

los impactos ambientales de la erosión incluyen la disminución de los rendimientos agrícolas, lo que contribuye al aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera. También resaltan el deterioro de la calidad del agua, con problemas como la turbidez y la presencia de contaminantes derivados de las partículas, la acumulación de sedimentos en los embalses y la alteración de los regímenes hidrológicos, lo cual eleva el riesgo de inundaciones debido al colapso de los cauces fluviales y sus interconexiones (Labrière et al. 2015,)

2.2.7 Erosión hídrica

La erosión hídrica es un proceso mediante el cual las partículas del suelo se desintegran y son desplazadas por la acción del agua. Aunque constituye un fenómeno natural y gradual, su intensidad se ha incrementado debido al uso excesivo de las tierras agrícolas y a las prácticas inadecuadas de manejo, lo que ha acelerado este proceso (FAO, 1990).

La erosión hídrica implica la dispersión de las partículas del suelo como resultado del impacto de las gotas de lluvia y el escurrimiento superficial, lo cual lleva al transporte de estas partículas desplazadas. Este movimiento de sedimentos forma una capa sellada en la superficie del suelo, lo que disminuye su capacidad de infiltración, aumenta el escurrimiento superficial y, en consecuencia, favorece la erosión del suelo.(Oyarzun, M. 1993)

Los procesos de erosión hídrica son complejos e incluyen diversos factores, tales como las variaciones en la cantidad e intensidad de las precipitaciones, la cantidad de días lluviosos, la tasa de precipitación, la producción de biomasa vegetal, la descomposición de residuos orgánicos, la actividad microbiana en el suelo, las tasas de

evapotranspiración y los cambios en el uso de la tierra para adaptarse a los nuevos patrones climáticos (Nearing, Pruski y O'Neal, 2004).

2.2.8 Factores que intervienen en el proceso de erosión hídrica

- **Velocidad de la gota de lluvia** la velocidad de caída de las gotas de lluvia puede variar desde cero en las lloviznas hasta superar los 9 m/s en lluvias con gotas más grandes (de 5 a 6 mm de diámetro). También menciona que el diámetro promedio de las gotas es de alrededor de 2 mm, con velocidades de caída que oscilan entre 6 y 7 m/s. (Pérez, Y. 2006).

- **Intensidad de lluvia**

La lluvia erosiva se define como aquella precipitación que supera una intensidad mínima de 25 mm/h, medida en estaciones meteorológicas mediante bandas pluviométricas. Esta alta intensidad le otorga la capacidad de desagregar el suelo y arrastrar partículas, contribuyendo al proceso de erosión. (Hudson, 1982).

- **Estructura del suelo**

la capacidad de infiltración y la estabilidad estructural del suelo son dos características estrechamente vinculadas que afectan considerablemente la vulnerabilidad a la erosión. La estructura del suelo, entendida como la disposición de las partículas en agregados, desempeña un papel clave en la retención de agua y en la resistencia a la erosión hídrica. Los suelos con una estructura bien formada, como los suelos calcáreos de los Andes, tienden a ser más estables y menos propensos a la erosión. (Buckman y Brady, 1977),

- **Humedad del suelo**

La desintegración de los agregados del suelo en partículas más finas, a menudo facilitada por la presencia de sales solubles, puede dar lugar a la formación de costras superficiales.

Estas costras, que se endurecen al secarse y se vuelven frágiles cuando están húmedas, aumentan la susceptibilidad del suelo a la erosión, favoreciendo la formación de túneles, surcos y cárcavas. Este proceso, conocido como dispersión, es un mecanismo importante de degradación del suelo y reduce su capacidad para infiltrar agua y soportar la vegetación. (Imeson y Curfs, 2004).

- **Contenido de materia orgánica**

la materia orgánica en el suelo influye de manera directa en su estructura, lo que a su vez afecta propiedades físicas esenciales como la porosidad, la retención de agua y la conductividad hidráulica. Un mayor contenido de materia orgánica favorece la formación de agregados estables, mejorando la aireación, el drenaje y la capacidad del suelo para retener agua. Además, disminuye su densidad aparente, creando un entorno más adecuado para el desarrollo de las raíces y la actividad biológica. (Loredo 1986),

- **Factor Topografía y Pendiente**

La pendiente y la longitud de una ladera son factores clave que influyen en la erosión hídrica. A medida que aumenta la pendiente y la longitud, la velocidad y energía del agua de escorrentía se incrementan, reduciendo el tiempo de contacto del agua con el suelo y disminuyendo la infiltración. En consecuencia, suelos con pendientes pronunciadas y laderas largas son más susceptibles a la erosión, ya que el agua arrastra con mayor facilidad las partículas del suelo (Federacafé, 1975).

- **Factor Cobertura Vegetal**

La cubierta forestal, a través de su dosel y la capa de hojarasca en el sotobosque, juega un papel fundamental en la protección del suelo frente a la erosión hídrica. Al interceptar

las gotas de lluvia y reducir la velocidad del escurrimiento, la vegetación disminuye el impacto de la lluvia sobre el suelo y la energía cinética del agua. Esto favorece la infiltración del agua y ayuda a reducir la pérdida de suelo. (Llerena, C. 2003)

- **Factor Humano** las actividades humanas como la deforestación, el sobrepastoreo, el cultivo intensivo del suelo, la compactación y el uso excesivo de fertilizantes químicos son factores clave que aceleran la erosión del suelo. Estas prácticas modifican la vegetación, deterioran la estructura del suelo, disminuyen su capacidad para infiltrar agua y aumentan el escurrimiento superficial, lo que favorece el transporte de partículas del suelo por el agua y el viento. (Llerena, C. 2003)

2.2.9 Tolerancia de pérdida de suelo

La tolerancia a la pérdida de suelo se refiere al nivel máximo de erosión que permite mantener una alta productividad de los cultivos de manera sostenible tanto desde el punto de vista económico como ambiental, sin comprometer las funciones ecológicas del suelo. (Wischmeier y Smith ,1978),

Tabla 3: Clasificación FAO - PNUMA UNESCO

Pérdida de suelo(tn/ha/año)	Grado de erosión Hídrica
<10	Muy baja
10-30	Baja
30-50	Moderada
50-200	Alta
>200	Muy alta

Fuente: CIAT, (2005)

2.2.10 Ecuación universal de la pérdida de suelo, USLE.

El USLE es un modelo frecuentemente utilizado para estimar la erosión del suelo y las técnicas de conservación. Este modelo de erosión hídrica se fundamenta en seis factores: la erosividad de la lluvia (R), la erodabilidad del suelo (K), la longitud de la pendiente

(L), la pendiente del terreno (S), las prácticas de manejo del cultivo (C) y las medidas de control de la erosión (P). La pérdida anual de suelo (A) se calcula multiplicando estos seis componentes. Además, este método es sensible a las variaciones de cualquiera de estos factores (Wischmeier & Smith, 1978).

$$A = R * K * L * S * C * P \quad \dots \text{(Ec. 9)}$$

Donde:

A: Pérdida anual de suelos por unidad de superficie (t/ha/Año).

R: Índice de erosividad de lluvias (MJ/mm/ha/h)

K: Factor de erodabilidad del suelo (t/MJ/mm).

LS: Factor topográfico, producto de los factores, longitud y grado de la pendiente (Adimensional).

C: Factor cobertura vegetal, representa su cultivo y manejo (Adimensional).

P: Factor prácticas de conservación de suelos agrícolas (Adimensional).

Los factores R, K, L y S reflejan la influencia de las condiciones naturales del lugar, que no pueden ser alteradas por las actividades humanas. Estos factores simulan las condiciones del suelo en ausencia de medidas de protección, como la cobertura vegetal y las prácticas de conservación. A este resultado se le conoce como erosión potencial (EP). Por otro lado, el producto de todos los factores juntos representa la erosión real o actual (EA).

- **Factor R**

El potencial erosivo de la lluvia está fuertemente influenciado por sus características, como la intensidad y la duración de los episodios de precipitación. La energía cinética de la lluvia (E) y su intensidad máxima en 30 minutos (I_{30}) son indicadores clave para determinar su capacidad de erosión. El índice de erosividad de la lluvia (R), que se calcula a partir de estos factores, refleja el potencial erosivo promedio anual. No obstante, para obtener una estimación precisa de R es necesario contar con datos pluviográficos detallados, los cuales son limitados en muchas áreas. Por esta razón, se han desarrollado diversos métodos alternativos para calcular R, lo que permite evaluar el riesgo de erosión en distintas condiciones climáticas y geográficas. (Wischmeier & Smith, 1978).

Fórmula de Morgan (1974)

La fórmula propuesta por Morgan en 1974 se emplea en áreas con altas precipitaciones, especialmente en aquellas donde Wischmeier y Smith (1978) sugieren un valor máximo de I_{30} de 75 mm/h. Para aplicar correctamente esta fórmula, es necesario que la erosividad media anual sea superior a 25 ($KE > 25$).

$$KE = 29.8 - \frac{127.5}{I} \quad \dots (Ec. 10)$$

$$R = I_{30} \left(\frac{9.28 * P - 8.838}{1000} \right) \quad \dots (Ec. 11)$$

Donde:

P: precipitación media anual en mm.

I_{30} : Intensidad máxima en 30 minutos generadas en mm/h.

R: Erosividad de lluvia en Mj/mm/ha/h.

Fórmula propuesta por Ramos (2001)

$$R = 2.375(PD_2) + 0.513(PME_X) - 94.4 \quad \dots (Ec. 12)$$

Donde:

PD_2 : Precipitación máxima diaria con periodo de retorno en mm.

PME_X : Valor medio interanual de la precipitación del mes mas lluvioso de cada año en mm.

- **Factor K**

El factor de erodabilidad "K" se refiere a la facilidad con la que el suelo se desgasta debido a la acción de las salpicaduras de la lluvia y el escurrimiento superficial (Vaezi et al., 2008).

Originalmente, se creó un nomograma para determinar el valor de K, que se basa en los principales subfactores del suelo, tales como la composición de partículas, la estructura, la permeabilidad y el contenido de materia orgánica. La ecuación inicial para calcular este factor se divide en tres partes para una mejor comprensión (Wischmeier y Smith, 1978).

$$K = K_1 * K_2 + 0.043 * (A - 2) + 0.033 * (P - 3) \quad \dots (Ec. 13)$$

$$k_1 = 2.77 * 10^{-5} * \left(f_{si+vfSa} * (100 - f_{ci}) \right)^{1.14} \quad \dots (Ec. 14)$$

$$K_2 = \frac{(12 - f_{OM})}{10} \quad \dots (Ec. 15)$$

Donde:

$f_{si+vfSa}$: Fracción de masa (%) de limo (Si) más arena muy fina (vfSa) (2...100µm) en una fina fracción de tierra.

f_{ci} : Fracción de masa (%) de arcilla ($<2 \mu\text{m}$) en una fina fracción de tierra.

f_{OM} : Fracción de masa (%) de materia orgánica en una fina fracción de tierra.

A: índice de estructura de suelo (1... 4) incrementando de granular muy fina a bloque, por placas o masivo.

P: índice de permeabilidad (1...6) incrementando desde rápido a muy lento.

Los subfactores K1 y k2 representan pasos intermedios en el cálculo final de k, este producto se le denomina la primera aproximación de K (Wischmeier et al. 1971, citado en Auerswald, et. al, (2014)

- **Ecuación del factor K para suelos calcáreos**

La ecuación de Wischmeier no puede aplicarse de forma generalizada debido a las condiciones específicas en las que fue desarrollada (por ejemplo, para suelos calcáreos). Ante esto, algunos estudios sugieren que la erodabilidad del suelo puede verse influenciada por otras características, como la estructura y textura del suelo, que están especialmente afectadas por la presencia de cal. Por esta razón, Shabani et al. (2013) propusieron un modelo para estimar el factor K que incorpora variables como el porcentaje de limo, arcilla, materia orgánica, arena muy fina, permeabilidad (cm/h), y también considera la pendiente y el contenido de cal. Aunque en el desarrollo original del K en el modelo USLE solo se tomaron en cuenta los primeros cinco factores, los adicionales también resultaron ser importantes en su estimación. La ecuación N°16 que presentan incluye todos estos parámetros, con un coeficiente de determinación ($R^2 = 0.87$).

$$K = (109.4 + 0.16\%limo - 0.62\%arcilla - 7.48\%MO + 0.19\%VFS - 0.05perm - 3.32\%cal - 1.26\%pendiente)/100 \dots (Ec. 16)$$

Donde:

MO: fracción de materia orgánica (%)

VFS: fracción de arena muy fina (%)

Perm: permeabilidad (cm/h)

Cal: porcentaje de carbonatos (%)

- Ecuaciones del factor K, con la restricción de suelos con alto contenido de limo.

$$k_1 = 2.77 * 10^{-5} * \left((f_{si+vfsa}) * (100 - f_{ci}) \right)^{1.14} \dots (EC. 17)$$

$$para f_{si+vfsa} < 70\%$$

$$K_1 = 0.631 * 2.77 * 10^{-5} * \left((f_{si+vfsa}) * (100 - f_{ci}) \right)^{1.14} + 0.0024 *$$

$$f_{si+vfsa} + 0.16 \dots (EC. 18), para f_{si+vfsa} > 70\%$$

- Ecuaciones del factor K, con la restricción de suelos con alto contenido de materia orgánica.

$$K_2 = \frac{12 - f_{OM}}{10} \dots (EC. 19), para f_{OM} < 4\%$$

$$K_2 = 0.8 para f_{OM} > 4\%$$

- Ecuaciones del factor K, con la restricción de suelos con baja erodabilidad.

$$K_3 = K_1 * K_2 + 0.043 * (A - 2) + 0.033 * (P - 3) \quad \dots (EC.19)$$

*para $k_1 * k_2 > 0.2$*

$$k_3 = 0.091 - 0.34 * k_1 * k_2 + 1.79 * (k_1 * k_2)^2 + 0.24 * k_1 * k_2 * A + 0.033 * (P - 3) \quad \dots (EC.20), \text{ para } k_1 * k_2 < 0.2$$

- **Ecuaciones del factor K, con la restricción de suelos con contenido de roca.**

$$k = k_3, \text{ para } f_{rf} < 1.5\%$$

$$k = k_3 * (1.1 * \exp(-0.024 * f_{rf}) - 0.06) \quad \dots (EC.20), \text{ para } f_{rf} > 1.5\%$$

El valor final de erodabilidad, representado por K, se obtiene después de considerar factores como un alto contenido de limo, un elevado porcentaje de materia orgánica, una baja erodabilidad y la presencia de fragmentos de roca, los cuales actúan como restricciones en el cálculo.

- **Factor LS**

Los factores topográficos son fundamentales en el modelo USLE, ya que el ángulo de inclinación del terreno (S) proporciona el impulso gravitacional necesario para iniciar el flujo concentrado y aumentar su velocidad, mientras que la longitud de la pendiente (L) determina la cantidad de agua que circula a lo largo de una ladera específica. Sin embargo, existen variables que no se toman en cuenta, como la forma de la pendiente, ya que la convexidad o concavidad de la ladera puede modificar la velocidad del flujo concentrado, ya sea acelerándola o reduciéndola (Mancilla, G. 2008).

Existen diferentes enfoques para calcular estos factores, uno de los cuales es la ecuación propuesta por Arnoldus (1977).

$$LS = \left(\frac{Y}{22.1}\right)^{0.6} * \left(\frac{S}{9}\right)^{1.4} \quad \dots (EC.21)$$

Donde:

Y: Longitud de la ladera en pendiente(m)

S: Porcentaje de dicha inclinación (%)

Este método, sin embargo, no considera la forma de la pendiente. Una forma de abordar esta limitación es dividir las laderas en segmentos, lo que permite obtener una representación promedio de los factores topográficos. Luego, se pueden utilizar los valores del factor LS establecidos por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes (Madrid), los cuales se basan en el porcentaje de pendiente. Este enfoque es recomendable en áreas específicas donde se ha demostrado su alta confiabilidad (Ramos Taipe, 2001)

Tabla 4:Valores de LS, según pendiente del terreno

Grado de pendiente (%)	Factor LS
0 a 3	0.3
3 a 12	1.5
12 a 18	3.4
18 a 24	5.6
24 a 30	8.7
30 a 60	14.6
60 a 70	20.2
70 a 100	25.2
>100	28.5

Fuente: Adaptado de Ramos Taipe, (2001)

- **Factor C**

Este factor refleja el nivel de protección que proporciona un tipo específico de cubierta vegetal al suelo, considerando aspectos como el porcentaje de cobertura vegetal, el efecto

protector de los restos de plantas y la influencia de las raíces en la consolidación del suelo (Mancilla, G. 2008).

Tabla 5: Valores de Cobertura vegetal, Factor C

Cultivo y Práctica	Media anual del factor C
Suelo Desnudo	1
Bosque o Matorral denso (alto mulch)	0.001
Pradera Herbácea en buenas condiciones	0.01
Pradera sobrepastoreada	0.1
Maíz, sorgo, alto rendimiento, laboreo convencional	0.2-0.55
Maíz, sorgo, alto rendimiento, sin laboreo convencional	0.5-0.9
Maíz, sorgo, alto rendimiento, laboreo mínimo	0.02-0.1
Maíz, sorgo, alto rendimiento, laboreo con chisel	0.12-0.2
Maíz, sorgo, bajo rendimiento, laboreo con chisel	0.3-0.45
Algodón	0.4-0.7
Pradera Herbácea	0.01-0.025
Soya	0.2-0.5
Trigo	0.1-0.4
Arroz	0.1-0.2
Frutales con cobertura vegetal	0.01-0.8
Caña de Azúcar	0.56
Arbolado denso	0.001-0.003
Arbolado forestal clareado	0.003-0.009
Arbolado muy clareado (25-60%)	0.041
Matorral con buena cobertura	0.003-0.013
Matorral ralo y críales	0.2-0.013
Cultivos anuales y herbáceos	0.25
Pasturas	0.15
Plantas herbáceas y matorjos (100%)	0.003
Plantas herbáceas y matorjos (60%)	0.035
Cubierta escaza	0.15-0.09
Cubierta inapreciable	0.45

Fuente: (Wischmeier y Smith ,1978),

- **Factor P**

El valor del factor P varía según el tipo de práctica de conservación implementada.

Generalmente, se asigna un valor numérico entre 0 y 1, donde:

P = 1: Indica que no se han aplicado prácticas de conservación.

P = 0: Significa que se han aplicado prácticas de conservación perfectas y la erosión se ha reducido al mínimo.

Este factor analiza las técnicas de conservación del suelo destinadas a reducir el impacto del flujo de agua, y sus valores se detallan en la tabla N° 6. En este sentido, el USLE incorpora el factor P de prácticas de conservación en tres escenarios distintos.

Tabla 6: Factor P de prácticas de conservación

Pendiente (%)	Cultivo en contorno o curvas de nivel		P para el cultivo en Terrazas
	p	Longitud máxima de ladera (m)	
1 - 2	0.6	122	0.12
3 - 5	0.5	91	0.1
6 - 8	0.5	61	0.1
9 - 12	0.6	37	0.12
13 - 16	0.7	24	0.14
17 - 20	0.8	18	0.16
21 - 25	0.9	15	0.18
*se pondera por 0.8 si considera contornos realizados con pilas residuos			

Fuente: (Wischmeier y Smith ,1978).

2.2.11 Parcelas experimentales de varillas de erosión.

Se recomienda el uso de varillas de acero de 30 cm de longitud, de manera que las variaciones de altura entre la parte superior de la varilla y el nivel del suelo reflejen el grado de pérdida de suelo. Estas mediciones se efectúan después de las lluvias para evaluar la erosión o sedimentación ocurrida. Los datos obtenidos permiten calcular un balance entre las pérdidas y entradas de suelo, lo que facilita una estimación más precisa (Pizarro et al., 2009).

Por otro lado, se sugiere que las varillas sean estacas delgadas con un diámetro de entre 4 y 6 mm, ya que son las más apropiadas para la mayoría de los casos. Además, proponen realizar los registros y análisis con intervalos de treinta días. (Ormachea y Llerena ,1988)

- **Ventajas:**

Medición precisa y confiable.

Bajo costo, con materiales fácilmente accesibles.

Poco riesgo de pérdida por vandalismo o robo.

Puede utilizarse para medir erosión de diferentes tipos, como la eólica o fluvial.

- **Desventajas:**

La varilla puede modificar el entorno local.

Existe el riesgo de que el operador altere el suelo durante el proceso de medición.

Puede haber variaciones en el suelo debido a cambios en su humedad.

La fauna o animales domésticos podrían ocasionar alteraciones en las mediciones.

- **Erosión media y sedimentación media**

La erosión promedio se calcula sumando la reducción de altura de todas las varillas en la parcela que indicaron la ocurrencia de erosión durante un período determinado, y luego dividiendo este total por la cantidad de varillas en la parcela. De manera similar, la sedimentación en la parcela se calcula sumando los incrementos en la altura de las varillas, lo que indica que ha habido un proceso de sedimentación.

$$X = Y * D_{\alpha} * 10 \quad \dots (EC. 22)$$

Donde:

X: Suelo erosionado o sedimentado en t/ha.

Y: Altura media del suelo erosionado o sedimentado en mm.

D_{α} : Densidad aparente del suelo en gr/cm³.

- **Erosión neta**

La Ecuación N°23 refleja la variación entre la erosión y la sedimentación que ha tenido lugar en una ladera, medida en toneladas por hectárea (Pizarro et al., 2009).

$$En = E - S \quad \dots (EC. 23)$$

Donde:

En: Erosión neta en t/ha.

E: Erosión media de la parcela en t/ha.

S: Sedimentación media de la parcela en t/ha.

- **Suelo movilizado**

Es la combinación de la erosión promedio y la sedimentación registrada, lo que posibilita cuantificar la cantidad total de suelo movilizado en el área, expresada en toneladas por hectárea.

$$Sm = E + S \quad \dots (EC. 24)$$

Donde:

Sm: Suelo movilizado en t/ha.

E: Erosión media en t/ha.

S: Sedimentación media t/ha.

2.2.12 Prueba T-student

La distribución t puede utilizarse como un modelo para representar los posibles resultados en un experimento, bajo la suposición de que la hipótesis nula es cierta, en diversas pruebas de significancia estadística. Un ejemplo de su aplicación sería realizar una prueba de hipótesis sobre el valor de una media paramétrica en muestras pequeñas. En este caso, se calcula el valor t asociado a la media observada en una muestra aleatoria tomada de la población relacionada con la hipótesis. (Mancilla, G. 2008).

La fórmula para el cálculo es la siguiente:

$$\bar{x} \pm t_{\left(\frac{\alpha}{2}; n-1\right)} * \frac{s}{\sqrt{n}} \quad \dots \dots (EC. 25)$$

Donde:

\bar{x} = Media muestral.

$t_{\left(\frac{\alpha}{2}; n-1\right)}$ = el valor t que sale de tabla y esta en función a la confiabilidad y grados de libertad.

S=desviación estándar.

n = número de datos de la muestra.

CAPITULO III:MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

Equipos: Los equipos que se utilizaron para poder facilitar el trabajo de la elaboración de la tesis, fueron los siguientes:

- Estación total Leyca ts07, precisión de 5 segundos, para levantamiento topográfico de cada parcela en estudio.

- Cámara fotográfica, será nuestra herramienta principal para documentar las actividades de campo
- GPS, se utilizó en la recolección de coordenadas geográficas.
- Laptop modelo Lenovo, con sistema operativo Windows 10 de 64 bits, versión Ultimate y service pack 1; procesador core i5 con 2.5 GHz.

Software: Los softwares que se utilizaron para poder facilitar el trabajo de la elaboración de la tesis, fueron los siguientes:

- Software ArcGIS 10.8, desarrollado por ESRI (Environmental Systems Research Institute) y se usó en la elaboración de mapas de la zona.
- Software Microsoft Office, desarrollado por Microsoft y se usó en el desarrollo del presente documento, haciendo uso de sus herramientas de Excel y Word.
- AutoCAD Versión 2023: Para la elaboración planos y dibujos.

Materiales: Los materiales que se utilizaron para poder facilitar el trabajo de la elaboración de la tesis, fueron los siguientes:

- Cartas nacionales: El estudio se basará en cartografía del Instituto Geográfico Nacional (IGN) a una escala de 1:100 000.
- Varillas de fierro de 30 cm, con un diámetro de 6 mm; para medir los procesos erosivos en parcelas.
- Wincha métrica, para realizar mediciones en campo.
- Bolsas plásticas (1000gr), se usó para el transporte de las muestras de suelo.

- Lapiceros, marcadores y libreta de apuntes, para apuntar y registrar los valores.

- Estacas de 1" x 1" x 50 cm para demarcar las parcelas en estudio.

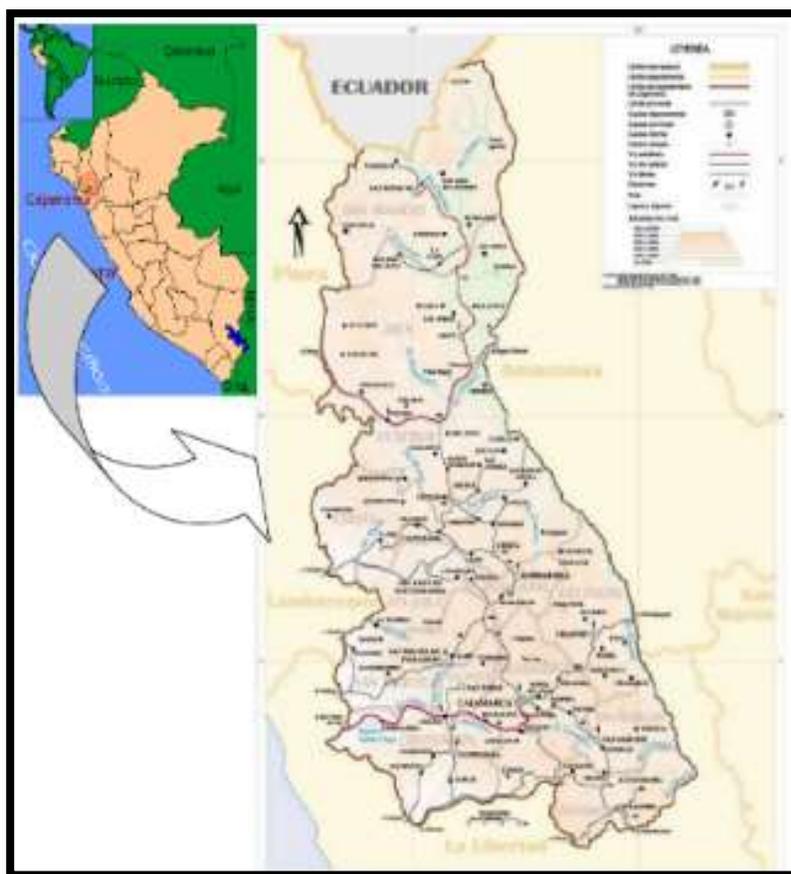
Ubicación geográfica.

El presente trabajo de investigación se desarrollará en la siguiente ubicación geográfica:

Región: Cajamarca; Provincia: Cajamarca; Distrito: La encañada; Centro poblado:

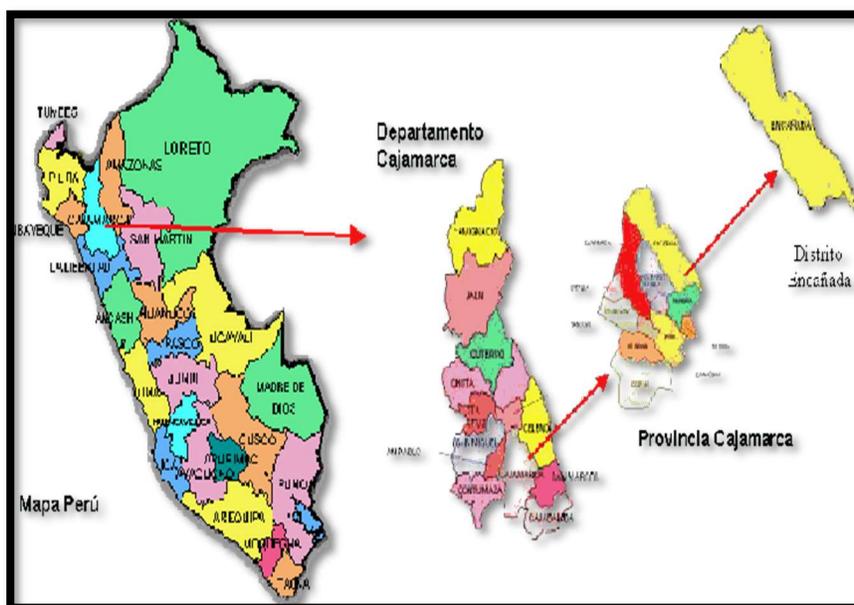
Combayo.

Figura 5: Ubicación geográfica de Cajamarca en Perú



Fuente: instituto nacional de estadística e informática – INEI

Figura 6: Ubicación geográfica distrito de la Encañada



Fuente: instituto nacional de estadística e informática – INEI

Figura 7: Vista panorámica del área de estudio



Figura 8: Lugar de investigación - subcuenca Rio Azufre



Fuente: Google Earth, 2020

Características de la zona de estudio.

La zona presenta un relieve montañoso y accidentado, típico del paisaje alto andino, con laderas, pendientes, planicies y afloramientos rocosos. El clima es frío y húmedo, con una marcada estacionalidad que alterna períodos secos, generalmente entre mayo y setiembre, y períodos lluviosos, entre octubre y abril. El uso actual de la tierra es predominante de pastos naturales y en menor proporción terrenos desnudos sobre todo en la parte sur.

El Rio Azufre confluye con el Rio Paccha- Quinuario y Rio grande; originando el Rio Chonta, la cuenca vierte sus aguas al rio atlántico a través del rio amazonas.

Ubicación

La zona en estudio se encuentra localizada en la provincia de Cajamarca, distrito de La Encañada, centro poblado Combayo y comprendiendo parte de los caseríos de Santa Rosa y Laurel del Valle.

Extensión territorial

La extensión territorial en estudio comprende un área de 107 hectáreas.

Demarcación hidrográfica

El área de estudio es una subcuenca del río Azufre, de manera que las cuencas hidrográficas limítrofes de ésta son:

Por el norte : Cuenca del río Llaucano.

Por el sur : Medio alto Crisnejas.

Por el sur este : Cuenca del río Namora.

Por el oeste : Cuenca del río Mashcon.

Punto emisor

El punto emisor para realizar la investigación está ubicado en el puente Laurel del valle, sus coordenadas son las siguientes:

E=786132.00 N=9219256.00 y Z=2909 msnm.

3.2 METODOLOGIA DEL TRABAJO

Procedimiento para el desarrollo de la investigación.

Se procederá a realizar la cuantificación de la erosión hídrica en la subcuenca del río Azufre por el método USLE y varillas de erosión, posteriormente analizaremos la variación entre ambos métodos.

3.2.1 Categorizar el área de estudio

En primer lugar, realizaremos la categorización de nuestra área de estudio, determinando los parámetros geomorfológicos principales de la subcuenca.

Para ello procederemos hacer la delimitación de la subcuenca con ayuda de las cartas geográficas y el software ArcGIS.

Posteriormente determinaremos todos los parámetros geomorfológicos de la subcuenca haciendo uso de las fórmulas descritas en el marco teórico.

3.2.2 Identificar áreas de erosión hídrica mediante criterios e índices de erosión y la técnica SIG.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas poderosas para analizar y visualizar datos espaciales. Se utilizan para integrar diferentes tipos de datos, como imágenes de satélite, mapas de suelo y datos climáticos, para identificar áreas de erosión hídrica.

- Recopilación de datos: Se recopilan datos sobre los criterios e índices de erosión, como la precipitación, la pendiente, el tipo de suelo, la cobertura vegetal y las prácticas agrícolas.
- Análisis de datos: Se analizan los datos para identificar áreas con mayor susceptibilidad a la erosión hídrica.

3.2.3 Cuantificar la pérdida anual de suelo mediante los métodos USLE y varillas de erosión.

Cuantificación de la pérdida anual del suelo mediante método USLE

- Factor de erosividad de la lluvia (R):

Procesar los datos obtenidos del pluviómetro instalado en campo.

Determinar la precipitación anual (P) y el índice de erosividad máxima de 30 minutos (EI30)

Luego de ello calcular el valor R haciendo uso de las ecuaciones descrita en el marco teórico

- Factor de erodabilidad del suelo (K):

Se hace un análisis de laboratorio para los diferentes tipos de suelo identificados en campo, obteniendo datos sobre la textura del suelo, el contenido de materia orgánica, la estructura del suelo y la permeabilidad.

Luego de ello se calcula un factor K para cada zona erosiva identificada y se elaborara un mapa de Iso-K para poder determinar un K-promedio de la subcuenca.

- Factor de pendiente y longitud de ladera (LS):

Para el factor LS se hace una reclasificación de pendientes de la subcuenca con ayuda del software ArcGIS en función a la tabla N°4 para luego poder sacar un factor LS ponderado de la Subcuenca.

- Factor de cobertura y manejo (C):

Se obtiene de las tablas predefinidas para diferentes tipos de cobertura vegetal y prácticas de manejo, considerando factores como el tipo de cultivo, la densidad de la vegetación, la cobertura de residuos y las prácticas de labranza.

Identificamos los diferentes tipos de factores C de la subcuenca para posterior a ello hallar un C ponderado

- Factor de prácticas de conservación (P):

Se obtiene de tablas predefinidas para diferentes prácticas de conservación, considerando factores como las terrazas, las zanjas de contorno, la siembra en contorno y la rotación de cultivos.

- Cálculo de la pérdida anual de suelo:

Multiplicar los valores de los diferentes factores para obtener la pérdida anual de suelo (A):

$$A = R * K * L * S * C * P \quad \dots (Ec. 9)$$

Cuantificación de la pérdida anual del suelo mediante varillas de erosión.

- **Tipo de varillas:**

Varillas de fierro de 30 cm de longitud, con un diámetro de 6 mm

- **Instalación:**

Insertar las varillas en el suelo hasta que solo 15 cm queden por encima de la superficie.

Asegurar que las varillas estén bien fijadas y niveladas.

Registrar la ubicación y profundidad inicial de cada varilla.

- **Frecuencia de mediciones:**

Mínimo dos mediciones por año: al inicio y al final de la temporada de lluvias.

- **Método de medición:**

Medir la distancia entre la superficie del suelo y la parte superior de la varilla, utilizando un dispositivo de medición wincha.

Registrando las mediciones para cada varilla en una tabla o base de datos.

- **Cálculo de pérdida de suelo por varilla:**

Restar la profundidad inicial de la varilla a la profundidad final medida, luego promediar las mediciones de las varillas en cada sitio.

- **Cálculo de pérdida de suelo anual:**

La estimación de la erosión se realiza sumando la reducción de altura observada en todas las varillas de la parcela que indicaron procesos erosivos durante un período de tiempo específico, y luego dividiendo esa suma entre el número total de varillas ubicadas en la parcela. Para este cálculo, se utiliza la ecuación 22 presentada en el marco teórico.

3.2.4 Analizar la variación entre los métodos de varillas de erosión y USLE.

Se llevará a cabo una descripción, evaluación y comparación de las distintas aproximaciones del USLE con el método de varillas de erosión en las áreas evaluadas en el campo. Al final, se aplicará la prueba T-student para comparar el valor promedio de los resultados obtenidos mediante el método de parcelas con el valor obtenido utilizando el método USLE.

3.2.5 Determinar un factor de relación entre el método indirecto USLE y el método directo varillas de erosión.

Calcularemos un factor de relación entre el método indirecto USLE y el método directo varillas de erosión, esto será dividiendo el valor de erosión obtenido por el método directo entre el valor obtenido por el método indirecto.

CAPITULO IV: ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 RESULTADOS

4.1.1 Categorizar el área de estudio

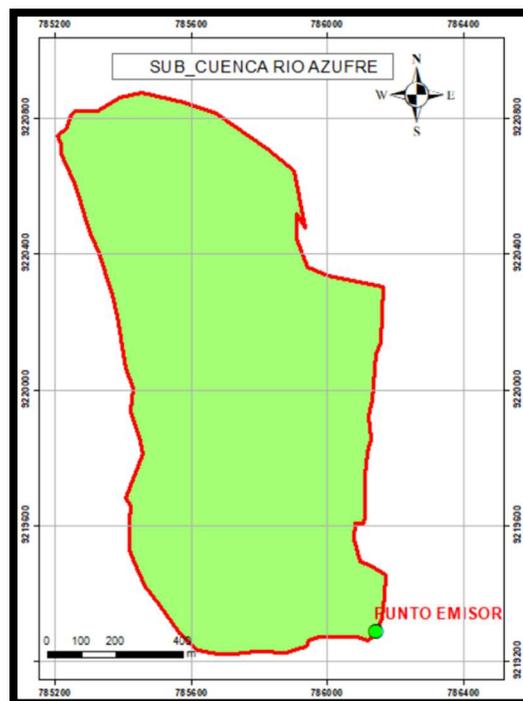
Determinaremos los parámetros geomorfológicos principales de la subcuenca. Con ayuda de las cartas geográficas y el software ArcGIS.

a) Área de la Subcuenca

Área= 106.38 Ha; Área = 1063800 m²; Área = 1.0638 km²

Se procede a calcular mediante el software ArcGIS

Figura 9: Área de la subcuenca



Fuente: ArcGIS elaboración propia

b) Perímetro de la Subcuenca

Perímetro = 4.72 Km

c) Longitud del cauce

Longitud= 1.75Km

d) Pendiente de la cuenca (S_C)

Pendiente de la cuenca=47.59%

e) Coeficiente de compacidad (K_c)

Se calculó haciendo uso de la Ec. 02, como sigue:

$$K_c = \frac{0.28P}{\sqrt{A}} = \frac{0.28 * 4.72km}{\sqrt{1.0638km^2}} = 1.28 \quad \dots (Ec. 2)$$

f) Coeficiente orográfico (C_o)

Se calculó haciendo uso de la Ec.03, como sigue:

$$C_o = \frac{H_m^2}{A} = \frac{(3099.79m)^2}{1063800m^2} = 9.03 \quad \dots (Ec. 3)$$

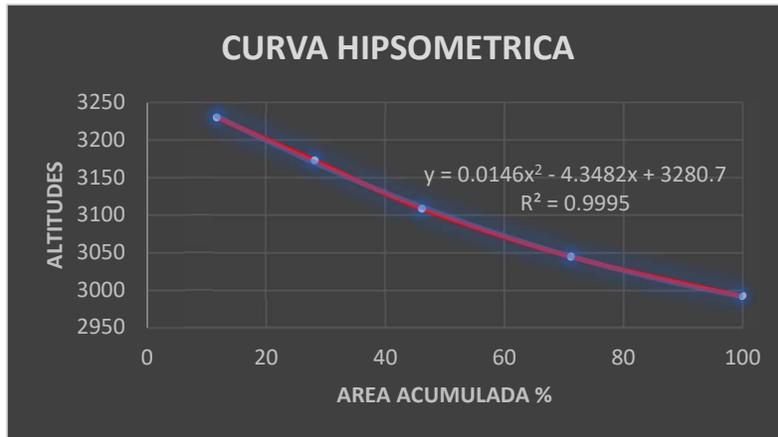
g) Relación de confluencias (rc):

Se verifica que la subcuenca en estudio no presenta afluentes por lo cual la relación de confluencias es igual a 1.

h) Altitud media

Está definida por la ordenada media H de la curva hipsométrica.

Figura 10: Curva Hipsométrica



$$H. \text{ media} = 0.0146(50)^2 - 4.3482(50) + 3280.7 = 3099.79 \text{ m}$$

i) Pendiente del cauce principal

Se calculó haciendo uso de la Ec.05, como sigue:

Tabla 7: cálculo de pendiente del cauce principal

A		B		
Δx	Δy	S (m/m)	$S^{1/2}$	A/B
1.606	0.072	0.045	0.211	7.605
8.800	0.393	0.045	0.211	41.660
12.443	0.555	0.045	0.211	58.904
12.169	0.543	0.045	0.211	57.607
11.858	0.529	0.045	0.211	56.136
2.948	0.132	0.045	0.211	13.956
0.175	0.008	0.045	0.211	0.831
0.038	0.002	0.044	0.209	0.183
0.207	0.009	0.044	0.209	0.989
1.762	0.025	0.014	0.119	14.760
6.963	0.074	0.011	0.103	67.352
9.500	0.081	0.009	0.092	102.736
9.500	0.068	0.007	0.084	112.542
8.554	0.052	0.006	0.078	109.456
8.445	0.045	0.005	0.073	115.520
4.386	0.021	0.005	0.069	63.506
0.831	0.004	0.004	0.066	12.660
0.057	0.000	0.004	0.063	0.916
100.246				837.317
		Pendiente		0.014 m/m
		Pendiente		1.43 %

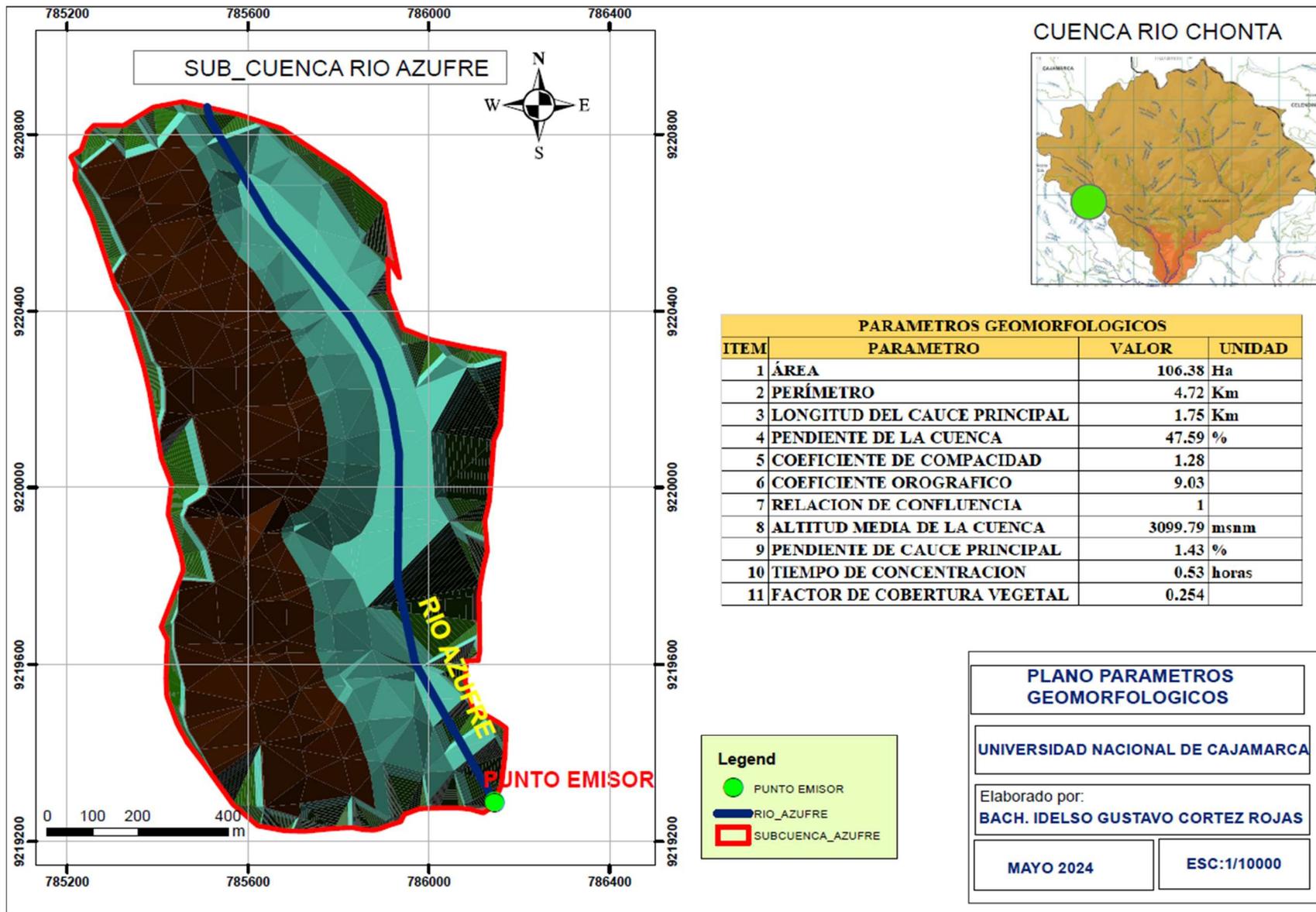
j) Tiempo de concentración

Se calculó haciendo uso de la Ec.06, como sigue:

$$T_c = 0.000325 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77} = 0.000325 \left(\frac{1750}{\sqrt{0.014}} \right)^{0.77} = 0.53 h \quad \dots (Ec. 6)$$

k) Numero de orden del cauce

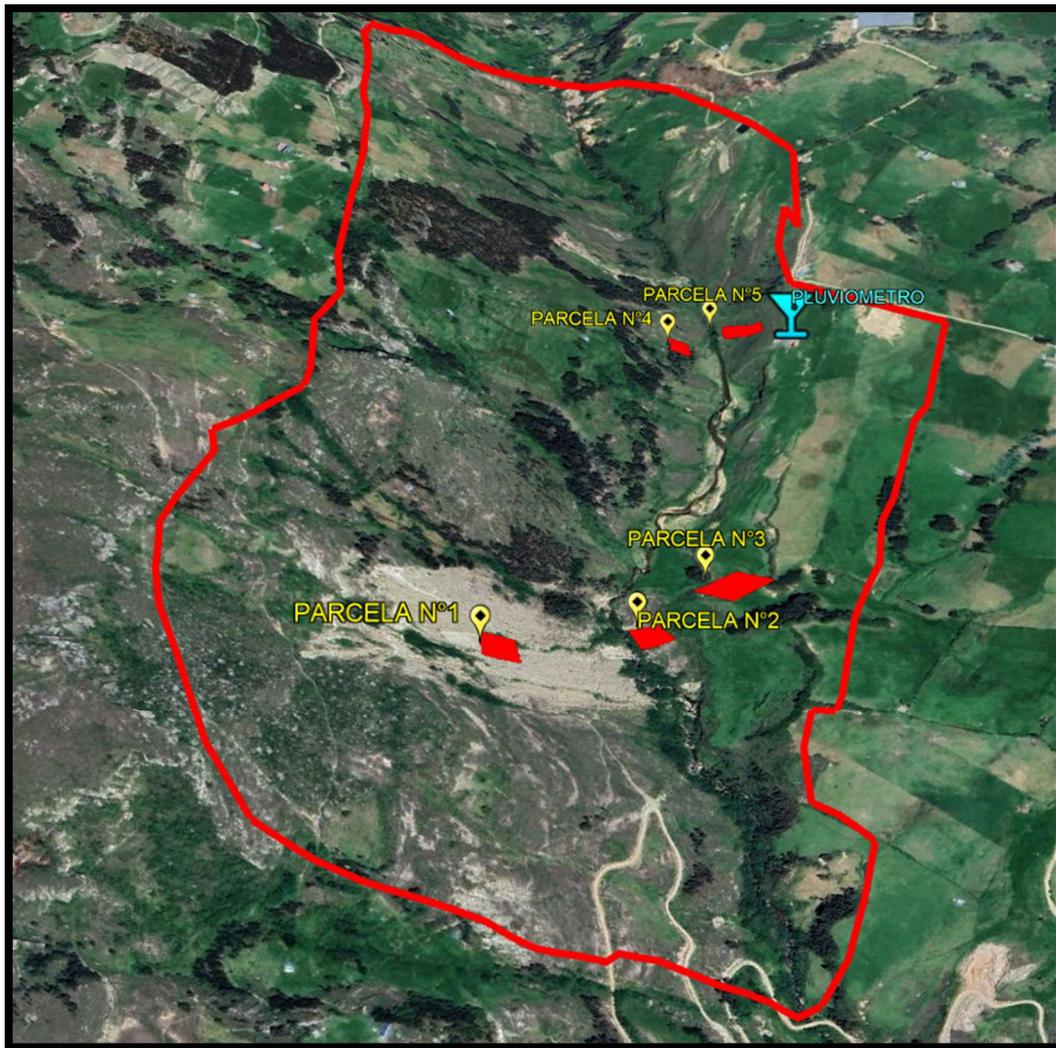
Es un cauce de orden 1 ya que no posee tributarios.



4.1.2 Identificar áreas de erosión hídrica mediante criterios e índices de erosión y la técnica SIG.

Se identificaron 5 áreas de estudio mediante observación satelital.

Figura 11: identificación de las parcelas de erosión



Fuente: Google Earth, 2020

PARCELA N°1

Esta parcela tiene como ubicación las coordenadas E= 785716, N= 9219591 presenta un pendiente de 40.92%, una cobertura vegetal de 0%, un suelo franco arenoso con un 0.4% de materia orgánica.

Figura 12:Parcela n°1 y extracción de muestra de suelo para laboratorio



PARCELA N°2

Esta parcela tiene como ubicación las coordenadas E= 785861.00, N= 9219716.00 presenta un pendiente de 7.87 %, una cobertura vegetal de 15 % y un suelo franco arenoso con 0.2% de materia orgánica.

Figura 13:Parcela n°2 y extracción de muestra de suelo para laboratorio



PARCELA N°3

Esta parcela tiene como ubicación las coordenadas E= 785925.00, N= 9219807.00 presenta un pendiente de 5.15 %, una cobertura vegetal de 5 % y un suelo franco arcilloso con 5% de materia orgánica.

Figura 14: Parcela n°3 y extracción de muestra de suelo para laboratorio



PARCELA N°4

Esta parcela tiene como ubicación las coordenadas E= 785794.00, N= 9220217.00 presenta un pendiente de 29.65 %, una cobertura vegetal de 70 % y un suelo franco arenoso con 2% de materia orgánica.

Figura 15: Parcela n°4 y extracción de muestra de suelo para laboratorio



PARCELA N°5

Esta parcela tiene como ubicación las coordenadas E= 785841.00, N= 9220279.00 presenta un pendiente de 7.85 % y una cobertura vegetal de 75 % y un suelo arcilloso con 1.4% de materia orgánica.

Figura 16: Parcela n°5 y extracción de muestra de suelo para laboratorio



Se llevó a laboratorio del INIA las 05 muestras de suelo para su respectivo análisis los resultados brindados por el laboratorio se adjuntan en los anexos.

Figura 17:muestras de suelo dejadas en laboratorio.



INSTALACION DE PLUVIOMETRO

Se instaló un pluviómetro casero en un lugar de fácil medición y control periódico para poder recopilar información de las precipitaciones reales en el área de estudio.

Figura 18:instalación de pluviómetro



Se realizó la recolección de datos por el periodo de un año completo 2023 anotándose inicio de lluvia, termino de lluvia y mm de agua acumulados de nuestro pluviómetro ubicado en lugar estratégico con la finalidad de poder realizar las medidas sin ningún problema.

Nuestro pluviómetro este graduado con una cinta métrica y presenta una sección constante con un área de 0.019842 m².

Tabla 8: datos de precipitaciones e intensidades medidas en campo

FECHA	PRECIPITACIÓN						INTENSIDADES	
	HORA INICIO	HORA FIN	ALTURA DE LLUVIA (mm)	PRECIPI-TACIÓN mm/m ²	T.DURA-CIÓN (Min)	T.DURA-CION (hr)	INTENSI-DAD mm/hr	I30 mm/hr
01/01/2023	1:00 a. m.	6:10 a. m.	5.00	251.99	310.00	5.17	0.97	10.00
09/01/2023	7:30 p. m.	11:30 p. m.	10.00	503.98	240.00	4.00	2.50	20.00
10/01/2023	3:00 p. m.	4:05 p. m.	5.00	251.99	65.00	1.08	4.62	10.00
11/01/2023	11:30 p. m.	5:30 a. m.	15.00	755.97	360.00	6.00	2.50	30.00
13/01/2023	4:10 p. m.	8:40 p. m.	10.00	503.98	270.00	4.50	2.22	20.00
14/01/2023	6:00 p. m.	7:30 p. m.	5.00	251.99	90.00	1.50	3.33	10.00
15/01/2023	3:15 p. m.	5:50 p. m.	15.00	755.97	155.00	2.58	5.81	30.00
19/01/2023	1:15 p. m.	4:00 p. m.	10.00	503.98	165.00	2.75	3.64	20.00
20/01/2023	7:00 a. m.	10:00 a. m.	3.00	151.19	180.00	3.00	1.00	6.00
21/01/2023	5:00 p. m.	9:00 p. m.	10.00	503.98	240.00	4.00	2.50	20.00
22/01/2023	1:00 p. m.	3:15 p. m.	5.00	251.99	135.00	2.25	2.22	10.00
25/01/2023	4:05 p. m.	6:10 p. m.	12.00	604.78	125.00	2.08	5.76	24.00
26/01/2023	11:30 a. m.	1:20 p. m.	6.00	302.39	110.00	1.83	3.27	12.00
12/02/2023	2:00 p. m.	2:30 p. m.	20.00	1,007.96	30.00	0.50	40.00	40.00
14/02/2023	2:00 a. m.	4:00 a. m.	30.00	1,511.94	120.00	2.00	15.00	60.00
15/02/2023	2:00 p. m.	3:30 p. m.	35.00	1,763.94	90.00	1.50	23.33	70.00
17/02/2023	12:30 p. m.	1:10 p. m.	20.00	1,007.96	40.00	0.67	30.00	40.00
18/02/2023	4:03 p. m.	5:25 p. m.	10.00	503.98	82.00	1.37	7.32	20.00
19/02/2023	1:39 p. m.	2:10 p. m.	10.00	503.98	31.00	0.52	19.35	20.00
21/02/2023	2:10 p. m.	3:50 p. m.	20.00	1,007.96	100.00	1.67	12.00	40.00
22/02/2023	3:40 p. m.	4:18 p. m.	25.00	1,259.95	38.00	0.63	39.47	50.00
26/02/2023	3:15 p. m.	6:00 p. m.	30.00	1,511.94	165.00	2.75	10.91	60.00
03/03/2023	4:50 p. m.	5:40 p. m.	5.00	251.99	50.00	0.83	6.00	10.00
05/03/2023	3:10 p. m.	4:05 p. m.	5.00	251.99	55.00	0.92	5.45	10.00
08/03/2023	2:13 p. m.	4:00 p. m.	10.00	503.98	107.00	1.78	5.61	20.00
10/03/2023	4:20 a. m.	5:12 p. m.	50.00	2,519.91	52.00	0.87	57.69	100.00

Tabla 9: datos de precipitaciones e intensidades medidas en campo

FECHA	PRECIPITACIÓN						INTENSIDADES	
	HORA INICIO	HORA FIN	ALTURA DE LLUVIA (mm)	PRECIPI-TACIÓN mm/m2	T.DURA-CIÓN (Min)	T.DURA-CION (hr)	INTENSI-DAD mm/hr	I30 mm/hr
11/03/2023	12:56 p. m.	2:15 p. m.	25.00	1,259.95	79.00	1.32	18.99	50.00
12/03/2023	7:00 p. m.	10:05 p. m.	30.00	1,511.94	185.00	3.08	9.73	60.00
13/03/2023	12:47 p. m.	2:11 p. m.	65.00	3,275.88	302.00	5.03	12.91	130.00
	8:02 p. m.	11:40 p. m.						
25/03/2023	3:10 p. m.	4:56 p. m.	10.00	503.98	106.00	1.77	5.66	20.00
28/03/2023	9:12 p. m.	10:25 p. m.	5.00	251.99	73.00	1.22	4.11	10.00
29/03/2023	9:05 p. m.	10:43 p. m.	15.00	755.97	98.00	1.63	9.18	30.00
30/03/2023	12:10 p. m.	1:56 p. m.	25.00	1,259.95	106.00	1.77	14.15	50.00
04/04/2023	4:05 p. m.	5:22 p. m.	10.00	503.98	77.00	1.28	7.79	20.00
05/04/2023	2:08 p. m.	3:03 p. m.	5.00	251.99	55.00	0.92	5.45	10.00
08/04/2023	3:06 p. m.	4:10 p. m.	5.00	251.99	64.00	1.07	4.69	10.00
11/04/2023	2:18 p. m.	3:16 p. m.	10.00	503.98	58.00	0.97	10.34	20.00
14/04/2023	1:25 p. m.	2:06 p. m.	5.00	251.99	41.00	0.68	7.32	10.00
15/04/2023	7:49 p. m.	10:58 p. m.	20.00	1,007.96	189.00	3.15	6.35	40.00
16/04/2023	2:09 p. m.	3:02 p. m.	5.00	251.99	53.00	0.88	5.66	10.00
17/04/2023	4:00 p. m.	6:26 p. m.	5.00	251.99	146.00	2.43	2.05	10.00
19/04/2023	2:14 p. m.	5:58 p. m.	15.00	755.97	224.00	3.73	4.02	30.00
20/04/2023	6:05 p. m.	9:10 p. m.	15.00	755.97	185.00	3.08	4.86	30.00
21/04/2023	11:22 a. m.	1:33 p. m.	10.00	503.98	131.00	2.18	4.58	20.00
24/04/2023	3:10 p. m.	6:15 p. m.	10.00	503.98	185.00	3.08	3.24	20.00
27/04/2023	4:00 p. m.	8:17 p. m.	5.00	251.99	257.00	4.28	1.17	10.00
25/05/2023	3:10 p. m.	4:40 p. m.	5.00	251.99	90.00	1.50	3.33	10.00
30/05/2023	9:18 p. m.	10:24 p. m.	10.00	503.98	66.00	1.10	9.09	20.00
09/06/2023	8:25 p. m.	10:43 p. m.	5.00	251.99	138.00	2.30	2.17	10.00
13/12/2023	7:30 p. m.	10:30 p. m.	3.00	151.19	180.00	3.00	1.00	6.00
16/12/2023	5:40 a. m.	6:50 a. m.	2.00	100.80	70.00	1.17	1.71	4.00
17/12/2023	6:50 a. m.	10:25 a. m.	10.00	503.98	215.00	3.58	2.79	20.00
18/12/2023	11:35 a. m.	12:40 p. m.	5.00	251.99	65.00	1.08	4.62	10.00
22/12/2023	1:10 p. m.	3:35 p. m.	2.00	100.80	145.00	2.42	0.83	4.00
25/12/2023	1:50 p. m.	3:15 p. m.	5.00	251.99	150.00	2.50	2.00	10.00
25/12/2023	7:30 p. m.	8:35 p. m.						
26/12/2023	12:00 p. m.	12:40 p. m.	10.00	503.98	40.00	0.67	15.00	20.00
27/12/2023	12:50 p. m.	1:30 p. m.	10.00	503.98	40.00	0.67	15.00	20.00
29/12/2023	4:30 p. m.	5:00 p. m.	15.00	755.97	30.00	0.50	30.00	30.00
30/12/2023	5:10 a. m.	5:50 a. m.	29.00	1,461.55	210.00	3.50	8.29	58.00
30/12/2023	1:30 p. m.	4:20 p. m.						
			Promedio	672.26	mm/año		Promedio	26.68

4.1.3 Cuantificar la pérdida anual de suelo mediante los métodos USLE y varillas de erosión.

Cuantificación de la pérdida anual del suelo mediante método USLE

Determinamos los factores que intervienen en la ecuación USLE utilizando los valores determinados en campo

- Factor de erosividad de la lluvia (R):

Verificamos que $KE > 25$ utilizando la ecuación 10 descrita anteriormente para poder utilizar la ecuación número 11 se debe cumplir con la condición mostrada.

$$KE = 29.8 - \frac{127.5}{26.68} = 25.02 \quad \text{ok cumple la condicion}$$

Como cumple la condición utilizamos la ecuación 11 para poder determinar el factor de erosividad R.

$$R = I_{30} \left(\frac{9.28 * P - 8.838}{1000} \right)$$
$$R = 26.68 \left(\frac{9.28 * 672.26 - 8.838}{1000} \right) = 166.20 \text{ Mj/mm/ha/h}$$

MJ/mm/ha/h: Esta unidad nos indica la cantidad de energía cinética por unidad de precipitación, por unidad de área y por unidad de tiempo. En otras palabras, nos dice qué tan "fuerte" es la lluvia en términos de su capacidad para erosionar el suelo.

- Factor de erodabilidad del suelo (K):

Para poder emplear estas ecuaciones necesitamos parámetros de las muestras de suelos los cuales se mandaron analizar en laboratorio del INIA Baños del Inca y se muestran a continuación verificar en ANEXO N°1.

Tabla 10: Resumen de análisis de suelos de muestras de parcelas

MUESTRA	Ph	MO (%)	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)	TEXTURA
MUESTRA 1	7.00	0.40	67	18	16	FRANCO ARENOSO
MUESTRA 2	7.40	0.20	71	18	12	FRANCO ARENOSO
MUESTRA 3	5.50	5.00	57	18	26	FRANCO ARCILLOSO
MUESTRA 4	6.20	2.00	67	16	18	FRANCO ARENOSO
MUESTRA 5	8.00	1.40	15	28	58	ARCILLOSO

Fuente: Resultados de laboratorio INIA

Ecuaciones del factor K, con la restricción de suelos con alto contenido de limo.

$$k_1 = 2.77 * 10^{-5} * \left((f_{si+vfsa}) * (100 - f_{ci}) \right)^{1.14} \quad \dots (EC. 17)$$

para $f_{si+vfsa} < 70\%$

$$K_1 = \frac{0.631 * 2.77 * 10^{-5} * \left((f_{si+vfsa}) * (100 - f_{ci}) \right)^{1.14} + 0.0024 * f_{si+vfsa} + 0.16}{f_{si+vfsa} + 0.16} \quad \dots (EC. 18), \quad \textit{para } f_{si+vfsa} > 70\%$$

Ecuaciones del factor K, con la restricción de suelos con alto contenido de materia orgánica.

$$K_2 = \frac{12 - f_{OM}}{10} \quad \dots (EC. 19), \quad \textit{para } f_{OM} < 4\%$$

$$K_2 = 0.8 \quad \textit{para } f_{OM} > 4\%$$

Ecuaciones del factor K, con la restricción de suelos con baja erodabilidad.

$$K_3 = K_1 * K_2 + 0.043 * (A - 2) + 0.033 * (P - 3) \quad \dots (EC. 19)$$

$$\textit{para } k_1 * k_2 > 0.2$$

$$k_3 = 0.091 - 0.34 * k_1 * k_2 + 1.79 * (k_1 * k_2)^2 + 0.24 * k_1 * k_2 * A + 0.033 * (P - 3) \quad \dots (EC. 20), \quad \textit{para } k_1 * k_2 < 0.2$$

Evaluando las condiciones para poder utilizar las ecuaciones del cálculo del factor K1

$f_{si+vf_{sa}}$ **MUESTRA 1** =18+67=85 >70% se utilizará la ecuación N° 18 para determinación del k1.

$f_{si+vf_{sa}}$ **MUESTRA 2** =18+71=89 >70% se utilizará la ecuación N° 18 para determinación del k1.

$f_{si+vf_{sa}}$ **MUESTRA 3** =18+57=75 >70% se utilizará la ecuación N° 18 para determinación del k1.

$f_{si+vf_{sa}}$ **MUESTRA 4** =16+67=83 >70% se utilizará la ecuación N° 18 para determinación del k1.

$f_{si+vf_{sa}}$ **MUESTRA 5** =28+15=43 <70% se utilizará la ecuación N° 17 para determinación del k1.

Evaluando las condiciones para poder utilizar las ecuaciones del cálculo del factor K2

MUESTRA 1 =%MO=0.4 < 4% se utilizará la ecuación N° 19 para determinación del k2.

MUESTRA 2 =%MO=0.2 < 4% se utilizará la ecuación N° 19 para determinación del k2.

MUESTRA 3 =%MO=5 > 4% se asumirá k2=0.8

MUESTRA 4 =%MO=2 < 4% se utilizará la ecuación N° 19 para determinación del k2.

MUESTRA 5 =%MO=1.4 < 4% se utilizará la ecuación N° 19 para determinación del k2.

Ahora determinamos el factor K final antes de ello determinaremos **A**: índice de estructura de suelo (1... 4). y **P**: índice de permeabilidad (1...6). Haciendo uso de los siguientes cuadros

Tabla 11 Códigos USLE de permeabilidad del suelo.

Código USLE	Categoría de Permeabilidad
1	Rápida (más de 12,7 cm-h ⁻¹)
2	Moderada a rápida (6,3 a 12,7 cm-h ⁻¹)
3	Moderada (entre 2 y 6,3 cm-h ⁻¹)
4	Lenta a moderada (entre 0,5 y 2 cm-h ⁻¹)
5	Lenta (entre 0,13 y 0,5 cm-h ⁻¹)
6	Muy lenta (menor a 0,13 cm-h ⁻¹)

Fuente: (Vaezi et al.,2008).

Tabla 12: Códigos de estructura del suelo USLE

Código USLE	Tipo de estructura	
1	Granular muy fina	
2	Granular fina	
3	Granular media a gruesa	
4	Bloques	
	Laminar	
	Masiva	

Fuente: (Vaezi et al.,2008).

Tabla 13: Códigos de estructura y permeabilidad del suelo

MUESTRA	SUELO	A	P
MUESTRA 1		4	2
MUESTRA 2		3	2
MUESTRA 3		3	3
MUESTRA 4		3	2
MUESTRA 5		3	4

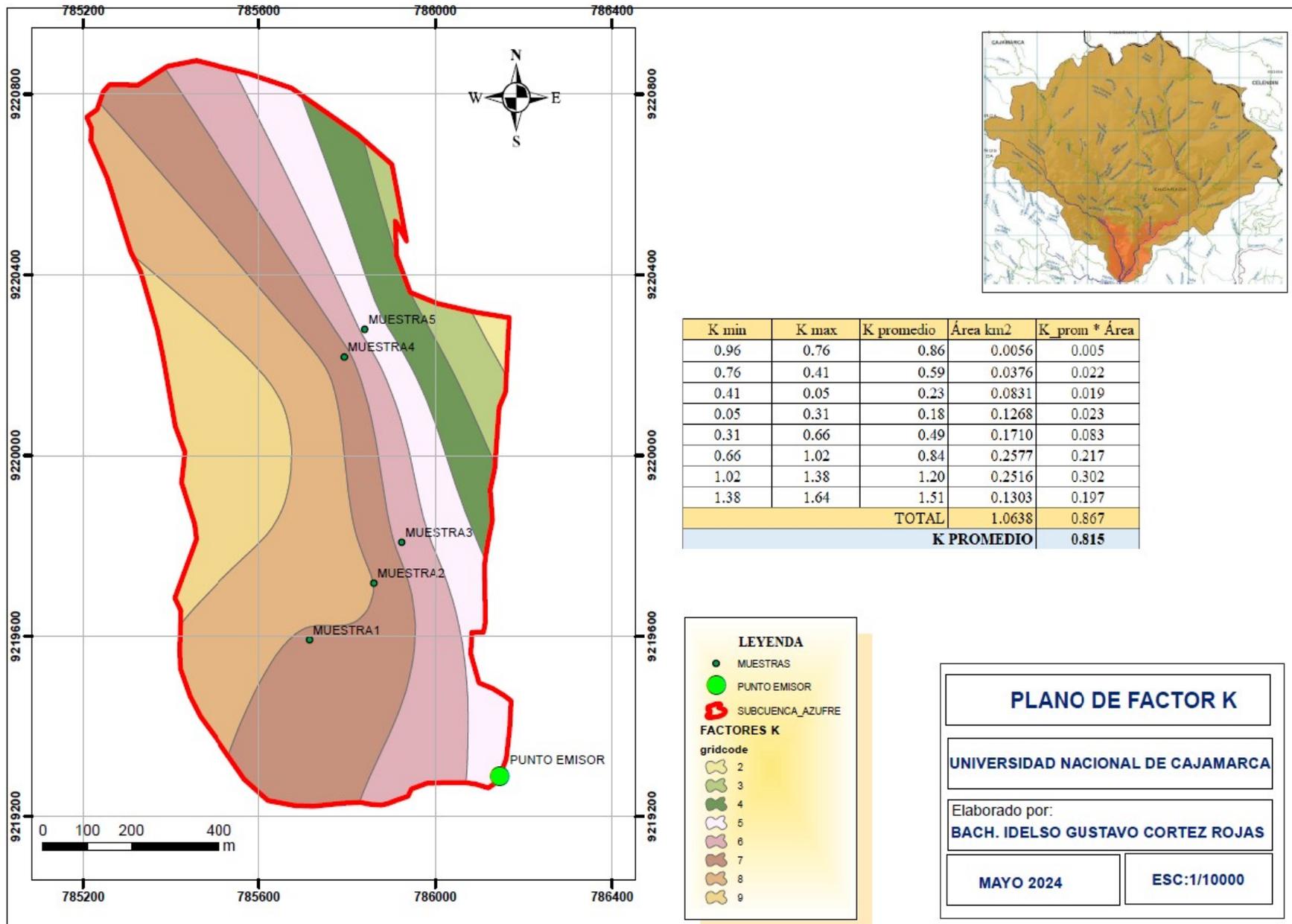
Fuente: Resultados de laboratorio INIA

Tabla 14:determinación del factor K para las muestras evaluadas

MUESTRA	k1	k2	k1*k2	A	P	FACTOR K
MUESTRA 1	0.80	1.16	0.92	4	2	0.98
MUESTRA 2	0.85	1.18	1.01	3	2	1.02
MUESTRA 3	0.66	0.80	0.53	3	3	0.57
MUESTRA 4	0.77	1.00	0.77	3	2	0.78
MUESTRA 5	0.14	1.06	0.15	3	4	0.22

Tabla 15:Factores k promedio de la subcuenca azufre

K min	K max	K promedio	Área km2	K_prom * Área
0.96	0.76	0.86	0.0056	0.005
0.76	0.41	0.59	0.0376	0.022
0.41	0.05	0.23	0.0831	0.019
0.05	0.31	0.18	0.1268	0.023
0.31	0.66	0.49	0.1710	0.083
0.66	1.02	0.84	0.2577	0.217
1.02	1.38	1.20	0.2516	0.302
1.38	1.64	1.51	0.1303	0.197
TOTAL			1.0638	0.867
K PROMEDIO				0.815



K min	K max	K promedio	Área km2	K_prom * Área
0.96	0.76	0.86	0.0056	0.005
0.76	0.41	0.59	0.0376	0.022
0.41	0.05	0.23	0.0831	0.019
0.05	0.31	0.18	0.1268	0.023
0.31	0.66	0.49	0.1710	0.083
0.66	1.02	0.84	0.2577	0.217
1.02	1.38	1.20	0.2516	0.302
1.38	1.64	1.51	0.1303	0.197
TOTAL			1.0638	0.867
K PROMEDIO				0.815

LEYENDA

- MUESTRAS
- PUNTO EMISOR
- ▭ SUBCUENCA_AZUFRE

FACTORES K

gridcode

- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9

PLANO DE FACTOR K

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Elaborado por:
BACH. IDELSO GUSTAVO CORTEZ ROJAS

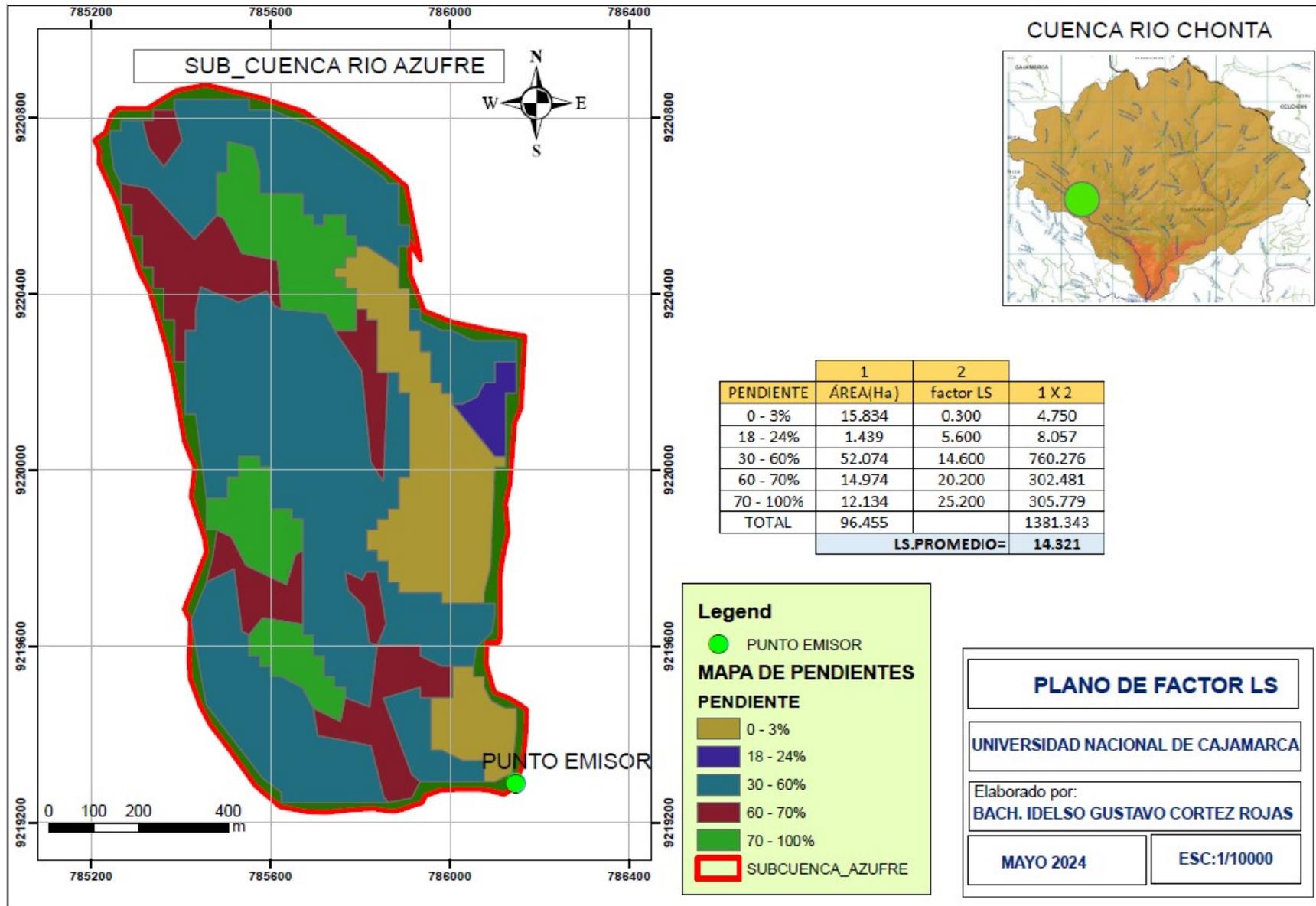
MAYO 2024 **ESC:1/10000**

- Factor de pendiente y longitud de ladera (LS):

Elaboramos un TIN de la subcuenca tomando las curvas de nivel como referencia; luego, creamos un Roster, creamos el mapa de pendientes y reclasificamos según la tabla número 4 para poder asignar los valores LS hacemos un promedio ponderado con áreas y factores, para la subcuenca en estudio.

Tabla 16:Factor LS promedio de la subcuenca azufre.

	1	2	
PENDIENTE	ÁREA(Ha)	factor LS	1 X 2
0 - 3%	15.83	0.30	4.75
18 - 24%	1.44	5.60	8.06
30 - 60%	52.07	14.60	760.28
60 - 70%	14.97	20.20	302.48
70 - 100%	12.13	25.20	305.78
TOTAL	96.45		1381.34
LS.PROMEDIO=			14.321

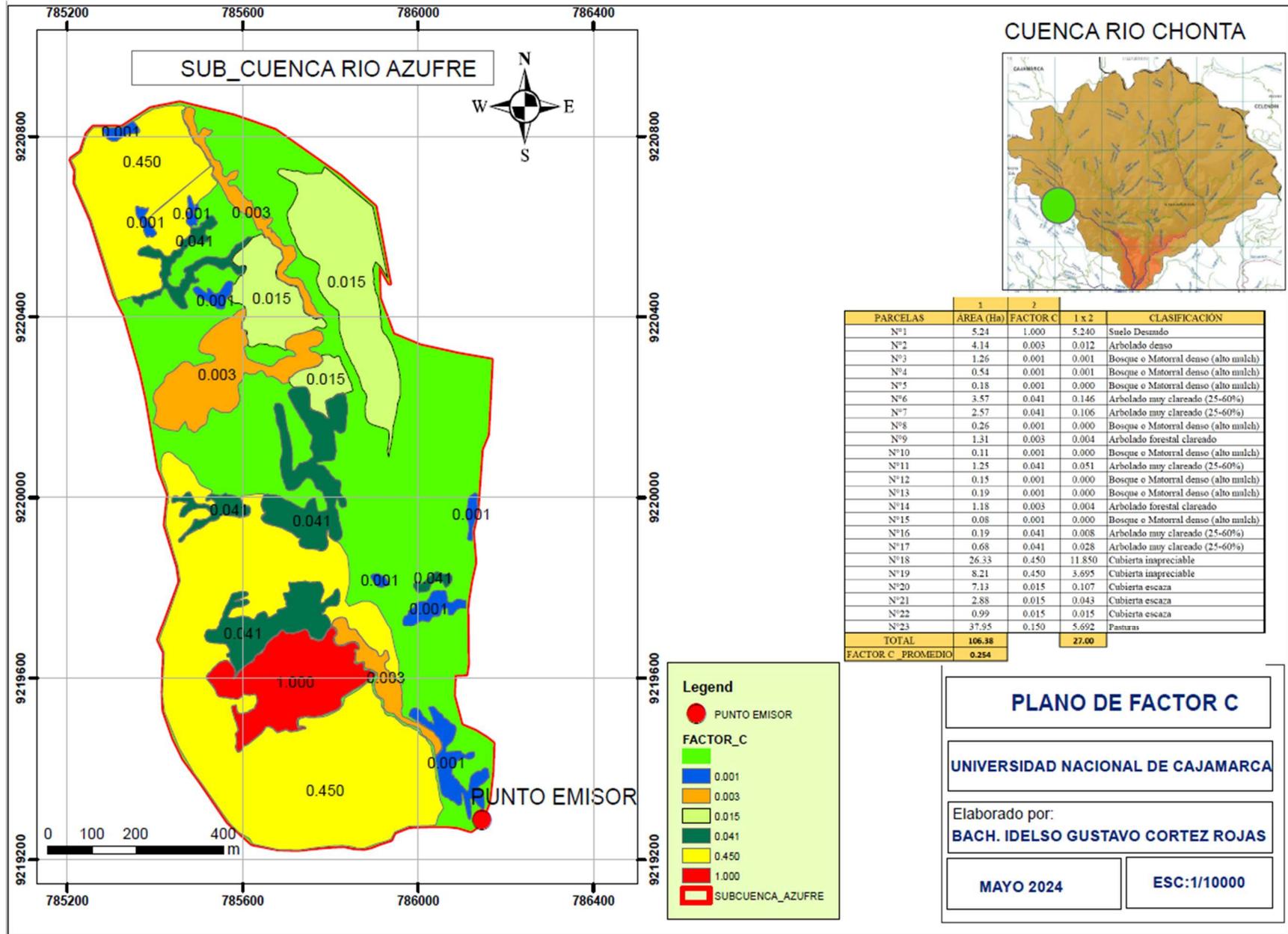


- Factor de cobertura y manejo (C):

Se obtiene de las tablas predefinidas para diferentes tipos de cobertura vegetal haciendo uso de la tabla N°8 definida por Wischmeier y Smith ,1978, obteniendo lo siguiente.

Tabla 17: Factor C promedio de la subcuenca azufre.

PARCELAS	1	2	1 x 2	CLASIFICACIÓN
	ÁREA (Ha)	FACTOR C		
N°1	5.24	1.000	5.240	Suelo Desnudo
N°2	4.14	0.003	0.012	Arbolado denso
N°3	1.26	0.001	0.001	Bosque o Matorral denso (alto mulch)
N°4	0.54	0.001	0.001	Bosque o Matorral denso (alto mulch)
N°5	0.18	0.001	0.000	Bosque o Matorral denso (alto mulch)
N°6	3.57	0.041	0.146	Arbolado muy clareado (25-60%)
N°7	2.57	0.041	0.106	Arbolado muy clareado (25-60%)
N°8	0.26	0.001	0.000	Bosque o Matorral denso (alto mulch)
N°9	1.31	0.003	0.004	Arbolado forestal clareado
N°10	0.11	0.001	0.000	Bosque o Matorral denso (alto mulch)
N°11	1.25	0.041	0.051	Arbolado muy clareado (25-60%)
N°12	0.15	0.001	0.000	Bosque o Matorral denso (alto mulch)
N°13	0.19	0.001	0.000	Bosque o Matorral denso (alto mulch)
N°14	1.18	0.003	0.004	Arbolado forestal clareado
N°15	0.08	0.001	0.000	Bosque o Matorral denso (alto mulch)
N°16	0.19	0.041	0.008	Arbolado muy clareado (25-60%)
N°17	0.68	0.041	0.028	Arbolado muy clareado (25-60%)
N°18	26.33	0.450	11.850	Cubierta inapreciable
N°19	8.21	0.450	3.695	Cubierta inapreciable
N°20	7.13	0.015	0.107	Cubierta escasa
N°21	2.88	0.015	0.043	Cubierta escasa
N°22	0.99	0.015	0.015	Cubierta escasa
N°23	37.95	0.150	5.692	Pasturas
TOTAL	106.38		27.00	
FACTOR C PROMEDIO	0.254			



- Factor de prácticas de conservación (P):
En la subcuenca Azufre no se realizan prácticas de conservación de suelos que estén considerados dentro del USLE. Por ello, se le asigna un valor de uno (1).
- Cálculo de la pérdida anual de suelo (t/ha/año)
La tasa de erosión se cuantifico usando el producto de los factores R, K, LS, C y P para

$$A = R * K * L * S * C * P \quad \dots (Ec. 9)$$

Donde

$$R = 166.20 \text{ Mj/mm/ha/h}$$

$$K = 0.815$$

$$L * S = 14.321$$

$$C = 0.254$$

$$P = 1$$

$$A = 166.20 * 0.815 * 14.321 * 0.254 * 1$$

$$A = 492.71 \text{ t/ha/año}$$

4.1.4 Cuantificación de la pérdida anual del suelo mediante varillas de erosión.

- **Instalación de varillas de fierro**

Varillas de fierro de 30 cm de longitud, con un diámetro de 6 mm

Figura 19: varillas de fierro de 30cm



- Erosión de parcela N°1

Figura 20: Insatacion de varillas de erosión en parcela N°1



Figura 21: Detalle de parcelas instaladas

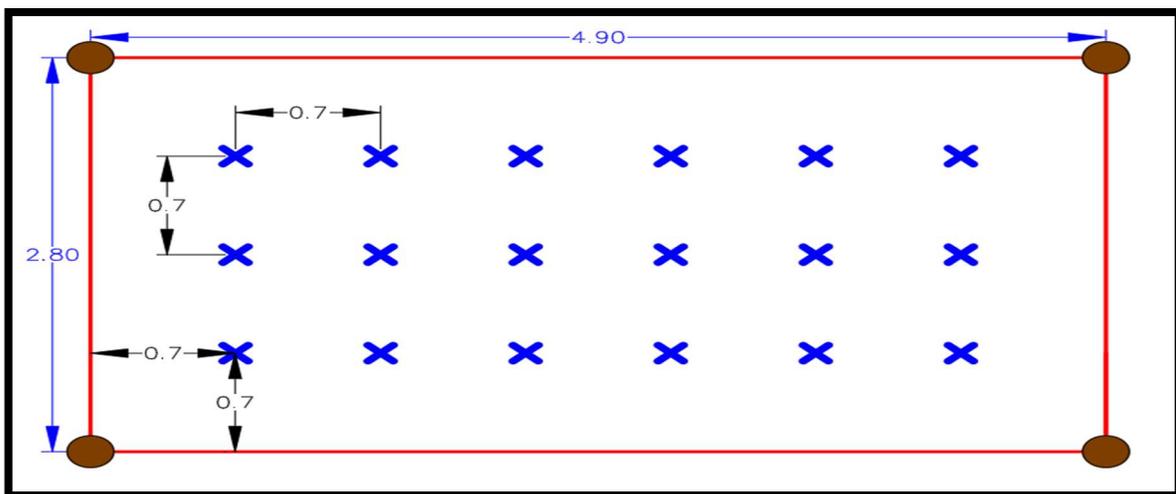


Tabla 18: Datos de campo parcela N°1

Dic-23	PARCELA 1			DAP (g/cm3)
COLUMNA / FILA	1	2	3	
1	15.5	15.8	16	1.47
2	15.2	15.3	15.4	1.47
3	14.5	14.4	14.6	1.47
4	15.5	15.8	15.7	1.47
5	15.2	15.4	15.3	1.47
6	14.5	14.6	14.8	1.47

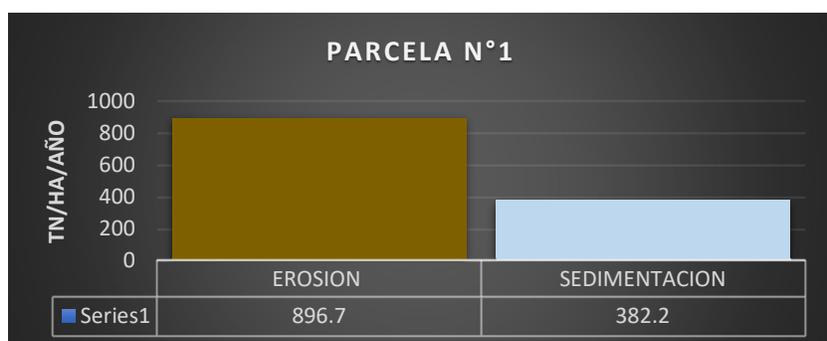
Calculando la erosión y sedimentación de cada varilla los valores positivos indican erosión los negativos sedimentación a continuación mostramos el cuadro de resultados, dichos valores se obtuvieron haciendo uso de la ecuación N°22

Tabla 19: Valores de erosión y sedimentación parcela N°1

Dic-23	PARCELA 1		
COLUMNA / FILA	1	2	3
1	73.5	117.6	147
2	29.4	44.1	58.8
3	-73.5	-88.2	-58.8
4	73.5	117.6	102.9
5	29.4	58.8	44.1
6	-73.5	-58.8	-29.4

Del cuadro anterior podemos calcular que la erosión es de 896.70 Tn/ha/año y sedimentación de 382.2 Tn/ha/año; haciendo una erosión neta de: 514.50 Tn/ha/año que según la tabla N°3 es una erosión muy alta.

Gráfico N° 1: Erosión y sedimentación parcela N°1



- **Erosión de parcela N°2**

Figura 22: Instalación de varillas de erosión en parcela N°2



Tabla 20: Datos de campo parcela N°2

Dic-23	PARCELA 2			DAP (g/cm3)
COLUMNA /FILE	1	2	3	
1	15.6	14.8	15.5	1.50
2	16	16.8	14.4	1.50
3	15.2	15.9	16.9	1.50
4	15.4	14.5	14.2	1.50
5	15.3	14.8	15.7	1.50
6	14	13.8	14	1.50

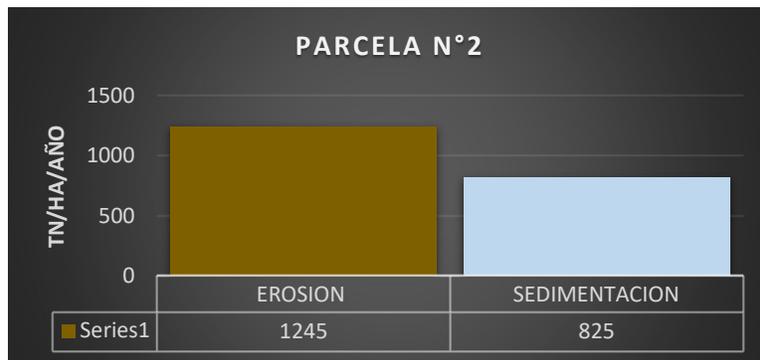
Calculando la erosión y sedimentación de cada varilla los valores positivos indican erosión los negativos sedimentación a continuación mostramos el cuadro de resultados , dichos valores se obtuvieron haciendo uso de la ecuación N°22

Tabla 21: Valores de erosión y sedimentación parcela N°2

Dic-23	PARCELA 2		
COLUMNA /FILA	1	2	3
1	90.0	-30.0	75.0
2	150.0	270.0	-90.0
3	30.0	135.0	285.0
4	60.0	-75.0	-120.0
5	45.0	-30.0	105.0
6	-150.0	-180.0	-150.0

Del cuadro anterior podemos calcular que la erosión es de 1245 Tn/ha/año y sedimentación de 825 Tn/ha/año; haciendo una erosión neta de: 420 Tn/ha/año que según la tabla N°3 es una erosión muy alta.

Gráfico N° 2:Erosión y sedimentación parcela N°2



- **Erosión de parcela N°3**

Figura 23: Instalación de varillas de erosión en parcela N°3



Tabla 22: Datos de campo parcela N°3

Dic-23	PARCELA 3			DAP (g/cm3)
COLUMNA / FILA	1	2	3	
1	15.9	15.8	15.4	1.41
2	16.4	15.8	15.5	1.41
3	15.6	15.3	14.5	1.41
4	15.7	14.6	15.4	1.41
5	15.1	14.4	14.3	1.41
6	14.2	14.5	14.6	1.41

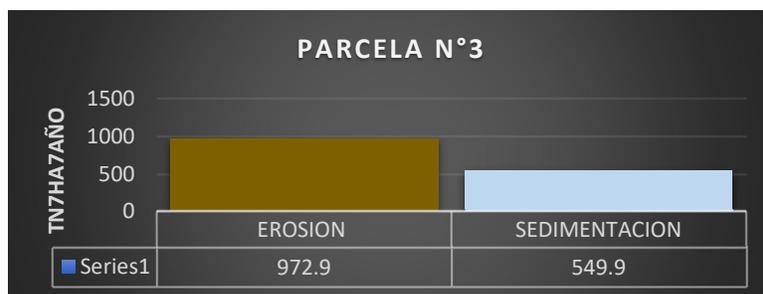
Calculando la erosión y sedimentación de cada varilla los valores positivos indican erosión, los negativos sedimentación a continuación mostramos el cuadro de resultados, dichos valores se obtuvieron haciendo uso de la ecuación N°22.

Tabla 23: Valores de erosión y sedimentación parcela N°3

Dic-23	PARCELA 3		
COLUMNA / FILA	1	2	3
1	126.9	112.8	56.4
2	197.4	112.8	70.5
3	84.6	42.3	-70.5
4	98.7	-56.4	56.4
5	14.1	-84.6	-98.7
6	-112.8	-70.5	-56.4

Del cuadro anterior podemos calcular que la erosión es de 972.9 Tn/ha/año y sedimentación de 549.9 Tn/ha/año; haciendo una erosión neta de: 423 Tn/ha/año que según la tabla N°3 es una erosión muy alta.

Gráfico N° 3: Erosión y sedimentación parcela N°3



- **Erosión de parcela N°4**

Figura 24: Instalación de varillas de erosión en parcela N°4



Tabla 24: Datos de campo parcela N°4

Dic-23	PARCELA 4			DAP (g/cm3)
COLUMNA / FILA	1	2	3	
1	15.8	15.7	15.6	1.47
2	15.6	15.5	15.6	1.47
3	15.2	15.1	15.3	1.47
4	14.5	15.5	14.6	1.47
5	15.4	15.2	15.6	1.47
6	14.1	14.3	14.4	1.47

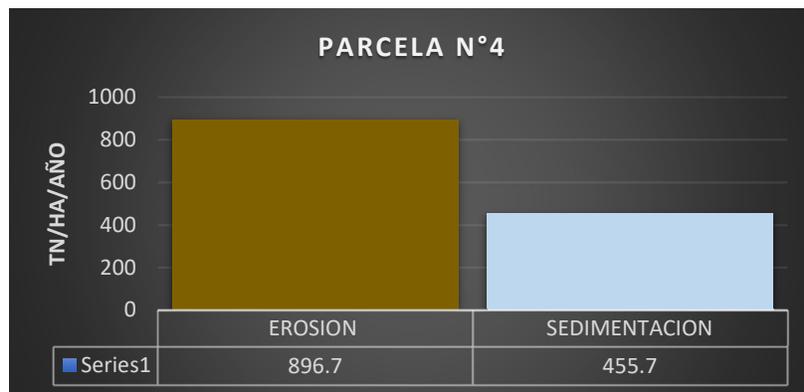
Calculando la erosión y sedimentación de cada varilla los valores positivos indican erosión, los negativos sedimentación a continuación mostramos el cuadro de resultados, dichos valores se obtuvieron haciendo uso de la ecuación N°22.

Tabla 25: Valores de erosión y sedimentación parcela N°4

Dic-23	PARCELA 4		
COLUMNA / FILA	1	2	3
1	117.6	102.9	88.2
2	88.2	73.5	88.2
3	29.4	14.7	44.1
4	-73.5	73.5	-58.8
5	58.8	29.4	88.2
6	-132.3	-102.9	-88.2

Del cuadro anterior podemos calcular que la erosión es de 896.70 Tn/ha/año y sedimentación de 455.70 Tn/ha/año; haciendo una erosión neta de: 441.0 Tn/ha/año que según la tabla N°3 es una erosión muy alta.

Gráfico N° 4: Erosión y sedimentación parcela N°4



- **Erosión de parcela N°5**

Figura 25: Insalacion de varillas de erosión en parcela N°5



Tabla 26: Datos de campo parcela N°5

Dic-23	PARCELA 5			DAP (g/cm3)
COLUMNA /FILA	1	2	3	
1	15.5	15.5	15.2	1.17
2	15.6	15.6	15.6	1.17
3	15.4	15.7	15.7	1.17
4	16	15.1	15.2	1.17
5	14.2	16	14.8	1.17
6	14	14.4	14.2	1.17

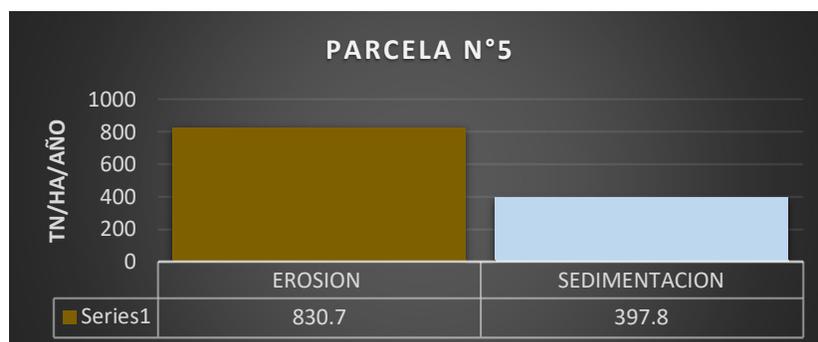
Calculando la erosión y sedimentación de cada varilla los valores positivos indican erosión, los negativos sedimentación a continuación mostramos el cuadro de resultados, dichos valores se obtuvieron haciendo uso de la ecuación N°22.

Tabla 27: Valores de erosión y sedimentación parcela N°5

Dic-23	PARCELA 5		
COLUMNA /FILA	1	2	3
1	58.5	58.5	23.4
2	70.2	70.2	70.2
3	46.8	81.9	81.9
4	117	11.7	23.4
5	-93.6	117	-23.4
6	-117	-70.2	-93.6

Del cuadro anterior podemos calcular que la erosión es de 830.70 Tn/ha/año y sedimentación de 397.8 Tn/ha/año; haciendo una erosión neta de: 432.90 Tn/ha/año que según la tabla N°3 es una erosión muy alta.

Gráfico N° 5: Erosión y sedimentación parcela N°5



4.1.5 Analizar la variación entre los métodos de varillas de erosión y USLE.

Los resultados obtenidos mediante el método de varillas muestran una variabilidad en las tasas de erosión entre las diferentes parcelas, lo que sugiere que los procesos erosivos están

influenciados por las características locales del terreno. Por otro lado, el método USLE proporcionó una estimación ligeramente superior de la pérdida de suelo.

Parcela N°1: 514.15 Tn/ha/año varia en un 4.35 % con respecto a USLE 492.71 Tn/ha/año.

Parcela N°2: 420.00 Tn/ha/año varia en un 14.76 % con respecto USLE 492.71 Tn/ha/año.

Parcela N°3: 423.00 Tn/ha/año varia en un 14.15 % con respecto USLE 492.71 Tn/ha/año.

Parcela N°4: 441.00 Tn/ha/año varia en un 10.50 % con respecto USLE 492.71 Tn/ha/año.

Parcela N°5: 432.90 Tn/ha/año varia en un 12.14 % con respecto USLE 492.71 Tn/ha/año.

Para tener un análisis más detallado realizaremos una prueba t o un análisis de varianza, para determinar si las diferencias entre los valores de erosión son estadísticamente significativas.

- Realizando prueba T-student

Datos :

Datos mediante método varillas de erosión (muestra)

PARCELA 1: 514.50 Tn/Ha/año

PARCELA 2: 420.00 Tn/Ha/año

PARCELA 3: 423.00 Tn/Ha/año

PARCELA 4: 441.00 Tn/Ha/año

PARCELA 5: 432.90 Tn/Ha/año

Datos:

Método USLE: 492.71 Tn/Ha/año (valor a comparar)

Tenemos que determinar si la media de la muestra es estadísticamente diferente del valor a comparar.

*Cálculo de la media de la muestra $\bar{x} = 446.28$

*Cálculo de la desviación estándar de la muestra $s = 39.03$

*Nivel de confianza del 95%

$$1 - \alpha = 0.95$$

$$\alpha = 0.05$$

$$\alpha/2=0.025$$

*Grados de libertad = $n-1 = 5-1 = 4$

*Con valor $\alpha/2$ y los grados de libertad, hallamos el valor “t” en la tabla T student dándonos un valor de $=2.7765$

*Límite inferior

$$\bar{x} - t * \frac{s}{\sqrt{n}} = 446.28 - 2.7765 * \frac{39.03}{\sqrt{5}} = 397.82$$

*Límite superior

$$\bar{x} + t * \frac{s}{\sqrt{n}} = 446.28 + 2.7765 * \frac{39.03}{\sqrt{5}} = 494.74$$

De lo anterior podemos deducir que

El valor USLE: 492.71 Tn/Ha/año está dentro de los rangos por lo cual Basándonos en los resultados de la prueba t-student, podemos decir que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de las mediciones de erosión obtenidas mediante el método de varillas y el valor estimado por el método USLE. Esto sugiere que ambos métodos podrían estar proporcionando estimaciones comparables de la erosión en el área de estudio.

4.1.6 Determinar un factor de relación entre el método indirecto USLE y el directo varillas de erosión.

Procedemos a determinar el factor de relación

Datos

Erosión método USLE = 492.71 Tn/Ha/año

Erosión método varillas de erosión = 446.28 Tn/Ha/año (valor promedio de las 5 parcelas en estudio)

FACTOR DE RELACION = $446.28/492.71 = 0.91$

De lo anterior podemos observar que el factor de relación obtenido es de 0.91

CAPITULO V:CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se estimó la erosión hídrica en la subcuenca del río Azufre durante el año 2023 empleando el método USLE y la técnica de la varilla de erosión. Los resultados obtenidos indican una alta tasa de erosión, con valores promedio de 492.71 Tn/ha/año y 446.28 Tn/ha/año, respectivamente, según cada método.
- Se categorizó el área de estudio de la subcuenca, determinando un área de 106.38 ha y un perímetro de 4.72 km. La subcuenca presenta una topografía extremadamente abrupta, con una pendiente promedio de 47.59%. Esta característica, unida a un coeficiente orográfico de 9.03, indica una alta energía potencial y una mayor dinámica hidrológica, lo que la vuelve altamente susceptible a procesos erosivos e inundaciones. Por otro lado, la forma ligeramente redondeada de la cuenca, reflejada en un coeficiente de compacidad de 1.28, sugiere una respuesta hidrológica relativamente rápida: es decir, el agua de lluvia se concentra más rápidamente en el cauce principal. Adicionalmente, la subcuenca presenta una altitud media de 3099.79 metros, lo que la sitúa en una zona de montaña. Esta característica, combinada con una relación de confluencias de 1, nos indica una red de drenaje relativamente simple y una rápida concentración del flujo. La escasa cobertura vegetal, representada por un factor de cobertura de 0.254, agravada por la topografía abrupta, aumenta la vulnerabilidad de la cuenca a la erosión. Finalmente, la pendiente del cauce principal de 1.43% indica una inclinación moderada, lo cual influye en la velocidad del flujo y el tiempo de concentración del agua.
- Se identificaron cinco áreas con alto potencial de erosión en la subcuenca, donde se establecieron parcelas de erosión de 4.90 x 2.80 m, como herramienta para cuantificar y monitorear los procesos erosivos.

- Se cuantifico la erosión hídrica en la subcuenca del río Azufre mediante el método USLE arrojó una pérdida de suelo promedio de 492.71 Tn/ha/año. Al emplear el método de varillas en cinco parcelas, se obtuvieron valores más específicos: 514.50, 420.00, 423.00, 441.00 y 432.90 Tn/ha/año, respectivamente. Haciendo un promedio de 446.28 dicho valor difiere en un 9.42 % con respecto al primer método, Estos resultados, aunque variables entre parcelas, confirman la alta tasa de erosión en la zona y evidencian la utilidad de ambos métodos para evaluar este proceso cada parcela.
- Se analizó la variación de ambos métodos mediante una prueba t-student con un nivel de confianza del 95%, se encontró que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre el valor promedio obtenido por el método USLE y los valores promedio de las parcelas. Esto indica que el método USLE proporciona una estimación aceptable de la erosión hídrica en la zona de estudio.
- Se determino el factor de relación entre el método indirecto USLE y el método directo varillas de erosión, dando un valor de 0.91

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar prácticas de conservación de suelo y agua a nivel de parcela. Estas incluyen técnicas como terrazas, curvas a nivel, cultivos en franjas y rotación de cultivos, las cuales ayudan a reducir la escorrentía y la pérdida de suelo.
- Se recomienda la reforestación y revegetación con especies nativas, así como el manejo adecuado del pastoreo, estos contribuirán a estabilizar el suelo y aumentar su capacidad de infiltración.
- Se recomienda promover activamente la participación de las comunidades locales en todas las iniciativas de conservación. Para lograr esto, es fundamental fortalecer la educación ambiental y capacitar a los agricultores y habitantes de la cuenca en prácticas de conservación de suelos. De esta manera, se garantiza una mayor apropiación de las acciones implementadas y se promueve la sostenibilidad a largo plazo.

CAPITULO VI: BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Alva, J. M. (1976). Agentes Erosivos y Tipos de Erosión. INIA, Temuco, Chile. recuperado el 26 de marzo de 2015.
- ❖ Buckman, & Brady. (1977). Naturaleza y propiedades del suelo. Barcelona: Montaver y Simón S.A. Recuperado el 12 de Setiembre de 2015.
- ❖ Cahuana Andía, A. (2009). Material de Apoyo Didáctico para la Enseñanza y Aprendizaje de la Asignatura de Hidrología. Cochabamba. Bolivia.
- ❖ CIAT. (2005). Manual de métodos sencillos para estimar erosión hídrica. Documento No. 502, Nicaragua.
- ❖ Echevarría, H., Picone, L., & Videla, C. (2014). Edafología Agrícola - Guía de Trabajos Prácticos. Universidad Nacional del Mar de la Plata, Facultad de Ciencias Agrarias, Balcarce.
- ❖ Ellenberg, H. (1983). Desarrollo sin destruir "Respuestas de un Ecólogo a 15 preguntas de Agrónomos y Planificadores Bolivianos". Universidad Mayor de San Andrés, Instituto de Ecología, La Paz, Bolivia.
- ❖ Fattorelli, S. y Fernández, P. (2011). Diseño Hidrológico. Associazione Italiana Di Idronomia, 33 pp.
- ❖ FEDERACAFÉ, F. N. (1975). Manual de conservación de suelos de ladera. Chinchiná: Cenicafé.
- ❖ Hudson, N. (1982). Conservación del Suelo. Barcelona: Reverté.
- ❖ Imeson, A., & Curfs, M. (2004). La erosión del suelo, Conservación del suelo a través del manejo de su estructura y su contenido de humedad.
- ❖ Jordán López, A. (2005 - 2006). Manual de Edafología. Guía del Curso Edafología, Universidad de Sevilla, Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Sevilla. Recuperado el 13 de Setiembre de 2015.
- ❖ Labrière, N., Locatelli, B., Laumonier, Y., Freycon, V., & Bernoux, M. (1 de mayo de 2015). Soil erosion in the humid tropics: A systematic quantitative review. Agriculture, Ecosystems & Environment, 203, 127-139. Recuperado el 14 de Setiembre de 2015.

- ❖ Loredó, O. (1986). Efecto de la aplicación de estiércol caprino sobre la estabilidad de agregados del suelo. Reporte Final de problema Especial., Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Física de Suelos, Saltillo, México.
- ❖ Llerena Pinto, C. (1988). Uso de varillas para medir la erosión hídrica. *Revista Forestal*, 15(2), 47-57. Recuperado el 10 de Setiembre de 2015.
- ❖ Mancilla Escobar, G. (2008). Uso de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE) en el Campo Forestal. Apuntes de Docentes, Universidad de Chile, Departamento de Silvicultura, Chile.
- ❖ Nearing, M., Pruski, F., & O'Neal, M. (2004). Expected climate change impacts on soil erosion rates: A review. *Journal of Soil and Water Conservation*, 59(1), 43-50.
- ❖ Ormachea, M., & Llerena Pinto, C. A. (1988). Erosión hídrica en el bosque húmedo tropical de Dantas. *Revista Forestal del Perú*, 19(1), 19-34.
- ❖ Oyarzun Ortega, C. E. (1993). Estimación de los procesos de erosión en un ambiente montañoso de la cuenca del río Bío-Bío, IX Región, Chile. Recuperado el 12 de Setiembre de 2015.
- ❖ Pidwirny, M. (2006). "Erosion and deposition in fundamentals of physical geography" (en línea). Kelowna, Canadá.
- ❖ Pizarro, R., Morales, C., Vega, L., Olivares, C., Valdés, R., & Balocchi, F. (2009). Propuesta de un Modelo de Estimación de Erosión Hídrica en la Región de Coquimbo, Chile. Centro Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe, Coquimbo. Universidad de Talca.
- ❖ Ramos Taípe, C. L. (2001). Modelamiento Ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del río Cañete y determinación del mapa de erosión (SIG). Resumen de Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- ❖ Shabani, F., Kumar, L., & Esmali, A. (agosto de 2013). Improvement to the prediction of the USLE factor. *Geomorphology*, 204, 229-234.
- ❖ Vaezi, A., Sadeghi, S., Bahrami, H., & Mahdian, M. (2008). Modeling the USLE Kfactor For calcareous soils in northwestern Iran. *Geomorphology* (97), 414-423.
- ❖ William Gámez- (2010). Texto Básico de Hidrología: Cuenca Hidrográfica. Universidad Nacional Agraria, Managua, 26-29 pp.
- ❖ Wischmeier, W. H., & Smith. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses. *Supersedes Agriculture Handbook*, 58.

- ❖ Yataco Pérez, A. (2006). Evaluación Cuantitativa de la Erosión Hídrica Utilizando Varillas de Erosión en Suelos con Diferentes Grados de Cobertura Vegetal en la Comunidad Campesina de Yuracmayo, Lima. Lima, Lima, Perú: UNALM.

LINKOGRAFIA

- ❖ FAO (1990). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
Disponible en: <http://www.fao.org/soils-portal/degradacion-del-suelo/es/>
- ❖ FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos (Cuarta Edición ed.). Roma, Italia.
Recuperado el 23 de noviembre de 2014,
Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>

ANEXOS

ANEXOS 01: INFORME DE ENSAYOS DE SUELOS INIA



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 200



INFORME DE ENSAYO N° 121074-22/SU/ LABSAF - BAÑOS DEL INCA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Ciente : IDELSO GUSTAVO CORTEZ ROJAS
 Propietario / Productor : IDELSO GUSTAVO CORTEZ ROJAS
 Dirección del cliente : JR. FRATERNIDAD 265 - CAJAMARCA
 Solicitado por : Cliente
 Muestreado por : Cliente
 Número de muestra(s) : 05 muestras
 Producto declarado : Suelo Agrícola
 Presentación de las muestras(s) : Bolsas de plástico oscura
 Referencia del muestreo : Reservado por el Cliente
 Procedencia de muestra(s) : C.P. COMBAYO / CASERIO DE SANTA ROSA / ENCAÑADA / CAJAMARCA
 Fecha(s) de muestreo : 11/12/2022 / 13/12/2022
 Fecha de recepción de muestras(s) : 14/12/2022
 Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliarés - LABSAF Baños del Inca
 Fecha(s) de análisis : 16/12/2022
 Cotización del servicio : 363-22-BI
 Fecha de emisión : 29/12/2022

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6	
Código de Laboratorio	SU1356-EEBI-22	SU1356-EEBI-22	SU1357-EEBI-22	SU1358-EEBI-22	SU1359-EEBI-22		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo	: 11/12/2022	: 11/12/2022	: 11/12/2022	: 13/12/2022	: 13/12/2022		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	12:55	14:41	16:32	12:50	15:19		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	M-01	M-02	M-03	M-04	M-05		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados				
pH	unid. pH	0,1	7,0	7,4	5,5	6,2	8,0
Aluminio (**)	meq/100 g	--	--	--	0,05	0,05	--
Materia Orgánica	%	0,1	0,4	0,2	5,0	2,0	1,4
Fósforo (**)	ppm	--	22,27	20,75	18,10	23,72	31,99
Potasio (**)	ppm	--	280	300	205	240	330
Conductividad Eléctrica	mS/m	0,1	--	--	--	--	6,9
Análisis de Textura							
Arena (**)	%	--	67	71	57	67	15
Limo (**)	%	--	18	18	18	16	28
Arcilla (**)	%	--	16	12	26	18	58
Clase Textural (**)	---	--	FRANCO ARENOSO	FRANCO ARENOSO	FRANCO ARCILLO	FRANCO ARENOSO	ARCILLOSO
Parametros hídricos							
Capacidad de campo (**)	%	--	14,50	12,67	19,07	15,13	35,08
Punto de marchitez (**)	%	--	7,49	6,34	10,36	7,89	20,43
Agua disponible (**)	%	--	7,01	6,33	8,70	7,24	14,65
Densidad aparente (**)	g/ml	--	1,47	1,50	1,41	1,47	1,17



INFORME DE ENSAYO
N° 121074-22/SU/ LABSAF - BAÑOS DEL INCA

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH
Conductividad Eléctrica	ISO 11265, First Edition, 1994. Soil Quality. Determination of the Specific Electrical Conductivity
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.9 AS-06 2000. Determinación de la textura del suelo por procedimiento de Bouyoucos.
Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.7 AS-07, 2000. Contenido de Materia Orgánica por el método de Walkley y Black.
Fósforo	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.7 AS-07, 2000. Contenido de Materia Orgánica por el método de Walkley y Black.
Potasio	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.7 AS-07, 2000. Contenido de Materia Orgánica por el método de Walkley y Black.

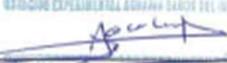
IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento
 - Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente, sin el consentimiento del cliente.
 - Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
 - Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron.
 - Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
 - El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
 - Medición de pH realizada a 25 °C
- (*) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.
 (**) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA.
 (***) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA, debido a que la muestra no es idónea para el ensayo.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente informe de ensayo ha sido autorizado por: M. Sc. Marieta Cervantes Peralta - Responsable del laboratorio del LABSAF Baños del Inca.

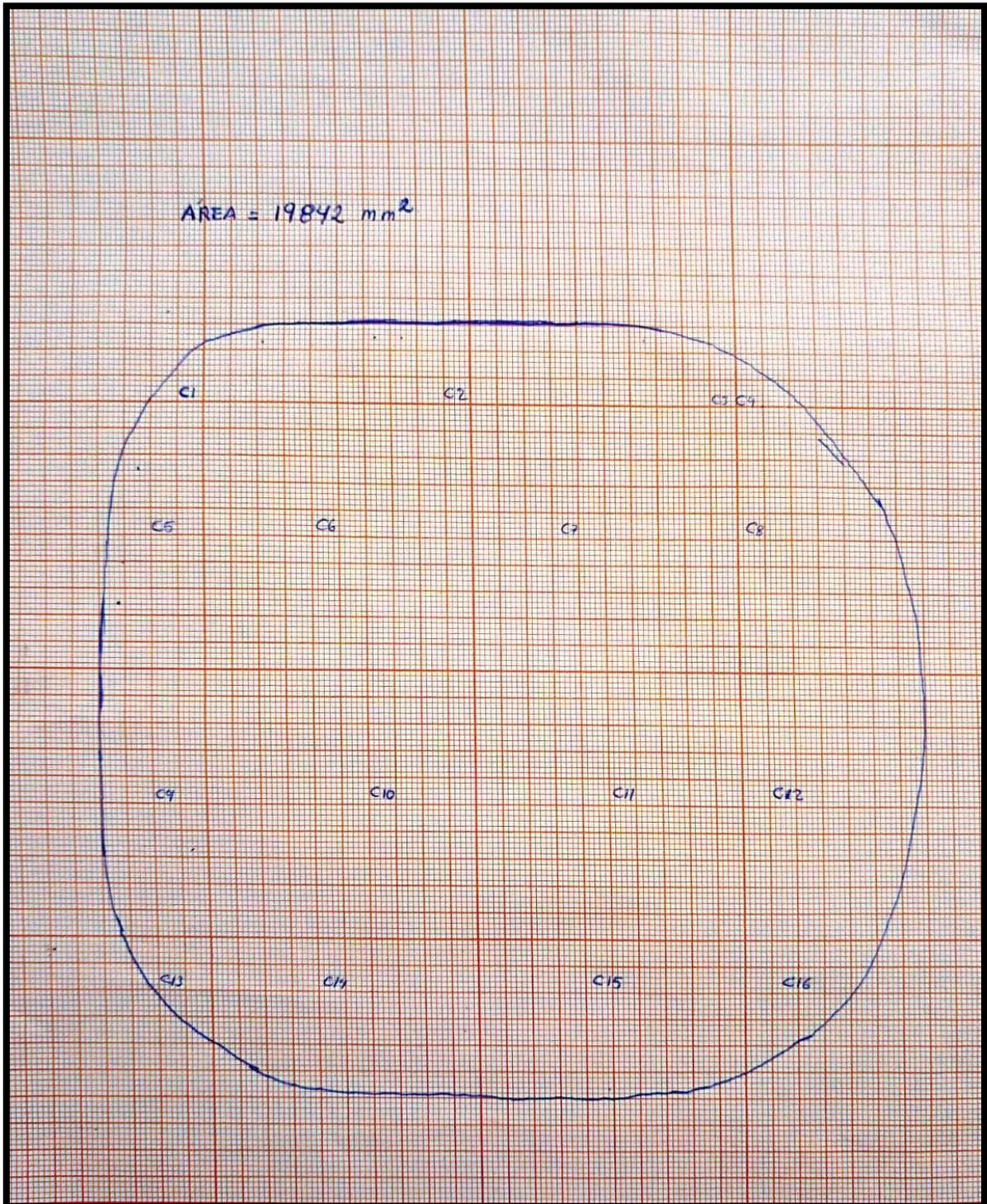
INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA
REGIÓN EXPERIMENTAL BAÑOS DEL INCA



M. Sc. Marieta Cervantes Peralta
DIRECTORA

FIN DE INFORME DE ENSAYO

ANEXOS 02: Área de pluviómetro



ANEXOS 03: Datos de parcelas

DATOS DE PARCELAS				
Dic-23	PARCELA 1			DAP (g/cm3)
COLUMNA /FILA	1	2	3	
1	15.5	15.8	16	1.47
2	15.2	15.3	15.4	1.47
3	14.5	14.4	14.6	1.47
4	15.5	15.8	15.7	1.47
5	15.2	15.4	15.3	1.47
6	14.5	14.6	14.8	1.47
Ago-23	PARCELA 1			DAP (g/cm3)
COLUMNA /FILA	1	2	3	
1	15.3	15.5	15.8	1.47
2	15.1	15.2	15.3	1.47
3	14.7	14.6	14.7	1.47
4	15.3	14.6	15.5	1.47
5	15.0	15.3	15.2	1.47
6	14.6	15.0	14.9	1.47
Dic-23	PARCELA 2			DAP (g/cm3)
COLUMNA /FILA	1	2	3	
1	15.6	14.8	15.5	1.50
2	16	16.8	14.4	1.50
3	15.2	15.9	16.9	1.50
4	15.4	14.5	14.2	1.50
5	15.3	14.8	15.7	1.50
6	14	13.8	14	1.50
Ago-23	PARCELA 2			DAP (g/cm3)
COLUMNA /FILA	1	2	3	
1	15.5	15	15.4	1.50
2	15.9	16.6	14.6	1.50
3	15	15.8	16.6	1.50
4	15.2	14.6	14.4	1.50
5	15.2	15	15.5	1.50
6	14.2	14	14.2	1.50
Dic-23	PARCELA 3			DAP (g/cm3)
COLUMNA /FILA	1	2	3	
1	15.9	15.8	15.4	1.41
2	16.4	15.8	15.5	1.41
3	15.6	15.3	14.5	1.41
4	15.7	14.6	15.4	1.41
5	15.1	14.4	14.3	1.41
6	14.2	14.5	14.6	1.41
Ago-23	PARCELA 3			DAP (g/cm3)
COLUMNA /FILA	1	2	3	
1	15.7	15.7	15.3	1.41
2	16.2	15.6	15.4	1.41
3	15.5	15.1	14.7	1.41
4	15.5	14.8	15.3	1.41
5	15	14.6	14.2	1.41
6	14.4	14.7	14.7	1.41

DATOS DE PARCELAS				
Dic-23	PARCELA 4			DAP (g/cm3)
COLUMNA /FILA	1	2	3	
1	15.8	15.7	15.6	1.47
2	15.6	15.5	15.6	1.47
3	15.2	15.1	15.3	1.47
4	14.5	15.5	14.6	1.47
5	15.4	15.2	15.6	1.47
6	14.1	14.3	14.4	1.47
Ago-23	PARCELA 4			DAP (g/cm3)
COLUMNA /FILA	1	2	3	
1	15.7	15.5	15.5	1.47
2	15.5	15.3	15.4	1.47
3	15	15	15.2	1.47
4	14.7	15.4	14.7	1.47
5	15.3	15.1	15.4	1.47
6	14.3	14.4	14.7	1.47
Dic-23	PARCELA 5			DAP (g/cm3)
COLUMNA /FILA	1	2	3	
1	15.5	15.5	15.2	1.17
2	15.6	15.6	15.6	1.17
3	15.4	15.7	15.7	1.17
4	16	15.1	15.2	1.17
5	14.2	16	14.8	1.17
6	14	14.4	14.2	1.17
Ago-23	PARCELA 5			DAP (g/cm3)
COLUMNA /FILA	1	2	3	
1	15.4	15.3	15.1	1.17
2	15.4	15.4	15.4	1.17
3	15.2	15.5	15.5	1.17
4	15.5	15	15	1.17
5	14.4	15.8	14.9	1.17
6	14.3	14.6	14.4	1.17

PANEL FOTOGRÁFICO

Fotografía N°01: ladera de la subcuenca



Fotografía N°02: Ubicando las varillas de erosión con ayuda de la estación total



Fotografía N°03: Medición de las varillas de erosión



Fotografía N°04: instalación de la varilla de erosión



Fotografía N°05: Dejando muestras para evaluación en el INIA



Fotografía N°06: Midiendo precipitaciones en el pluviómetro



Fotografía N°07: tomando medidas de varillas



Fotografía N°08: tomando medidas de varillas



Fotografía N°09: tomando medidas de varillas

