

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS:

**Estimación de erosión hídrica aplicando el modelo RUSLE
en la cuenca Chonta - Sucre - Ayacucho, 2024**

Para optar el título profesional de:

INGENIERO AGRÍCOLA

PRESENTADO POR:

Bach. Dayco ÑAHUI ATAO

ASESOR:

Mtro. Richard Alex OSCCO PECEROS

AYACUCHO - PERÚ

2025

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi fortaleza en los momentos de angustia, por otorgarme vida, salud y sabiduría, y por guiarme hacia la culminación exitosa de este proyecto.

Dedico este logro a mi padre, quien me cuida desde el cielo, y a mi madre, Teodora, cuya dedicación, amor y paciencia me han apoyado incondicionalmente en la consecución de mis metas. Este éxito está dedicado a ambos, a quienes amo profundamente y que tienen un significado inmenso en mi vida.

A mi familia, por ser una Nota de inspiración y motivación constante para ser una persona de bien, nunca encontraré las palabras o la manera de expresar mi gratitud hacia ustedes.

Finalmente, quiero dedicar esta tesis a mis amigos, quienes han llegado a mi vida para enriquecerla y alegrarla. Gracias por motivarme a seguir mis sueños, por estar a mi lado en los momentos más difíciles y por compartir y disfrutar juntos de la vida. Su apoyo y amistad son una parte fundamental de lo que soy hoy. Mil gracias por todo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por su amor incondicional, por iluminar mi camino y por proporcionarme la sabiduría y fortaleza necesarias para lograr mis metas.

A mi alma mater, la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por brindarme la oportunidad de formar parte de esta institución. También extendo mi agradecimiento a la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola y a todos mis estimados docentes por sus valiosos consejos y enseñanzas durante mi formación académica.

Mi sincero agradecimiento a mi asesor de tesis, Mtro. Richard Alex Oscco Peceros, por su apoyo constante e incondicional en el desarrollo de este proyecto.

A los miembros del jurado de tesis, el Ing. Chuchon Prado, Efraín y Ing. el Girón Molina, Juan Benjamín, así como al presidente de la Comisión, la Ph.D. Sandra Del Águila Ríos, por sus aportaciones y sugerencias que han enriquecido esta investigación.

Y a mis amigos de la infancia y la juventud, por enseñarme valiosas lecciones sobre la vida a través de su compañía. Este logro también es posible gracias a su apoyo.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xii
INTRODUCCIÓN	1
I. MARCO TEORICO	4
1.1. Antecedentes	4
1.1.1. Antecedentes en el ámbito internacional.....	4
1.1.2. Antecedentes en el ámbito nacional	6
1.2. Bases teóricas	8
1.2.1. La cuenca hidrográfica	8
1.2.2. Erosión	16
1.2.3. Métodos de estimación de la erosión hídrica.....	20
1.2.4. Modelos para estimación de erosión hídrica	21
II. METODOLOGÍA.....	49
2.1. Ubicación del área de estudio.....	49
2.1.1. Ubicación política de la cuenca Chonta	49
2.1.2. Ubicación geográfica de la cuenca Chonta	49
2.1.3. Ubicación hidrográfica de la cuenca Chonta	49
2.1.4. Punto de aforo cuenca Chonta	50
2.1.5. Red hídrica de la cuenca Chonta	50
2.2. Caracterización de la zona de estudio	52
2.2.1. Población.....	52
2.2.2. Acceso a la cuenca Chonta.....	54
2.2.3. Clasificación climatológica de la cuenca.....	54
2.2.4. Fisiografía	56
2.3. Método procedimental.....	58
2.3.1. Materiales y equipos.....	58
2.4. Metodología.....	58
2.4.1. Fase pre campo	58

2.4.2. Fase de campo.....	61
2.4.3. Fase de gabinete.....	61
2.4.4. Generación de parámetros geomorfológicos	62
2.4.5. Cálculo de los factores de erosividad pluvial, erodabilidad de suelos, longitud de la pendiente y gradiente de la pendiente.....	64
2.4.6. Cálculo de los factores cobertura vegetal utilizando imágenes multiespectrales del satélite Sentinel 2A	84
2.4.7. Cálculo de la erosión potencial y actual de la cuenca Chonta	88
III. RESULTADOS	89
3.1. Cálculo de los factores de erosividad pluvial, erodabilidad de suelos, longitud de la pendiente y gradiente de la pendiente	89
3.1.1. Delimitación y parámetros geomorfológicos de la cuenca Chonta	89
3.1.2. Tratamiento y análisis e interpretación de los datos de precipitación	91
3.2. Análisis estadístico	105
3.2.1. Análisis estadístico de Estación Chilcayoc	105
3.2.2. Análisis estadístico de Estación Huancapi.....	107
3.2.3. Análisis estadístico de Estación Huanca Sancos	109
3.2.4. Análisis estadístico Andahuaylas	112
3.2.5. Análisis estadístico de Paucaray.....	114
3.3. Corrección de los datos	116
3.3.1. Análisis visual de los gráficos de histograma corregido de Estación Chilcayoc.....	117
3.3.2. Análisis de curva de doble masa corregido	119
3.4. Análisis estadístico corregido.....	124
3.4.1. Análisis estadístico corregido de Estación Chilcayoc	124
3.4.2. Cálculo factor erosividad pluvial (“R”)	126
3.4.3. Cálculo Factor de Erodabilidad del suelo (“k”)	129
3.4.4. Cálculo factor longitud y pendiente (“LS”)	131
3.4.5. Cálculo Factor “P” (Prácticas de conservación).....	134
3.4.6. Cálculo del factor (C) cobertura vegetal con el satélite (Sentinel 2A) para la cuenca Chonta.	134
3.5. Cálculo de la erosión potencial y actual para la cuenca Chonta	137
3.5.1. Erosión potencial.....	137
3.5.2. Erosión actual	140

DISCUSIÓN DE RESULTADOS	142
CONCLUSIONES	147
RECOMENDACIONES.....	149
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	150

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 <i>Clasificación de cueca según la pendiente</i>	12
Tabla 2 <i>Niveles de erosividad (R)</i>	23
Tabla 3 <i>Códigos USLE de estructura de suelo</i>	24
Tabla 4 <i>Códigos USLE de permeabilidad de suelo</i>	24
Tabla 5 <i>Clasificación de los grados de erodabilidad según USDA (1962)</i>	26
Tabla 6 <i>Factor LS según grupos de pendientes</i>	29
Tabla 7 <i>Valores de NDVI</i>	33
Tabla 8 <i>Clasificación de erosión según (FAO,1980).....</i>	35
Tabla 9 <i>Punto de aforo de la cuenca Chonta.....</i>	50
Tabla 10 <i>Número de habitantes en la población que interviene en la cuenca Chonta</i> <i>.....</i>	52
Tabla 11 <i>Población que intervienen a la cuenca Chonta</i>	54
Tabla 12 <i>Clasificación climatológica de la cuenca Chonta</i>	54
Tabla 13 <i>Características Fisiográficas de la cuenca Chonta.....</i>	56
Tabla 14 <i>Estaciones meteorológicas de la cuenca Chonta.....</i>	65
Tabla 15 <i>Precipitación mensual y anual de Estación Chilcayoc.....</i>	69
Tabla 16 <i>Precipitación mensual y anual de Estación Huancapi</i>	70
Tabla 17 <i>Precipitación mensual y anual de Estación Huanca Sancos.....</i>	71
Tabla 18 <i>Precipitación mensual y anual de Estación Andahuaylas</i>	72
Tabla 19 <i>Precipitación mensual y anual de Estación Paucaray</i>	73
Tabla 20 <i>Erosividad pluvial mensual de Estación Chilcayoc.....</i>	74
Tabla 21 <i>Erosividad pluvial mensual de Estación Huancapi</i>	75
Tabla 22 <i>Erosividad pluvial mensual de Huanca Sancos.....</i>	76
Tabla 23 <i>Erosividad pluvial mensual de Andahuaylas.....</i>	77
Tabla 24 <i>Erosividad pluvial mensual de Paucaray.</i>	78
Tabla 25 <i>Erosividad pluvial promedio multimensual</i>	79
Tabla 26 <i>Erosividad pluvial promedio multimensual ajustado</i>	79
Tabla 27 <i>Análisis regional de interpolación para obtener estación ficticia por método</i> <i>de (IDW).....</i>	80
Tabla 28 <i>Factor R para importar ArcGIS</i>	80
Tabla 29 <i>Resultado del análisis físico del suelo de la cuenca Chonta</i>	81
Tabla 30 <i>Cálculo de erodabilidad del suelo de la cuenca Chonta</i>	82

Tabla 31	<i>Factor K para importar ArcGIS</i>	<i>82</i>
Tabla 32	<i>Resumen de resultados de los parámetros geomorfológicos de la cuenca Chonta.....</i>	<i>90</i>
Tabla 33	<i>Curva doble acumulada de la precipitación promedio</i>	<i>99</i>
Tabla 34	<i>Precipitación mensual y anual de Estación Chilcayoc corregido.....</i>	<i>117</i>
Tabla 35	<i>Curva doble acumulada de la precipitación estación base Paucaray</i>	<i>120</i>
Tabla 36	<i>Resultados del factor de erosividad (R) para la cuenca Chonta</i>	<i>126</i>
Tabla 37	<i>Resultados del factor de erodabilidad (K) para la cuenca Chonta</i>	<i>129</i>
Tabla 38	<i>Resultados del factor de LS para la cuenca Chonta.....</i>	<i>131</i>
Tabla 39	<i>Resultados del factor de cobertura vegetal C para la cuenca Chonta</i>	<i>134</i>
Tabla 40	<i>Resultados de la erosión potencial para la cuenca Chonta</i>	<i>137</i>
Tabla 41	<i>Resultados de la erosión actual de la cuenca Chonta</i>	<i>140</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 <i>Curva hipsométrica.....</i>	12
Figura 2 <i>Etapas del proceso de erosión hídrica.....</i>	20
Figura 3 <i>Serie con componente transitoria en forma de salto.</i>	36
Figura 4 <i>Serie con componente transitoria en forma de tendencia</i>	37
Figura 5 <i>Serie histórica de caudales promedios anuales.....</i>	38
Figura 6 <i>Análisis doble masa para determinar la estación base.</i>	39
Figura 7 <i>Análisis doble masa para obtener los periodos de estudio (en este caso n1, n2, n3)</i>	39
Figura 8 <i>Grados de libertad</i>	41
Figura 9 <i>Mapa de ubicación de la cuenca Chonta – Ayacucho</i>	51
Figura 10 <i>Mapa de los centros poblados que abarca a la cuenca Chonta.....</i>	53
Figura 11 <i>Mapa de clasificación climática de la cuenca Chonta.</i>	55
Figura 12 <i>Características fisiográficas de la cuenca Chonta.....</i>	57
Figura 13 <i>Delimitación del área de referencia del proyecto en Google Earth Pro.....</i>	59
Figura 14 <i>Registro del inicio de sesión en EARTHDATA.....</i>	59
Figura 15 <i>Importación de área de interés en formato KML a EARTHDATA y periodo de selección del satélite de ALOS PALSAR.</i>	60
Figura 16 <i>Descarga del formato DEM del satélite ALOS PALSAR.....</i>	60
Figura 17 <i>Registro de datos de precipitación desde los periodos 1995-2024</i>	64
Figura 18 <i>Regionalización de erosividad pluvial.....</i>	79
Figura 19 <i>Plataforma Copernicus Browser- registro de datos y acceso con cuenta... 85</i>	85
Figura 20 <i>Selección del periodo de las imágenes satelitales Sentinel 2ª.....</i>	85
Figura 21 <i>Se muestra el enfoque de intervención de la zona de estudios en dos cuadrantes.....</i>	86
Figura 22 <i>Se descargó el satélite Sentinel 2A de 10 m que contiene las bandas espectrales 2, 3, 4 y 8 para determinar la cobertura vegetal.</i>	86
Figura 23 <i>Obtención del Raster de NDVI – Sentinel 2ª</i>	87
Figura 24 <i>Mapa de la delimitación de la cuenca Chonta</i>	89
Figura 25 <i>Curva Hipsométrica de la cuenca Chonta.....</i>	91
Figura 26 <i>Análisis de tendencia de la información pluviométrica mensual Chilcayoc</i>	92
Figura 27 <i>Análisis de tendencia de la información pluviométrica anual Chilcayoc ...</i>	92
Figura 28 <i>Análisis de tendencia de la información pluviométrica mensual Huancapi</i>	93

Figura 29	<i>Análisis de tendencia de la información pluviométrica anual Huancapi....</i>	94
Figura 30	<i>Análisis de tendencia de la información pluviométrica mensual Huanca Sancos</i>	95
Figura 31	<i>Análisis de tendencia de la información pluviométrica anual Huanca Sancos</i>	95
Figura 32	<i>Análisis de tendencia de la información pluviométrica mensual Andahuaylas</i>	96
Figura 33	<i>Análisis de tendencia de la información pluviométrica anual Andahuaylas... ..</i>	97
Figura 34	<i>Análisis de tendencia de la información pluviométrica mensual Paucaray</i>	98
Figura 35	<i>Análisis de tendencia de la información pluviométrica anual Paucaray</i>	98
Figura 36	<i>Histograma de precipitación histórica de las estaciones y su promedio ..</i>	100
Figura 37	<i>Diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica con estación promedio de la estación Chilcayoc.....</i>	101
Figura 38	<i>Diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica con estación promedio de la estación Huancapi</i>	101
Figura 39	<i>Diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica con estación promedio de la estación Huanca Sancos.</i>	102
Figura 40	<i>Diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica con estación promedio de la estación Andahuaylas.</i>	103
Figura 41	<i>Diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica con estación promedio de la estación Paucaray.</i>	103
Figura 42	<i>Diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica con estaciones promedios.....</i>	104
Figura 43	<i>Análisis de tendencia de la información pluviométrica mensual Chilcayoc corregido.....</i>	118
Figura 44	<i>Análisis de tendencia de la información pluviométrica anual Chilcayoc corregido.....</i>	119
Figura 45	<i>Curva doble acumulada de la precipitación promedio corregido.....</i>	121
Figura 46	<i>Diagrama de doble masa de precipitación anual histórica Chilcayoc con estación base Paucaray</i>	121
Figura 47	<i>Diagrama de doble masa de precipitación anual histórica Huancapi con estación base Paucaray.</i>	122

Figura 48	<i>Diagrama de doble masa de precipitación anual Huanca Sancos con estación base Paucaray.....</i>	<i>123</i>
Figura 49	<i>Diagrama de doble masa de precipitación anual Andahuaylas con estación base Paucaray.....</i>	<i>123</i>
Figura 50	<i>Mapa del factor de erosividad (R) - cuenca Chonta.....</i>	<i>128</i>
Figura 51	<i>Mapa del factor de erodabilidad (K) – cuenca Chonta.....</i>	<i>130</i>
Figura 52	<i>Mapa del factor de topográfico (LS) - cuenca Chonta.....</i>	<i>133</i>
Figura 53	<i>Mapa del factor de cobertura vegetal (“C “)- cuenca Chonta</i>	<i>136</i>
Figura 54	<i>Mapa de erosión potencial - cuenca Chonta.</i>	<i>139</i>
Figura 55	<i>Mapa de erosión actual de la cuenca Chonta</i>	<i>141</i>

RESUMEN

La investigación fue realizada en la cuenca Chonta, abarcando una superficie de 11,986.45 Ha, con altitudes y pendientes variables que van desde pendientes suaves (0-3°) hasta pronunciadas (>30°). El objetivo del estudio fue estimar la erosión hídrica aplicando la metodología RUSLE y utilizando herramientas SIG. Esta metodología integra cinco factores: el factor de erosividad R, determinado a partir de precipitaciones acumuladas anuales; el factor de erodabilidad K, estimado con datos texturales y orgánicos de los suelos; el factor topográfico LS, calculado a partir de un modelo digital de elevación (MDE); el factor de cobertura vegetal C, derivado de imágenes satelitales Sentinel 2a; y el factor de prácticas de manejo P, considerado como unidad para este estudio. Los resultados de la erosión hídrica potencial (sin considerar la cobertura vegetal ni prácticas de conservación) indican que el 21.51% del área presenta pérdida de suelo clasificada como alta o severa (50-100 t/ha/año), mientras que un 0.01% muestra erosión crítica (>200 t/ha/año). En contraste, la erosión hídrica actual, que considera la cobertura vegetal existente, reporta que el 76.49% del área tiene erosión ligera (5-25 t/ha/año) y el 15.67% erosión baja (<5 t/ha/año). Estas diferencias reflejan el papel crucial de la cobertura vegetal en la protección del suelo frente a los procesos erosivos. Se obtuvieron tasas promedio de erosión potencial y actual de 50-100 t/ha/año y 5.06 t/ha/año, respectivamente. Se generaron mapas de erosión hídrica que evidencian áreas críticas localizadas principalmente en las partes altas y de pendientes pronunciadas, donde la ausencia de coberturas vegetales agrava los procesos erosivos.

Palabras clave: erosión hídrica, suelos y RUSLE.

INTRODUCCIÓN

El Perú cuenta con una superficie territorial de 128,5 millones de hectáreas, de las cuales 8 millones sufren una severa erosión hídrica, afectando principalmente la región sierra (Taco, 2021). Este fenómeno se ve intensificado por la lluvia, cuyo impacto depende de su intensidad, duración y frecuencia. Se ha determinado que precipitaciones superiores a 15 mm/h durante 30 minutos pueden clasificarse como "erosivas", favoreciendo la pérdida de suelos agrícolas y naturales (Mendoza et al., 2023).

La erosión hídrica, agravada por actividades humanas, afecta la fertilidad del suelo y contribuye a la desertificación, poniendo en riesgo la sostenibilidad de los ecosistemas (Castro et al., 2024). La FAO la define como la pérdida de suelo causada por múltiples factores, donde las gotas de lluvia fragmentan sus partículas según su tamaño y velocidad.

El modelo RUSLE permite estimar la erosión y diseñar estrategias de manejo sostenible para mitigar sus impactos en el suelo, el agua y los ecosistemas. Su aplicación busca conservar los recursos naturales con base en evidencia científica.

A nivel mundial, la erosión hídrica disminuye la productividad agrícola, deteriora la infraestructura y contamina el agua, afectando la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible. Además, contribuye a la liberación de CO₂, intensificando el cambio climático (IAEA, 2024). El estudio de la degradación del suelo ha impulsado el uso de modelos de estimación como USLE, EPIC, WEPP, SWAT y RUSLE, siendo estos últimos los más utilizados, aunque con tendencia a sobrestimar resultados, particularmente en Europa (Andrés, 2020).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han demostrado ser herramientas eficaces en la gestión de recursos naturales, al facilitar el almacenamiento y análisis de datos espaciales, apoyando la toma de decisiones (Buzai y Montes, 2021).

La FAO (2022) advierte que el crecimiento poblacional, que podría alcanzar los 9 100 millones de habitantes en 2050, incrementará la demanda de alimentos en un 60 %. La agricultura debe responder a esta necesidad, pero su uso intensivo del suelo y la aplicación de agroquímicos reducen la fertilidad. Actualmente, la erosión provoca la pérdida de 75 mil millones de toneladas de suelo a nivel mundial, convirtiéndose en una preocupación gubernamental.

La erosión hídrica es un problema crítico en Perú, afectando especialmente las regiones altoandinas. Se estima que más del 72% del territorio presenta algún nivel de degradación, con 8 millones de hectáreas severamente afectadas. Factores como pendientes pronunciadas, lluvias intensas y prácticas agrícolas inadecuadas agravan la pérdida de suelo fértil, impactando la productividad agrícola y aumentando los costos de rehabilitación y conservación (OIEA, 2024).

Además, la erosión hídrica afecta los ecosistemas fluviales y la biodiversidad. Más del 40% de los ríos en zonas erosionadas presentan sedimentación crítica, lo que reduce la capacidad de las cuencas para regular el flujo hídrico y afecta el hábitat de especies acuáticas. Este problema incrementa los riesgos de desbordes y disminuye hasta en un 25% la funcionalidad de los embalses para riego y generación hidroeléctrica (MINAM, 2023).

En Querosbamba, las familias agricultoras y ganaderas enfrentan serios desafíos debido a la erosión del suelo. La pérdida de la capa fértil ha reducido los rendimientos de cultivos básicos como papa y maíz, afectando la seguridad alimentaria. Las tierras de pastoreo han perdido su capacidad productiva, generando conflictos internos por el acceso a zonas fértiles. Este deterioro ha provocado la migración de familias en busca de mejores oportunidades, dejando atrás terrenos improductivos.

Objetivo general

Estimar la erosión hídrica aplicando el modelo RUSLE de la cuenca Chonta – Sucre – Ayacucho, 2024.

Objetivos específicos

1. Estimar los factores de erosividad pluvial, erodabilidad de suelos, longitud de la pendiente y gradiente de la pendiente según el modelo RUSLE en la cuenca Chonta – Sucre – Ayacucho, 2024.
2. Determinar el factor de cobertura vegetal utilizando imágenes multiespectrales del satélite Sentinel 2A en la cuenca Chonta – Sucre – Ayacucho, 2024.
3. Cuantificar la erosión hídrica potencial y actual en la cuenca Chonta – Sucre – Ayacucho, 2024.

CAPÍTULO I

MARCO TEORICO

1.1. Antecedentes

1.1.1. Antecedentes en el ámbito internacional

Pinargote et al. (2021), en su estudio titulado "Erosión hídrica en la cuenca alta del río Guineal, del cantón 24 de mayo, Ecuador", tuvieron como objetivo estimar la degradación específica del suelo y analizar la influencia de las precipitaciones pluviales como factor determinante en la erosión hídrica en la cuenca alta del río Guineal, en Manabí, Ecuador. Para ello, utilizaron un enfoque metodológico basado en el modelo Universal Soil Loss Equation (USLE), complementado con datos geoespaciales y análisis de precipitación histórica. La investigación incluyó la evaluación de tres subcuencas: río Grande, río Guineal y río Congo, calculando la pérdida de suelo en términos de toneladas por hectárea por año (t/ha/año). Los resultados indicaron pérdidas significativas de suelo: 6.49 t/ha/año en el río Grande, 6.4 t/ha/año en el río Guineal y 16.6 t/ha/año en el río Congo. Estos valores excedieron ampliamente los límites de tolerancia establecidos por la FAO, que oscilan entre 0.4 y 1.8 t/ha/año. El estudio concluyó que la erosión hídrica representa un serio problema en la región, ya que reduce la capacidad productiva de los terrenos agrícolas, comprometiendo la sostenibilidad del uso del suelo y la seguridad alimentaria local.

Casanova et al. (2024) tuvieron como objetivo estimar los volúmenes de sedimentos en las cuencas hidrográficas de la provincia de Manabí, Ecuador, utilizando el modelo RUSLE. Emplearon una metodología empírica que incluyó el uso de datos ráster satelitales y la medición de la densidad aparente del suelo en sus tres texturas principales: arena, arcilla y limo. La delimitación de las cuencas se obtuvo de Notas regionales y se empleó información satelital obtenida de Notas web oficiales. Además, se usaron valores típicos de densidad aparente a escala mundial, los cuales fueron validados mediante muestreo en sitio. Los resultados indicaron tasas de erosión que variaban entre

0,10 ton ha⁻¹ y 3252,22 ton ha⁻¹, y una estimación de sedimentos entre 0,06 m³ año⁻¹ y 692,43 m³ año⁻¹. La validación de datos mostró una excelente compatibilidad entre la metodología propuesta y el análisis convencional, con una diferencia promedio inferior al 3%. Este estudio proporciona valiosa información para establecer programas de mitigación frente a la erosión hídrica en la región.

Arias et al. (2023) buscaron cuantificar y analizar la distribución espacial de la erosión hídrica en las diferentes coberturas de suelo en la cuenca media-alta del río Mira, Ecuador. Utilizaron el modelo RUSLE en un entorno SIG para evaluar las tasas de erosión. Los resultados revelaron que la erosión variaba entre 0 y 812,30 t/ha/año, con una erosión promedio de 32,79 t/ha/año. Se observó que las coberturas de bosques y páramo presentaron tasas de erosión inferiores al umbral sostenible de 10 t/ha/año, mientras que las áreas sin vegetación y los cultivos mostraron tasas de erosión significativamente más altas. Estos resultados subrayan la gravedad de la erosión en la cuenca y sugieren la necesidad de implementar alternativas de manejo para proteger el suelo y mitigar los efectos negativos de la erosión hídrica.

Okenmuo y Ewemoje (2023) aplicaron el modelo RUSLE junto con tecnologías de teledetección y sistemas de información geográfica (SIG) para detectar de manera precisa los riesgos de erosión incipiente en la cuenca urbana del río Obibia en Nigeria. Utilizaron datos multi-origen para evaluar los factores de erosividad de la lluvia (R), erodabilidad del suelo (K), longitud y pendiente de la pendiente (LS), y la cobertura vegetal (C). El mapa de peligros de erosión mostró que el 55,1% del área tenía erosión muy baja (menos de 20 t/ha/año), mientras que el 31,3% presentaba erosión baja, el 9,4% erosión media, el 3% erosión alta y el 1,2% erosión extrema (mayor a 543 t/ha/año). Se concluyó que las áreas más críticas para la erosión eran las de paisajes ondulados cercanos a los cuerpos de agua, recomendándose una gestión urgente en todas las categorías, excepto la de erosión baja.

Aouichaty et al. (2022) utilizaron el modelo RUSLE acoplado con SIG para estimar y mapear la erosión hídrica en canteras abandonadas de la zona semiárida de Marruecos. La investigación implicó la recolección de datos de diversas Notas y escalas para los factores erosivos: erosividad de la lluvia (R), erodabilidad del suelo (K), longitud y pendiente de la pendiente (LS), y la cobertura vegetal. Los resultados revelaron tasas

de pérdida de suelo que variaron desde 0,574 t/ha/año en una cantera hasta 7,495 t/ha/año en otra. Se encontró que los factores LS y R tuvieron la mayor influencia sobre los resultados obtenidos. Estas conclusiones sugieren que los resultados de este estudio podrían ser útiles para identificar puntos críticos de erosión y apoyar las decisiones relacionadas con la conservación del suelo y el manejo de los recursos hídricos.

1.1.2. Antecedentes en el ámbito nacional

Ayllón y Ccenhua (2021) se propusieron estimar y comparar las tasas de erosión en la cuenca del río Cañete, Perú, utilizando el modelo RUSLE. Durante su estudio, se observaron fenómenos meteorológicos, como El Niño de 2017, que afectaron la zona, y se recopilaron datos de precipitaciones, temperatura, tipos de suelos, topografía y cobertura vegetal a partir de Notas satelitales. Se calcularon los factores R, K, LS, C y P y se aplicó la ecuación RUSLE para obtener las tasas de erosión por subcuenca. Los resultados demostraron que los factores R y LS fueron los de mayor influencia en las tasas de erosión, y las áreas con mayor potencial erosivo fueron identificadas en las subcuencas altas. Como conclusión, se recomendaron prácticas de manejo de conservación de suelos en las zonas más vulnerables y se sugirieron medidas para gestionar las actividades agrícolas en las subcuencas bajas.

Cárdenas y Pérez (2021), en su tesis titulada: “Ampliación del modelo RUSLE empleando el programa ArcGIS para estudiar el cambio morfológico en la cuenca del río Mayo, San Martín-2021”, evaluaron los cambios morfológicos aplicando RUSLE y técnicas geoespaciales en la cuenca del río Mayo, San Martín - 2021, como variables se evaluó el modelo RUSLE y el cambio morfológico de la cuenca. También, obtuvo enfoque cualitativo con alcance descriptivo con un diseño de investigación descriptiva. Los resultados evidenciaron que se encontró una erosión del suelo cuyo valor máximo para el periodo de 1990 a 2014 fue de 463.317 t/ha/año, con un factor R más elevado tiene el valor de 388.74 MJ mm/ha/h/año y el más bajo de 80.40 MJ mm/ha/h/año, cuyo factor C fue de 0.09, con un factor K de los 10 suelos analizados en 7 de ellos es el valor de 0.463 t*h*Mj/mm. Los autores concluyeron que existe en su mayoría extensión de áreas desbocadas y de uso agrícola, agropecuaria o con vegetación secundaria y que la cuenca es la más propensa a la variación por grado de erosión dentro del área de evaluación porque tiene un valor promedio de 3.2169 t/ha/año.

Calle (2021), en su tesis denominado “Efecto de los cambios de uso de suelo en el aumento de la erosión hídrica mediante de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos en la zona de amortiguamiento del Santuario Nacional Tabaconas Namballe, San Ignacio, Cajamarca”, el estudio busca estimar la erosión hídrica en dos escenarios: con cambios de uso de suelo (efectiva) y sin cambios (potencial). Para ello, se analizaron los factores de erosividad, erodabilidad, topografía y cobertura vegetal. La integración de estos factores mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (EUPS) en ArcGIS 10.7 permitió determinar que la tasa de erosión hídrica es significativamente mayor en el escenario con cambios de uso de suelo ($35.92 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) frente al escenario sin cambios ($1.53 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). La validación, realizada con el módulo de estadísticos zonales de ArcGIS 10.7 y la prueba T de Student, confirmó diferencias significativas entre ambos escenarios. El incremento de la erosión se atribuye principalmente a la expansión de la frontera agropecuaria y la quema de cobertura vegetal.

Saccatoma (2017), en la investigación “Estimación de la Erosión Hídrica y el Manejo de Aguas en la Cuenca de Yucaes -Huamanga - Ayacucho - 2017”, planteó analizar la erosión hídrica para un manejo adecuado del suelo y agua en la cuenca de Yucaes. Para estimar el factor K se utilizó el nomograma de Wischmeier y Smith, considerando parámetros como porcentaje de limo, arena, materia orgánica, estructura granular y permeabilidad del suelo. Mediante métodos empíricos (racional modificado, Mac Math e Iszkowski), se estimó un caudal máximo promedio de $244.89 \text{ m}^3/\text{s}$ y un aporte de sedimentos de 12.33 T/ha-año , indicando alta pérdida de suelo, mientras que la capacidad de transporte del río fue de $2.88 \text{ m}^3/\text{s}$. La modelación de la erosión hídrica mediante la USLE permitió estimar una erosión potencial de $354.40 \text{ Ton/ha/año}$ y una tasa actual de 71.45 Ton/ha/año , reflejando un riesgo de erosión laminar fuerte concentrado en la parte media y baja de la cuenca. Según la FAO (1980), el 52.08 % de la cuenca presenta muy severa erosión, 21.21 % erosión severa, 9.61 % erosión catastrófica, y solo el 17.10 % erosión normal, ligera o moderada. Finalmente, se diseñaron prácticas de manejo y conservación de suelos y agua, como canales de desviación, zanjas de infiltración, andenes y control de cárcavas.

1.2. Bases teóricas

1.2.1. La cuenca hidrográfica

1.2.1.1. La cuenca

Una cuenca hidrográfica, también conocida como cuenca de drenaje o vertiente, es una unidad geográfica delimitada por divisorias de agua, donde toda la precipitación que cae converge hacia un punto común, como un río, lago o mar. Estas unidades son fundamentales para el estudio de la gestión de recursos hídricos, ya que incluyen no solo los cursos de agua, sino también el suelo, la vegetación y los procesos geológicos y climáticos que influyen en el ciclo hidrológico (Díaz et al., 2021).

1.2.1.2. Tipos de cuenca

Según Moreira et al. (2020) se tienen los siguientes tipos de cuencas hidrográficas:

- a) Exorreicas:** Las cuencas exorreicas son aquellas cuyo sistema de drenaje desemboca en el océano o en un mar abierto. Este tipo de cuenca tiene una salida al nivel del mar, lo que permite que el agua fluya hacia cuerpos de agua mayores. Se encuentran principalmente en regiones con climas húmedos y una hidrología activa. Ejemplo: La cuenca del Amazonas, que drena hacia el Océano Atlántico.
- b) Endorreicas:** En las cuencas endorreicas, el agua que drena no alcanza el mar, sino que termina acumulándose en lagos, salares o depresiones internas. Esto suele ocurrir en zonas áridas o semiáridas, donde la evaporación excede a la precipitación. Estas cuencas son características de regiones continentales aisladas. Ejemplo: La cuenca del Lago Titicaca, en los Andes de Sudamérica.
- c) Arreicas:** Las cuencas arreicas carecen de un sistema de drenaje definido, ya que el agua se infiltra rápidamente en el suelo o se evapora antes de formar corrientes superficiales significativas. Este tipo de cuenca es típico en áreas extremadamente áridas, como desiertos, donde las lluvias son esporádicas y de baja intensidad. Ejemplo: El desierto de Atacama, en Chile.

1.2.1.3. Características físicas de una cuenca

Según Guerrero (2023) se tienen las siguientes características físicas de una cuenca hidrográfica:

A. Área de la cuenca(A)

El área de la cuenca es la superficie total comprendida dentro de las divisorias de aguas. Se mide generalmente en kilómetros cuadrados (km²) y es una característica fundamental, ya que determina la cantidad de agua que puede recolectar una cuenca. Una cuenca grande tiende a tener mayor capacidad de captación de precipitación, pero también puede presentar una respuesta hidrológica más lenta. Se puede calcular utilizando sistemas de información geográfica (SIG) o mapas topográficos detallados, sumando las superficies de todas las subcuencas que la componen.

B. Perímetro de la cuenca (P)

El perímetro de la cuenca es la longitud total de la línea divisoria de aguas que delimita la cuenca. Se mide en kilómetros y es importante para calcular índices de forma como el coeficiente de compacidad o la relación de circularidad. Un perímetro largo en relación con el área puede indicar una cuenca alargada, que suele tener un tiempo de concentración mayor y menos susceptibilidad a inundaciones rápidas.

C. Forma de la cuenca

La forma de la cuenca describe la relación geométrica entre su longitud, ancho y área, influyendo en el comportamiento hidrológico, como el tiempo de respuesta al flujo. Existen varias formas típicas: Circular, estrecha y alargada.

La forma de la cuenca afecta en las características de descarga de la corriente, principalmente en los eventos de flujo máximo. En general, los escurrimientos de una cuenca de forma casi circular serán diferentes a los de otra, estrecha y alargada, aunque tengan la misma área.

1.2.1.4. Parámetros geomorfológicos de la cuenca

Montenegro (2024) comenta que la geomorfología de una cuenca queda definida por su forma, relieve y drenaje. para un mejor estudio de las cuencas se han establecido los siguientes parámetros:

a) Parámetros de forma

- Índice de compacidad o coeficiente de gravelius (Kc)

$$Kc = 0.28x \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \dots \dots Ec. (1)$$

Donde:

A: área de la cuenca (km²)

P: Perímetro de la cuenca (km).

Si $1 \leq Kc \leq 1.25$ la cuenca es de forma circular. Este coeficiente nos dará luces sobre la escurrentía y la forma del hidrograma resultante de una determinada lluvia caída sobre la cuenca.

$1.25 \leq Kc \leq 1.50$ la cuenca es ovalada.

$1.50 \leq Kc \leq 1.75$ la cuenca es oblonga si $Kc > 2$ son cuencas alargadas.

➤ Rectángulo equivalente o rectángulo de gravelius (Re):

El rectángulo equivalente es una transformación geométrica, que permite representar a la cuenca, de su forma heterogénea, con la forma de un rectángulo, que tiene la misma área y perímetro (mismo índice de compacidad), igual distribución de alturas (igual curva hipsométrica), e igual distribución de terreno. La primera y última curvas de nivel se convierten en retas paralelas al lado menor en el rectángulo presentado en este rectángulo (Villón, 2002). Para la construcción del rectángulo equivalente y el área de la cuenca. Si los lados mayor y menor del rectángulo son, respectivamente L y l, entonces:

$$L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right) \quad \dots \dots Ec. (2)$$

$$l = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right) \quad \dots \dots Ec. (3)$$

Donde:

A: área de la cuenca (km²)

Kc: Índice de compacidad Ec. 01.

L: Longitud del lado mayor del rectángulo (km)

l: longitud del lado menor del rectángulo (km)

Donde L es la longitud máxima de la cuenca.

➤ Factor de forma (F)

Expresa la relación, entre el área total de la cuenca y la longitud del rectángulo equivalente, sirve para diferenciar la intensidad de lluvia que cae sobre dos cuencas y expresa la ecuación de la siguiente manera:

$$F_f = \frac{l}{L} = \frac{A}{L^2} \quad \dots \dots \text{Ec. (4)}$$

Donde:

- F: factor de forma (adimensional)
- A: Área de la cuenca (km²)
- L: Lado mayor del rectángulo equivalente (km)

➤ **Relación de elongación (Re)**

Indica que el parámetro depende mucho del área de influencia como la longitud trazada en línea recta desde la desembocadura hasta el límite extremo del parteaguas y representa la siguiente ecuación.

$$Re = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{L} \quad \dots \dots \text{Ec. (5)}$$

Donde:

- A: Área de la cuenca (km²).
- Lc: Longitud trazada en línea recta desembocadura (km).

b) Parámetros de relieve

Zanandrea (2024); citando a Cedeño (1997); indica “entre los más utilizados son: pendiente de la cuenca, índice de pendiente, curvas hipsométricas, histograma de frecuencias altimétricas y relación de relieve”.

Pendiente de la cuenca: Es uno de los factores físicos que controlan el tiempo del flujo sobre el terreno y tiene influencia directa en la magnitud de las avenidas o crecidas y existen diversos criterios para evaluar la pendiente media de una cuenca, entre las que se destacan son: criterio de Alvord y criterio de Horton. En la ecuación (6) relaciona el desnivel de la cuenca con la longitud del lado mayor del rectángulo equivalente.

$$S = \frac{\Delta H}{L} \quad \dots \dots \text{Ec. (6)}$$

Donde:

- S: Pendiente según el rectángulo equivalente (%)
- ΔH: desnivel total (Cota en la parte más alta-Cota en la estación de aforo) (m).
- L: lado mayor del rectángulo equivalente (m)
- hf: Cota en la parte más alta de la cuenca(m)

Clasificación de pendientes en una cuenca. El valor de la pendiente permite clasificar el relieve o topografía del terreno tal como se aprecia la Tabla 1.

Tabla 1

Clasificación de cuenca según la pendiente

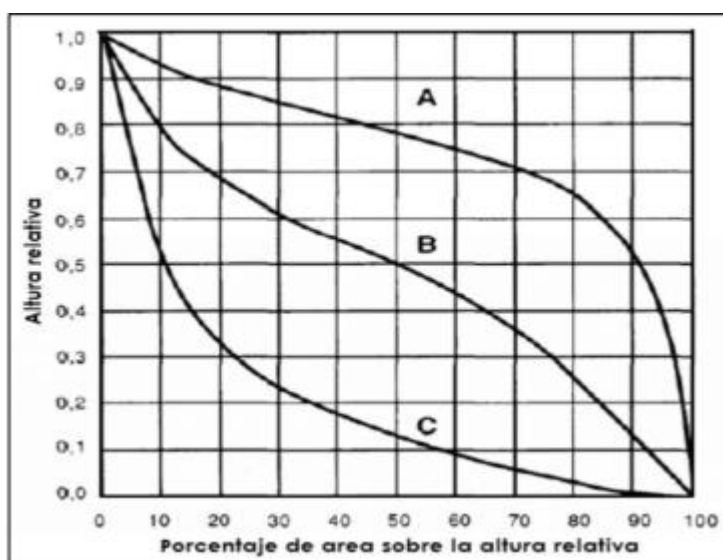
Clasificación	Rango de pendiente (%)	Descripción
Cuencas planas	0 - 3	Pendiente muy baja; predominan procesos de acumulación y escorrentía lenta.
Cuencas moderadamente inclinadas	3 - 12	Pendiente moderada; escorrentía y erosión hídrica limitadas.
Cuencas inclinadas	12 - 30	Pendiente pronunciada; mayor escorrentía y procesos erosivos más intensos.
Cuencas muy inclinadas	> 30	Pendiente fuerte; erosión hídrica significativa, riesgo de deslizamientos y alta velocidad de flujo.

Nota: Paredes et al. (2021)

Curva hipsométrica. Su representación gráfica se realiza en coordenadas cartesianas o rectangulares en el cual se muestra la relación existente de la altitud y la superficie o el porcentaje de misma que queda por debajo o encima de la cota respectiva de la cuenca (Villón, 2002). tal como se aprecia la Figura 1.

Figura 1

Curva hipsométrica



Nota: Cahuana y Yugar (2009)

En la Figura 1 se ha graficado las curvas hipsométricas pertenecientes a 3 cuencas hipotéticas con condiciones evolutivos diferentes entre ellos tenemos la curva hipotética

(A) representa a una cuenca con un elevado potencial erosivo (fase juventud), la curva media (B) es perteneciente a una cuenca que está en un estado de equilibrio (fase de madurez), y por último la curva inferior (C) es característica de una cuenca sedimentaria (fase de vejez). Estas curvas nos indican las distintas etapas formativas de los ríos (Cahuana y Yugar, 2009).

Diagrama de frecuencias altimétricas. Es la representación gráfica, de la distribución en porcentaje, de las superficies ocupadas por diferentes altitudes tal como se aprecia la figura 2.

Altitud media ponderada (Hp). Se calcula midiendo el área entre los contornos de las diferentes altitudes características consecutivas de la cuenca; en la altitud media, el 50% del área está por encima de ella y el otro 50% por debajo de ella.

Con las siguientes ecuaciones (07), (08) se calcula el parámetro medio ponderado.

$$H = \frac{(\sum a_i c_i)}{A} \quad \dots \dots Ec. (7)$$

$$c_i = \frac{(c_i + c_{i-1})}{2} \quad \dots \dots Ec. (8)$$

Donde:

a_i = Área parcial de terreno entre curvas de nivel

c_i = Altitud media de cada área parcial entre dos curvas de nivel.

A = Área de la cuenca

Altitud media simple (Hms), Este parámetro se calcula con la ecuación (09) representado matemáticamente el promedio aritmético de la siguiente manera:

$$H_{ms} = \frac{(c_M + c_m)}{2} \quad \dots \dots Ec. (9)$$

Donde:

CM = Cota o altitud más alta de la cuenca

Cm = Cota o altitud más baja de la cuenca

Componentes de la red de drenaje, Risco (2023) indica que la red de drenaje de una cuenca, se refiere a las trayectorias o al arreglo que guardan entre sí, los cauces de la corriente naturales dentro de ella. Es importante en el estudio de una cuenca, ya que

manifiesta la eficiencia del sistema de drenaje en el escurrimiento resultante, es decir, la rapidez con que desaloja la cantidad de agua que recibe.

c) Parámetros de red hidrográfica de la cuenca.

Se clasifica de varias maneras, pero los más importantes en la ingeniería hidrológica son:

Perfil longitudinal del curso del agua, el perfil longitudinal del curso principal, radica en que nos proporciona una idea de las pendientes que tiene el cauce, en diferentes tramos de su recorrido, factor importante para trabajos de control de aguas, captación y ubicación de posibles centrales hidroeléctricas.

Pendiente del cauce principal (SP), La pendiente de un tramo de río es la relación que existe entre los extremos inicial y final y la distancia horizontal de dicho tramo, recomendado así los métodos uniformes y Taylor y Schwarz, se calcula con la ecuación (10)

$$S = \left[\frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right]^2 \quad \dots \dots Ec. (10)$$

Donde:

n = número de muestras

S1, S2, S3= Desnivel /longitud

Las características de una red de drenaje, pueden describirse principalmente de acuerdo con:

- El orden de la corriente
- Número de corrientes
- Longitud total de la corriente
- Densidad de corriente

Densidad de corriente (Dd) Este parámetro da información valiosa sobre las condiciones climáticas y litológicas de la región. Para este valor de la cuenca Chonta se utiliza la ecuación (11).

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad \dots \dots Ec. (11)$$

Donde:

D_d : Densidad de corriente (km/km²)

L_t : Longitud total de la corriente

A : Área total de la cuenca (km²)

Si, $DS > 500$ km/km², régimen pluvial alto valor con una litología fácilmente erosionable.

Si, $DS < 5$ km/km², régimen pluvial de poco valor o resistencia del material litológico de gran magnitud.

1.2.1.5. Tiempo de concentración (T_c)

El tiempo de concentración es el tiempo que tarda el agua en recorrer la distancia desde el punto más alejado de una cuenca hidrográfica hasta el punto de salida o de medición. Este concepto es importante para los estudios de escorrentía y las modelizaciones hidrológicas, ya que influye en la determinación de los picos de caudal durante eventos de lluvia. Se utiliza para calcular la respuesta hidrológica de la cuenca a las precipitaciones y permite prever la magnitud de las crecidas. Según Chow et al. (2021), el tiempo de concentración es una variable fundamental para la estimación de la escorrentía en las cuencas hidrográficas y se calcula mediante diversas fórmulas, dependiendo de las características morfológicas y de uso del suelo de la cuenca.

A continuación, se muestran algunas de esas fórmulas empíricas. Y se calculará con la ecuación (12)

$$T_c = 0.0195 \times \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0.385} \quad \dots \dots Ec. (12)$$

Donde:

L : longitud mayor de la cuenca (m)

ΔH : desnivel total (Cota en la parte más alta-Cota en la estación de aforo) (m)

Desarrolla a partir de información del SCS en siete cuencas rurales de Tennessee con canales bien definidos y pendientes empinadas (3 a 10%); para flujo superficial en superficies de concreto o asfalto se debe multiplicar por 0.4; para canales de concreto se debe multiplicar por 0.2; no se debe hacer ningún ajuste para flujo superficial. En suelo descubierto o para flujo de cunetas.

$$Tc = 0.01947 \times \left(\frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right) \quad \dots \dots Ec. (13)$$

Donde:

L: longitud mayor de la cuenca (m)

S: pendiente promedio de la cuenca (m/m)

1.2.2. Erosión

La erosión es un fenómeno que comprende el desprendimiento y traslado o arrastre de las partículas del suelo por acción del agua, del viento, o de la actividad biológica. Puede ser natural (normal o geológica) cuando se produce por los cambios naturales en el ambiente y en largos periodos geológicos contribuyendo a la formación de los suelos y del relieve terrestre; o acelerada siendo uno de los problemas más serios que tiene que enfrentar cualquier acción encaminada a lograr el desarrollo agropecuario, ya que además de ser la causa de bajos rendimientos de los cultivos, acorta la vida útil de las obras de regulación por la cantidad de sedimentos que acarrea el agua que se almacena colmatando el lecho de los ríos y favoreciendo, en muchos casos las inundaciones, problemas de drenaje y salinización de las tierras. Existen dos tipos de erosión, eólica e hídrica, (Morgan, 2023)

1.2.2.1. Erosión hídrica

La erosión hídrica es el proceso mediante el cual el agua, principalmente las lluvias, desintegra y transporta partículas del suelo, lo que resulta en la pérdida de la capa superficial, vital para la agricultura. Este fenómeno tiene múltiples factores causales, entre los que se incluyen la intensidad y duración de las precipitaciones, la pendiente del terreno, la erodabilidad del suelo y la cobertura vegetal. En áreas con una alta actividad humana, como la agricultura intensiva y la deforestación, la erosión hídrica se acelera, lo que puede resultar en la degradación del suelo y la reducción de la fertilidad (Lal, 2021).

Este tipo de erosión no solo afecta la calidad del suelo, sino que también tiene impactos en la calidad del agua, ya que el sedimento transportado por el agua puede contaminar aguas hídricas. Además, la erosión hídrica contribuye al cambio climático, ya que el suelo expuesto pierde su capacidad de almacenar carbono, liberando CO₂ a la atmósfera (Pimentel et al., 2024).

a) Tipos de erosión hídrica

Erosión laminar, la erosión laminar está directamente relacionada con la salpicadura de la lluvia, a lo que se puede agregar, que en laderas más de la mitad de la salpicadura desciende por la misma. Si esta corriente se mantiene como una delgada lámina, el tipo de erosión que produce se conoce como erosión laminar. La erosión laminar y en surcos pequeños es la forma de erosión que más afecta la agricultura por degradación y pérdida del horizonte A de los suelos, y a la vez afecta más significativamente a la producción de sedimentos en los ríos (Muñoz et al., 2023).

El impacto de las gotas de lluvia contra la superficie descubierta del suelo produce el desprendimiento de sus partículas, las que al encontrarse sueltas y al ser trasladadas, “sellan” los poros del suelo, formando una delgada capa o costra poco permeable, cuando la cantidad de lluvia que cae excede a la tasa de infiltración del suelo, el agua empieza a fluir (correr), como escorrentía en el suelo de la pendiente, transportando las partículas finales del suelo que inicialmente ya fueron desprendidas (Pareces, 2023).

Erosión por surcos, la erosión en surcos es la forma de erosión más fácilmente perceptible, tiene su origen a causa del escurrimiento superficial del agua que se concentra en sitios irregulares o depresiones superficiales del suelo desprotegido o trabajado inadecuadamente (FAO, 2022).

En las pequeñas ondulaciones de la superficie del terreno se concentra el agua de escorrentía y luego por efecto de la pendiente, el suelo y el estado de la cubierta vegetal, se produce el movimiento del agua en el sentido de la pendiente y, en consecuencia, el arrastre y transporte de las partículas del suelo, originan pequeñas zanjass o surcos (Casanova et al., 2024).

Erosión por cárcavas, se denomina cárcava al estado más avanzado de la erosión en surcos. En función de la pendiente y de la longitud de la ladera del terreno, el flujo concentrado de agua provoca el aumento de las dimensiones de los surcos formados inicialmente, hasta transformarse en grandes zanjass llamadas cárcavas, (FAO, 2022).

Una vez formados los pequeños surcos o zanjass, estos se van agrandando por efecto de la escorrentía ya que continúa el arrastre de suelo en el lecho de los surcos o

zanjas y el consecuente desprendimiento en los taludes, con lo cual se van agrandando los surcos hasta que se convierten en verdaderos zanjones o cárcavas, (FAO, 2022).

b) Factores que determinan la erosión hídrica

Según Smith (2020) factores determinantes para los sucesos de erosión hídrica son los siguientes:

El suelo: Las características físicas del suelo (estructura, textura, contenido de materia orgánica, etc.) determinan el grado de resistencia de las partículas del suelo al desprendimiento y transporte por efecto del impacto del agua sobre el suelo, de la escorrentía y la capacidad de infiltración del suelo.

La topografía: Las características topográficas que inciden en la erosión hídrica son la pendiente y la longitud de la ladera, así como la forma y tamaño del área de drenaje.

El clima: Entre los factores climáticos que más inciden en la erosión hídrica están la precipitación, el viento y la temperatura. Existe una estrecha relación entre las características de la precipitación y la escorrentía, el viento en muchos casos cambia la velocidad de la lluvia y su ángulo de impacto sobre el suelo, afectando sobre su fuerza erosiva.

La vegetación: La vegetación protege a la superficie del suelo del impacto directo del agua, sea esta proveniente de la lluvia o escorrentía. La vegetación protege al suelo mediante:

La intercepción y disminución o anulación de la energía con la que caen las gotas de lluvia ya sea mediante las hojas, tallos o los residuos de las plantas.

La reducción de la velocidad del agua de escorrentía por efecto de la resistencia hidráulica debido al “colchón” que forman los residuos vegetales o cubierta vegetal.

El aumento de la capacidad de infiltración y almacenamiento del agua debido al mejoramiento de la estructura y porosidad del suelo por efecto de las raíces, los residuos vegetales y la actividad microbiana.

El aumento de la resistencia del suelo a la erosión debido al “amarre” de las partículas que ocasionan las raíces de las plantas.

El hombre: El hombre es el agente principal y decisorio en todo proceso erosivo, debido fundamentalmente a su rol y participación en el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, agua, suelo y cubierta vegetal.

c) Etapas de la erosión hídrica

El proceso de erosión hídrica comienza primeramente por el desprendimiento de las partículas de suelo, de las partes elevadas de un terreno. El desprendimiento de estas partículas puede ser llevado a cabo por la lluvia y por el escurrimiento superficial, ya que ambos pueden llegar a poseer la suficiente energía para desprender partículas del suelo. La lluvia y el escurrimiento además de llevar a cabo la función de desprendimiento, también realizan la función de transporte de suelo, (Smith, 2020)

Según el Smith (2020), la mecánica del proceso de erosión hídrica consta de tres etapas:

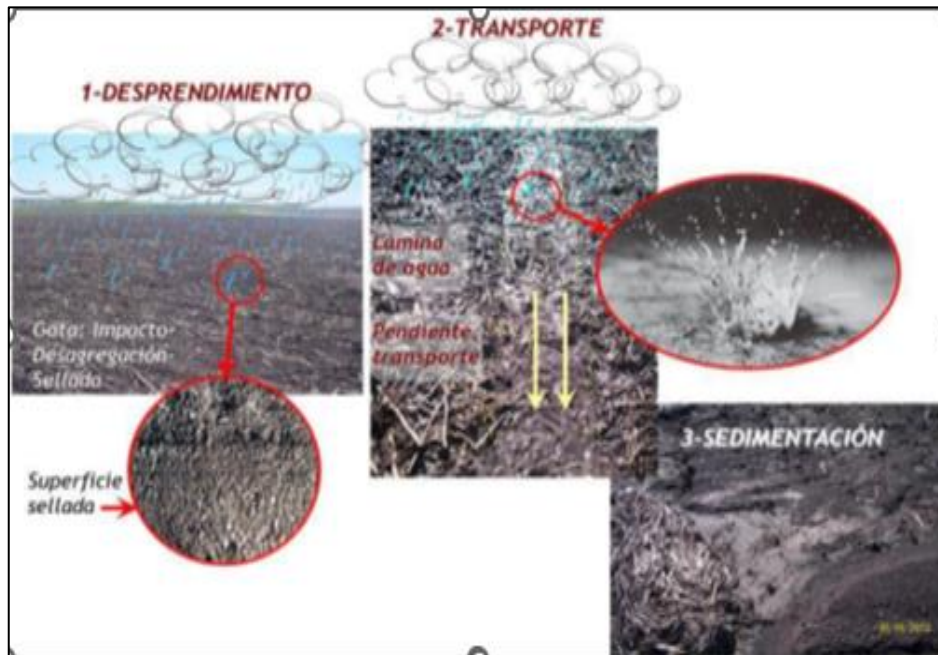
Desprendimiento: Consiste en el desprendimiento de las partículas del suelo por la acción del impacto de las gotas de lluvias en la superficie, y por el constante choque de las mismas, que mantienen en suspensión las partículas finas y en rodamiento las gruesas. La dispersión de las partículas sella los poros superficiales, lo que disminuye la capacidad de infiltración del agua. En esta etapa tiene importancia la cubierta vegetal, ya que suelos desprovistos de vegetación son susceptibles al desprendimiento.

Arrastre o transporte: El arrastre de partículas, sucede cuando el agua no se filtra en el suelo y se produce el escurrimiento superficial. La capacidad erosiva de este último está determinada por la cantidad, intensidad y distribución de las gotas de lluvia.

Sedimentación: Ocurre cuando la velocidad del flujo disminuye y las partículas en suspensión se sedimentan en la superficie del suelo.

Figura 2

Etapas del proceso de erosión hídrica



Nota: Mancilla y Marambio (2008)

1.2.3. Métodos de estimación de la erosión hídrica

Los datos sobre la erosión del suelo y los factores que la controlan, pueden tomarse en campo o para condiciones de simulación, en laboratorio, (Morgan, 1997).

Métodos cualitativos, los métodos cualitativos de estimación de la erosión hídrica, no recurren a valoraciones numéricas-cuantitativas del fenómeno natural, sino adjetivaciones ordinales de los diferentes caracteres que se toman en consideración. Entre los métodos cualitativos, destaca la cartografía de unidades homogéneas, en función de los parámetros principales que controlan el proceso erosivo (erosividad, suelo, vegetación, topografía), y la atribución de valores de cuantificación más o menos subjetivos. Los estados de la erosión real pueden ser determinados mediante la observación con sensores remotos y contrastes de campo, (Alonso et al., 2010).

Esta técnica puede ser utilizada para la cartografía de áreas con erosión entre arroyos y arroyos, cárcavas, abarrancamientos y desplazamientos en masa, de forma que, después de la valoración de los estados de erosión, se puede confeccionar el mapa cualitativo de erosión hídrica (Alonso et al., 2010).

Métodos cuantitativos, los métodos cuantitativos permiten la estimación numérica de la erosión. No sólo dan un valor de pérdidas de suelo estimadas; sino también mediante rangos cuantitativos, se pueden establecer diferentes grados erosivos, por lo que el método cuantitativo puede ser empleado para el desarrollo de metodologías cualitativas. La cuantificación se realiza a diferentes escalas desde el nivel de pedón, de parcela, ladera o cuenca (Alonso et al., 2010).

1.2.4. Modelos para estimación de erosión hídrica

1.2.4.1. Modelo de Ecuación universal de Pérdida de Suelo (USLE)

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE) fue desarrollada a fines del año 1950 y se volvió ampliamente utilizada en planes de conservación de áreas cultivadas en la década de los años ´60. A comienzos del año 1970 la USLE fue aplicada para muchos otros usos del suelo además de los utilizados en áreas cultivadas y para otras aplicaciones aparte de las usadas en los planes de conservación de suelos, también fue utilizada en estimaciones de tasas erosivas a niveles de territorios extensos como cuencas y sub cuencas, sin duda es quizás la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), la más aceptada entre las personas encargadas de la gestión de cuencas con fines de producción o de conservación, (Guzmán, 2021).

El significado de universal radica en que incluye factores que universalmente son responsables del suelo anual promedio causada por erosión laminar y en surcos. Además, estima pérdidas anuales de suelo de largo plazo y permite guiar a los conservacionistas sobre adecuadas prácticas de cultivo, manejo y conservación. Involucra erosión hídrica acelerada y las pérdidas de suelo son informadas por unidad de área y para una unidad de tiempo (ton/ha/año). No toma en cuenta la deposición de sedimentos y establece que la pérdida “A” de suelo de un área, es el producto de cinco o seis factores causativos: R, K, LS, C, P.

1.2.4.2. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE)

La metodología utilizada para estimar la pérdida de suelo está basada en el modelo de la “*Universal Soil Loss Equation*”, USLE, presentada en sus inicios por Wischmeier y Smith en el año 1962 y publicada posteriormente en su forma definitiva en el Manual 534 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Este modelo tiene su versión modificada “*Revised Universal Soil Loss Equation*” (RUSLE), de Renard et al. (1997).

Esta metodología tuvo buena aceptación en América y en países con problemas de erosión. El Modelo matemático del RUSLE, utilizado por Renard se indica en la ecuación 14.

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad \dots \dots \text{Ec. (14)}$$

Donde:

A: es el cálculo del promedio espacial y temporal de la pérdida de suelo por unidad de área (ton * ha⁻¹ * año⁻¹)

R: factor lluvia o índice de erosividad pluvial, en MJ*cm*ha⁻¹*h⁻¹

K: erosionabilidad del suelo, expresado en ton*ha*h* MJ⁻¹*ha⁻¹*cm⁻¹

L: longitud de la pendiente en m

S: factor de pendiente, en m*m⁻¹

C: factor de cultivo y uso (cubierta vegetal y manejo de recurso), sin unidades de medida.

P: factor de prácticas de conservación, si unidades de medida

Los factores L, S, C, y P son adimensionales y las unidades de K y E son similares en este caso (t/ha).

a) Factor lluvia o índice de erosividad pluvial (R)

Factor de lluvia y escurrimiento, número de unidades de índice modificado de Fournier, El índice de Fournier modificado (IFM) (Arnoldus, 1978), se aplica también a precipitaciones anuales y mensuales, y se presenta como una aproximación rápida al establecimiento de un factor de agresividad de la lluvia. Su cálculo relaciona las precipitaciones mensuales con las anuales y está representado por la ecuación (15) y (16).

$$R = 0.487 * IMF^{1.2826} \quad \dots \dots \text{Ec. (15)}$$

$$IMF = \sum \frac{Pi^2}{P} \quad \dots \dots \text{Ec. (16)}$$

Donde:

IDF: Índice modificado de Fournier

Pi: Precipitación máxima en 24 horas del mes i(mm)

P: Precipitación total del mes i(mm)

El factor erosividad de la lluvia es un índice numérico que expresa la capacidad de la lluvia para erosionar el suelo (Wischmeier & Smith,1978). En la forma original de RUSLE el factor R se calcula como la suma promedio anual de la erosividad de las

tormentas individuales, que se calcula como el producto de la energía total de la tormenta y la intensidad máxima de 30 minutos de duración (Wischmeier y Smith, 1958). A nivel nacional no contamos con registros de intensidad de lluvia (mm/h) para la aplicación del método; sin embargo, se utiliza la ecuación desarrollada por Wischmeier y Smith (1978) para el cálculo del factor “R”, ver detalle la ecuación N° 17.

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 * 10^{(1.5 \log_{10} \left(\frac{p_i^2}{P} \right) - 0.08188)} \quad \dots \dots \text{Ec. (17)}$$

Donde:

R: Factor erosividad de lluvias en MJ mm/(ha.h. año)

Pi: Precipitación mensual en mm

P: precipitación anual en mm

Tabla 2

Niveles de erosividad (R)

Clase	MJ.mm/Ha.h.año	Factor R
1	0-50	Bajo
2	50-550	Moderado
3	550-1000	Alto
4	Mayor a 1000	Muy alto

Nota: Índice de Fourier, citado por (Moreno, 2017)

b) Factor de erodabilidad del suelo (K)

Este factor (K) se define como la resistencia del suelo al proceso de erosión y transporte.

El valor del factor de Erodabilidad del suelo se puede determinar de dos maneras, de manera directa a través de la ecuación de Erodabilidad o bien de manera gráfica. Para lo cual es necesario obtener para ambas maneras ciertas propiedades del suelo:

Textura: El análisis textural del suelo es para obtener los porcentajes de arena, limo, arcilla y arenas finas. De acuerdo a los manuales originales de USLE, para efectos de la erosión del suelo la arena muy fina se comporta similar al limo.

Materia Orgánica: Se estima su proporción porcentual dentro del suelo, para lo cual se efectúa un análisis de las muestras obtenidas en campo. Según USLE, el

porcentaje de materia orgánica oscila entre 0 y 4 %, con valores de números enteros, si el contenido fijado es más que el rango especificado, se asume un 4 %.

Estructura del suelo: Se determinación se efectúa mediante la observación visual y tacto. para lo cual es recomendable emplear algún manual de comparación, de acuerdo a la USLE, las categorías y códigos empleados son solo cuatro. Lo cual veremos en la Tabla 02.

Tabla 3

Códigos USLE de estructura de suelo

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

Nota: Mancilla y Marambio (2008)

Permeabilidad del suelo: La permeabilidad del suelo se refiere a la capacidad del suelo para permitir el paso y movimiento del agua a través de sus poros y espacios interconectados. Este atributo del suelo es crucial en la regulación del ciclo hidrológico, ya que afecta la velocidad y la cantidad de infiltración de agua en el subsuelo, así como la capacidad de retención y liberación de agua por parte del suelo.

Tabla 4

Códigos USLE de permeabilidad de suelo

Código USLE	Categoría de permeabilidad	Descripción
1	Rápida	más de 12.7 cm*h-1
2	Moderada a rápida	6.3 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

Nota: Mancilla y Marambio (2008)

Método de la Ecuación de regresión de Wischmeier et al. (1990)

Una vez obtenido el análisis completo de las muestras de textura y determinados los códigos de estructura y permeabilidad, se utiliza la siguiente ecuación para establecer el USLE, indicando que solo es válida para suelos con una fracción arcillosa de 70 % o menos.

$$Kck = 1.313x \frac{[2.1x10^{-4}x(12 - MO)xM^{1.14} + 3.25x(S - 2) + 2.5x(P - 3)]}{100} \dots Ec. (18)$$

Dónde:

MO: Porcentaje de materia orgánica de las muestras

S: Código de estructura del suelo.

P: Código de permeabilidad.

M: Factor dado por el producto de la suma de los porcentajes de limo y arena muy fina con la suma de los porcentajes de arena y limos. Es decir (% limo + arena muy fina) *(100 - % arcilla).

Con las fórmulas de Williams (1995) se utilizarán las siguientes ecuaciones (19) se calcula el Factor K.

$$K = 0.1317f_{casand}*f_{cl-si}*f_{orgc}*f_{hisand} \dots Ec. (19)$$

Donde:

$$Cont. arena = f_{casand} = (0.2 \pm 0.3 * EXP \left(0.256 * ms \left(1 - \frac{msilt}{100} \right) \right)) \dots Ec. (20)$$

$$Cont. Limo - arcilla = f_{cl-si} = \left(\frac{msilt}{mc - msilt} \right) \dots Ec. (21)$$

$$Cont. m. organic. = f_{orgc} = \left(1 - \frac{0.25 * orgc}{orgc + EXP(3.72 - 2.95 * orgc)} \right) \dots Ec. (22)$$

$$P. relac. arena = f_{hisand} = \left(1 - \frac{0.7 * \left(1 - \frac{ms}{100} \right)}{\left(1 - \frac{ms}{100} \right) + EXP \left(-5.51 + 22.9 * \left(1 - \frac{ms}{100} \right) \right)} \right) \dots Ec. (23)$$

Donde:

ms: Sand=%arena

msilt: Silt=%Limo

orgc: Oc=%Materia Orgánica

mc: clay=% arcilla

Tabla 5*Clasificación de los grados de erodabilidad según USDA (1962)*

Valor de K (Ton.ha.h/ha.MJ.mm)	Clasificación
0.007902	Muy poco erodable
0.007902-0.0171	Débilmente erodable
0.0171-0.0329	Medianamente erodable
0.0329-0.0684	Fuertemente erodable
0.0684-0.1027	Extremadamente erodable

Nota: Zaragoza (2021)

Mannaerts (1999), indica que el RUSLE comprende el factor K que representa el efecto de las propiedades del suelo y de las características del perfil en la pérdida de suelo. Los valores de K son asignados usando el nomograma de erodabilidad del suelo, que combina el efecto del tamaño de las partículas, MO, estructura del suelo y la clase de permeabilidad del perfil. Es una compleja propiedad que se la entiende como la facilidad con la cual el suelo es desprendido por el salpicamiento, durante una lluvia. Esta propiedad está relacionada al efecto integrado de la lluvia, escurrimiento e infiltración.

Asimismo, indica que los suelos de textura mediana tienen índices de K moderados (0.25-0.4), porque son discretamente susceptibles al desprendimiento y producen moderados escurrimientos. Suelos de textura gruesa, tales como suelos arenosos, tienen índices bajos de K (0.05-0.2), debido a la alta permeabilidad y poco escurrimiento, aunque estos suelos son fácilmente desprendibles. Los suelos generalmente llegan a ser menos erosivos con una reducción en la fracción de limo.

A. Muestra del suelo

Una muestra de suelo para erosión hídrica es una porción de suelo extraída de un área específica que se utiliza para estudiar el comportamiento de la erosión causada por el agua, como el efecto de la lluvia o el escurrimiento en la superficie del suelo. Estas muestras son esenciales para evaluar la vulnerabilidad del suelo ante la erosión y desarrollar medidas de conservación apropiadas.

Un concepto relacionado, según la definición de (Lal, 2001), explica que "la erosión hídrica del suelo se refiere a la remoción de la capa superficial del suelo por las fuerzas de la lluvia, el escurrimiento superficial o ambos, lo que provoca una pérdida

"significativo de nutrientes y estructura del suelo". Esto resalta la importancia de estudiar muestras de suelo para comprender cómo las condiciones del suelo y la vegetación pueden influir en el riesgo de erosión.

A.1. Tipo de muestra

Muestras simples: La muestra se obtiene mediante una única extracción de suelo y se utiliza principalmente en investigaciones o cuando se trata de suelos altamente uniformes. Además, son útiles en sistemas agrícolas precisos en los que se requiere un muestreo sistemático y extremadamente intensivo (Carnicer et al., 2020).

Muestras compuestas: Las muestras compuestas son aquellas que se crean combinando varias muestras individuales en una muestra representativa más grande. Este enfoque se utiliza comúnmente en la investigación y el muestreo de diversos materiales, como suelos, agua, aire o productos químicos. El proceso de creación de una muestra compuesta implica tomar porciones de múltiples muestras individuales y combinarlas de manera cuidadosa y proporcional, de modo que la muestra compuesta refleje de manera representativa las características del conjunto original. Este método se utiliza cuando se busca obtener una visión más global y precisa de un área o población en lugar de depender únicamente de una muestra individual. En el contexto del muestreo de suelos, por ejemplo, se pueden recoger muestras de diferentes ubicaciones en un área específica y luego combinar pequeñas porciones de cada una de ellas para formar una muestra compuesta. Esto permite obtener una muestra más representativa de las características promedio del suelo en esa área en particular. El uso de muestras compuestas ayuda a reducir la variabilidad inherente a las muestras individuales y proporciona una visión más completa y precisa de las propiedades o características que se están investigando. Este enfoque es especialmente útil cuando se trabaja con grandes extensiones de terreno o cuando se busca obtener información generalizada sobre una población más amplia. La muestra compuesta se obtiene al extraer en cada área homogénea varias muestras simples (submuestras), tomadas a la misma profundidad y con un volumen de suelo semejante, que posteriormente son reunidas en un recipiente, mezcladas y de la cual se extrae una muestra de 0,5 a 1 kg de suelo, que es la muestra que finalmente se enviará al laboratorio para su análisis (Carnicer et al., 2020).

A.2. Formas de muestreo

Muestreo sistemático espacial (en superficie): El muestreo sistemático espacial en superficie es una técnica utilizada en la investigación geoespacial y ambiental para recopilar datos de manera sistemática y representativa en un área extensa. Esta metodología implica la selección de puntos de muestreo de manera regular y ordenada en un espacio geográfico, siguiendo un patrón predefinido. El proceso comienza dividiendo el área de interés en una cuadrícula o red, y luego seleccionando puntos de muestreo a intervalos regulares dentro de esta cuadrícula. Por ejemplo, si se está muestreando el suelo en un campo agrícola, se podrían seleccionar puntos de muestreo en una cuadrícula regular con una separación constante entre ellos. El objetivo principal del muestreo sistemático espacial es garantizar que se obtengan datos representativos de toda el área de estudio, evitando sesgos y proporcionando una cobertura uniforme. Esto facilita la extrapolación de los resultados a todo el espacio geográfico. Es importante destacar que la elección del tamaño de la cuadrícula y el intervalo entre puntos de muestreo dependerá de la escala del estudio y de la variabilidad espacial de las características que se están analizando. Este enfoque puede aplicarse en diversas disciplinas, como la agricultura, la geología, la ecología y la evaluación ambiental, donde se busca entender y caracterizar patrones espaciales de variables específicas (Carnicer et al., 2020).

A.3. Profundidad de muestreo y condición de humedad

Carnicer et al. (2020) nos menciona que la profundidad del muestreo depende del objetivo del análisis, del parámetro a evaluar, de la profundidad de los horizontes (especialmente del horizonte superficial), del tipo de labranza y de la profundidad de exploración de las raíces. La profundidad de muestreo y la condición de humedad son aspectos clave en la recopilación de muestras de suelo y están estrechamente relacionadas con el estudio de las propiedades del suelo y la evaluación de su calidad.

Para la mayoría de las mediciones de parámetros con poca variabilidad y movilidad en el tiempo y/o en el espacio, como la materia orgánica, el fósforo extraíble y el pH, se recomienda tomar muestras a una profundidad de 0-20 cm

c) Factor topográfico (LS)

El factor LS es el producto de los subfactores longitud (L) y pendiente (S) del terreno, quienes se calculan con las siguientes expresiones algebraicas (Renard, et al., 1997). Veamos el siguiente esquema de ecuaciones:

Facto L:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m \quad \dots \dots Ec. (24)$$

Para:

$$m = \frac{F}{1 + F} \quad \dots \dots Ec. (25)$$

$$\lambda = \left(\frac{Facum. tif}{3.1416} \right)^{0.5} \quad \dots \dots Ec. (26)$$

$$F = (\sin \beta / 0.0896) / (3 * (\sin \beta)^{0.8} + 0.56) \quad \dots \dots Ec. (27)$$

Con el SIG, (Desmet Y Gover, velazquez 2008), se aplica la siguiente fórmula:

$$L(i, j) = \frac{(A(i, j) + D^2)^{m+1} - A(i, j)^{m+1}}{x^m * D^{m+2} * (22.13)^m} \quad \dots \dots Ec. (28)$$

Donde:

β : Pendiente a nivel de pixel ($^\circ$) (debe estar expresado en radianes, a grados multiplicar 0.01745).

A: Acumulación de flujo a nivel de pixel.

D: Tamaño de lado de pixel.

X: Coeficiente de forma (X=1).

λ : Longitud de declive o pendiente (landa)

Factor S:

$$S(i, j) = 10.8 * \text{sen}\beta(i, j) + 0.03 ; \tan\beta(i, j) < 0.09 \quad \dots \dots Ec. (29)$$

$$S(i, j) = 10.8 * \text{sen}\beta(i, j) - 0.5 ; \tan\beta(i, j) \geq 0.09 \quad \dots \dots Ec. (30)$$

Tabla 6

Factor LS según grupos de pendientes

Grupo de Pendientes (%)	Valor Aproximado del Factor LS
0 - 3	0.3
03-12	1.5
12-18	3.4
18-24	5.6
24-30	8
30-60	14.6
60-70	20.2
70-100	25.2
>100	28.5

Nota: DUMAS (2012)

d) Factor cobertura vegetal (C)

La cobertura vegetal es la principal barrera contra la erosión del suelo, pero el mantenimiento adecuado de las prácticas de cultivo y manejo también tiene un gran impacto en la capacidad de la superficie del suelo para resistir la erosión (INETER, 2005).

Con el fin de comparar los impactos relativos de las opciones de manejo en los planos de conservación, se utiliza más frecuentemente el factor C, que refleja la eficiencia del cultivo y las prácticas de manejo en las tasas de erosión. El factor C indica el impacto del plan de conservación en su capacidad para afectar medidamente la pérdida anual y la distribución de la pérdida potencial de suelo en el tiempo con ciertos ciclos de manejo, incluyendo rotaciones de cultivo y otros procedimientos (Aouichy et al., 2022).

El procedimiento de especialistas en imágenes satelitales permite la identificación de los principales lugares en cuenta de la profunda erosión. En relación a las tasas de erosión en tierras agrícolas, el Factor C es un parámetro crucial para evaluar la proporción de pérdida de suelo en un terreno particular y las prácticas de manejo en el suelo. Los valores nacionales del Factor C dependen de una multitud de factores, incluidas las precipitaciones, las prácticas agrícolas y el tipo de cultivo, entre otros (Ruiz y Pacheco, 2020).

✓ Imágenes multiespectrales Sentinel

Las imágenes multiespectrales Sentinel son capturas satelitales obtenidas mediante sensores que registran información en múltiples bandas del espectro electromagnético. Estas imágenes permiten analizar características de la superficie terrestre, como la vegetación, el agua y el suelo, facilitando estudios ambientales y de gestión territorial. La misión Sentinel-2, desarrollada por la Agencia Espacial Europea (ESA), proporciona imágenes con alta resolución espacial (10-20 m por píxel) y una amplia cobertura espectral, lo que la hace ideal para aplicaciones en agricultura, monitoreo de ecosistemas y detección de cambios en el uso del suelo. (Canalejo, 2018).

Con una órbita polar, Sentinel-2 es la segunda misión europea de constelación de satélites (Sentinel-2A y 2B). Al decir, el satélite navega una vez más en una línea perpendicular a la línea del ecuador. Se ha mencionado que el nombre Sentinel-2 significa la segunda misión del programa espacial Europa, lo cual es crucial evitar desconcreción

con la enumeración que contiene las imágenes de esta constelación. Este programa se refiere al satélite A en la sentencia-2A de la segunda misión. Debido a su función de almacenar el sistema de monitoreo global para el seguro y el ambiente (GMES, por sus siglas en inglés), se propuso esta misión. El desfase de 180 grados se aplica a los dos satélites de la constelación, cada uno utilizando un Instrumento Multiespectral (MSI). El MSI mezcla la radiación que atraviesa la atmósfera y que refleja la tierra. Este instrumento permite la captura de 13 bandas espectrales, todas de las que incluyen segmentos del espectro electromagnético visible y cercano al infrarrojo (VNIR o SWIR por sus siglas en inglés).

Las bandas se distribuyen así:

Cuatro bandas de resolución espacial de 10 metros, doble azul, verde, rojo y próxima al infrarrojo.

Se presentan dos bandas más anchas que en el segmento SWIR, utilizando los 20 metros de resolución espacial, dos bandas delgadas para el objetivo de caracterizar la vegetación, y 4 bandas delgadas para detectar nieve, hielo, nubes o la humedad de vegetación.

Tres bandas de resolución espacial de 60 metros, especialmente usadas para la detección de nubes y correcciones atmosféricas.

El propósito de la misión Sentinel-2 consta en la proporción de una Nota operativa de información óptica, temporal adicional, cobertura excesiva, conveniente y la proporción de una Nota operativa de información óptica, temporal adicional, cobertura excesiva, conveniente, y confiable.

El recibe un producto Sentinel-2 en función de los metadatos de usuario que generan relevancias y el área de interés seleccionada por el escritor. Este producto está constituido por un grupo de "Granules" o "Tiles" (para productos o rectificadas), que intersecan el área de interés configurada por el usuario. Un gránulo se define como la parte mínima e indivisible de un producto que contiene todas las bandas espectrales posibles. Es decir, un mosaico se refiere a una proyección cartográfica de 100 km x 100 km ortorrectificada utilizando la referencia UTM/WGS84. Según otras palabras, la órbita

de los satélites Sentinel-2 no es exactamente perpendicular al Ecuador terrestre. De otras palabras, contiene un grado de inclinación que permite el recorrer de diversas zonas del territorio (Niño & Castro, 2020).

✓ Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NDVI

El índice de Vegetación Diferencial Normalizado es el más familiar de todos y la más implementada en todos entonces. Su sencillez de cálculo y contenido con un rango fijo de variación (entre -1 y +1) son factores fundamentales que permiten la estabilidad de umbrales y la comparación de imágenes (Muñoz, 2013).

Valores muy bajos de NDVI, del orden de 0.1, corresponden a áreas rocosas, arenosas o nevadas.

Valores de 0.2 a 0.3, pueden corresponder a áreas pobres con arbustos o pasturas naturales. Las operaciones de álgebra de mapas para el cálculo del NDVI, se aplicaron funciones diversas aplicaciones adquiridas bandas espectrales del sensor Sentinel. Utilizando las bandas 8 y 4 del satélite Sentinel 2, se obtuvo el NDVI para cada imagen seleccionada (Ruiz & Pacheco, 2020).

$$NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED) \quad \dots \dots Ec. (31)$$

Donde:

NDVI= Índice normalizado de diferencia de vegetación

NIR= Banda infrarrojo cercano (banda 8)

RED= Banda roja visible (banda 4)

✓ Estimación del Factor C

El Factor C se calculó con base en el NDVI, usando las ecuaciones 32 y 33, propuestas por (Van der Knijff et al. 1999) y (Carvalho et al. 2014). Como se verificó en términos de campo e interpretación visual de la imagen ráster, se aseguró cuál de estas ecuaciones se ajustó mejormente, según la época del año, por comparar los resultados con la cobertura real en sitios preestablecidos y verificados (Ruiz & Pacheco, 2020).

$$FC_{vk} = \exp(-\alpha * \frac{NDVI}{\beta - NDVI}) \quad \dots \dots Ec. (32)$$

Donde:

FC_vk= Factor C (Van der Knijff et al.1999)

Exp. =Función exponencial

α= Alfa

β = Beta

NDVI: Índice normalizado de diferencia de vegetación

$$FC_c = \left(\frac{1 - NDVI}{2} \right) \quad \dots \dots Ec. (33)$$

Donde:

FC_c= Factor C (Carvalho et al.2014)

NDVI= Índice normalizado de diferencia de vegetación

Tabla 7

Valores de NDVI

Factor C	Clase	Descripción
< 0,1	1	Bosque y selva nublada
0,1 – 0,2	2	Bosque, Cultivo y Pastizales
0,2 – 0,3	3	Pastizales
0,3 – 0,4	4	Cultivo y Pastizales
0,4 – 0,5	5	Cultivo y Arbustales
0,5 – 0,6	6	Vegetación Escasa
0,6 – 0,9	7	Vegetación Semiárida
> 0,9	8	Suelo desnudo

Nota. Ruiz & Pacheco. (2020)

e) Factor de prácticas de conservación (P)

Morgan (1994) menciona que las estrategias para el control de la erosión utilizan técnicas de conservación de suelos con las que se pretende mantener las pérdidas de suelo por debajo del umbral que, teóricamente, debe permitir a la velocidad natural de formación del suelo compensar las pérdidas por erosión. La erosión es un proceso natural, no puede evitarse totalmente, pero puede reducirse a un valor máximo aceptable o pérdida tolerable de suelo. El éxito de una estrategia para el control de la erosión pasa necesariamente por tres pasos.

Identificar correctamente los problemas erosivos y por lo tanto los procesos de erosión identificando las áreas con mayor riesgo de erosión y como consecuencia conocer las principales zonas de origen del sedimento.

Diseñar las medidas de conservación de suelos más adecuadas para controlar el problema. Analizar la disposición de los comuneros y restantes agentes para llevar a cabo las medidas de conservación.

P: Factor de prácticas de conservación, proporción de pérdida de suelo con una práctica de conservación (cultivos en contorno, barreras vivas, etc.), con respecto a aquella con labranza en sentido de la pendiente.

FAO considera pérdidas de suelo tolerables entre 2,2 y 11,2 T/ha/año, según profundidad del perfil.

El factor P de la USLE se refiere a qué impacto se observa en las prácticas de control de erosión sobre la tasa de erosión. P constituye el factor de control de erosión (Dumas, 2012 como se cita en Velásquez, 2008).

El impacto de mejoras prácticas, cultivos como cultivo en contorno o en bandas, se refiere a este factor. Él podría ser obtenido de tablas y su valor se basa en la pendiente del terreno. Entre 0 y 1 se encuentran los valores de P. Los valores obtenidos en ensayos experimentales son utilizados para calcular la capacidad de P por consiguiente adición a conservación de suelos (Dumas, 2012 como se cita en INETER, 2005).

Estos tipos de prácticas no son observadas en la zona de estudio o son de gran medida, lo que resulta en la ignorancia de este factor.

f) Erosión potencial

La erosión potencial se determina mediante la multiplicación de los factores R, K y LS considerando el factor C y P con valor de 1; considerándose como suelos desnudos por tanto se clasifican en niveles de acuerdo a la tabla establecida según (FAO, 1980).

Tabla 8*Clasificación de erosión según (FAO,1980)*

Nivel	Perdida de suelo T. ha ⁻¹ . año	tipo de erosión
1	< 5	Baja Normal
2	5 - 25	Ligera
3	25 - 50	Moderada
4	50 - 100	Alta o Severa
5	100 - 200	Muy alta o Muy severa
6	>200	Critica o catastrófica

Nota. FAO (1980)

g) Erosión actual

Para determinar la erosión actual se considera el modelo original del método de USLE; durante el período de estudio, se implementan prácticas de conservación P y la multiplicación de los factores de cobertura vegetal C y erosión potencial.

❖ Precipitación

Es el parámetro más importante de los modelos hidrológicos, constituye la masa de agua inicial de entrada al sistema hidrológico; existen varios métodos para calcular o estimar este dato, a continuación, presentamos algunos alcances para calcular la precipitación media de un espacio geográfico o cuenca. (Villón, 2002)

1) Análisis de los datos de precipitación

La información pluviométrica o pluviográfica antes de ser estudiada en su comportamiento debe ser revisada y analizada en tres aspectos importante: si los datos de la estación son completos, si es consistente y si es de extensión suficiente.

2) Análisis de homogeneidad y consistencia

El hidrólogo o especialista que desea desarrollar un estudio hidrológico, debe buscar la información de la cuenca en estudio, en las instituciones encargadas de su recopilación, pero una vez obtenido ésta, una de las interrogantes que se debe hacer es: ¿Es confiable la información disponible?

La respuesta a esta pregunta, se obtiene realizando un análisis de consistencia de la información disponible, mediante criterios físicos y métodos estadísticos que permitan

identificar, evaluar y eliminar los posibles errores sistemáticos que han podido ocurrir, sea por causas naturales u ocasionados por la intervención de la mano del hombre.

Inconsistencia: Es el error sistemático (déficit en la toma de datos, cambio de estación de registro, etc.) y se representa como saltos y tendencias.

La no homogeneidad: Son los cambios de los datos vírgenes con el tiempo debido a la acción del hombre o causadas naturales como: movimiento de las estaciones (horizontal y vertical), cambios en el medio ambiente de una estación, etc.

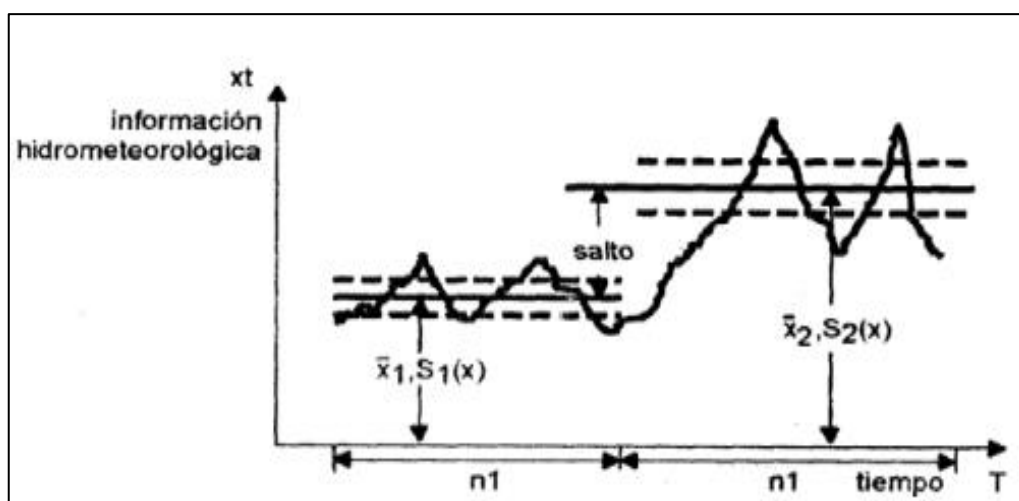
Esta inconsistencia y no homogeneidad se pone de manifiesto con la presencia de saltos y/o tendencias en las series hidrológicas (las cuales se muestran en las figuras 3 y 4), afectando las características estadísticas de dichas series, tales como la media, desviación estándar y correlación serial.

El análisis de consistencia de la información, es el proceso que consiste en la identificación o detección, descripción y remoción de la no homogeneidad e inconsistencia de una serie de tiempo hidrológico. (Villón, 2002)

Antes de utilizar la serie histórica para el modelamiento, es necesario efectuar el análisis de consistencia respectiva, a fin de obtener una serie confiable, es decir, homogénea y consistente.

Figura 3

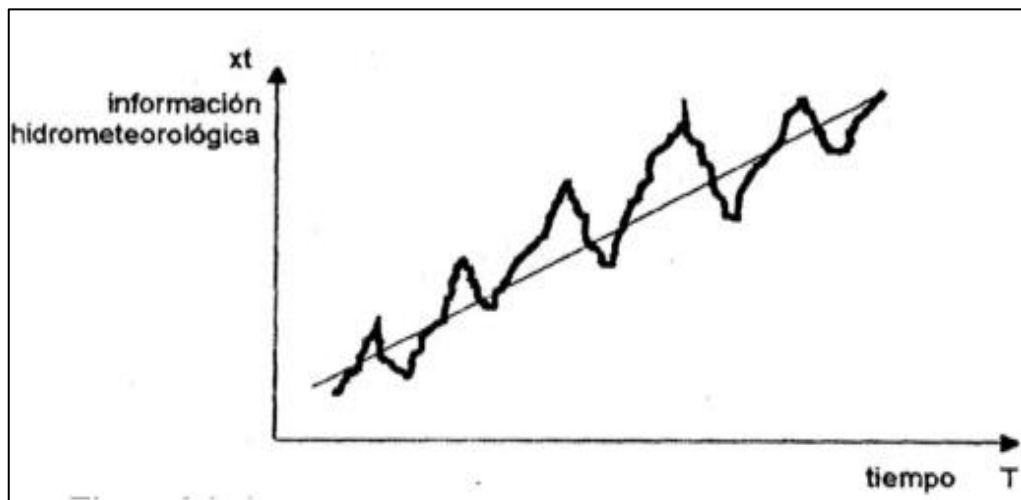
Serie con componente transitoria en forma de salto.



Nota: (Villon, 2002)

Figura 4

Serie con componente transitoria en forma de tendencia



Nota: (Villon, 2002)

El análisis de consistencia de la información hidrológica, se realiza mediante los siguientes procesos:

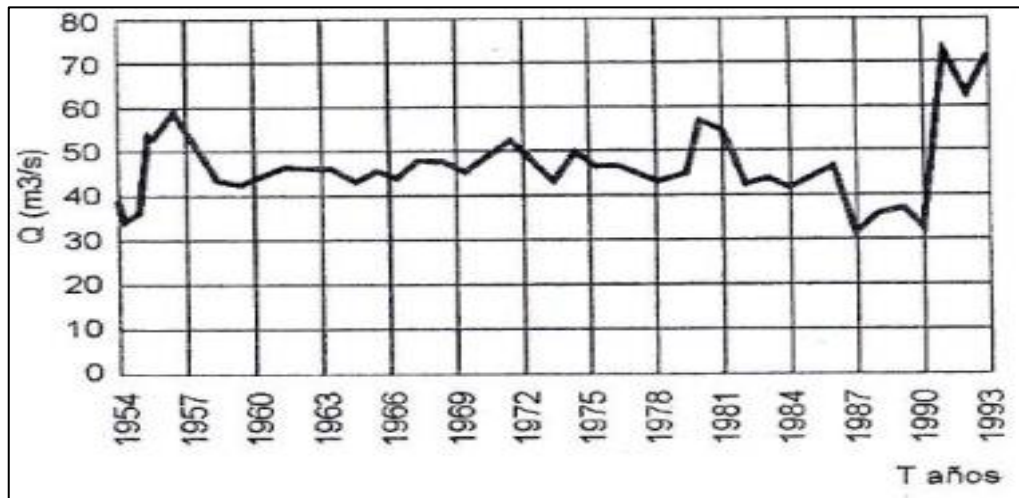
- ✓ Análisis visual gráfico
- ✓ Análisis doble masa
- ✓ Análisis estadístico

a) Análisis visual grafico

En coordenadas cartesianas se plotea la información hidrológica histórica, ubicándose en las ordenadas, los valores de la serie y en las abscisas del tiempo (años, meses, días, etc). Un ejemplo de una serie de caudales promedio anuales se muestra en la figura 5. Este grafico sirve para analizar la consistencia de la información hidrológica en forma visual, e indicar el periodo o periodos en los cuales la información es dudosa, lo cual se puede reflejar como “picos” muy altos o valores muy bajos, saltos y/o tendencias, los mismos que deberán comprobarse, si son fenómenos naturales que efectivamente han ocurrido, o si son producto de errores sistemáticos. (Villon, 2002).

Figura 5

Serie histórica de caudales promedios anuales.



Nota: (Villon, 2002)

Para conocer la causa del fenómeno detectado, se puede analizar de diversas formas:

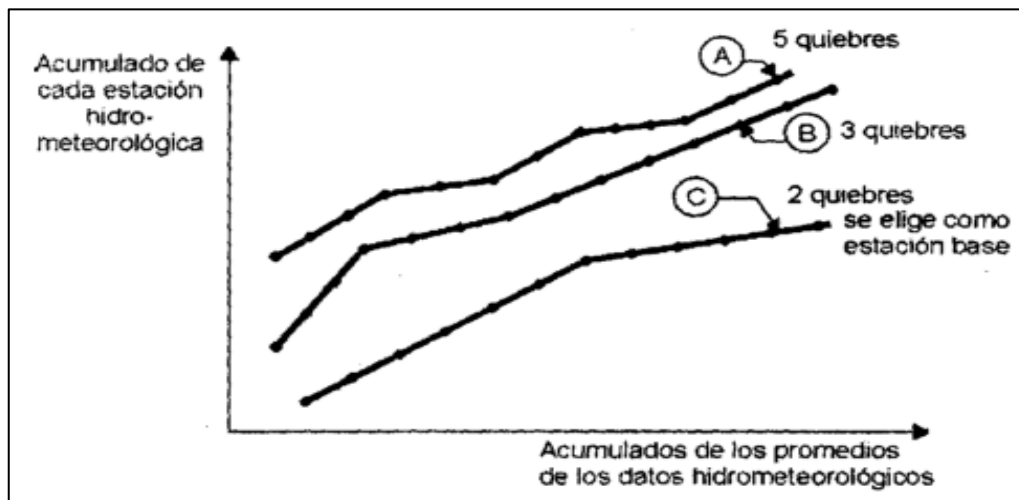
- ✓ Cuando se tienen estaciones vecinas, se comparan los gráficos de las series históricas, y se observa cual periodo varía notoriamente uno con respecto al otro.
- ✓ Cuando se tiene una sola estación, esta se divide en varios periodos y se compara con la información de campo obtenida.
- ✓ Cuando se tienen datos de precipitación y escorrentía, se comparan los diagramas, los cuales deben ser similares en su comportamiento.
- ✓ La interpretación de estas comparaciones, se efectúa conjuntamente con el análisis doble masa.

b) Análisis doble masa

Este análisis se utiliza para tener una cierta confiabilidad en la información, así como también, para analizar la consistencia en lo relacionado a errores, que pueden producirse durante la obtención de los mismos, y no para una corrección a partir de la recta doble masa. El diagrama doble masa se obtiene ploteando en el eje de las abscisas los acumulados, por ejemplo, de los promedios de los volúmenes anuales en millones de m³ (MM), de todas las estaciones de la cuenca y, en el eje de las ordenadas los acumulados de los volúmenes anuales, en millones de m³, de cada una de las estaciones en estudio, como se muestra en la figura 6.

Figura 6

Análisis doble masa para determinar la estación base.

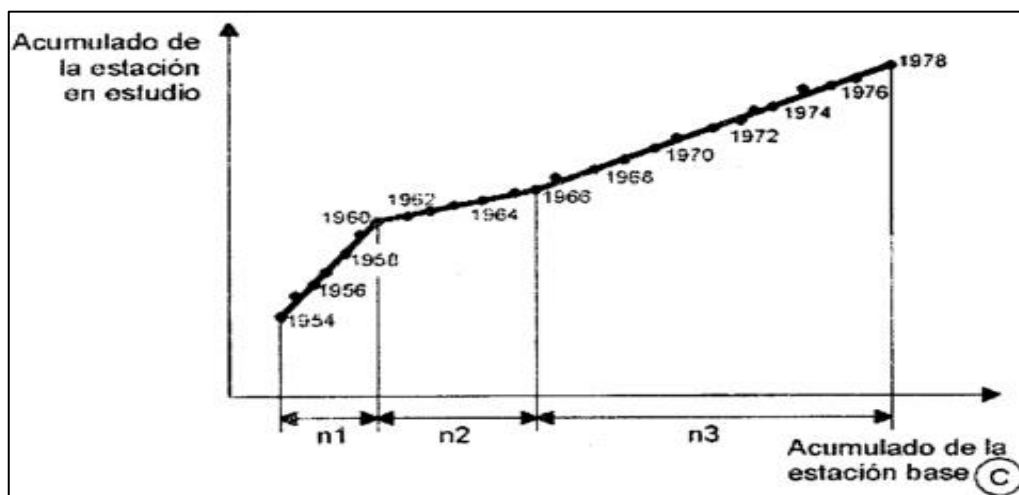


Nota: (Villon, 2002)

De estos doble masas se selecciona como la estación más confiable, la que presenta el menor número de quiebres, en el ejemplo de la figura 6, corresponde a la estación C, la cual se usa como estación base para el nuevo diagrama doble masa colocando en el eje de las abscisas la estación base y en el de las ordenadas la estación en estudio, como se muestra en la figura 7.

Figura 7

Análisis doble masa para obtener los periodos de estudio (en este caso n_1 , n_2 , n_3)



Nota: (Villon, 2002)

El análisis doble masa propiamente dicho, consiste en conocer mediante los “quiebres” que se presentan en los diagramas, las causas de los fenómenos naturales, o si

estos han sido ocasionados por errores sistemáticos. En este último caso, permite determinar el rango de los periodos dudosos y confiables para cada estación en estudio, la cual se deberá corregir utilizando ciertos criterios estadísticos. Para el caso de la figura 7, el análisis de doble masa, permite obtener los periodos, n_1 , n_2 , n_3 , que deben estudiarse, con el análisis estadístico.

c) Análisis estadístico

Después de obtener de los gráficos contruidos para el análisis visual y de los de doble masa, los periodos de posible corrección, y los periodos de datos que se mantendrán con sus valores originales, se procede al análisis estadístico de saltos, tanto en la media como en la desviación estándar. (Villon, 2002)

▪ Análisis de saltos

Se realiza mediante un análisis estadístico, o sea mediante un proceso de inferencia para las medias y desviación estándar, de ambos periodos; mediante las pruebas Ty F respectivamente.

$$\bar{X}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^n X_i \quad \dots \dots Ec. (34)$$

$$\bar{X}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^n X_i \quad \dots \dots Ec. (35)$$

Donde:

X_i = infomación de análisis

$\bar{X}_1, \bar{X}_2$ = medias del periodo 1 y 2 respectivamente

n_1, n_2 = tamaño del periodo 1 y 2 respectivamente

$$S_1 = \left[\frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_1)^2 \right]^{1/2} \quad \dots \dots Ec. (36)$$

$$S_2 = \left[\frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_2)^2 \right]^{1/2} \quad \dots \dots Ec. (37)$$

Donde:

X_i = infomación de análisis

$\bar{X}_1, \bar{X}_2$ = medias del periodo 1 y 2 respectivamente

n_1, n_2 = tamaño del periodo 1 y 2 respectivamente

S_1, S_2 = desviacion estándar del periodo 1 y 2 respectivamente

n = tamaño de muestra = $n_1 + n_2$

Consistencia en la media (Prueba de medias)

El análisis estadístico consiste en probar, mediante la prueba t (prueba de hipótesis), si los valores medios ($\bar{X}_1, \bar{X}_2$) de las submuestras, son estadísticamente iguales o diferentes con una probabilidad del 95 % o con 5% de nivel de significación, de la siguiente manera:

- **Cálculo de las desviaciones estándar de promedios y ponderada**

$$S_{\bar{d}} = S_p * \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots \dots Ec. (38)$$

Donde:

S_p = desviación estándar de los promedios

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots \dots Ec. (39)$$

Donde:

S_p = Desviación estándar ponderada

- **Cálculo del t calculado (t_c), según “T” de STUDENT**

$$t_c = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (u_1 - u_2)}{S_{\bar{d}}} \quad \dots \dots Ec. (40)$$

Donde:

$u_1 - u_2 = 0$ (por hipótesis, la hipótesis es que la media son iguales),

T_c es el estadístico

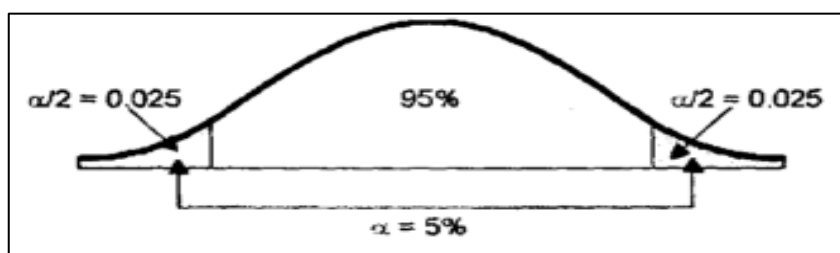
T calculado .

- **Cálculo del t tabular T_t :**

El valor T_t (tabular), se calcula con una probabilidad 95% o con nivel de significancia (5%), es decir: $\alpha/2 = 0.025$ y G.L = $n_1 + n_2 - 2$.

Figura 8

Grados de libertad



Nota: (Villon, 2002)

- **Comparación del Tc con el Tt:**

$$\text{Si } |T_c| \leq T_t(95\%) \rightarrow \bar{X}_1 = \bar{X}_2 \text{ (estadísticamente)}$$

En este caso, siendo las medias $\bar{X}_1 = \bar{X}_2$ estadísticamente, no se debe realizar proceso corrección:

$$\text{Si } |T_c| > T_t(95\%) \rightarrow \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2 \text{ (estadísticamente)}$$

En este caso, siendo las medias $\bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$ estadísticamente, se debe corregir la información.

Consistencia en la desviación estándar (Prueba de variancias)

- **Cálculo F calculado (F_c), Según “F” de FISHER**

$$\text{Si } S_1^2(X) > S_2^2(X) \rightarrow F_c = \frac{S_1^2(X)}{S_2^2(X)} \quad \dots \dots \text{Ec. (41)}$$

$$\text{Si } S_2^2(X) > S_1^2(X) \rightarrow F_c = \frac{S_2^2(X)}{S_1^2(X)} \quad \dots \dots \text{Ec. (42)}$$

- **Cálculo del F tabular (valor crítico de F o Ft)**

Se obtiene de las tablas F para una probabilidad del 95%, es decir, con un nivel de significación $\alpha = 0.05$ y grados de libertad:

$$\text{Si } S_1^2(X) > S_2^2(X) \rightarrow F_c = \frac{S_1^2(X)}{S_2^2(X)}$$

$$G.L.N. = n_1 - 1$$

$$G.L.D. = n_2 - 1$$

$$\text{Si } S_2^2(X) > S_1^2(X) \rightarrow F_c = \frac{S_2^2(X)}{S_1^2(X)}$$

$$G.L.N. = n_2 - 1$$

$$G.L.D. = n_1 - 1$$

Dónde:

G.L.N: granos de libertad del numerador

G.L.D: grados de libertad del denominador

- **Comparación del Fc con el Ft:**

$$\text{Si } |F_c| \leq F_t(95\%) \rightarrow S_1(x) = S_2(x) \text{ (estadísticamente)}$$

En este caso, siendo las medias $S_1(x) = S_2(x)$ estadísticamente, no se debe realizar proceso corrección:

$$\text{Si } |F_c| > F_t(95\%) \rightarrow S_1(x) \neq S_2(x) \text{ (estadísticamente)}$$

En este caso, siendo las medias $S_1(x) \neq S_2(x)$ estadísticamente, se debe corregir la información.

Corrección de los datos

En los casos en que los parámetros media y desviación estándar de las submuestras de las series de tiempo, resultan estadísticamente iguales, la información original no se corrige, por ser consistente con 95% de probabilidad, aun cuando en la doble masa se observe pequeños quiebres. En caso contrario, se corrigen los valores de las submuestras mediante las siguientes ecuaciones:

$$X'_{(t)} = \frac{X_t - \bar{X}_1}{S_1(x)} \cdot S_2(x) + \bar{X}_2 \quad \dots \dots \text{Ec. (43)}$$

$$X'_{(t)} = \frac{X_t - \bar{X}_2}{S_2(x)} \cdot S_1(x) + \bar{X}_1 \quad \dots \dots \text{Ec. (44)}$$

Donde:

$X'_{(t)}$: Valor corregido saltos

X_t : Valor a ser corregido

La ecuación (43), se utiliza cuando se deben corregir los valores de la submuestra de tamaño n_1 , y la ecuación (44), si se deben corregir la submuestra de tamaño n_2

▪ Análisis de tendencias

Antes de realizar el análisis de tendencias, se realiza el análisis de saltos y con la serie libre de saltos, se procede a analizar las tendencias en la media y en la desviación estándar.

Consistencia o tendencia en la media

La ecuación de regresión lineal simple (t : tiempo, T_m : Variable hidrológica sin saltos)

$$T_m = A_m + B_m t \quad \dots \dots \text{Ec. (44)}$$

Media

$$\bar{T}_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{m_i} \quad \dots \dots \text{Ec. (45)}$$

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad \dots \dots \text{Ec. (46)}$$

Donde:

$\overline{T_m}$: Promedio de las tendencias T_m

$\bar{t}$: Promedio del tiempo t

Desviación estándar

$$S_t = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots \dots \text{Ec. (47)}$$

$$S_{T_m} = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (T_m - \overline{T_m})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots \dots \text{Ec. (48)}$$

Donde:

S_t : desviación estándar del tiempo t

S_{T_m} : desviación estándar de la tendencia media T_m

n : número de muestra

Coefficiente de correlación (R) y parámetro de recta (A_m y B_m)

$$\overline{tT_m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i T_{m_i} \quad \dots \dots \text{Ec. (49)}$$

$$R = \frac{\overline{t \cdot T_m} - \bar{t} \overline{T_m}}{S_t \cdot S_{T_m}} \quad \dots \dots \text{Ec. (50)}$$

$$A_m = \overline{T_m} - \bar{t} B_m \quad \dots \dots \text{Ec. (51)}$$

$$B_m = R \cdot \frac{S_{T_m}}{S_t} \quad \dots \dots \text{Ec. (52)}$$

Prueba de hipótesis (t de Student)

$$t_c = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}} \quad \dots \dots \text{Ec. (53)}$$

Corrección de datos

$$Y = X - T_m + \overline{T_m} \rightarrow Y = X - (A_m + tB_m) + \overline{T_m} \quad \dots \dots \text{Ec. (54)}$$

b.2) Consistencia o tendencia en la desviación estándar

La ecuación de regresión lineal simple (t : tiempo, T_s : Variable sin tendencia en la media)

$$T_s = A_s + B_s t \quad \dots \dots \text{Ec. (55)}$$

Media

$$\bar{T}_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{s_i} \quad \dots \dots Ec. (56)$$

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad \dots \dots Ec. (57)$$

Donde:

$\bar{T}_s$: Promedio de las tendencias T_s

$\bar{t}$: Promedio del tiempo t

Desviación estándar

$$S_t = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots \dots Ec. (58)$$

$$S_{T_s} = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (T_s - \bar{T}_s)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots \dots Ec. (59)$$

Donde:

S_t : desviación estándar del tiempo t

S_{T_s} : desviación estándar de la tendencia media T_m

n : número de muestra

Coeficiente de correlación (R) y parámetro de recta (A_m y B_m)

$$\overline{tT_s} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i T_{s_i} \quad \dots \dots Ec. (60)$$

$$R = \frac{\overline{t.T_s} - \bar{t}\bar{T}_s}{S_t \cdot S_{T_s}} \quad \dots \dots Ec. (61)$$

$$A_s = \bar{T}_s - \bar{t}B_s \quad \dots \dots Ec. (62)$$

$$B_s = R \cdot \frac{S_{T_s}}{S_t} \quad \dots \dots Ec. (63)$$

Prueba de hipótesis (t de Student)

$$t_c = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}} \quad \dots \dots Ec. (64)$$

Corrección de datos

$$Z = \frac{Y - T_m}{T_s} \overline{T_s} + \overline{T_m} \rightarrow Z = \frac{Y - T_m}{A_s + tB_s} \overline{T_s} + \overline{T_m} \quad \dots \dots Ec. (65)$$

1.2.4.3. Sistema de Información Geográfica (SIG)

Los Sistemas de Información Geográfica son programas informáticos que proporcionan herramientas para el procesamiento, gestión, análisis y representación de datos con una componente cartográfica en formato digital, (Orán et al., 2010). Básicamente, un SIG ha de permitir la realización las siguientes operaciones:

- Lectura, edición, almacenamiento y, en términos generales, gestión de datos espaciales.
- Análisis de dichos datos. Esto puede incluir desde consultas sencillas a la elaboración de complejos modelos, y puede llevarse a cabo tanto sobre la componente espacial de los datos (la localización de cada valor o elemento) o la componente temática (el valor o el elemento en sí).
- Generación de resultados tales como mapas, informes, gráficos, etc.

Componentes de un Sistema de Información Geográfica (SIG)

Una forma de ver el sistema SIG es atendiendo a los elementos básicos que lo componen, cinco son los elementos principales que se contemplan tradicionalmente en este aspecto (Olaya, 2014):

Datos: Los datos son la materia prima necesaria para el trabajo en un SIG, y los que contienen la información geográfica vital para la propia existencia de los SIG.

Métodos: Un conjunto de formulaciones y metodologías a aplicar sobre los datos.

Software: Es necesaria una aplicación informática que pueda trabajar con los datos e implemente los métodos anteriores.

Hardware: El equipo necesario para ejecutar el software.

Personas: Las personas son las encargadas de diseñar y utilizar el software, siendo el motor del sistema SIG.

a) Programa ArcGIS

Es un sistema de información geográfica SIG cuyas funcionalidades nos permite crear datos geográficos con digitalización asistida, realizar operaciones de análisis

espacial. Crear visualizaciones de propiedades espaciales en 2D y 3D, maquetar mapas y controlar la salida de datos, entre otros.

b) Programa Hec-04

El programa Hec-04 es un programa estadístico que sirve para la Completación y Extensión de datos Hidrológicos que se encarga de analizar los escurrimientos mensuales en cada estación, Para reestablecer la falta de valor, se lleva a cabo una regresión ecuación mediante la aplicación de coeficientes necesarios de la matriz de medición completa para ese mes y adquirirlo mediante el método Crout en relación a variables aleatorias normales que estándar.

1.2.4.4. Justificación

La investigación se fundamenta en la teoría de la erosión hídrica, que describe la pérdida de suelo ocasionada por el impacto de las gotas de lluvia y el arrastre de partículas por el escurrimiento superficial. El modelo RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) es ampliamente reconocido y validado para la estimación de la erosión hídrica en diferentes contextos geográficos, ya que integra factores como erosividad pluvial, erodabilidad del suelo, longitud y gradiente de la pendiente, cobertura vegetal y prácticas de manejo. Este modelo constituye una herramienta teórica clave para comprender y prever los procesos de degradación del suelo en cuencas hidrográficas.

La aplicación del modelo RUSLE permite desarrollar mapas y estimaciones precisas de la pérdida de suelo en la cuenca Chonta. Esta información es fundamental para la planificación y gestión territorial, especialmente en áreas vulnerables a la degradación. Además, la comparación entre métodos analíticos manuales y software especializado como ArcGIS permitirá determinar la eficacia y eficiencia de las herramientas tecnológicas actuales en el análisis de erosión hídrica, lo cual tiene un valor práctico significativo para futuras investigaciones y proyectos de conservación.

La erosión hídrica afecta directamente a las comunidades locales de la cuenca Chonta al disminuir la fertilidad del suelo, afectar los sistemas de cultivo y aumentar el riesgo de desastres como inundaciones y deslizamientos. Esta investigación contribuye a identificar áreas críticas de erosión y promover estrategias de manejo sostenible del suelo. Así, beneficia a los agricultores, ganaderos y pobladores en general, al garantizar una

base científica para la implementación de políticas y programas de conservación que mejoren su calidad de vida.

La erosión hídrica genera pérdidas económicas significativas debido a la disminución de la productividad agrícola, el aumento en los costos de rehabilitación de terrenos y la sedimentación en infraestructuras hídricas. La cuantificación precisa de la erosión permite optimizar recursos destinados a medidas de mitigación y conservación, minimizando costos a largo plazo. Asimismo, al proteger los recursos naturales de la cuenca, se promueve la sostenibilidad económica en actividades dependientes del suelo, como la agricultura y la ganadería.

Finalmente, la erosión hídrica no solo afecta la productividad del suelo, sino que también incrementa la sedimentación en cuerpos de agua, alterando ecosistemas acuáticos y reduciendo la calidad del agua. La identificación de factores críticos de erosión en la cuenca Chonta facilita el diseño de estrategias de conservación que protejan tanto la biodiversidad terrestre como la acuática. Además, la preservación del suelo y los recursos hídricos contribuye al equilibrio ecológico de la región, mitigando impactos negativos del cambio climático.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Ubicación del área de estudio

La cuenca Chonta está ubicada en el sur del Perú, a una altitud que varía aproximadamente entre 2,569.00 y 4,542.00 msnm, y abarca un área de 119.86 km².

2.1.1. Ubicación política de la cuenca Chonta

La cuenca Chonta se ubica políticamente en el:

Departamento : Ayacucho

Provincia : Sucre

Distrito : Querobamba

2.1.2. Ubicación geográfica de la cuenca Chonta

El ámbito de estudio de la cuenca Chonta se encuentra, con las siguientes coordenadas:

Este : 628814.40

Norte : 8450556.00

Altura : 3862.00

2.1.3. Ubicación hidrográfica de la cuenca Chonta

La cuenca de estudio es parte de la red hidrográfica de la cuenca Sondondo limita por el:

Por el Norte : La cuenca Pampas.

Por el Este : La cuenca Pumapuquio y cuenca Huamcani

Por el Oeste : La cuenca Lucanas

Por el Sur : La cuenca Huamcarma

2.1.4. Punto de aforo cuenca Chonta

El punto de interés para determinar la cuenca Chonta se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 9

Punto de aforo de la cuenca Chonta

Descripción	Coordenada	Unidad
Este	628814.40	m
Norte	8450556.00	m
Altura	3862.00	m.s.n.m.
Zona	18S	
Datum	WGS_1984_UTM	

Nota. Elaboración Propio

2.1.5. Red hídrica de la cuenca Chonta

De acuerdo a los puntos de aforo determinado sobre la red hídrica del río Chonta se considera dos vertientes tales como:

La cuenca Chonta está formada por río Poma y Querobamba que se reúnen en Mitapampa.

La desembocadura de todos estos ríos conforma la red hídrica de Chonta y el punto de aforo de interés, aguas abajo está conformado por río Sondondo y luego río Pampas.

Mapa de ubicación de la cuenca Chonta – Ayacucho



2.2. Caracterización de la zona de estudio

2.2.1. Población

La población de la cuenca Chonta lo integran con 22 centros poblados, los cuales se mencionan la siguiente tabla.

Tabla 10

Número de habitantes en la población que interviene en la cuenca Chonta

N°	Centros poblados	Poblacion Hab.	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m)
1	Querobamba	1799	625411.47	8450674.8	3505
2	Huancoire	0	628200.38	8456407.73	3949
3	Soccoscucho	3	622256.69	8455131.84	2550
4	Chaccana	0	626018.79	8456299.07	3730
5	Lucamanta	0	625812.2	8455757.32	3575
6	Poma	20	627140.31	8454212.26	3342
7	Platero pata	0	624757.41	8454116.49	2841
8	Llanto pati	34	622855.06	8454849.31	2651
9	Chonta	36	623018.21	8454856.45	2658
10	Chuquibamba	0	624747.52	8453491.18	3094
11	Mitabamba	2	625250.41	8453392.74	2907
12	Ccollcabamba	470	625801.4	8451271.14	3535
13	Ccotal huati	0	626724.59	8447276.14	3654
14	Maitara	0	626448.48	8450119.55	3560
15	Ccochcca	16	624277.08	8454340.55	2834
16	Ccollpa	0	626481.68	8449396.99	3574
17	Tотора	0	626924.04	8456093.78	3792
18	Llocepata	0	625230.6	8454153.14	2818
19	Tumacucho	0	625652.99	8448420.45	3531
20	Yakuwisina	0	625360.25	8448924.94	3541
21	Tablada	6	623707.92	8454477.59	2735
TOTAL:		2386.0			

Nota: Instituto Nacional de Estadística e Informática Ayacucho (2018)

Figura 10

Mapa de los centros poblados que abarca a la cuenca Chonta.



2.2.2. Acceso a la cuenca Chonta

La cuenca Chonta se ubican en los distritos de Querobamba, las cuales cuentan con vías de dos categorías: Pista asfaltada y trocha carrozable.

Tabla 11

Población que intervienen a la cuenca Chonta

Tramo	Tipo de vía	Distancia(km)	Tiempo
Lima – Ayacucho	Pista	960.00	11 h
Ayacucho- Pampa Cangallo	Pista	66.50	1 h 34 min
Pampa Cangallo - Querobamba	Pista	143.90	4 h 20 min
Querobamba-punto de aforo Cueva Chonta	Trocha	1.00	10 min

Nota: Elaboración propia

2.2.3. Clasificación climatológica de la cuenca

En el área de estudio de la cuenca Chonta, hay zonas con amplias quebradas y zonas planas que generan microclimas, como indica el mapa climático del Perú en el servidor Geo GPS PERÚ.

La información se basa en el SENAMHI y su capa de Shapefile de clasificación climática del año 2020, que se muestra en la siguiente tabla 12.

Tabla 12

Clasificación climatológica de la cuenca Chonta

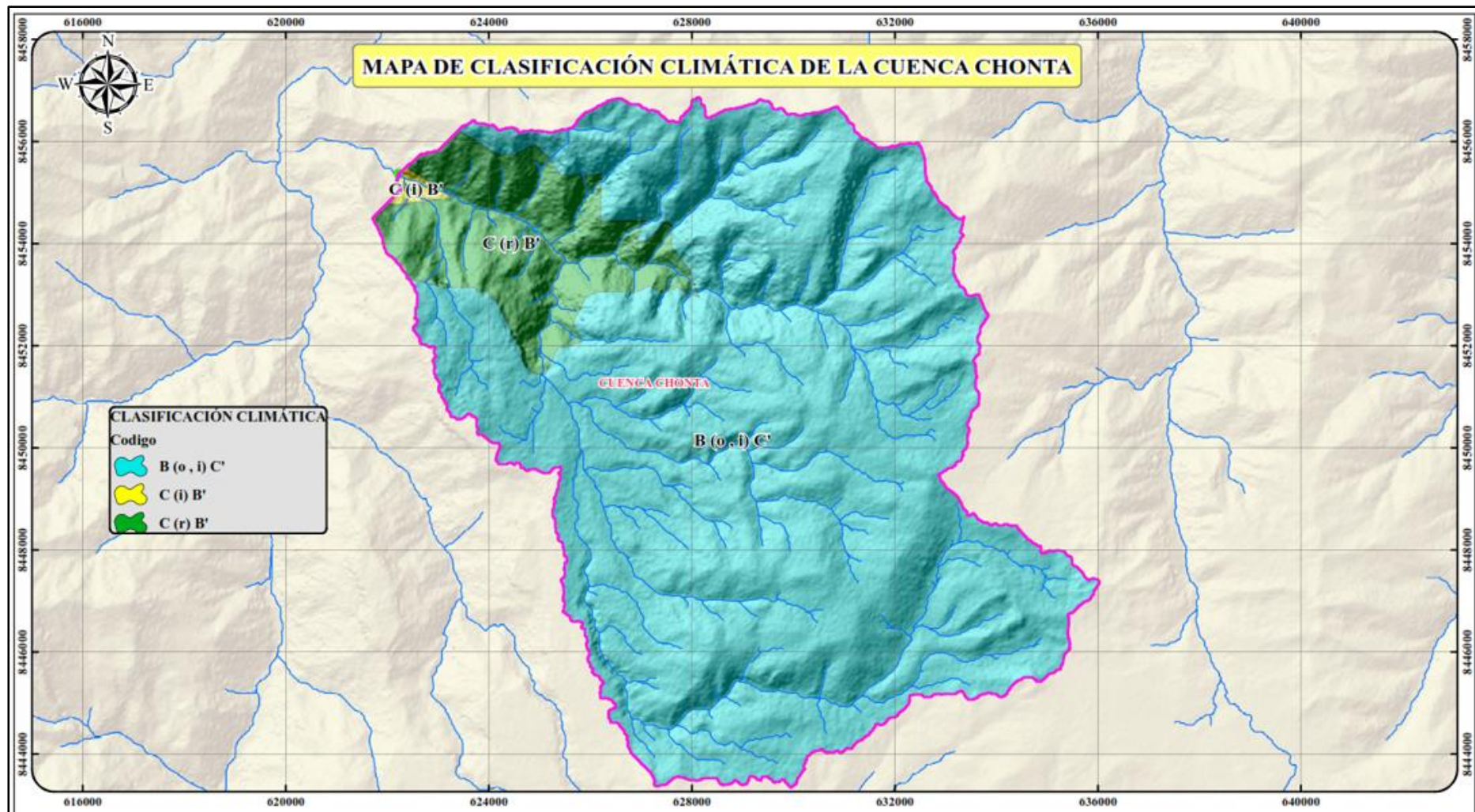
CLASIFICACIÓN CLIMATOLÓGICA DE LA CUENCA CHONTA			
Nº	Código	Descripción	Área_(Km ²)
1	C (i) B'	Semiseco, invierno seco, Templado	0.46
2	C (r) B'	Semiseco, Precipitación abundante, Templado	14.28
3	B (o, i) C'	Lluvioso, otoño seco, invierno seco, Frio	105.13
Total			119.86

Nota: Elaborado propio

En la Tabla 12 mostrada, se puede observar la distribución de las áreas de clasificación climáticas en la cuenca Chonta. Se ha determinado que esta cuenca tiene una extensión mayor de área de 105.13 km² y se le ha clasificado según el método de Thornthwaite. Este método describe las condiciones climáticas como lluviosa, otoño seco, invierno seco y frío.

Figura 11

Mapa de clasificación climática de la cuenca Chonta.



2.2.4. Fisiografía

La cuenca Chonta se caracteriza por tener una amplia diversidad de categorías fisiográficas, tal como se detalla en la tabla 12 adjunta. Cada una de estas categorías presenta paisajes fisiográficos con diferentes formaciones geológicas y litologías, tal y como se indica en el mapa fisiográfico del Perú disponible en el servidor Geo GPS PERÚ. El formato que se proporciona es shapefile y proviene de la Nota ONERN.

Tabla 13

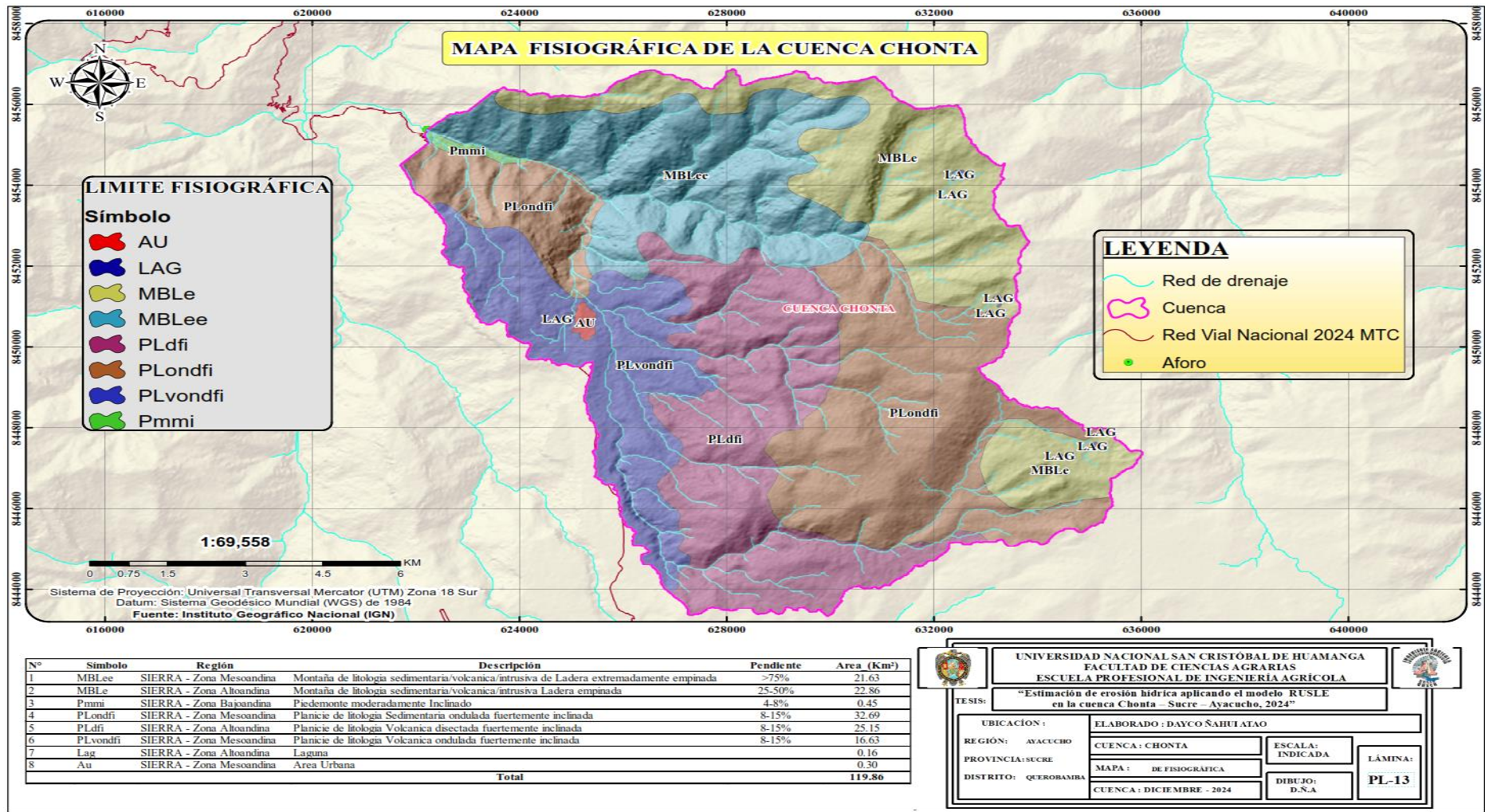
Características Fisiográficas de la cuenca Chonta

CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS DE LA CUENCA CHONTA					
N°	Símbolo	Región	Descripción	Pendiente	Area_Km²
1	MBLee	SIERRA - Zona Mesoandina	Montaña de litología sedimentaria/volcánica/intrusiva de Ladera extremadamente empinada	>75%	21.63
2	MBLe	SIERRA - Zona Altoandina	Montaña de litología sedimentaria/volcánica/intrusiva Ladera empinada	25-50%	22.86
3	Pmmi	SIERRA - Zona Bajoandina	Piedemonte moderadamente Inclinado	4-8%	0.45
4	PLondfi	SIERRA - Zona Mesoandina	Planicie de litología Sedimentaria ondulada fuertemente inclinada	8-15%	32.69
5	PLdfi	SIERRA - Zona Altoandina	Planicie de litología Volcánica disectada fuertemente inclinada	8-15%	25.15
6	PLvondfi	SIERRA - Zona Mesoandina	Planicie de litología Volcánica ondulada fuertemente inclinada	8-15%	16.63
7	Lag	SIERRA - Zona Altoandina	Laguna	---	0.16
8	Au	SIERRA - Zona Mesoandina	Área Urbana	---	0.30
Total					119.86

Nota: Elaboración propia

Figura 12

Características fisiográficas de la cuenca Chonta.



2.3. Método procedimental

2.3.1. Materiales y equipos

Materiales

- Imágenes de satélite en formato ráster de la cuenca Chonta
- Mapas descargados del servidor GEOGPSERU.COM
- Material de escritorio
- Lapicero, corrector, resaltador
- Papel bond
- Bolsas para muestras de suelos
- Regla, libreta de campo, lápiz

Equipos

- Cámara fotográfica
- Calculadora
- GPS navegador
- Laptop, impresora, fotocopias
- ArcGIS Versión 10.4
- Google Earth
- Hec 4

Herramientas del campo

- ❖ Pico (excavar)
- ❖ Pala (sacar material suelto)
- ❖ Wincha
- ❖ El presente proyecto constará de las siguientes etapas:

2.4. Metodología

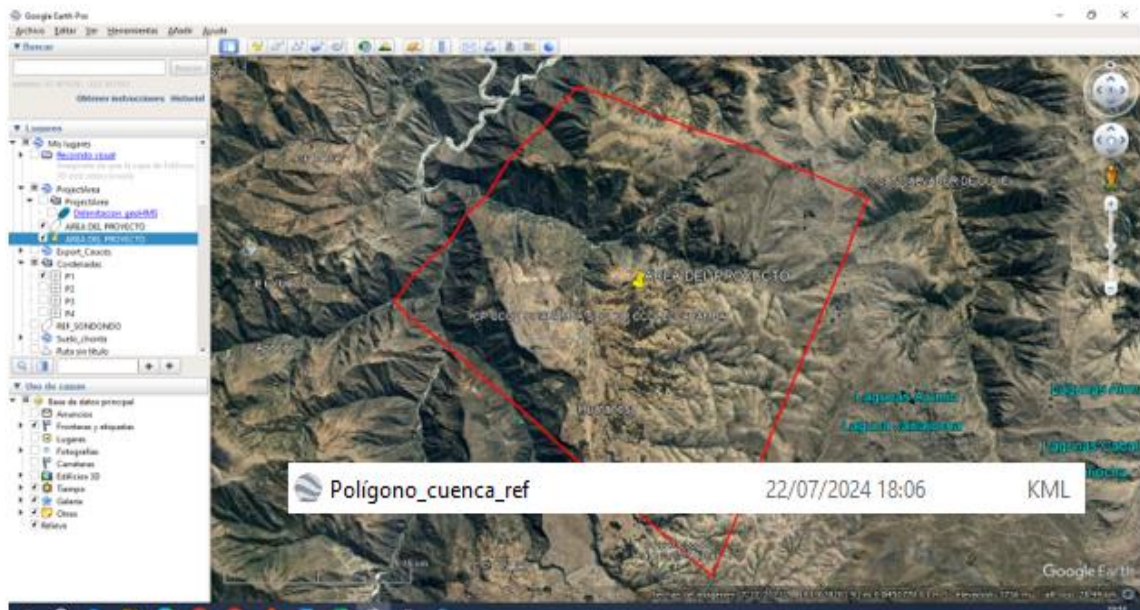
La metodología para este trabajo de investigación consistió en 3 fases para el análisis de la información:

2.4.1. Fase pre campo

1. Se ingreso al aplicativo **Google Earth Pro** para delimitar el área referencia del proyecto y luego se descargó en formato KML de dicho proyecto.

Figura 13

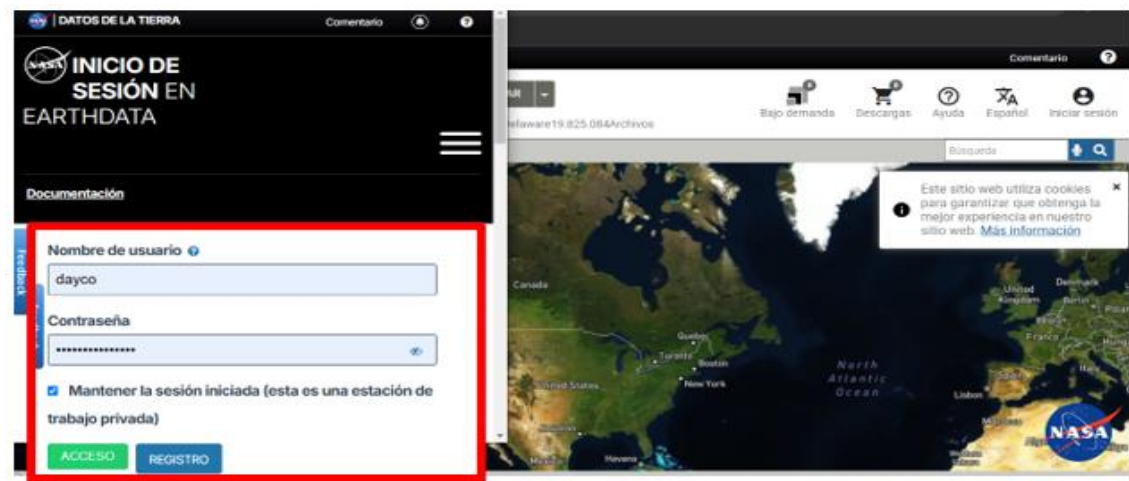
Delimitación del área de referencia del proyecto en Google Earth Pro.



2. Se inició sesión en EARTHDATA donde previo registro en la página web y recibimos un correo electrónico de confirmación donde activamos al usuario para iniciar sesión.

Figura 14

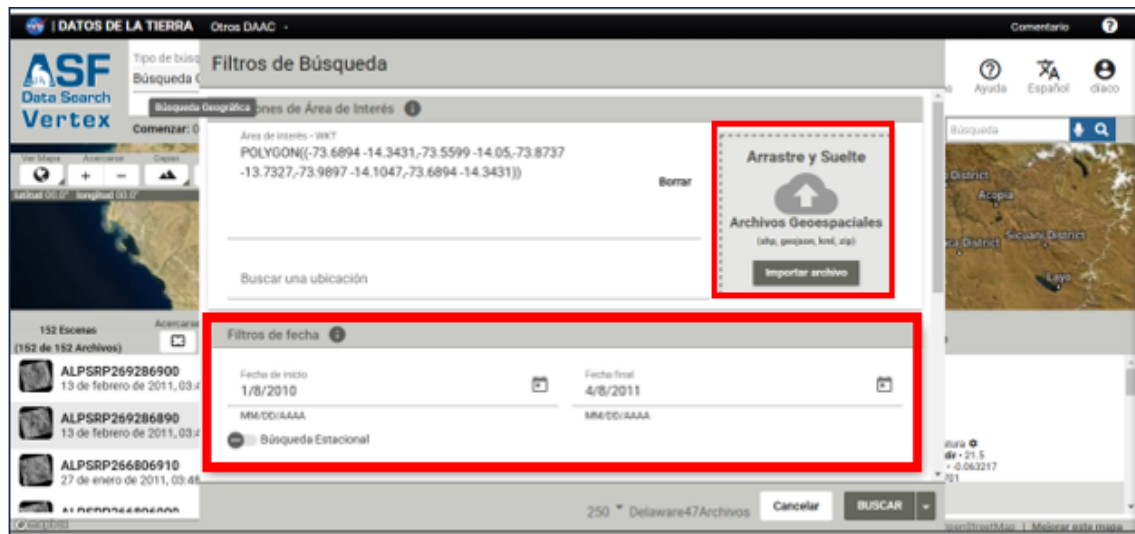
Registro del inicio de sesión en EARTHDATA.



3. Posteriormente se importó a EARTHDATA en formato KML el área de referencia de interés y se seleccionó el tipo de búsqueda geográfica, conjuntos de datos ALOS PALSAR, filtros adicionales terreno de alta resolución corregido, modo_FUD y luego se seleccionó la fecha desde 01/08/2010 al 4/08/2011 para la descarga del DEM.

Figura 15

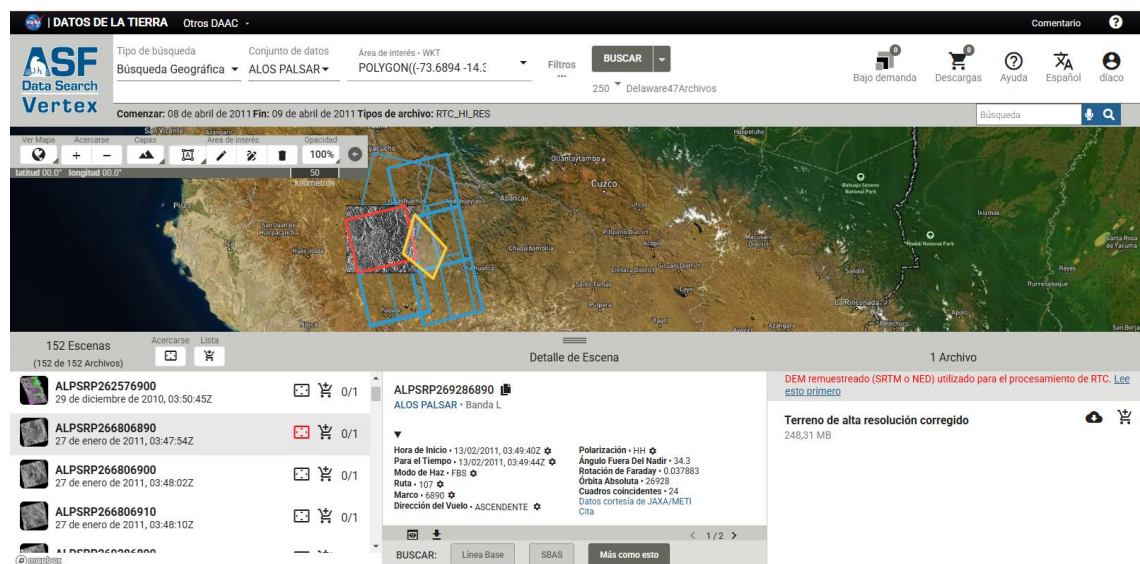
Importación de área de interés en formato KML a EARTHDATA y periodo de selección del satélite de ALOS PALSAR.



- Se descendieron DEM del satélite ALOS PALSAR, seleccionando las capas de interferencia más grande en el área de estudio como: AP26680FBSF6890RT1, AP26680FBSF6900RT1, AP26928FBSF6880RT1, AP26928FBSF6890RT1 y AP26928FBSF6890RT1 en formato TIFF a resolución 12.5m.

Figura 16

Descarga del formato DEM del satélite ALOS PALSAR



- Se realizó la recopilación de datos históricos de las precipitaciones mensuales usando los servidores de la página del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), Autoridad Nacional del Agua (ANA)

2.4.2. Fase de campo

1. Se realizó la extracción de 15 muestras de suelos de la capa arable de un cuadrante de 20x20cm y profundidad de 20cm de toda la zona de estudio.
2. Posteriormente, las extracciones se realizaron a razón de 2 a 3 muestras por día, durante una duración total de 1 semana.
3. Se georreferenció las zonas de mayor pendiente donde se aprecia las superficies afectadas por la erosión hídrica.
4. Se realizó el contraste las zonas de cobertura vegetal y los usos de suelos para poder validar la información del factor C.

2.4.3. Fase de gabinete

1. Se realizó la delimitación de la cuenca Chonta para poder contrarrestar con la información preliminar. Se seleccionaron los 15 puntos de muestreo para la extracción de muestras de suelo, longitudes, pendientes, cobertura vegetal y los usos de suelo que fueron visualizados por el servidor del Google Earth pro.
2. Delimitación de la cuenca y cálculo de parámetros geomorfológicos de la cuenca Chonta utilizando las fórmulas descritas.
3. Se calculó el Factor R para poder determinar el Raster del Factor R.
4. Se procesó el Raster del factor R para generar el mapa y determinar los niveles de erosividad de la lluvia de acuerdo a la clasificación establecida por el FAO (1980).
5. Las 15 muestras de suelo obtenidas en campo se analizaron en LABORATORIO DE SUELOS Y ANÁLISIS FOLIAR de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga de la facultad de ciencias agrarias (Programa de Investigación en Pastos y Ganadería), determinándose la textura de suelo y cantidad de materia orgánica.
6. Los resultados obtenidos del LABORATORIO DE SUELOS Y ANÁLISIS FOLIAR nos permitieron determinar el Factor K de erodabilidad del suelo de la zona cuenca Chonta.
7. Teniendo el Raster de la cuenca Chonta se determinó la pendiente y longitud elaborando el mapa del Factor LS de la zona de estudio.
8. Se procesó los datos de las imágenes satelitales del Sentinel 2A para el cálculo de la cobertura vegetal clasificándolo a partir del índice (NDVI) y finalmente se elaboró el mapa del Factor C para la cuenca Chonta.

9. Una vez determinado los factores R, K, LS se determinó la erosión potencial de la cuenca Chonta y finalmente se elaboró el mapa de los niveles de erosión potencial.
10. Una vez determinada la erosión potencial se multiplicó por el Factor C y P para determinar la erosión actual de la cuenca Chonta y finalmente se elaboró el mapa de los niveles de erosión actual.
11. Con los resultados obtenidos se realizaron tablas, mapas de los niveles de erosión hídrica de la cuenca Chonta.

2.4.4. Generación de parámetros geomorfológicos

La generación de los parámetros geomorfológicos de la cuenca Chonta se realizó a partir de su delimitación utilizando el programa ArcGIS 10.4, siguiendo el procedimiento que se detalla a continuación:

Paso 1: Se identificó el área de estudio en Google Earth Pro y se descargó en formato KML.

Paso 2: Se realizó la importación el formato KML del área de intervención de la cuenca Chonta en satélite ALOS PALSAR y se descargó el DEM en formato TIFF con una resolución de 12.5m para delimitar la cuenca en el programa ArcGIS 10.4.

Paso 3: El DEM descargado del satélite ALOS PALSAR en formato TIF se procedió a unir con la herramienta **ARCTOOLBOX de ArcGIS 10.4 (Mosaic To New Raster)**

Paso 4: Se descargo de página web y se instaló la herramienta de extensión **HEC-GeoHMS** y **Arc Hydro Tools** al **ArcGIS 10.4**, luego se importó el DEM descargado de ALAS PALSAR.

Paso 5: Con el DEM unido en formato TIF se procede a corregir los datos faltantes de pixeles o espacios con la herramienta **HEC-GeoHMS (Fill Sinks)**

Paso 6: Con el DEM unido en formato TIF corregido se procede a generar dirección de flujo con la herramienta **HEC-GeoHMS (Flow Direction)**

Paso 7: Con dirección de flujo generado se procede a generar acumulación de flujo con la herramienta **HEC-GeoHMS (Flow Accumulation)**

Paso 8: Con acumulación de flujo generado se procede a generar definición de flujo con la herramienta **HEC-GeoHMS (Stream Definition)**

Paso 9: Con definición de flujo y dirección de flujo generado se procede a generar segmentación de flujo con la herramienta **HEC-GeoHMS (Stream Segmentation)**

Paso 10: Con dirección de flujo y segmentación de flujo generado se procede a generar delineación de red flujo con la herramienta **HEC-GeoHMS** (*Catchment Grid delineation*)

Paso 11: Con delineación de red flujo generado se procede a generar procesamiento de polígono de flujo con la herramienta **HEC-GeoHMS** (*Catchment Polygon Processing*)

Paso 12: Con procesamiento de polígono de flujo y dirección de flujo generado se procede a generar creación de línea de drenaje de flujo con la herramienta **HEC-GeoHMS** (*Drainage Line Processing*)

Paso 14: Con creación de línea de drenaje de flujo y procesamiento de polígono de flujo generado se procede a generar delimitación de flujo con la herramienta **HEC-GeoHMS** (*Adjoint Catchment Processing*).

Paso 15: Con creación de línea de drenaje de flujo y procesamiento de polígono de flujo generado se procede a generar delimitación de flujo con la herramienta **HEC-GeoHMS** (*Adjoint Catchment Processing*).

Paso 16: Importamos punto de aforo de interés en formato *shapefile* al ArcGIS 10.4 para delimitar el área de la cuenca Chonta.

Paso 17: Creamos carpeta de trabajo del proyecto para guardar trabajos realizados con el uso de herramienta **HEC-GeoHMS** (*Project Setup-Star New Project*).

Paso 18: Creamos carpeta de trabajo del proyecto para guardar trabajos realizados con el uso de herramienta **HEC-GeoHMS** (*Project Setup-Star New Project*).

Paso 18: Finalmente se realizó la delimitación del área de estudio del proyecto de interés insertando un punto al desfogue de la Cuenca Chonta con el uso de herramienta **HEC-GeoHMS** (*Project Point for Delimitación*).

Paso 19: Generamos el cuadrícula de pendiente para un DEM de la Cuenca Chonta con el uso de herramienta **Arc Hydro Tools** (*Slope*) y luego se determinó los parámetros geomorfológicos utilizando las fórmulas del marco teórico, tales como: Parámetro de forma, Rectángulo equivalente, Parámetro de relieve, Parámetro relacionados con la red hidrográfica, Desnivel de la cuenca, Pendiente de la cuenca.

2.4.5. Cálculo de los factores de erosividad pluvial, erodabilidad de suelos, longitud de la pendiente y gradiente de la pendiente

2.4.5.1. Factor de erosividad pluvial (R)

a) Obtención y elección de los datos histórico de las estaciones

Para el presente estudio se obtuvo la información pluviométrica del Autoridad Nacional de AGUA (ANA), fueron obtenidos a nivel mensual correspondiente de las estaciones pluviométricas que se hallan cerca al área de estudio y cuentan con datos suficientes y actualizados, donde se trabajó con 5 estaciones en la zona de estudio de la cuenca Chonta, en la siguiente figura se observa la información la pluviométrica de registro histórico.

Figura 17

Registro de datos de precipitación desde los periodos 1995-2024

Nº	ESTACIO.	OBTEN.	ALTITUD m.s.n.m	REGISTROS HISTÓRICO DE LOS DATOS																													
				1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
1	Chilcayoc	ANA	3410																														
2	Huancapi	ANA	3120																														
3	Huanca sancos	ANA	3440																														
4	Andahuaylas	ANA	2866																														
5	Pucaray	ANA	3106																														

Registros completos

Registros incompletos

Reistros vacios

Las estaciones hidrometeorológicas corresponden a la zona 18S, la información obtenida presenta precipitaciones mensuales y se seleccionó en los periodos de enero de 1995 a diciembre del 2024, en base a este periodo de selección se realizó el análisis exploratorio.

Tabla 14*Estaciones meteorológicas de la cuenca Chonta*

N°	Estación	Tipo	Obten.	Ubicación				Periodo de registro	
				Coordenadas geográficas		Ubicación política		Periodo R.	A. regist.
1	CHILCAYOC	PLU.	ANA	Lati.	13° 52' 57"	Dpto:	Ayacucho	1965-2024	30
				Lon.	73° 43' 35"	Prov:	Sucre	1965-2024	30
				Alti.	3410 msnm	Dist:	Chalcos	1965-2024	30
2	HUANCAPÍ	PLU.	ANA	Lati.	13° 45' 1"	Dpto:	Ayacucho	1965-2024	30
				Lon.	74° 4' 14"	Prov:	Victor Fajardo	1965-2024	30
				Alti.	3120 msnm	Dist:	Huancapi	1965-2024	30
3	HUANCA SANCOS	PLU.	ANA	Lati.	13° 55' 1"	Dpto:	Ayacucho	1965-2024	30
				Lon.	74° 20' 1"	Prov:	Victor Fajardo	1965-2024	30
				Alti.	3440 msnm	Dist:	Huancapi	1965-2024	30
4	ANDA HUAYLAS	PLU.	ANA	Lati.	13° 39' 24"	Dpto:	Apurímac	1965-2024	30
				Lon.	73° 22' 14"	Prov:	Andahuaylas	1965-2024	30
				Alti.	2866 msnm	Dist:	Andahuaylas	1965-2024	30
5	PAUCARAY	PLU.	ANA	Lati.	14° 2' 37"	Dpto:	Ayacucho	1965-2024	30
				Lon.	73° 38' 18"	Prov:	Sucre	1965-2024	30
				Alti.	3106 msnm	Dist:	S. Paucaray	1965-2024	30

Nota. Elaboración propia

b) Completación y extensión de los datos

La complementación y extensión de los datos de cantidades mensuales faltantes para las estaciones en estudio se llevó a cabo utilizando el programa Hec-04.

c) Tratamiento y análisis e interpretación de los datos de precipitación

Para el análisis de la precipitación mensual de las estaciones en estudio se usó el análisis de consistencia y homogeneidad utilizando los métodos de análisis visual de los gráficos de histograma, curva de doble masa y pruebas estadísticas; lo cual permitió determinar los consistencia e inconsistencia de los registros históricos de las estaciones.

c.1) Análisis visual de los gráficos de histograma

El análisis visual de los histogramas se utilizó como herramienta para representar la información, donde en el eje vertical (ordenadas) se ubicaron los valores de precipitación (tanto mensuales como anuales) y en el eje horizontal (abscisas) se dispuso el tiempo, expresado en meses y años. Este gráfico permitió realizar un análisis visual de

la consistencia de la información hidrológica, facilitando la identificación de periodos con datos inconsistentes o dudosos.

Los histogramas revelaron la presencia de anomalías, cuentos como "picos" inusualmente altos, valores extremadamente bajos, saltos bruscos o tendencias atípicas. Posteriormente, se validó si estos patrones representaban fenómenos naturales reales o si eran consecuencia de errores sistemáticos en la recopilación o procesamiento de los datos. Este proceso de verificación implicó una revisión detallada para determinar la naturaleza de las variaciones observadas en los registros.

c.2) Análisis de curva de doble masa

Este análisis se utilizó para evaluar la confiabilidad de la información disponible, así como para estudiar la consistencia de los datos en relación con posibles inconsistencias que puedan ocurrir durante su recolección. Cabe destacar que el propósito de este análisis no fue realizar correcciones a partir de la técnica de la recta doble masa, sino identificar posibles notas.

El diagrama de doble masa se construyó colocando en el eje de las abscisas los promedios de las precipitaciones acumuladas anuales, y en el eje de las ordenadas, los promedios de las precipitaciones acumuladas anuales correspondientes a cada una de las estaciones de estudio. A partir de este análisis, se seleccionó como la estación más confiable aquella que presentó el menor número de quiebres en la curva.

Posteriormente, se reconstruyó el diagrama de doble masa utilizando como referencia la estación Paucaray como estación base, y en el eje de las ordenadas se colocaron los datos de la estación de estudio correspondiente. Este procedimiento permitió una comparación más precisa de la consistencia de los registros en cada estación.

Finalmente se determinó el rango de los periodos dudosos y confiables para cada estación de estudio, posteriormente se corrigió algunas estaciones inconsistentes utilizando criterios estadísticos.

c.3) Análisis estadístico

Una vez obtenidos los gráficos derivados del análisis visual y del diagrama de doble masa, se identificaron los períodos que podrían requerir corrección, así como aquellos en los que los datos se mantendrían con sus valores originales. Posteriormente, se realizó un análisis estadístico para validar los datos, con un enfoque en la detección de saltos o anomalías. Este análisis se centró tanto en los medios como en la desviación estándar de los datos, con el objetivo de determinar si las variaciones observadas son consistentes o si correspondían a errores.

c.3.1) Análisis de saltos

Análisis de salto en consistencia en la media (prueba de media): El análisis de saltos en la consistencia de la media se realizó mediante la prueba t de Student (prueba de hipótesis). Este procedimiento tuvo como objetivo determinar si las medias de las submuestras son estadísticamente iguales o diferentes. Para ello, se empleó un nivel de significancia del 5% (con una probabilidad del 95%), lo que permitió evaluar si las diferencias observadas entre las medias son significativas, indicando una posible inconsistencia, o si no son significativas, lo que sugeriría consistente en los datos y se realizó con la ecuación 38, 39 y 40.

Análisis de salto en la desviación estándar (prueba de varianza): El análisis de saltos en la desviación estándar se llevó a cabo mediante la prueba F de Fisher (prueba de hipótesis). Este análisis tuvo como objetivo determinar si las variaciones de las submuestras son estadísticamente iguales o diferentes. Para ello, se empleó un nivel de significancia del 5% (probabilidad del 95%), lo que permitió evaluar si las diferencias observadas entre las varianzas son significativas, lo que indicaría una posible inconsistencia, o si no son significativas, lo que sugeriría consistencia en los datos y se realizó con la ecuación 41 y 42.

Corrección de los datos: Tras realizar el análisis de salto en la media y la desviación estándar de las series de tiempo, se observó que los datos de la estación Chilcayoc eran inconsistentes, mientras que los datos de las demás estaciones resultaron ser consistentes. En consecuencia, se corrigieron los datos de la estación Chilcayoc debido a esta inconsistencia, mientras que los de las otras estaciones no requirieron corrección, ya que se ajustaban a un nivel de consistencia del 95% de probabilidad, a pesar de que en el

análisis de la doble masa se detectaron pequeños quiebres. Solo se corrigieron los valores de las submuestras de la estación Chilcayoc utilizando las ecuaciones 43 y 44.

c.3.2) Análisis de tendencias

Después de realizar el análisis de saltos y con serie libre de saltos, se procedió a analizar las tendencias en la media y en la desviación estándar.

Análisis de tendencia en la media: Con la serie libre de saltos se procedió a analizar las tendencias en la media, para validar los datos, con la ecuación 44 al 53. de regresión lineal simple.

Análisis en la desviación estándar: Con la serie libre de saltos se procede a analizar las tendencias en la desviación estándar, para validar los datos, con la ecuación 55 al 64.

Corrección de los datos: Después de realizar el análisis de tendencias en las estaciones Chilcayoc, Huancapi, Huanca Sancos, Andahuaylas, se concluyó que no es necesario realizar más correcciones en los datos por análisis de tendencia.

d) Precipitación mensual y anual de las estaciones: datos tratados y fiables

Después de tratar y validar correctamente los datos de precipitación mensual y anual, los cuales se presentan en las Tablas 15, 16, 17, 18 y 19.

Tabla 15*Precipitación mensual y anual de Estación Chilcayoc*

ESTACIÓN CHILCAYOC - REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)														
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	1995	210.47	133.49	161.91	64.01	11.31	32.37	57.94	21.66	21.59	75.29	122.21	113.14	1025.38
2	1996	307.09	291.45	286.74	222.97	43.15	8.23	14.45	30.87	21.16	85.64	51.72	123.78	1487.26
3	1997	97.78	207.61	51.58	23.23	37.94	5.88	13.88	24.45	44.30	29.73	105.21	111.35	752.94
4	1998	246.53	167.55	162.63	42.87	5.88	11.81	5.88	8.95	9.59	80.07	23.73	64.79	830.28
5	1999	30.44	269.10	289.17	68.29	5.88	5.88	6.16	5.88	115.57	156.56	14.80	71.58	1039.30
6	2000	161.55	300.09	202.97	34.44	13.02	18.02	20.16	38.01	41.58	112.28	35.16	93.71	1071.01
7	2001	183.69	162.98	166.55	22.30	48.01	16.59	36.58	50.87	25.87	71.58	103.00	60.01	948.04
8	2002	63.01	149.99	119.35	42.73	13.95	7.38	45.80	16.09	34.01	40.30	65.29	70.93	668.82
9	2003	97.36	141.92	141.06	53.44	10.95	7.16	5.88	24.09	17.73	39.58	43.80	142.63	725.59
10	2004	71.43	130.49	84.22	31.44	14.73	18.59	30.80	19.59	20.59	31.09	25.23	97.28	575.49
11	2005	83.43	64.51	74.08	35.51	9.45	5.88	8.38	9.88	42.73	60.79	27.28	141.77	563.68
12	2006	247.70	140.30	180.40	68.00	1.91	6.80	0.40	51.00	14.37	59.10	92.20	114.00	976.18
13	2007	130.20	185.30	196.40	82.10	4.60	0.00	10.40	9.80	33.30	46.60	71.20	182.60	952.50
14	2008	241.30	159.60	107.60	15.00	7.90	4.03	0.00	0.00	5.00	49.00	36.10	68.10	693.63
15	2009	180.90	201.40	154.40	90.00	6.90	3.50	28.10	4.60	25.60	58.90	91.30	136.30	981.90
16	2010	231.30	148.30	105.90	55.50	8.30	0.00	3.50	5.10	24.80	59.66	34.00	171.00	847.36
17	2011	343.10	268.30	143.70	88.70	3.70	2.10	19.10	7.60	43.90	54.00	74.40	114.50	1163.10
18	2012	104.50	271.40	165.70	113.10	7.40	3.20	22.20	1.40	42.90	68.90	67.50	265.00	1133.20
19	2013	144.70	185.70	159.70	10.10	34.50	18.90	9.60	54.10	14.20	40.70	74.50	137.90	884.60
20	2014	231.00	121.50	113.30	39.00	41.40	0.00	20.80	4.20	69.70	70.80	39.30	99.70	850.70
21	2015	191.90	166.50	153.80	57.30	11.10	2.20	19.00	33.50	11.10	30.60	44.10	123.40	844.50
22	2016	54.00	158.20	79.10	49.00	13.40	13.60	17.90	10.30	26.50	32.60	47.30	85.80	587.70
23	2017	246.60	253.40	238.00	59.20	40.60	2.70	5.20	2.80	51.80	52.40	49.90	117.90	1120.50
24	2018	200.10	146.30	145.30	54.40	5.30	47.10	35.10	25.80	14.50	79.60	55.60	117.50	926.60
25	2019	190.50	231.70	163.70	29.90	29.90	3.60	16.60	0.00	13.60	50.50	138.40	193.80	1062.20
26	2020	106.30	227.40	169.40	13.40	44.30	3.90	0.00	8.80	21.00	83.10	8.60	181.30	867.50
27	2021	241.20	153.00	173.20	75.20	11.80	3.30	5.10	4.10	30.90	64.20	97.70	111.10	970.80
28	2022	175.40	206.80	125.80	36.10	0.80	4.00	0.00	0.80	22.00	45.68	9.60	162.30	789.28
29	2023	145.70	188.20	128.70	11.00	35.00	0.00	5.80	6.10	43.20	47.40	124.23	136.50	871.83
30	2024	249.25	235.58	177.10	45.08	5.66	1.32	27.35	14.12	14.74	51.29	88.81	123.27	1033.57

Nota: ANA

La Tabla 15 presenta los valores de precipitación mensual y anual de la estación Chilcayoc, ya corregidos y estadísticamente confiables. Estos resultados se obtuvieron tras el tratamiento de los datos históricos mediante análisis gráfico visual, curva de doble masa y análisis estadístico, que inicialmente se identificaron inconsistencias en la serie. Luego de corregir los saltos detectados y repetir el análisis, se obtuvo una serie consistente que no requirió ajustes adicionales en la tendencia.

Tabla 16*Precipitación mensual y anual de Estación Huancapi*

ESTACIÓN HUANCAPÍ - REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)														
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	1995	129.10	124.50	118.50	33.10	6.20	0.00	0.80	3.90	17.30	43.20	73.10	64.70	614.40
2	1996	265.00	195.00	157.70	80.20	4.60	1.50	4.00	14.60	6.50	8.50	26.30	80.20	844.10
3	1997	189.20	114.10	119.40	17.20	27.70	0.00	7.00	50.30	34.80	20.70	99.70	116.70	796.80
4	1998	184.20	182.70	153.50	25.00	0.00	10.30	0.00	1.60	5.50	19.50	56.20	93.80	732.30
5	1999	80.60	239.60	200.10	106.30	4.10	6.10	4.40	3.50	69.10	63.80	24.80	89.00	891.40
6	2000	165.90	237.40	135.10	18.40	37.60	5.40	8.10	31.30	8.00	77.10	13.90	146.40	884.60
7	2001	239.90	126.60	140.70	58.30	34.40	10.10	14.10	13.90	43.20	30.60	74.40	42.70	828.90
8	2002	98.40	149.00	126.30	57.10	11.90	5.20	52.30	19.70	63.90	26.50	54.50	136.20	801.00
9	2003	171.60	155.80	163.20	62.40	18.50	0.00	7.00	30.20	21.30	41.00	37.30	106.90	815.20
10	2004	73.60	138.50	125.80	26.70	0.00	31.20	15.70	16.40	29.20	41.80	41.90	158.40	699.20
11	2005	49.50	69.90	110.10	49.10	9.40	0.00	5.00	21.90	58.30	50.60	27.80	116.50	568.10
12	2006	229.00	140.00	135.40	69.00	0.00	17.40	0.00	33.90	11.00	34.20	78.00	130.30	878.20
13	2007	88.70	143.90	184.10	85.10	7.80	0.60	0.00	14.00	33.40	30.80	40.70	187.20	816.30
14	2008	230.00	148.10	94.50	15.40	2.60	5.00	0.00	3.80	0.60	33.50	31.10	156.80	721.40
15	2009	129.90	176.00	152.00	53.80	10.80	0.00	30.25	6.99	9.96	42.01	65.38	108.02	785.11
16	2010	139.78	134.40	126.61	54.68	10.99	3.49	0.00	6.54	18.67	37.73	25.02	120.74	678.65
17	2011	274.17	181.34	168.84	61.23	3.55	4.36	7.16	19.97	43.84	25.82	70.81	78.65	939.74
18	2012	140.56	205.24	140.03	95.90	0.32	1.02	3.51	6.49	26.68	44.86	40.72	134.65	839.98
19	2013	119.52	175.54	166.92	19.44	27.15	33.09	3.39	38.99	17.14	26.82	48.54	116.52	793.06
20	2014	183.28	97.60	154.21	52.60	16.07	2.26	6.16	6.87	44.36	72.69	28.59	96.29	760.98
21	2015	165.98	138.37	145.04	61.06	17.63	4.28	2.93	24.93	19.15	36.34	44.16	103.17	763.04
22	2016	47.28	123.00	142.98	39.56	6.87	2.16	7.65	13.03	21.79	49.10	29.05	100.14	582.61
23	2017	278.30	222.50	157.40	63.00	29.10	10.60	9.90	5.20	30.90	47.20	41.20	54.50	949.80
24	2018	190.50	154.10	176.90	41.50	3.00	29.30	33.20	37.40	16.00	35.00	26.20	83.50	826.60
25	2019	164.00	160.50	101.30	22.10	14.10	15.80	20.20	0.00	9.30	58.60	75.10	229.20	870.20
26	2020	76.40	134.30	39.70	9.45	18.78	0.00	0.00	13.02	14.28	82.56	21.80	38.60	448.89
27	2021	238.91	151.89	147.68	61.27	13.98	3.74	1.68	30.01	25.19	51.50	55.88	94.77	876.50
28	2022	176.50	158.50	112.50	34.70	1.10	1.90	0.00	2.20	5.40	19.90	17.20	120.10	650.00
29	2023	139.80	172.10	124.20	12.90	28.50	0.00	9.10	4.90	19.60	48.40	73.80	127.80	761.10
30	2024	160.40	163.30	170.10	52.10	5.04	1.84	3.63	9.35	14.60	26.54	66.20	110.60	783.70

Nota: ANA

La Tabla 16 presenta los valores de precipitación mensual y anual de la estación Huancapi, considerados estadísticamente confiables. Estos resultados se obtuvieron tras el tratamiento de la serie histórica mediante análisis gráfico visual, curva de doble masa y análisis estadístico, los cuales confirmaron la consistencia de la serie, sin evidencias de saltos ni alteraciones en la tendencia, por lo que no fue necesario realizar correcciones.

Tabla 17*Precipitación mensual y anual de Estación Huanca Sancos*

ESTACIÓN HUANCA SANCOS - REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)														
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	1995	145.85	83.97	183.54	55.12	2.90	0.20	0.64	2.40	37.18	57.31	41.33	99.88	710.32
2	1996	202.70	161.27	133.01	79.57	3.49	2.70	3.32	0.00	10.40	10.50	42.40	110.60	759.96
3	1997	133.50	121.90	53.40	50.80	3.00	0.00	0.00	41.50	28.40	36.10	38.60	75.30	582.50
4	1998	138.30	72.40	124.10	16.40	0.00	24.80	1.60	4.50	3.80	30.70	63.90	93.20	573.70
5	1999	85.26	173.73	175.83	45.80	27.10	0.30	5.40	0.60	14.80	58.30	24.70	107.00	718.82
6	2000	184.10	190.70	167.80	30.90	5.30	1.80	2.90	9.60	7.20	53.60	25.20	147.20	826.30
7	2001	169.30	126.40	151.90	54.60	13.80	0.80	13.30	12.30	20.70	50.30	55.10	32.60	701.10
8	2002	86.99	115.60	100.10	46.00	8.40	10.40	38.90	1.30	24.90	40.90	66.00	118.40	657.89
9	2003	146.70	151.60	120.20	28.40	12.80	0.00	2.20	19.40	1.90	37.80	12.80	154.70	688.50
10	2004	61.60	135.50	119.50	66.40	0.80	9.30	12.30	16.50	22.50	25.10	29.50	156.20	655.20
11	2005	105.00	77.80	146.30	25.50	0.00	0.00	0.00	0.00	44.00	5.50	10.90	164.40	579.40
12	2006	159.00	122.60	125.90	75.90	0.00	6.00	0.00	8.70	17.60	34.20	46.00	124.10	720.00
13	2007	115.60	123.70	198.60	82.50	11.90	3.50	0.00	0.00	15.60	35.60	14.20	121.10	722.30
14	2008	249.00	149.40	70.70	13.90	2.90	6.70	1.50	3.60	9.10	42.40	30.10	88.00	667.30
15	2009	90.60	236.60	110.20	54.70	8.60	0.00	18.10	0.00	14.00	46.10	97.00	75.90	751.80
16	2010	161.40	93.10	90.30	31.90	8.50	4.10	0.00	4.00	3.90	49.30	11.50	136.50	594.50
17	2011	253.40	169.80	163.30	92.40	6.50	2.60	8.60	0.80	27.90	4.50	32.50	137.10	899.40
18	2012	121.90	229.90	168.60	133.10	0.00	0.60	2.50	0.00	18.30	31.30	30.40	144.30	880.90
19	2013	110.30	169.70	124.90	3.60	37.10	11.70	4.00	13.00	30.70	27.60	35.00	117.50	685.10
20	2014	181.70	60.60	122.50	54.90	2.70	5.80	4.80	13.90	32.60	71.70	22.20	102.60	676.00
21	2015	101.40	127.90	122.60	36.80	29.90	2.00	2.00	10.80	32.00	39.10	54.70	66.80	626.00
22	2016	30.80	117.80	70.90	22.90	8.80	1.20	10.20	14.60	32.00	38.39	8.60	56.30	412.49
23	2017	268.20	169.20	148.90	27.40	9.80	4.80	11.80	4.00	25.90	27.80	25.50	12.00	735.30
24	2018	155.40	109.70	155.60	40.60	3.20	19.80	13.80	18.10	2.00	33.70	12.90	51.70	616.50
25	2019	143.70	178.20	79.30	64.00	1.70	16.00	12.70	0.00	2.60	16.90	67.50	150.60	733.20
26	2020	110.50	169.30	51.10	6.16	2.89	0.16	0.00	0.00	12.20	31.40	14.70	245.40	643.81
27	2021	158.70	114.40	142.80	84.90	14.80	5.00	1.40	1.70	22.30	56.60	58.50	107.50	768.60
28	2022	160.60	129.00	126.00	46.70	0.60	1.80	0.00	0.00	0.20	0.00	5.60	109.70	580.20
29	2023	195.60	154.20	141.70	45.80	18.40	0.00	1.00	11.00	33.20	61.60	108.20	88.97	859.67
30	2024	191.92	128.36	140.72	63.02	1.08	3.89	2.27	6.80	12.27	37.14	56.25	138.12	781.84

Nota: ANA

La Tabla 17 presenta los valores de precipitación mensual y anual de la estación Huanca Sancos, considerados estadísticamente confiables. Estos resultados se obtuvieron tras el tratamiento de la serie histórica mediante análisis gráfico visual, curva de doble masa y evaluación estadística, los cuales confirmaron la consistencia de los datos, sin evidencias de saltos ni variaciones en la tendencia, por lo que no fue necesario aplicar correcciones.

Tabla 18*Precipitación mensual y anual de Estación Andahuaylas*

ESTACIÓN ANDAHUAYLAS - REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)														
Nº	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	1995	117.20	92.60	170.70	42.20	2.80	8.10	20.70	6.70	8.80	23.80	35.00	62.30	590.90
2	1996	154.50	176.80	104.70	66.80	11.60	0.10	4.50	37.60	24.00	33.30	46.40	33.40	693.70
3	1997	141.28	143.70	110.40	38.70	15.30	2.20	2.80	53.70	33.30	32.90	84.20	53.50	711.98
4	1998	160.10	81.70	78.10	58.10	0.50	6.00	0.50	1.20	3.20	42.40	47.50	66.70	546.00
5	1999	113.20	148.80	132.10	45.60	9.20	3.50	13.50	0.50	84.60	34.60	33.90	89.10	708.60
6	2000	127.30	188.40	129.60	21.50	5.80	23.50	20.00	17.10	21.40	112.30	39.30	83.50	789.70
7	2001	212.70	110.90	153.40	28.30	73.10	10.20	19.50	30.00	30.80	37.00	59.10	98.90	863.90
8	2002	74.00	116.10	133.80	39.60	29.00	2.40	32.40	19.30	40.80	53.40	61.20	100.60	702.60
9	2003	105.00	142.90	148.20	59.50	15.00	12.80	4.30	36.70	50.00	24.70	25.60	97.10	721.80
10	2004	95.80	133.30	70.80	54.50	10.20	11.90	39.40	17.60	38.10	31.70	54.50	113.10	670.90
11	2005	83.80	71.30	112.00	19.00	3.30	0.00	12.30	6.80	26.00	91.80	64.70	96.20	587.20
12	2006	203.50	98.00	138.50	22.20	3.40	7.30	0.00	5.00	27.20	45.50	103.60	69.00	723.20
13	2007	100.70	90.10	137.40	38.80	18.70	0.00	17.80	10.80	9.90	59.40	47.80	156.70	688.10
14	2008	150.60	99.80	88.30	49.00	20.70	9.40	1.00	5.20	16.20	47.80	40.40	85.10	613.50
15	2009	137.70	123.20	85.50	61.60	14.30	0.00	20.50	3.70	5.70	30.10	67.70	91.40	641.40
16	2010	159.50	102.20	75.80	37.40	27.00	0.70	1.20	8.30	29.20	63.90	31.20	96.10	632.50
17	2011	226.00	204.40	113.90	39.00	11.20	6.90	8.60	9.50	41.40	41.80	64.70	94.30	861.70
18	2012	181.00	248.20	154.50	59.40	16.50	11.80	10.58	10.00	37.90	50.70	32.20	222.10	1034.88
19	2013	132.75	170.30	98.30	8.90	6.30	23.70	24.20	50.60	26.50	38.90	34.00	114.50	728.95
20	2014	218.50	113.30	120.70	36.40	57.50	0.00	10.20	3.90	54.70	52.10	26.00	90.30	783.60
21	2015	138.40	139.10	146.70	35.70	20.70	2.70	12.60	36.40	11.80	54.30	60.10	122.50	781.00
22	2016	42.60	176.70	26.50	37.20	0.60	8.60	10.80	15.30	3.60	46.30	39.00	42.10	449.30
23	2017	205.90	131.30	127.80	54.80	30.90	0.00	3.80	5.10	37.00	56.00	50.60	85.80	789.00
24	2018	113.80	90.30	118.20	33.80	5.00	22.10	21.80	39.60	8.00	54.40	46.20	72.50	625.70
25	2019	160.70	156.30	98.80	30.80	14.60	0.00	14.30	0.00	19.50	52.90	97.00	114.00	758.90
26	2020	89.00	86.70	48.40	24.89	0.00	2.00	0.00	6.71	13.80	73.60	9.00	100.50	454.60
27	2021	152.50	84.70	138.80	66.20	14.90	0.60	1.20	19.35	22.09	40.21	47.38	75.21	663.14
28	2022	167.31	153.06	128.01	41.74	7.16	0.69	0.06	2.53	24.57	37.38	18.51	121.03	702.05
29	2023	133.63	119.22	142.36	21.64	19.14	1.20	5.55	1.70	45.70	72.60	91.50	65.10	719.34
30	2024	140.70	122.75	146.91	15.00	9.68	1.05	12.50	19.90	13.60	40.37	65.45	60.50	648.41

Nota: ANA

La Tabla 18 muestra los valores de precipitación mensual y anual de la estación Andahuaylas, considerados estadísticamente confiables. Tras realizar análisis gráficos, de curva de doble masa y estadísticos confirmaron la consistencia de los datos, sin saltos ni variaciones en la tendencia, por lo que no se requirieron ajustes.

Tabla 19*Precipitación mensual y anual de Estación Paucaray*

ESTACIÓN PAUCARAY - REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)														
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	1995	113.00	80.00	124.00	39.00	0.00	0.00	0.00	6.00	37.00	20.00	76.00	59.00	554.00
2	1996	197.00	214.71	157.00	51.00	11.32	1.22	0.00	6.00	18.00	18.00	30.00	79.00	783.25
3	1997	154.00	141.83	56.33	28.01	0.00	0.00	4.00	46.00	36.00	23.00	61.00	163.00	713.17
4	1998	176.00	86.00	179.00	37.00	0.00	8.00	0.00	0.00	13.00	27.00	34.00	101.00	661.00
5	1999	57.00	195.00	133.00	80.00	8.00	12.00	8.00	0.00	48.00	50.00	25.00	137.00	753.00
6	2000	172.00	286.00	220.00	30.00	3.00	16.00	29.00	40.00	18.00	95.00	29.00	112.00	1050.00
7	2001	199.00	140.00	158.00	94.00	24.00	1.00	9.00	46.00	4.00	20.00	17.00	28.00	740.00
8	2002	71.00	159.00	144.00	36.00	5.00	9.00	51.00	13.00	17.00	22.00	62.00	62.00	651.00
9	2003	108.00	139.00	134.00	48.00	5.00	0.00	1.00	26.00	16.00	51.00	37.00	123.00	688.00
10	2004	82.00	176.00	106.00	24.00	2.00	22.00	24.00	16.00	36.00	21.00	19.00	78.00	606.00
11	2005	97.00	131.00	129.00	52.00	12.00	0.00	8.00	11.27	48.00	64.84	6.00	141.00	700.11
12	2006	196.00	139.00	106.00	65.00	0.00	6.00	0.00	26.00	6.00	48.00	54.76	107.00	753.76
13	2007	106.00	119.00	223.00	46.00	4.00	0.00	1.00	2.00	20.94	38.00	69.00	137.00	765.94
14	2008	178.00	161.00	79.00	31.00	0.00	4.00	0.00	0.00	6.00	49.21	16.00	70.00	594.21
15	2009	147.00	189.00	131.00	44.00	4.00	0.00	16.00	6.00	17.00	58.00	87.00	40.00	739.00
16	2010	88.00	135.00	113.06	61.00	10.27	1.79	0.03	0.99	16.45	51.09	25.83	137.99	641.50
17	2011	252.18	166.60	176.32	32.64	4.03	6.71	2.24	10.83	19.59	27.49	57.59	68.74	824.96
18	2012	131.32	261.15	176.32	45.75	0.77	2.62	1.56	3.18	19.22	46.64	43.48	111.91	843.92
19	2013	133.84	175.23	140.22	32.43	14.44	22.94	3.56	48.41	16.45	41.95	60.24	80.02	769.73
20	2014	174.90	96.16	120.45	47.24	13.49	1.55	1.29	3.18	36.08	67.95	37.80	78.00	678.09
21	2015	126.48	154.43	130.19	54.92	7.82	2.87	1.44	32.36	23.75	38.37	43.77	86.53	702.93
22	2016	59.14	135.71	108.18	37.81	1.57	2.64	1.94	5.59	41.64	52.06	18.57	94.54	559.39
23	2017	258.40	209.20	174.50	50.10	18.00	18.80	5.50	3.20	28.60	60.50	71.60	132.60	1031.00
24	2018	153.00	129.70	148.10	43.10	1.30	31.60	28.90	28.00	8.10	37.40	39.40	78.90	727.50
25	2019	185.30	179.50	150.60	30.30	9.70	4.40	20.50	0.00	17.80	46.50	75.20	147.70	867.50
26	2020	106.40	224.70	33.50	19.40	0.60	0.11	0.00	7.30	10.70	98.20	15.20	140.80	656.91
27	2021	208.50	147.20	181.10	75.00	12.00	5.30	3.60	11.00	30.00	66.70	95.70	94.20	930.30
28	2022	195.10	160.50	134.70	20.70	0.60	4.60	0.00	4.90	4.20	0.50	15.30	121.00	662.10
29	2023	125.60	128.00	106.70	31.60	25.30	0.00	20.90	1.80	50.90	59.00	107.00	88.90	745.70
30	2024	201.10	143.50	104.90	17.90	0.39	1.02	2.39	3.15	13.80	39.98	65.60	95.63	689.36

Nota: ANA

La Tabla 19 presenta los valores de precipitación mensual y anual de la estación Paucaray, considerados estadísticamente confiables. Los análisis gráficos, de curva de doble masa y estadísticos confirmaron la consistencia de los datos, sin evidencias de saltos ni alteraciones en la tendencia, por lo que no fue necesario realizar ajustes.

e) Erosividad pluvial mensual de las estaciones

Una vez tratados y validados correctamente los datos de precipitación mensual y anual, se calculó el factor de erosividad pluvial mensual utilizando la Ecuación 17. Los resultados obtenidos se presentan en las Tablas 20, 21, 22, 23 y 24.

Tabla 20

Erosividad pluvial mensual de Estación Chilcayoc

ESTACIÓN CHILCAYOC - FACTOR DE EROSIVIDAD PLUVIAL (MJ.mm/ha.h.año)														
Nº	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	1995	408.01	104.10	185.75	11.48	0.06	1.48	8.51	0.44	0.44	18.68	79.87	63.37	882.20
2	1996	725.50	620.20	590.60	277.69	2.01	0.01	0.08	0.74	0.24	15.74	3.47	47.51	2283.78
3	1997	65.03	622.37	9.54	0.87	3.80	0.01	0.19	1.02	6.05	1.83	81.00	96.02	887.72
4	1998	899.93	282.51	258.31	4.73	0.01	0.10	0.01	0.04	0.05	30.84	0.80	16.34	1493.68
5	1999	1.21	835.69	1036.93	13.66	0.01	0.01	0.01	0.01	66.19	164.56	0.14	15.73	2134.13
6	2000	172.86	1107.88	342.80	1.68	0.09	0.24	0.34	2.25	2.95	58.03	1.78	33.74	1724.63
7	2001	305.11	213.11	227.43	0.55	5.45	0.22	2.41	6.48	0.85	18.05	53.78	10.64	844.07
8	2002	20.78	280.29	141.23	6.48	0.23	0.03	7.98	0.35	3.27	5.44	23.12	29.65	518.84
9	2003	67.84	210.12	206.34	11.22	0.10	0.03	0.01	1.03	0.41	4.56	6.18	213.31	721.15
10	2004	37.94	231.26	62.17	3.24	0.33	0.67	3.04	0.78	0.91	3.13	1.67	95.83	440.96
11	2005	62.35	28.82	43.64	4.81	0.09	0.02	0.06	0.10	8.37	24.12	2.18	305.95	480.53
12	2006	715.98	130.11	276.59	14.81	0.00	0.01	0.00	6.25	0.14	9.72	36.92	69.80	1260.34
13	2007	107.88	310.99	370.29	27.05	0.00	0.00	0.05	0.05	1.80	4.95	17.64	297.59	1138.31
14	2008	1105.10	319.76	97.99	0.27	0.04	0.01	0.00	0.00	0.01	9.25	3.70	24.84	1560.96
15	2009	276.46	381.50	171.89	34.04	0.02	0.00	1.04	0.00	0.78	9.54	35.54	118.25	1029.08
16	2010	720.85	189.99	69.18	9.96	0.03	0.00	0.00	0.01	0.89	12.37	2.29	291.28	1296.85
17	2011	1463.04	699.61	107.49	25.28	0.00	0.00	0.25	0.02	3.06	5.70	14.92	54.38	2373.75
18	2012	42.98	752.99	171.37	54.49	0.02	0.00	0.41	0.00	2.97	12.32	11.58	700.97	1750.11
19	2013	165.46	349.73	222.44	0.06	2.24	0.37	0.05	8.65	0.16	3.68	22.58	143.22	918.64
20	2014	713.82	103.87	84.23	3.44	4.11	0.00	0.52	0.00	19.61	20.55	3.52	57.39	1011.05
21	2015	413.76	270.25	213.00	11.01	0.08	0.00	0.40	2.20	0.08	1.68	5.02	110.02	1027.51
22	2016	15.88	399.31	49.91	11.87	0.24	0.25	0.58	0.11	1.88	3.49	10.67	63.70	557.89
23	2017	574.49	623.34	516.46	7.95	2.56	0.00	0.01	0.00	5.32	5.51	4.76	62.78	1803.18
24	2018	408.15	159.52	156.27	8.20	0.01	5.32	2.20	0.87	0.16	25.69	8.76	82.64	857.80
25	2019	286.94	516.28	182.08	1.11	1.11	0.00	0.19	0.00	0.10	5.35	110.03	302.11	1405.31
26	2020	67.55	661.28	273.37	0.14	4.89	0.00	0.00	0.04	0.52	32.27	0.04	335.13	1375.22
27	2021	666.59	170.14	246.81	20.20	0.08	0.00	0.01	0.00	1.40	12.57	44.30	65.14	1227.24
28	2022	349.67	573.09	129.01	3.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.69	6.18	0.06	277.03	1338.78
29	2023	172.64	372.08	118.99	0.07	2.39	0.00	0.01	0.01	4.50	5.94	107.02	141.96	925.62
30	2024	669.60	565.36	240.20	3.96	0.01	0.00	0.88	0.12	0.14	5.83	30.29	81.00	1597.39
PROMEDIO		390.11	402.85	226.74	19.11	1.00	0.29	0.97	1.05	4.47	17.92	24.12	140.24	1228.89

Nota: Elaboración propia (Factor R)

En la Tabla 20 se presentan los resultados de la erosividad pluvial mensual de la estación Chilcayoc, calculados mediante la Ecuación 17 de Wischmeier y Smith.

Tabla 21*Erosividad pluvial mensual de Estación Huancapi*

ESTACIÓN HUANCAPÍ - FACTOR DE EROSIVIDAD PLUVIAL (MJ.mm/ha.h.año)														
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	1995	203.01	182.08	157.00	3.42	0.02	0.00	0.00	0.01	0.49	7.61	36.85	25.55	616.04
2	1996	1090.35	434.44	229.79	30.22	0.01	0.00	0.00	0.18	0.02	0.04	1.07	30.22	1816.34
3	1997	432.67	94.90	108.74	0.33	1.36	0.00	0.02	8.13	2.69	0.57	63.31	101.53	814.25
4	1998	453.16	442.18	262.25	1.13	0.00	0.08	0.00	0.00	0.01	0.54	12.87	59.84	1232.07
5	1999	28.27	742.63	432.57	64.85	0.00	0.01	0.00	0.00	17.81	14.02	0.82	38.06	1339.05
6	2000	249.37	730.70	134.67	0.34	2.90	0.01	0.03	1.67	0.03	25.03	0.15	171.37	1316.26
7	2001	831.30	122.17	167.71	11.93	2.45	0.06	0.17	0.16	4.85	1.73	24.80	4.69	1172.01
8	2002	60.39	209.67	127.70	11.80	0.11	0.01	9.07	0.48	16.54	1.18	10.26	160.14	607.34
9	2003	311.94	233.47	268.34	15.00	0.39	0.00	0.02	1.70	0.60	4.25	3.20	75.41	914.33
10	2004	30.98	206.47	154.72	1.48	0.00	2.36	0.30	0.34	1.93	5.68	5.72	308.88	718.87
11	2005	12.87	36.24	141.63	12.56	0.09	0.00	0.01	1.11	21.03	13.75	2.28	167.79	409.36
12	2006	663.03	151.50	137.05	18.14	0.00	0.29	0.00	2.15	0.07	2.21	26.20	122.14	1122.79
13	2007	42.99	183.58	384.42	37.97	0.03	0.00	0.00	0.17	2.30	1.80	4.15	404.17	1061.58
14	2008	902.27	240.89	62.58	0.27	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	2.79	2.23	285.89	1496.94
15	2009	143.17	356.09	229.38	10.17	0.08	0.00	1.81	0.02	0.06	4.84	18.25	82.33	846.21
16	2010	221.97	197.31	164.95	13.29	0.11	0.00	0.00	0.02	0.53	4.37	1.27	143.06	746.87
17	2011	1027.94	297.43	240.07	11.45	0.00	0.00	0.02	0.40	4.20	0.86	17.71	24.27	1624.35
18	2012	163.91	510.27	162.06	52.06	0.00	0.00	0.00	0.02	1.12	5.33	3.99	144.09	1042.84
19	2013	109.85	348.01	299.22	0.47	1.29	2.33	0.00	3.81	0.32	1.24	7.36	101.78	875.68
20	2014	421.41	63.64	251.01	9.96	0.28	0.00	0.02	0.02	5.97	26.29	1.60	61.11	841.32
21	2015	311.72	180.60	208.00	15.52	0.37	0.01	0.00	1.06	0.48	3.27	5.87	74.86	801.76
22	2016	10.80	190.14	298.66	6.33	0.03	0.00	0.05	0.23	1.06	12.09	2.50	102.61	624.49
23	2017	1058.06	540.71	191.42	12.27	1.21	0.06	0.05	0.01	1.45	5.16	3.43	7.95	1821.77
24	2018	417.99	221.25	334.70	4.32	0.00	1.52	2.21	3.16	0.25	2.59	1.09	35.20	1024.29
25	2019	246.90	231.43	58.19	0.60	0.16	0.22	0.46	0.00	0.05	11.26	23.71	673.96	1246.94
26	2020	67.37	365.96	9.45	0.13	1.00	0.00	0.00	0.33	0.44	85.02	1.57	8.69	539.97
27	2021	755.08	194.03	178.34	12.74	0.15	0.00	0.00	1.50	0.89	7.56	9.66	47.13	1207.09
28	2022	476.74	345.25	123.45	3.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.68	0.44	150.20	1100.42
29	2023	186.97	348.82	131.11	0.15	1.58	0.00	0.05	0.01	0.52	7.76	27.51	142.84	847.31
30	2024	270.28	285.20	322.34	9.26	0.01	0.00	0.00	0.05	0.20	1.22	19.00	88.61	996.18
PROMEDIO		373.43	289.57	199.05	12.39	0.45	0.23	0.48	0.89	2.86	8.69	11.30	128.14	1027.49

Nota: Elaboración propia (Factor R)

En la Tabla 21 se presentan los resultados de la erosividad pluvial mensual de la estación Huancapi, calculados mediante la Ecuación 17 de Wischmeier y Smith.

Tabla 22*Erosividad pluvial mensual de Huanca Sancos*

ESTACIÓN HUANCA SANCOS - FACTOR DE EROSIVIDAD PLUVIAL (MJ.mm/ha.h.año)														
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	1995	235.48	44.94	469.28	12.71	0.00	0.00	0.00	0.00	3.90	14.29	5.36	75.63	861.58
2	1996	571.21	287.67	161.39	34.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.08	5.23	92.79	1153.01
3	1997	243.18	185.13	15.56	13.40	0.00	0.00	0.00	7.30	2.34	4.81	5.88	43.64	521.24
4	1998	276.60	39.68	199.85	0.46	0.00	1.59	0.00	0.01	0.01	3.03	27.28	84.65	633.17
5	1999	46.21	390.94	405.29	7.16	1.48	0.00	0.01	0.00	0.24	14.77	1.12	91.34	958.58
6	2000	377.46	419.53	285.82	1.78	0.01	0.00	0.00	0.05	0.02	9.32	0.97	192.95	1287.91
7	2001	375.60	156.31	271.28	12.60	0.20	0.00	0.18	0.14	0.69	9.85	12.95	2.68	842.49
8	2002	56.05	131.54	85.41	8.29	0.05	0.10	5.01	0.00	1.31	5.83	24.48	141.33	459.40
9	2003	251.10	277.12	138.13	1.82	0.17	0.00	0.00	0.58	0.00	4.30	0.17	294.47	967.85
10	2004	20.03	213.15	146.21	25.08	0.00	0.07	0.16	0.38	0.98	1.35	2.20	326.51	736.12
11	2005	119.27	48.52	322.62	1.71	0.00	0.00	0.00	0.00	8.78	0.02	0.13	457.78	958.81
12	2006	298.96	137.05	148.42	32.52	0.00	0.02	0.00	0.05	0.41	2.98	7.24	142.15	769.79
13	2007	114.34	140.10	579.80	41.56	0.12	0.00	0.00	0.00	0.28	3.34	0.21	131.45	1011.23
14	2008	1286.87	277.96	29.46	0.22	0.00	0.03	0.00	0.00	0.06	6.35	2.27	56.80	1660.05
15	2009	51.84	923.23	93.28	11.41	0.04	0.00	0.41	0.00	0.19	6.83	63.62	30.48	1181.34
16	2010	416.78	79.99	72.99	3.22	0.06	0.01	0.00	0.01	0.01	11.88	0.15	252.11	837.19
17	2011	866.78	260.80	231.98	42.02	0.01	0.00	0.03	0.00	1.16	0.00	1.83	137.28	1541.90
18	2012	99.55	667.80	263.39	129.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	1.69	1.54	165.13	1329.03
19	2013	107.53	391.59	156.13	0.00	4.09	0.13	0.01	0.18	2.32	1.68	3.44	129.99	797.08
20	2014	490.42	18.19	150.28	13.53	0.00	0.02	0.01	0.22	2.83	30.13	0.89	88.30	794.82
21	2015	95.65	191.94	169.06	4.57	2.45	0.00	0.00	0.12	3.01	5.48	15.01	27.35	514.64
22	2016	5.01	280.37	61.13	2.06	0.12	0.00	0.18	0.53	5.62	9.70	0.11	30.61	395.44
23	2017	1390.27	349.08	237.91	1.48	0.07	0.01	0.12	0.00	1.25	1.55	1.19	0.12	1983.06
24	2018	352.27	123.92	353.63	6.28	0.00	0.73	0.25	0.56	0.00	3.59	0.20	12.97	854.40
25	2019	214.76	409.55	36.09	18.97	0.00	0.30	0.15	0.00	0.00	0.35	22.26	247.21	949.64
26	2020	118.68	426.83	11.74	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	2.72	0.28	1299.89	1860.32
27	2021	269.53	100.96	196.36	41.27	0.22	0.01	0.00	0.00	0.75	12.23	13.50	83.77	718.58
28	2022	425.88	220.71	205.67	10.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	135.73	998.48
29	2023	426.61	209.01	162.19	5.48	0.36	0.00	0.00	0.08	2.09	13.32	72.21	40.15	931.49
30	2024	464.63	139.01	183.15	16.45	0.00	0.00	0.00	0.02	0.12	3.37	11.70	173.19	991.63
PROMEDIO		335.62	251.42	194.78	16.69	0.32	0.10	0.22	0.34	1.30	6.16	10.11	166.28	983.34

Nota: Elaboración propia (Factor R)

En la Tabla 22 se presentan los resultados de la erosividad pluvial mensual de la estación Huanca Sancos, calculados mediante la Ecuación 17 de Wischmeier y Smith.

Tabla 23*Erosividad pluvial mensual de Andahuaylas*

ESTACIÓN ANDAHUAYLAS - FACTOR DE EROSIVIDAD PLUVIAL (MJ.mm/ha.h.año)														
N° R.	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	1995	161.04	79.43	497.56	7.52	0.00	0.05	0.89	0.03	0.07	1.35	4.29	24.19	776.42
2	1996	290.03	434.62	90.26	23.44	0.12	0.00	0.01	4.18	1.09	2.90	7.86	2.93	857.44
3	1997	213.28	224.43	101.77	4.38	0.27	0.00	0.00	11.71	2.79	2.69	45.15	11.58	618.08
4	1998	462.17	61.42	53.65	22.09	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	8.58	12.07	33.42	653.43
5	1999	110.50	250.97	175.60	7.22	0.06	0.00	0.19	0.00	46.12	3.16	2.97	53.88	650.68
6	2000	133.57	432.98	140.94	0.64	0.01	0.84	0.52	0.32	0.63	91.70	3.93	37.70	843.79
7	2001	544.54	77.18	204.27	1.28	22.10	0.06	0.42	1.53	1.65	2.87	11.68	54.74	922.32
8	2002	31.26	120.74	184.81	4.79	1.88	0.00	2.62	0.55	5.24	11.75	17.69	78.55	459.89
9	2003	85.78	216.22	241.18	15.61	0.25	0.16	0.01	3.66	9.26	1.12	1.24	67.83	642.31
10	2004	72.70	195.85	29.34	13.39	0.09	0.14	5.06	0.45	4.57	2.63	13.39	119.62	457.23
11	2005	59.43	36.60	141.87	0.69	0.00	0.00	0.19	0.03	1.77	78.12	27.35	89.90	435.96
12	2006	622.62	69.54	196.28	0.81	0.00	0.03	0.00	0.01	1.49	6.96	82.15	24.27	1004.16
13	2007	81.29	58.23	206.49	4.65	0.52	0.00	0.45	0.10	0.08	16.68	8.69	306.30	683.48
14	2008	322.98	93.99	65.10	11.12	0.84	0.08	0.00	0.01	0.40	10.33	6.24	58.28	569.36
15	2009	230.96	165.41	55.29	20.68	0.26	0.00	0.76	0.00	0.02	2.41	27.45	67.54	570.77
16	2010	366.53	96.42	39.34	4.73	1.78	0.00	0.00	0.05	2.25	23.57	2.74	80.17	617.58
17	2011	655.71	485.10	83.94	3.37	0.08	0.02	0.04	0.05	4.03	4.15	15.39	47.63	1299.49
18	2012	255.93	659.92	159.17	9.05	0.19	0.07	0.05	0.04	2.35	5.62	1.44	472.86	1566.70
19	2013	170.80	360.59	69.35	0.05	0.02	0.97	1.03	9.46	1.36	4.30	2.87	109.59	730.39
20	2014	683.33	95.27	115.19	3.16	12.45	0.00	0.07	0.00	10.72	9.26	1.15	48.23	978.85
21	2015	174.52	177.18	207.84	3.00	0.58	0.00	0.13	3.18	0.11	10.54	14.29	121.02	712.39
22	2016	11.66	832.39	2.81	7.77	0.00	0.10	0.19	0.54	0.01	14.97	8.95	11.26	890.64
23	2017	565.94	146.76	135.33	10.67	1.91	0.00	0.00	0.01	3.28	11.39	8.40	40.95	924.65
24	2018	135.30	67.60	151.61	3.55	0.01	0.99	0.95	5.70	0.05	14.78	9.05	34.99	424.57
25	2019	285.23	262.43	66.28	2.01	0.21	0.00	0.20	0.00	0.51	10.17	62.73	101.83	791.61
26	2020	104.51	96.61	16.81	2.29	0.00	0.00	0.00	0.04	0.39	59.10	0.11	150.48	430.34
27	2021	298.42	51.13	225.00	24.41	0.28	0.00	0.00	0.61	0.91	5.47	8.95	35.80	650.96
28	2022	361.77	276.98	162.03	5.62	0.03	0.00	0.00	0.00	1.15	4.03	0.49	136.95	949.05
29	2023	177.72	126.20	214.87	0.75	0.52	0.00	0.01	0.00	7.11	28.50	57.05	20.55	633.29
30	2024	242.40	160.96	275.93	0.29	0.08	0.00	0.17	0.69	0.22	5.73	24.40	19.27	730.13
PROMEDIO		263.73	213.77	143.66	7.30	1.49	0.12	0.47	1.43	3.65	15.16	16.34	82.08	749.20

Nota: Elaboración propia (Factor R)

En la Tabla 23 se presentan los resultados de la erosividad pluvial mensual de la estación Andahuaylas, calculados mediante la Ecuación 17 de Wischmeier y Smith.

Tabla 24*Erosividad pluvial mensual de Paucaray.*

ESTACIÓN PAUCARAY - FACTOR DE EROSIVIDAD PLUVIAL (MJ.mm/ha.h.año)														
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	1995	159.00	56.42	210.10	6.54	0.00	0.00	0.00	0.02	5.58	0.88	48.37	22.63	509.54
2	1996	501.15	648.82	253.67	8.70	0.10	0.00	0.00	0.01	0.38	0.38	1.77	32.32	1447.30
3	1997	275.54	215.25	13.48	1.66	0.00	0.00	0.00	7.34	3.52	0.92	17.12	326.73	861.58
4	1998	460.95	53.78	484.93	4.28	0.00	0.04	0.00	0.00	0.19	1.66	3.32	87.11	1096.27
5	1999	12.88	515.62	163.60	35.60	0.04	0.12	0.04	0.00	7.69	8.69	1.09	178.81	924.17
6	2000	214.89	987.95	449.68	1.14	0.00	0.17	1.03	2.70	0.25	36.21	1.03	59.33	1754.38
7	2001	562.51	195.86	281.54	59.29	0.99	0.00	0.05	6.95	0.00	0.57	0.35	1.57	1109.68
8	2002	30.96	347.73	258.31	4.04	0.01	0.06	11.48	0.19	0.43	0.92	20.62	20.62	695.35
9	2003	100.30	213.84	191.58	8.81	0.01	0.00	0.00	1.40	0.33	10.56	4.03	148.17	679.02
10	2004	53.11	525.11	114.72	1.33	0.00	1.03	1.33	0.39	4.49	0.89	0.66	45.71	748.77
11	2005	70.79	174.37	166.51	10.91	0.13	0.00	0.04	0.11	8.58	21.14	0.02	217.43	670.04
12	2006	522.80	186.47	82.70	19.07	0.00	0.01	0.00	1.22	0.01	7.68	11.40	85.06	916.43
13	2007	80.73	114.23	751.70	6.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.62	3.72	22.27	174.30	1154.16
14	2008	559.46	413.99	48.91	2.96	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	11.82	0.41	34.03	1071.59
15	2009	227.20	482.88	160.79	6.09	0.00	0.00	0.29	0.02	0.35	13.96	47.10	4.58	943.26
16	2010	60.27	217.58	127.81	20.07	0.10	0.00	0.00	0.00	0.39	11.79	1.52	232.36	671.90
17	2011	972.53	280.41	332.41	2.11	0.00	0.02	0.00	0.08	0.46	1.26	11.58	19.70	1620.55
18	2012	132.73	1043.85	321.27	5.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42	5.95	4.82	82.14	1596.79
19	2013	161.31	362.02	185.50	2.29	0.20	0.81	0.00	7.63	0.30	4.97	14.71	34.48	774.23
20	2014	435.37	72.36	142.20	8.58	0.20	0.00	0.00	0.00	3.82	25.53	4.40	38.62	731.07
21	2015	156.00	283.95	170.13	12.77	0.04	0.00	0.00	2.61	1.03	4.36	6.47	49.95	687.31
22	2016	22.46	271.45	137.50	5.87	0.00	0.00	0.00	0.02	7.84	15.32	0.70	91.77	552.93
23	2017	748.87	397.39	230.63	5.46	0.25	0.29	0.01	0.00	1.02	9.61	15.93	101.20	1510.66
24	2018	262.27	159.77	237.87	5.86	0.00	2.31	1.77	1.61	0.04	3.83	4.48	35.97	715.77
25	2019	357.80	325.24	192.08	1.56	0.05	0.00	0.48	0.00	0.32	5.65	23.91	181.20	1088.32
26	2020	102.80	968.21	3.21	0.62	0.00	0.00	0.00	0.03	0.10	80.82	0.30	238.21	1394.31
27	2021	458.99	161.51	300.77	21.36	0.09	0.01	0.00	0.07	1.37	15.03	44.38	42.33	1045.91
28	2022	626.33	348.71	206.13	0.75	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.30	149.41	1331.66
29	2023	139.81	147.98	85.72	2.23	1.14	0.00	0.64	0.00	9.31	14.49	86.44	49.58	537.34
30	2024	645.63	234.59	91.64	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	5.07	22.41	69.43	1069.44
PROMEDIO		303.85	346.91	213.24	9.09	0.11	0.16	0.57	1.08	1.97	10.79	14.06	95.16	996.99

Nota: Elaboración propia (Factor R)

En la Tabla 24 se presentan los resultados de la erosividad pluvial mensual de la estación Paucaray, calculados mediante la Ecuación 17 de Wischmeier y Smith.

a) Erosividad pluvial promedio multimensual

Luego de determinar el factor de erosividad pluvial mensual, se determinó factor erosividad pluvial promedio multimensual, como se muestra en las tablas 25.

Tabla 25

Erosividad pluvial promedio multimensual

FACTOR EROSIVIDAD DE PLUVIAL - PROMEDIO MULTIMENSUAL (MJ.mm/ha.h.año)															
N°	ESTACIONES	ALTITUD	MESES												TOTAL
		(msnm)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	CHILCAYOC	3410	390.11	402.85	226.74	19.11	1.00	0.29	0.97	1.05	4.47	17.92	24.12	140.24	1228.89
2	HUANCAPI	3120	373.43	289.57	199.05	12.39	0.45	0.23	0.48	0.89	2.86	8.69	11.30	128.14	1027.49
3	HUANCA SANCOS	3440	335.62	251.42	194.78	16.69	0.32	0.10	0.22	0.34	1.30	6.16	10.11	166.28	983.34
4	ANDAHUAYLAS	2866	263.73	213.77	143.66	7.30	1.49	0.12	0.47	1.43	3.65	15.16	16.34	82.08	749.20
5	PAUCARAY	3106	303.85	346.91	213.24	9.09	0.11	0.16	0.57	1.08	1.97	10.79	14.06	95.16	996.99

Nota: Elaboración propia (Factor R)

En la Tabla 25 se presenta la erosividad pluvial media multimensual, obtenida a partir del cálculo de la erosividad pluvial mensual de las estaciones.

Tabla 26

Erosividad pluvial promedio multimensual ajustado

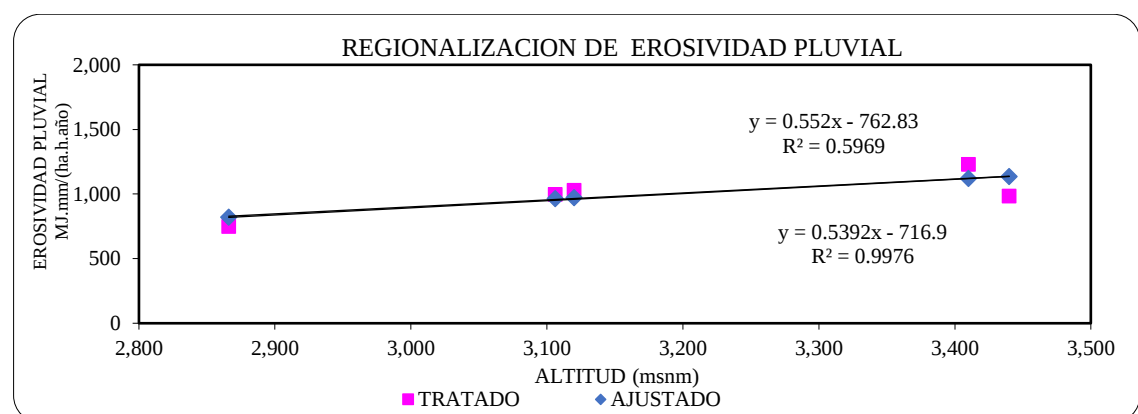
N°	ESTACIONES	ALTITUD MEDIA	EROSIVIDAD	ECUACION DE REGRESION				EROSIVIDAD
		msnm	MEDIA ANUAL	$P^2 = B_0 + B_1 * H$				MEDIA ANUAL
			MJ.mm/ha.h.año	X^2	Y^2	$X*Y^2$	Y^4	AJUSTADO
								MJ.mm/ha.h.año
1	CHILCAYOC	3,410.00	1,228.89	1.16E+07	1.51E+06	5.15E+09	2.28E+12	1,119.76
2	HUANCAPI	3,120.00	1,027.49	9.73E+06	1.06E+06	3.29E+09	1.11E+12	971.96
3	HUANCA SANCOS	3,440.00	983.34	1.18E+07	9.67E+05	3.33E+09	9.35E+11	1,133.95
4	ANDAHUAYLAS	2,866.00	749.20	8.21E+06	5.61E+05	1.61E+09	3.15E+11	820.94
5	PAUCARAY	3,106.00	996.99	9.65E+06	9.94E+05	3.09E+09	9.88E+11	964.26
	SUMA	1.59E+04	4.99E+03	5.11E+07	5.09E+06	1.65E+10	5.63E+12	5.01E+03
	n	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
	PROMEDIO	3.19E+03	9.97E+02	1.02E+07	1.02E+06	3.29E+09	1.13E+12	5.01E+03

Nota: Elaboración propia (Factor R)

En la Tabla 26 se presenta la erosividad pluvial media multimensual ajustada, obtenida a partir del cálculo de la erosividad pluvial promedio multimensual, la cual ha sido ajustada mediante una ecuación de regresión lineal simple.

Figura 18

Regionalización de erosividad pluvial



Nota: Elaboración propia

En la Figura 18 se muestra la regionalización de la erosividad pluvial a partir de los datos de las estaciones Chilcayoc, Huancapi, Huanca Sancos, Andahuaylas y Paucaray, en función de la altitud. Este análisis permite identificar la influencia de la variación altitudinal sobre la distribución espacial de la erosividad, evidenciando una posible correlación positiva entre la altitud y los valores de erosividad pluvial, lo cual es coherente con patrones climáticos que asocian mayores precipitaciones y eventos más intensos en zonas elevadas.

Tabla 27

Análisis regional de interpolación para obtener estación ficticia por método de (IDW)

N°	ETACIONES	ALTITUD (msnm)	FACTOR_R	UTM		1	2	3	4
				X	Y	d	1/d^2	peso	PESOxTR_ FACT.
1	CHILCAYOC	3410	1,119.76	637617.933	8464901.520	16837.47	3.52733E-09	0.55	617.9895295
2	HUANCAPÍ	3120	971.96	600753.644	8479850.280	40572.30	6.07492E-10	0.10	92.38488333
3	HUANCA SANCOS	3440	1,133.95	571415.087	8459705.993	58125.57	2.95982E-10	0.05	52.51332467
4	ANDAHUAYLAS	2866	820.94	676244.276	8489652.266	61474.41	2.64613E-10	0.04	33.98856147
5	PAUCARAY	3106	964.26	650736.174	8440138.611	24282.87	1.6959E-09	0.27	255.8599581
6	CUENCA CHONTA	3862	1,052.74	628814.400	8450556.000	0.00	6.39132E-09	1.00	1052.736257

Nota: Elaboración propia

De la Tabla 27, la estación Cuenca Chonta fue generada como una estación ficticia mediante el método de interpolación ponderada por la inversa de la distancia (IDW).

Metodología Aplicada en ArcGIS

Tabla 28

Factor R para importar ArcGIS

ESTACION	Z	X	Y	Factor_R
Chilcayoc	3410.00	637617.93	8464901.52	1119.76
Huancapi	3120.00	600753.64	8479850.28	971.96
huanca sancos	3440.00	571415.09	8459705.99	1133.95
Andahuaylas	2866.00	676244.28	8489652.27	820.94
Paucaray	3106.00	650736.17	8440138.61	964.26
cuenca Chonta	3862.00	628814.40	8450556.00	1052.74

Nota: Elaboración propia

Paso 1: Se ejecutó el programa ArcGIS y se georreferenció utilizando el sistema WGS 84 UTM, Zona 18S, con coordenadas geográficas UTM.

Paso 2: A continuación, se seleccionó la herramienta *File* y, dentro de esta, la opción *Add Data*. Se importó la base de datos al ArcGIS utilizando la herramienta *AddXY_Data_Tabla R*.

Paso 3: Se realizó la interpolación de las precipitaciones, accediendo a la ventana de *ArcToolbox* (Spatial Analyst Tools > Interpolation > Spline), configurando un tamaño de píxel de 12.5.

Paso 4: Finalmente, se generó el mapa de Isoyetas del factor R.

2.4.5.2. Factor de erodabilidad del suelo (K)

Paso 1: Se llevó a cabo un análisis físico de los suelos en el laboratorio, el cual consistió en realizar el análisis granulométrico. Este análisis se ejecutó en condiciones in situ, asegurando la obtención de datos representativos del terreno. Los resultados obtenidos de las pruebas realizadas se presentan en la siguiente Tabla 29.

Tabla 29

Resultado del análisis físico del suelo de la cuenca Chonta

Muestra	Este	Norte	Cota	Análisis Granulométrico				Clase Textural
				%Arena	%Limo	%Arcilla	% Orgánico	
M1	622500	8455152	2585	55.3	22.5	22.2	8.3	Fr - Ar - Ao
M2	622566	8453898	3170	63.3	20.5	16.2	5.3	Fr - Ao
M3	623100	8454743	2711	57.3	26.5	16.2	6.4	Fr - Ao
M4	626055	8455501	3494	71.3	18.5	10.2	2.7	Fr - Ao
M5	625142	8453827	2868	69.3	16.5	14.2	4.8	Fr - Ao
M6	624486	8450913	3525	39.3	26.5	34.2	11.4	Fr - Ao
M7	630769	8455294	4262	71.3	16.5	12.2	2.4	Fr - Ao
M8	628332	8452399	3719	71.3	15.5	13.2	3.3	Fr - Ao
M9	625832	8449214	3529	53.3	26.5	20.2	7.4	Fr - Ao
M10	632988	8451290	4324	53.3	23.5	23.2	8.3	Fr - Ar - Ao
M11	630122	8448754	4014	53.3	20.5	26.2	6.2	Fr - Ar - Ao
M12	626896	8445333	4724	51.3	22.5	26.2	9.3	Fr - Ar - Ao
M13	629831	8444791	4320	61.3	30.5	8.2	5.4	Fr - Ao
M14	632217	8445455	4066	43.3	44.5	12.2	10.6	Fr
M15	634610	8447432	4033	39.3	47.5	13.2	12.3	Fr

Fr-Ao: Franco arenoso — Fr: Franco — Fr - Ar-Ao: Franco arcilla arenoso

Nota: Elaboración propia

Paso 2: Se realizó el cálculo del factor K mediante la aplicación de las fórmulas de Sharpley y Williams. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla 30.

Tabla 30*Cálculo de erodabilidad del suelo de la cuenca Chonta*

FACTOR ERODABILIDAD DEL SUELO (Ton.ha.h/ha.MJ.mm)									
Muestra	Arena %	Limo %	Arcilla %	Carbón orgánico %	$f_{casand=}$ Arena-limo	$f_{cl-si=}$ Limo-arcilla	$f_{orgc=}$ Orgánico	$f_{hisand=}$ Arena	FACTOR_K RUSLE
M1	55.3	22.5	22.2	5.28	0.200	0.503	0.750	0.997	0.0099
M2	63.3	20.5	16.2	3.28	0.200	0.559	0.750	0.986	0.0109
M3	57.3	26.5	16.2	4.38	0.200	0.621	0.750	0.996	0.0122
M4	71.3	18.5	10.2	0.71	0.200	0.645	0.969	0.937	0.0154
M5	69.3	16.5	14.2	2.82	0.200	0.537	0.751	0.956	0.0102
M6	39.3	26.5	34.2	7.35	0.200	0.437	0.750	1.000	0.0086
M7	71.3	16.5	12.2	0.38	0.200	0.575	0.993	0.937	0.0141
M8	71.3	15.5	13.2	1.27	0.200	0.540	0.859	0.937	0.0114
M9	53.3	26.5	20.2	5.35	0.200	0.567	0.750	0.998	0.0112
M10	53.3	23.5	23.2	4.29	0.200	0.503	0.750	0.998	0.0099
M11	53.3	20.5	26.2	4.24	0.200	0.439	0.750	0.998	0.0087
M12	51.3	22.5	26.2	5.27	0.200	0.462	0.750	0.999	0.0091
M13	61.3	30.5	8.2	3.42	0.200	0.788	0.750	0.991	0.0154
M14	43.3	44.5	12.2	6.6	0.201	0.785	0.750	1.000	0.0156
M15	39.3	47.5	13.2	7.29	0.202	0.783	0.750	1.000	0.0156
PROMEDIO					0.200	0.583	0.788	0.982	0.0119

Nota: Elaboración propia

Metodología Aplicada en ArcGIS**Tabla 31***Factor K para importar ArcGIS*

Muestra	C. textural	X	Y	Z	Factor_K
M1	Fr - Ar - Ao	622500	8455152	2585	0.0099
M2	Fr - Ao	622566	8453898	3170	0.0109
M3	Fr - Ao	623100	8454743	2711	0.0122
M4	Fr - Ao	626055	8455501	3494	0.0154
M5	Fr - Ao	625142	8453827	2868	0.0102
M6	Fr - Ar	624486	8450913	3525	0.0086
M7	Fr - Ao	630769	8455294	4262	0.0141
M8	Fr - Ao	628332	8452399	3719	0.0114
M9	Fr - Ar - Ao	625832	8449214	3529	0.0112
M10	Fr - Ar - Ao	632988	8451290	4324	0.0099
M11	Fr - Ar - Ao	630122	8448754	4014	0.0087
M12	Fr - Ar - Ao	626896	8445333	4724	0.0091
M13	Fr - Ao	629831	8444791	4320	0.0154
M14	Fr	632217	8445455	4066	0.0156
M15	Fr	634610	8447432	4033	0.0156

Nota: Elaboración propia

Paso 1: Una vez realizados los cálculos, se creó una tabla con los datos de textura del suelo, que luego se importó a ArcGIS 10.4. En este programa, se seleccionó la ventana de ArcToolbox (Spatial Analyst Tools > Interpolation > IDW), y se trabajó con una resolución de 12.5 píxeles.

Paso 2: A continuación, se delimitó la cuenca, utilizando la opción ArcToolbox (Spatial Analyst Tools > Extraction > Extract by Mask), y se ejecutó el proceso correspondiente.

Paso 3: Finalmente, se obtuvo el producto final del Factor K y se generó el mapa de erodabilidad.

2.4.5.3. Factor de topografía (LS)

a. FACTOR (L)

Paso 1: Ingresamos al ArcGIS 10.4 y ejecutamos la ventana de herramientas ARCTOOLBOX (Spatial Analyst Tools > Surface > Slope). Guardamos el resultado como "BETA" y ejecutamos la herramienta.

Paso 2: Ejecutamos la ventana de herramientas ARCTOOLBOX (Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster Calculator). Guardamos el resultado como "Parámetro_F" e ingresamos la siguiente fórmula:

$$(\sin("BETA" * 0.01745) / 0.0896) / (3 * \text{Power}(\sin("BETA" * 0.01745), 0.8)).$$

El valor 0.01745 se utiliza para convertir grados a radianes. Finalmente, ejecutamos la herramienta.

Paso 3: Ejecutamos la ventana de herramientas ARCTOOLBOX (Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster Calculator). Guardamos el resultado como "Parámetro_M" e ingresamos la fórmula: "Parámetro_F" / (1 + "Parámetro_F"). Luego, ejecutamos la herramienta.

Paso 4: Para determinar la dirección del flujo, ejecutamos la herramienta ARCTOOLBOX (Spatial Analyst Tools > Hydrology > Flow Direction). Guardamos el resultado como "Flow_D" y ejecutamos la herramienta.

Paso 5: Para determinar la acumulación del flujo, ejecutamos la herramienta ARCTOOLBOX (Spatial Analyst Tools > Hydrology > Flow Accumulation). Guardamos el resultado como "Flow_AC" y ejecutamos la herramienta.

Paso 6: Aplicamos la fórmula de la ecuación 24. Para ello, ejecutamos la herramienta ARCTOOLBOX (Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster

Calculator). Guardamos el resultado como "FACTOR_L" e ingresamos la siguiente fórmula de la ecuación N° 28

$$\frac{(\text{Power}(\text{"Flow_AC"} + 12.5, \text{"Parámetro_M"} + 1) - \text{Power}(\text{"Flow_AC"}, \text{"Parámetro_M"} + 1))}{(\text{Power}(12.5, \text{"Parámetro_M"} + 2) * \text{Power}(22.13, \text{"Parámetro_M"}))}.$$

Finalmente, ejecutamos la herramienta.

b. FACTOR (S)

Paso 1: Se ejecutó la herramienta ARCTOOLBOX (Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster Calculator). Guardamos el resultado como FACTOR_S e ingresamos la siguiente fórmula de la ecuación N°29 y 30:

$$\text{Con } (\tan(\text{"BETA"} * 0.01745) < 0.09, 10.8 * \sin(\text{"BETA"} * 0.01745) + 0.03, 16.8 * \sin(\text{"BETA"} * 0.01745) - 0.5).$$

c. Cálculo del RASTER_(LS)

Paso 1: Para generar el ráster del FACTOR_LS, se ejecutó la herramienta ARCTOOLBOX (Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster Calculator). Guardamos el resultado como RASTER_LS e ingresamos la siguiente fórmula: "FACTOR_L" * "FACTOR_S". Finalmente, **ejecutamos la herramienta.**

Paso 2: Se obtuvo el resultado final del Factor LS y se generó su mapa correspondiente.

2.4.5.4. Cálculo del factor (P)

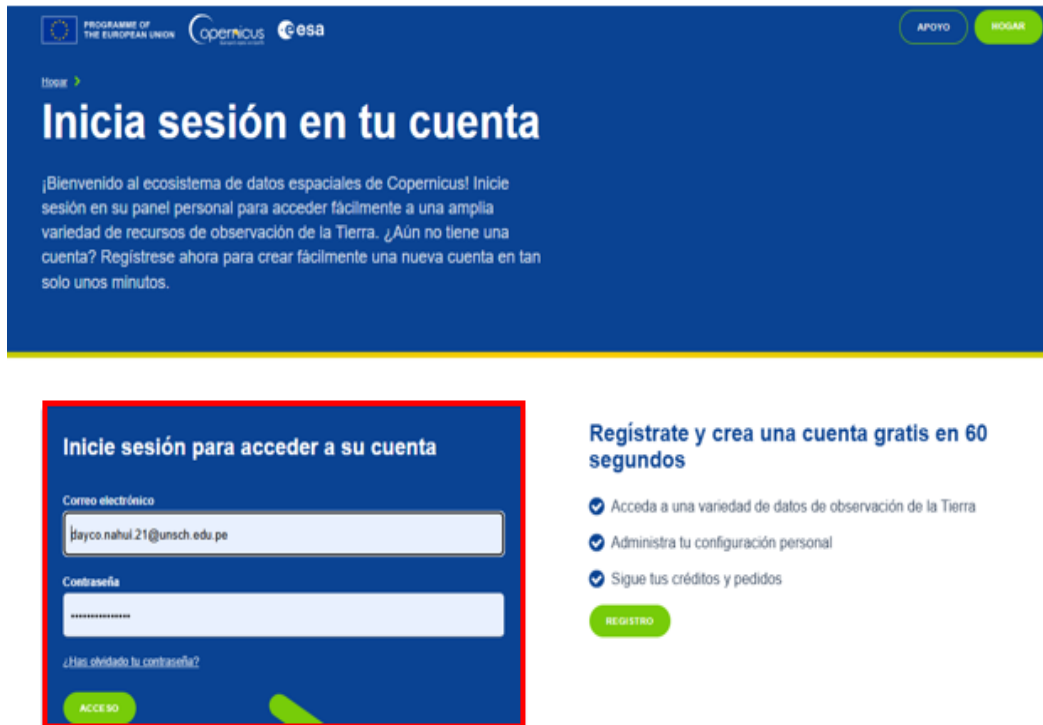
Paso 1: Durante el desarrollo de los trabajos de campo, no se observó ningún tipo de práctica de conservación de suelos en el área de la cuenca Chonta. Por lo tanto, en esta investigación no se tuvo en cuenta el valor de dicho factor.

2.4.6. Cálculo de los factores cobertura vegetal utilizando imágenes multiespectrales del satélite Sentinel 2A

Paso 1: La página web utilizada fue Copernicus de la Agencia Especial Europea (ESA) (<https://browser.dataspace.copernicus.eu/>), Para realizar la descarga, era necesario contar con una cuenta, tal como se muestra en la figura siguiente.

Figura 19

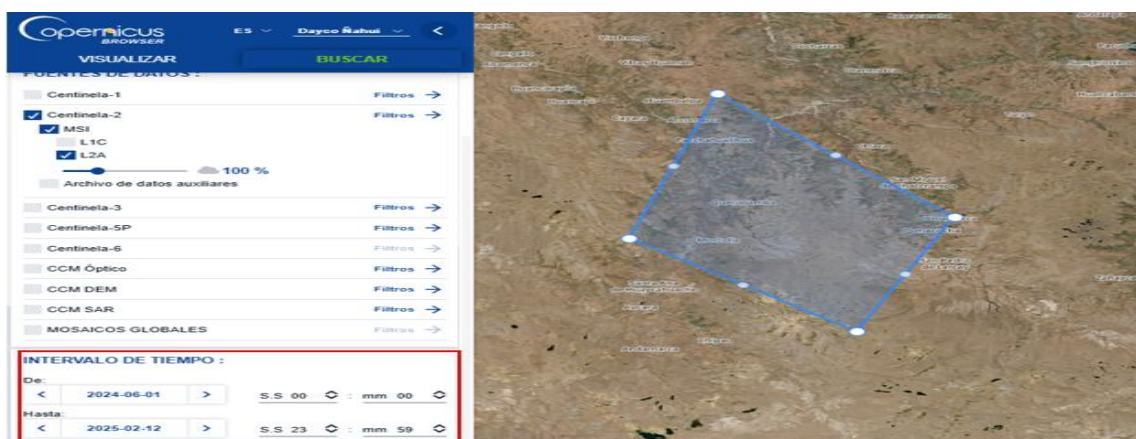
Plataforma Copernicus Browser- registro de datos y acceso con cuenta.



Paso 2: La selección del área de intervención se llevó a cabo, y se determinó que la fecha de detección sería entre el 01/06/2024 y el 12/02/2025, tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 20

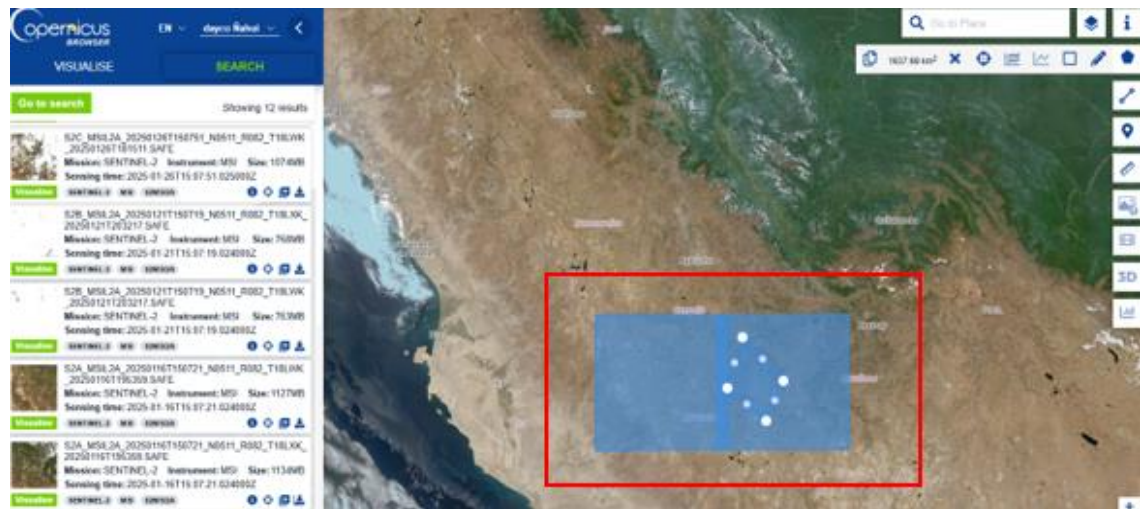
Selección del periodo de las imágenes satelitales Sentinel 2^a



Paso 3: Después de haber definido el área, procedemos a buscar todas las imágenes disponibles de la zona de estudio. Nuestro enfoque de intervención se encuentra en dos cuadrantes, tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 21

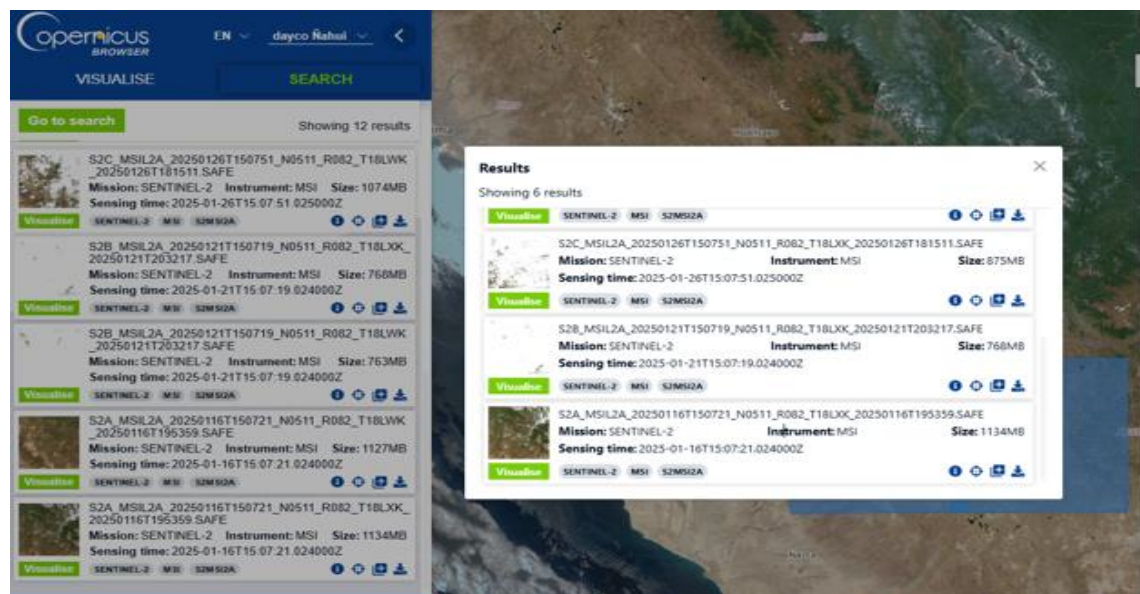
Se muestra el enfoque de intervención de la zona de estudios en dos cuadrantes.



Paso 5: Luego se descarga la imagen satelital Sentinel 2A, se vuelven a extraer los productos de imagen de salida de Nivel 2A y se crea una resolución espacial correspondiente a cada grupo: 10 m, 20 m o 60 m; Para esta investigación, trabajamos con un producto de resolución de 10 m que contiene las bandas espectrales 2, 3, 4 y 8 para determinar la cobertura vegetal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 22

Se descargó el satélite Sentinel 2A de 10 m que contiene las bandas espectrales 2, 3, 4 y 8 para determinar la cobertura vegetal.



Paso 6: Se procedió a ejecutar el programa QGIS y exportamos las bandas del Sentinel 2A ejecutando la ventana **Administración de Notas de datos** (Raster _selección archivo de las bandas 4 y 8) y aplicamos añadir.

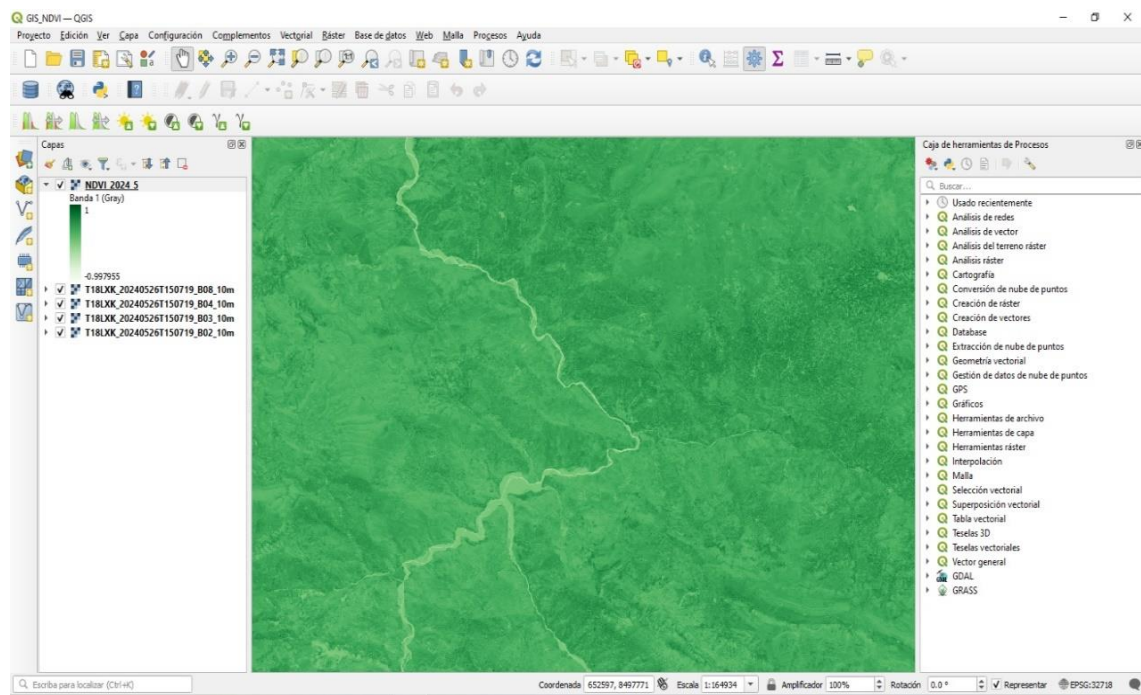
Paso 7: Se calculó el NDVI seleccionando la Caja de herramientas de **Procesos_Raster Calculator** donde la expresión será igual a: $NDVI = (Banda\ 8 - Banda\ 4) / (Banda\ 8 + Banda\ 4)$ donde se aplicará la fórmula predefinida de la siguiente manera:

```
("T18LXK_20241102T150719_B08_10m@1" -
"T18LXK_20241102T150719_B04_10m@1") /
("T18LXK_20241102T150719_B08_10m@1" +
"T18LXK_20241102T150719_B04_10m@1" )
```

Paso 8: Se calculó el algoritmo del Raster Calculator para obtener el NDVI donde su variación se da desde -1 a 1.

Figura 23

Obtención del Raster de NDVI – Sentinel 2ª



Paso 8: Por consiguiente, se exportó como capa Raster en formato Geo TIFF denominado NDVI.tiff y georreferenciado WGS 1984_UTM Zona 18S considerando una resolución de la capa

12.5.

Paso 9: Se procedió a ejecutar el programa ArcGIS 10.4 y lo georreferenciamos WGS_1984 UTM Zona 18S Coordenadas geográficas UTM donde exportamos la base de datos denominado NDVI.tiff donde se determinó el Factor C, donde aplicamos la **siguiente ecuación N° 33** se ingresó a la ventana **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster Calculator) y aplicamos ejecutar.

Paso 10: Luego, se realizó el corte de la cuenca donde se seleccionó la ventana ARCTOOLBOX (Spatial Analyst Tools > Extraction > Extract by Mask) y aplicamos ejecutar.

Paso 11: Se obtuvo el producto final del Factor C y se generó el mapa de Cobertura vegetal.

2.4.7. Cálculo de la erosión potencial y actual de la cuenca Chonta

a. Erosión potencial

Paso 1: Se determinó la erosión potencial multiplicando los factores R (Erosividad), K

(Erodabilidad) y LS (Longitud y gradiente de topografía).

Paso 2: Obtenido el resultado se agrupó en niveles de acuerdo a la tabla adaptada por la FAO (1980) y se generó el mapa de erosión potencial.

b. Erosión actual

Paso 1: Se determinó la erosión actual multiplicando la erosión potencial por los factores

C (cobertura vegetal) y P (prácticas de conservación).

Paso 2: Con el resultado de la erosión actual se agrupó en niveles de acuerdo a la tabla adaptada por la FAO (1980) y se generó el mapa.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

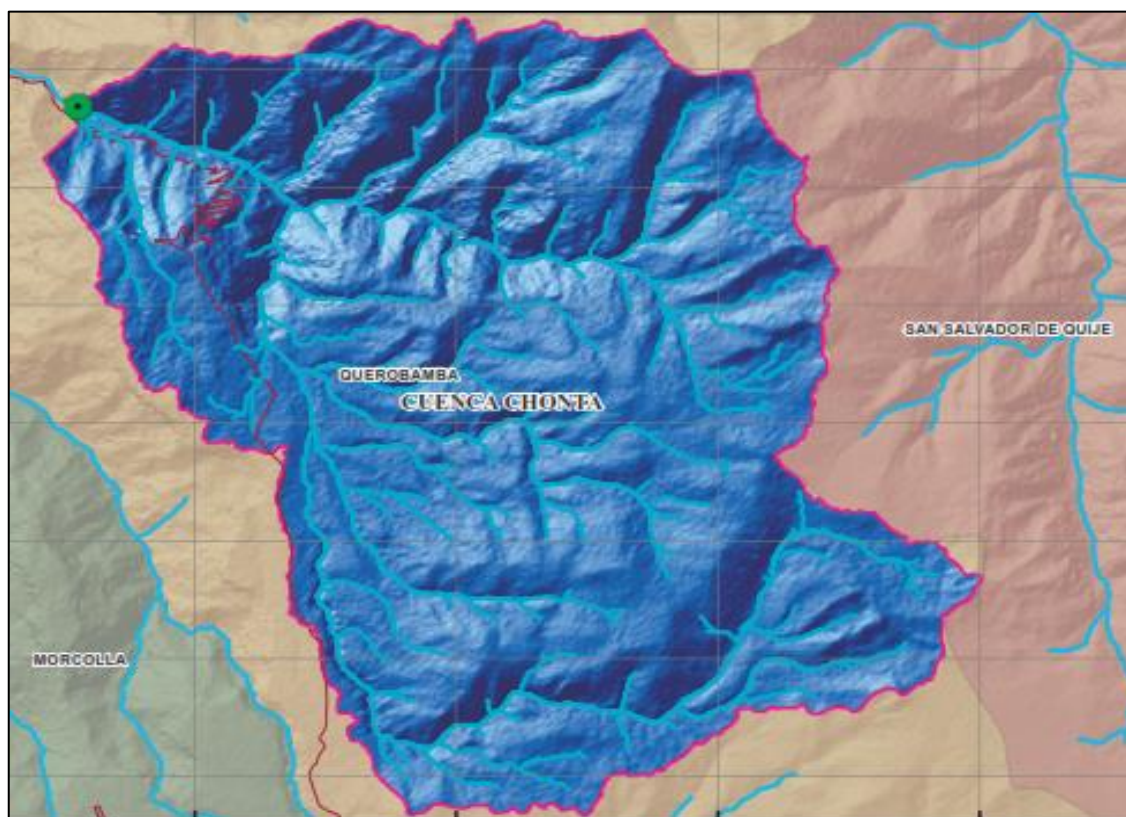
3.1. Cálculo de los factores de erosividad pluvial, erodabilidad de suelos, longitud de la pendiente y gradiente de la pendiente

3.1.1. Delimitación y parámetros geomorfológicos de la cuenca Chonta

La cuenca Chonta abarca el distrito de Querobamba de la provincia Sucre, que cuenta con 22 centros poblados. Tiene un área de 119.86 km² y un perímetro de 70 km. Forma parte de la Unidad Hidrográfica de la cuenca Sondondo y desemboca en río Pampas.

Figura 24

Mapa de la delimitación de la cuenca Chonta



A continuación, se presentan los resultados ver la siguiente tabla de los parámetros geomorfológicos de las cuencas en estudio:

Tabla 32

Resumen de resultados de los parámetros geomorfológicos de la cuenca Chonta

PARAMETROS				UND	VALOR
AREA DE LA CUENCA				Km ²	119.86
PERIMETRO				Km	70.00
PARAMETROS DE FORMA	FACTOR DE CUENCA	FACTOR DE FORMA	Coeficiente de Compacidad (Gravelius)	-	1.80
			Longitud curso más largo)	Km	31.45
			Ancho Medio	Km	3.81
			Radio de Circularidad	Coef.	0.31
			Factor de Forma	Coef.	0.12
			Relación de elongación	Coef.	0.39
			Coeficiente de redondez	Coef.	6.48
			RECTANGULO EQUIVALENTE		Lado Mayor
			Lado Menor	Km	3.85
			Orden 1	Km	85.23
			Orden 2	Km	58.08
	Longitud total de los ríos de diferentes grados		Orden 3	Km	39.04
			Orden 4	Km	6.87
			Orden 5	Km	7.38
	PARAMETROS DE RELIEVE	Curva Hipsométrica		-	-
		Polígono de Frecuencia		-	-
		Altitud Máxima de la Cuenca		m.s.n.m.	4542.00
		Altitud Mínima de la Cuenca		m.s.n.m.	2569.00
Desnivel total de la Cuenca		Km	1.97		
Altitud de Frecuencia Media		m.s.n.m.	3930.00		
Altitud Media de la Cuenca		m.s.n.m.	3555.5		
Altura más frecuente		m.s.n.m.	4400.00		
PARAMETROS DE LA RED	Pendiente de la cuenca (sist. del rectángulo equivalente)		%	6.33	
	Pendiente de la cuenca (Reporte ArcGIS)		%	31.60	
	Tipo de corriente		-	Perenne	
	Densidad de drenaje		Km/Km ²	1.64	
	Pendiente media del río principal		%	13.03	
	Altitud Mínima del cauce		m.s.n.m.	2569.00	
	Tiempo de concentración		Hr.	2.45	
	Grado de ramificación		-	5.0	

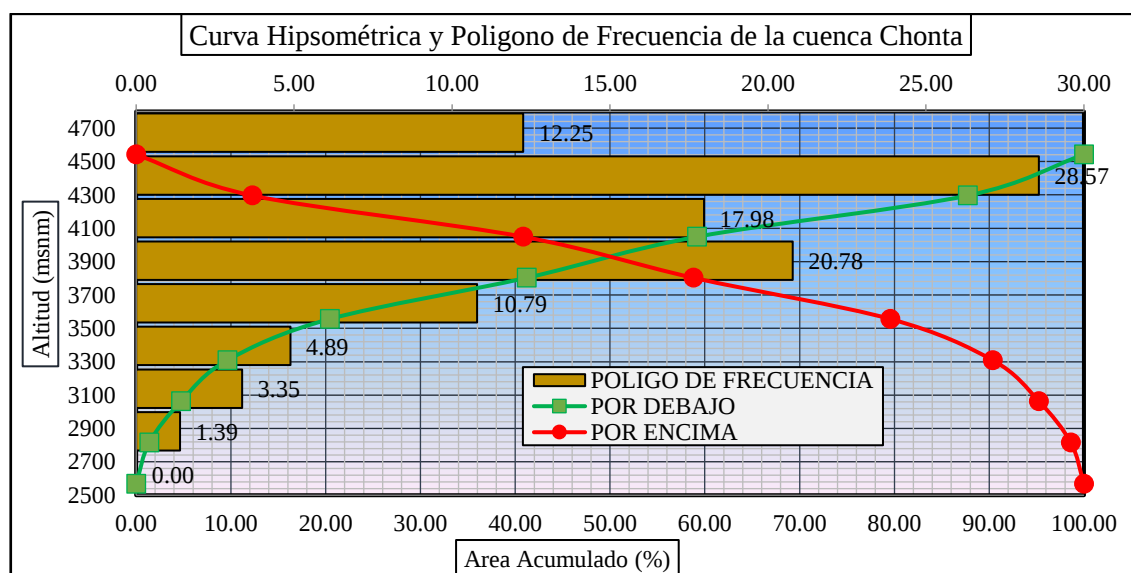
Nota: Elaboración propia.

Análisis. los parámetros geomorfológicos son definitivamente un factor determinante para la erosionabilidad, a mayor pendiente y altura se tiene mayor afectación de erosionabilidad en los terrenos por efectos de las lluvias.

La tabla 32 nos muestra el resumen de los parámetros geomorfológicos de la cuenca Chonta, podemos apreciar un tipo de corriente perenne y un tiempo de concentración de 2,45 Hr.

Figura 25

Curva Hipsométrica de la cuenca Chonta



Nota: Elaboración propia.

La figura 25 nos muestra una distribución altitudinal de cómo se distribuyen las altitudes en la cuenca. Una curva más convexa indica que la mayor parte del área de la cuenca se encuentra en altitudes más bajas, mientras que una curva más cóncava sugiere que la mayor parte del área está en altitudes más altas. En este caso, la forma de la curva nos ayuda a identificar las zonas más susceptibles a la erosión hídrica. Se puede apreciar también que el rango de altitud entre 3900 y 4100 msnm tiene una alta frecuencia, lo que indica que una gran parte de la cuenca se encuentra en este intervalo. Estos datos son fundamentales para calcular el factor LS (longitud y pendiente de las laderas) del modelo RUSLE, ya que la topografía influye directamente en la erosión hídrica. Las zonas con pendientes más pronunciadas y altitudes específicas pueden ser identificadas como áreas críticas para implementar medidas de conservación del suelo.

3.1.2. Tratamiento y análisis e interpretación de los datos de precipitación

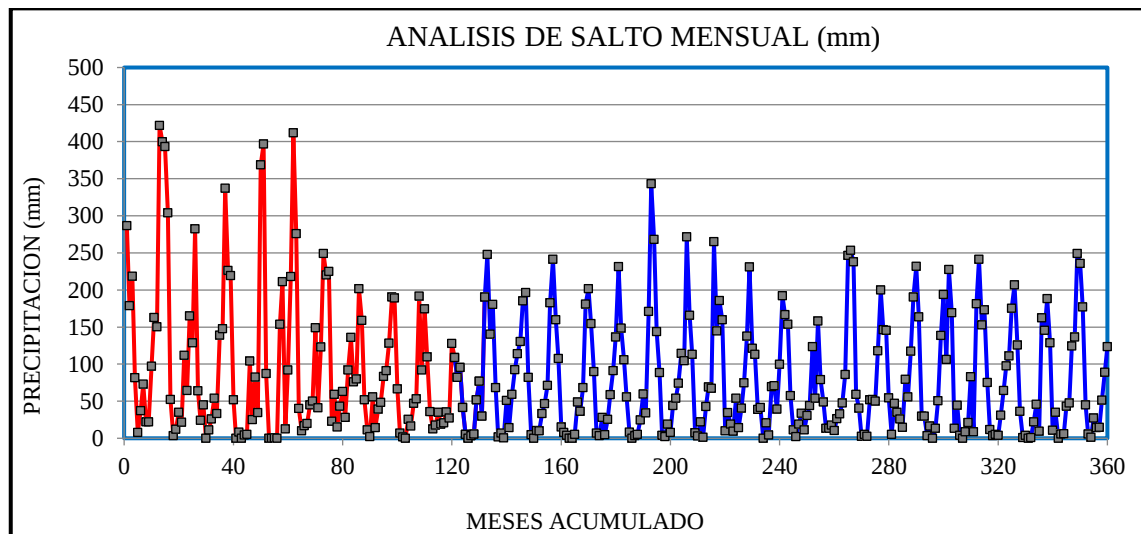
3.1.2.1. Análisis visual de los gráficos de histograma

a) Análisis visual de los gráficos de histograma de Estación Chilcayoc

En los histogramas de las figuras N° 26 y 27 se observa un salto brusco en 2005. Luego, los datos fueron corregidos y validados con análisis de doble masa y estadístico.

Figura 26

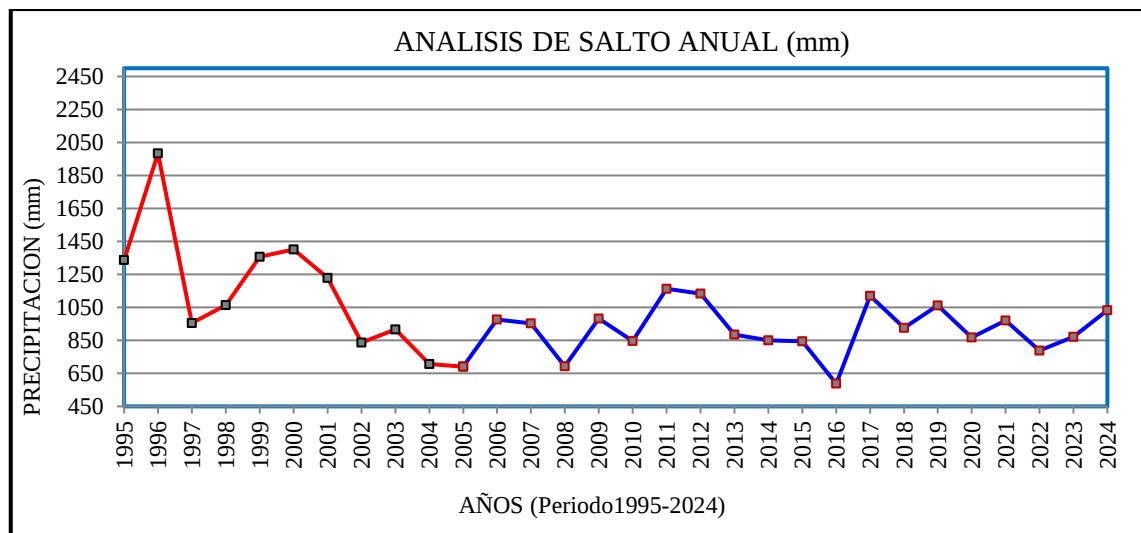
Análisis de tendencia de la información pluviométrica mensual Chilcayoc



La Figura 26 nos muestra la tendencia de la información pluviométrica mensual, Los picos representan meses con precipitaciones altas, mientras que los valles indican meses con precipitaciones bajas. Esto refleja la naturaleza variable de la pluviometría.

Figura 27

Análisis de tendencia de la información pluviométrica anual Chilcayoc



La figura 27 nos muestra el análisis de tendencia de la información pluviométrica anual Chilcayoc, el gráfico muestra importantes variaciones anuales en la cantidad de lluvia, con valores que oscilan entre 450 mm y 2450 mm. Destaca un pico significativo en 1997, que podría estar asociado a un evento climático extremo, como El Niño. Posteriormente, la tendencia general muestra una disminución de la precipitación hasta

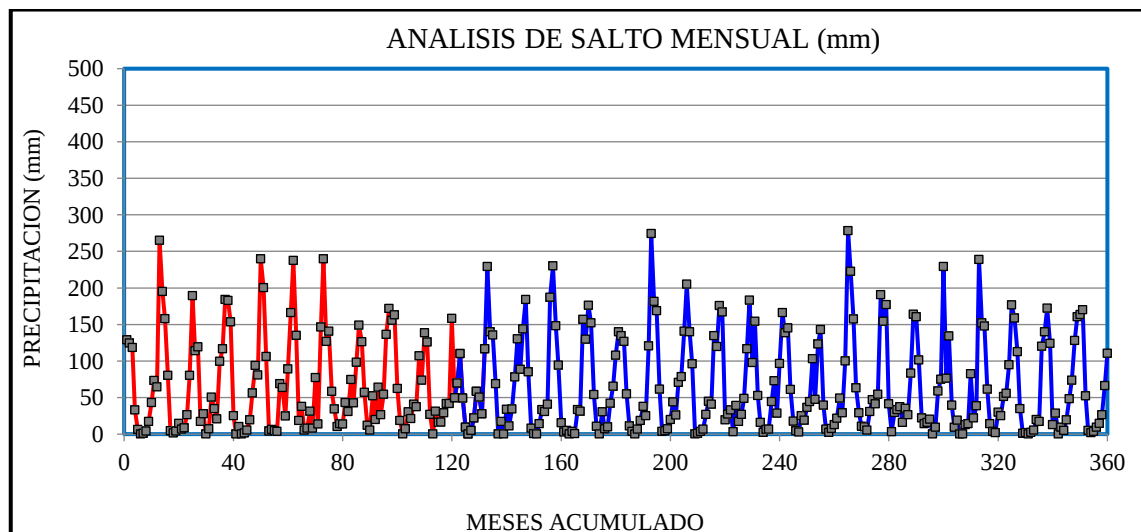
2005. El **segmento en rojo (1995-2005)**, nos muestra una tendencia de declive en los niveles de precipitación, lo que podría reflejar cambios climáticos o anomalías locales en la región. El correspondiente al **segmento azul (2006-2024)**, nos muestra que, a partir de 2006, las precipitaciones muestran mayor variabilidad, pero tienden a estabilizarse en comparación con la primera década, indicando posibles ajustes en los patrones climáticos o influencia de la vegetación y manejo de suelos.

b) Análisis visual de los gráficos de histograma de Estación Huancapi

En los histogramas de las Figuras 28 y 29 se observa un salto mínimo en el año 2005, posteriormente se validó los datos con análisis doble masa y estadístico.

Figura 28

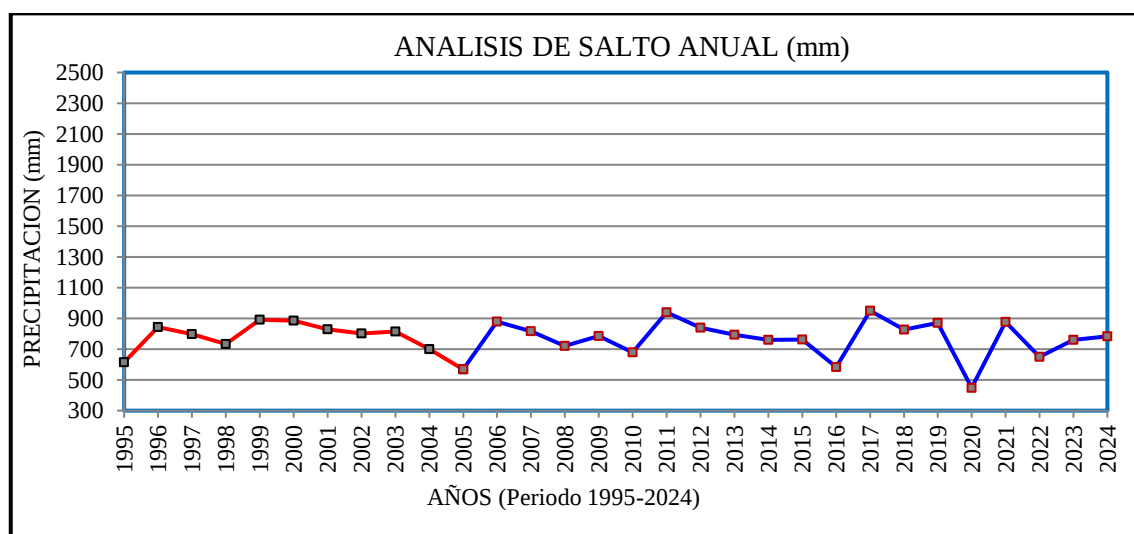
Análisis de tendencia de la información pluviométrica mensual Huancapi



La Figura 28 nos muestra el análisis de tendencia de la información pluviométrica mensual Huancapi, La gráfica presenta datos mensuales acumulados durante un periodo que abarca hasta 360 meses (aproximadamente 30 años), divididos en dos segmentos: el primero marcado con líneas rojas y el segundo con líneas azules. Esta división temporal está relacionada con cambios en las condiciones climáticas o ajustes en el registro de datos pluviométricos. Las líneas rojas muestran una tendencia en los primeros meses, mientras que las líneas azules representan la tendencia de los meses posteriores. Los picos corresponden a meses con alta precipitación, mientras que los puntos bajos reflejan meses más secos.

Figura 29

Análisis de tendencia de la información pluviométrica anual Huancapi



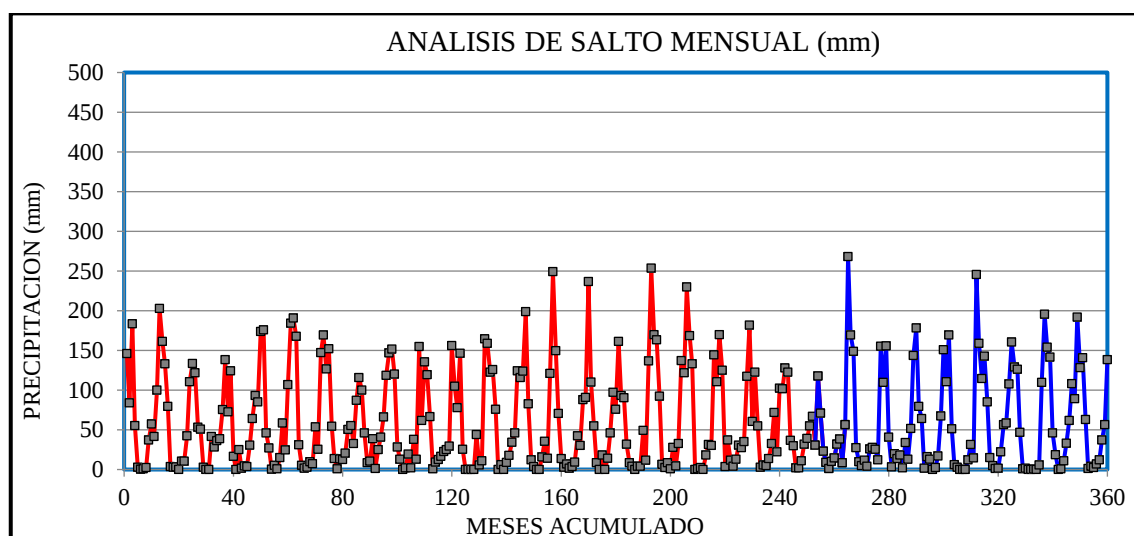
La figura 29 nos muestra el análisis de tendencia de la información pluviométrica anual Huancapi, Los valores de precipitación fluctúan entre aproximadamente 500 mm y 2500 mm, mostrando una alta variabilidad interanual. Los picos más pronunciados (por ejemplo, alrededor de 1997 y 2012) podrían estar asociados a eventos climáticos extremos como El Niño o La Niña, mientras que los mínimos reflejan años más secos. La línea azul en el gráfico representa una tendencia general o promedio a lo largo del tiempo. Aunque existe variabilidad significativa, esta línea podría sugerir una posible disminución leve en los niveles de precipitación hacia el final del periodo de estudio (2024), lo cual sería relevante para evaluar el impacto del cambio climático en la región.

c) Análisis visual de los gráficos de histograma de Estación Huanca sancos

En los histogramas de las figuras N° 30 y 31 se observa un salto mínimo en el año 2016, posteriormente se validó los datos con análisis doble masa y estadístico.

Figura 30

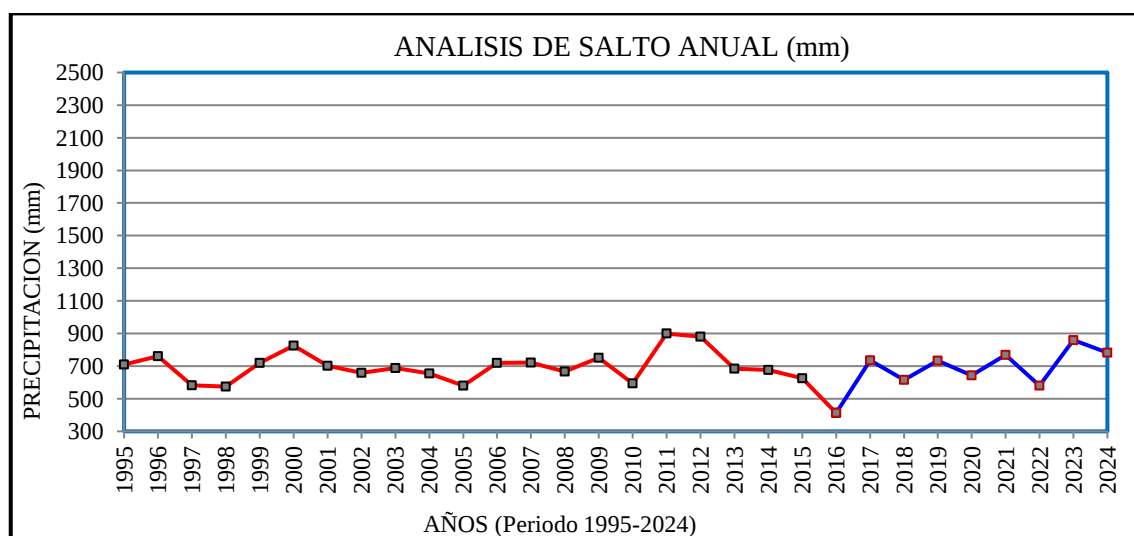
Análisis de tendencia de la información pluviométrica mensual Huanca Sancos



De la figura 30, se tiene el análisis de tendencia de la información pluviométrica mensual Huanca Sancos, el eje vertical (precipitación en mm) muestra variaciones significativas entre meses, con valores que oscilan entre 0 y 500 mm. Los picos de alta precipitación representan meses lluviosos, mientras que los valores bajos corresponden a meses secos, lo cual es típico en regiones con una marcada estacionalidad climática. La regularidad de los picos en ambas secciones sugiere un comportamiento estacional, donde ciertos meses del año probablemente concentran la mayoría de las lluvias. Este fenómeno podría estar vinculado a las condiciones climáticas propias de la región Ayacucho, provincia Sucre, distrito Querobamba.

Figura 31

Análisis de tendencia de la información pluviométrica anual Huanca Sancos



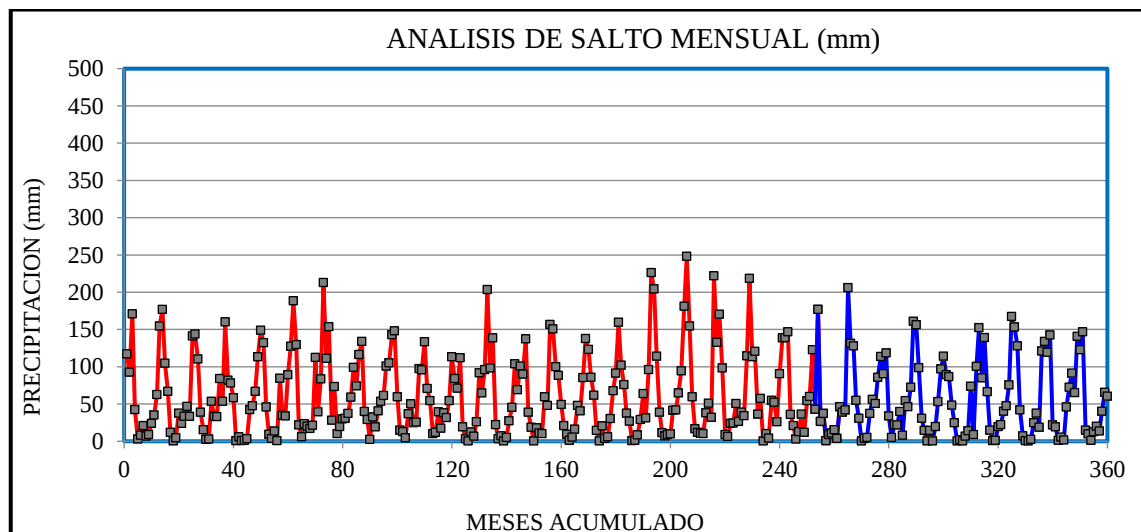
En la figura 31 sobre el análisis de tendencia de la información pluviométrica anual Huanca Sancos, revela una notable variabilidad interanual con valores oscilando entre 300 mm y 2500 mm. Se observa una disminución general en los niveles de precipitación hacia los últimos años del período (2017-2024), representada por la línea azul de proyección. Picos significativos como el de 1997 podrían estar relacionados con fenómenos climáticos extremos, mientras que los mínimos reflejan períodos de sequía.

d) Análisis visual de los gráficos de histograma de la estación Andahuaylas

En los histogramas de las figuras 32 y 33 se observa un salto mínimo en el año 2016, posteriormente se validó los datos con análisis doble masa y estadístico.

Figura 32

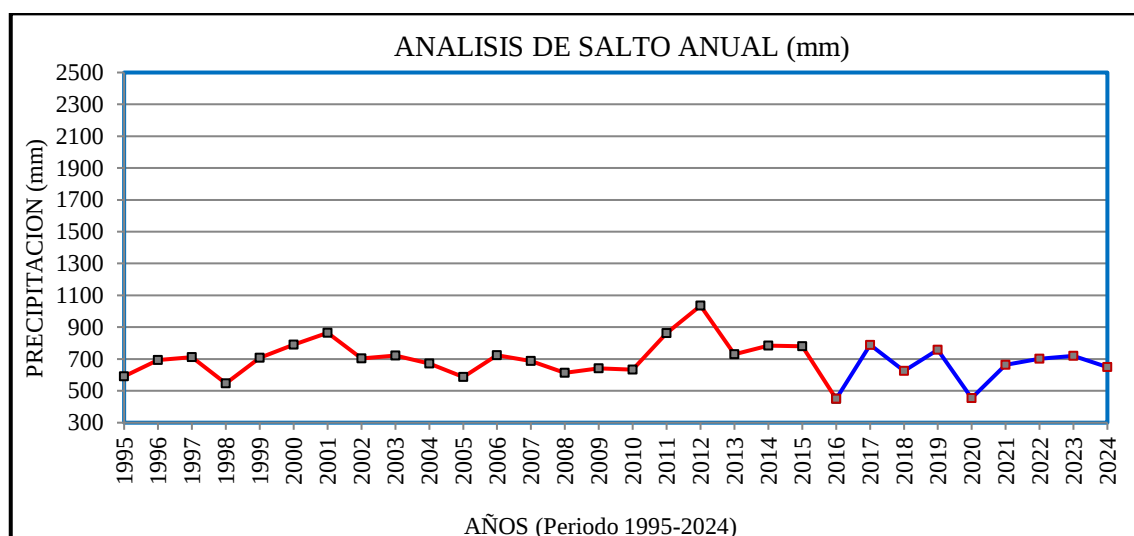
Análisis de tendencia de la información pluviométrica mensual Andahuaylas



De la Figura 32 sobre el análisis de tendencia de la información pluviométrica mensual Andahuaylas, El análisis de la tendencia pluviométrica en las localidades estudiadas revela variabilidad significativa en la precipitación tanto mensual como anual, con valores que oscilan entre 0 y 2500 mm según el periodo y la región analizada. En general, se observan fluctuaciones marcadas vinculadas a eventos climáticos extremos, como El Niño y La Niña, que impactan directamente en el cálculo del factor R del modelo RUSLE, esencial para estimar la erosión hídrica. Las divisiones temporales en los gráficos mensuales, representadas por segmentos rojos y azules, destacan posibles cambios en los patrones climáticos, como estabilización o mayor concentración en ciertos intervalos, mientras que en los análisis anuales se perciben tendencias descendentes en las últimas décadas, posiblemente asociadas al cambio climático.

Figura 33

Análisis de tendencia de la información pluviométrica anual Andahuaylas



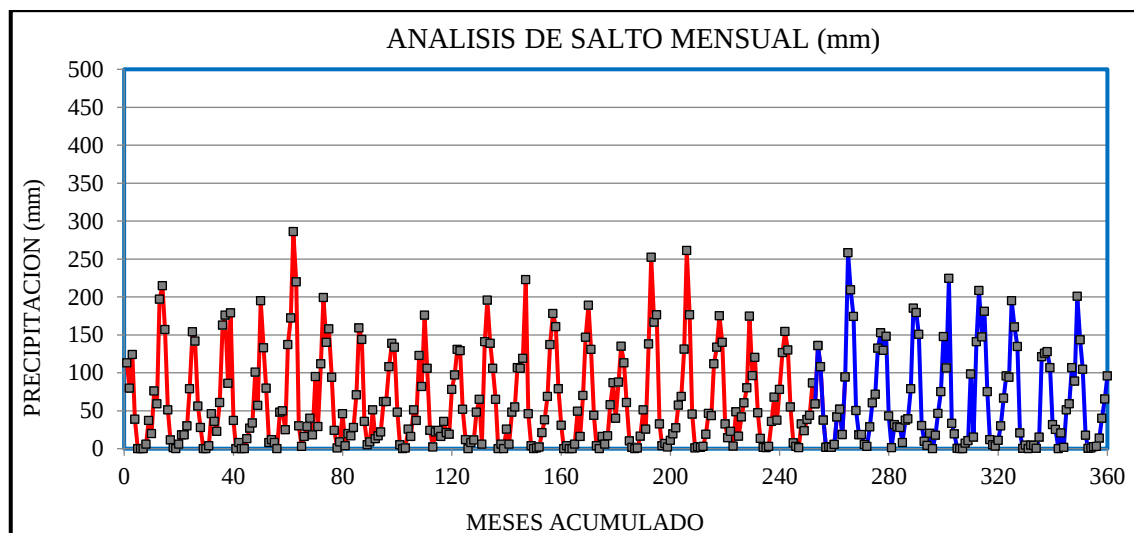
De la Figura 33 se tiene el análisis de tendencia de la información pluviométrica anual Andahuaylas entre 1995 y 2024 evidencia fluctuaciones significativas, con valores que oscilan entre 300 mm y 2500 mm. Los picos en años como 2001, 2002, 2011 y 2017 reflejan periodos de lluvias intensas, posiblemente asociadas a fenómenos climáticos extremos, mientras que descensos notables, como en 2005, 2015 y 2016, indican periodos secos críticos. A pesar de la variabilidad registrada, no se identifica una tendencia sostenida de incremento o disminución en el largo plazo, lo que resalta la influencia de factores estacionales y regionales en los patrones pluviométricos.

e) Análisis visual de los gráficos de histograma de Estación Paucaray

En los histogramas de las Figuras 34 y 35 se observa un salto mínimo en el año 2016, posteriormente se validó los datos con análisis doble masa y estadístico.

Figura 34

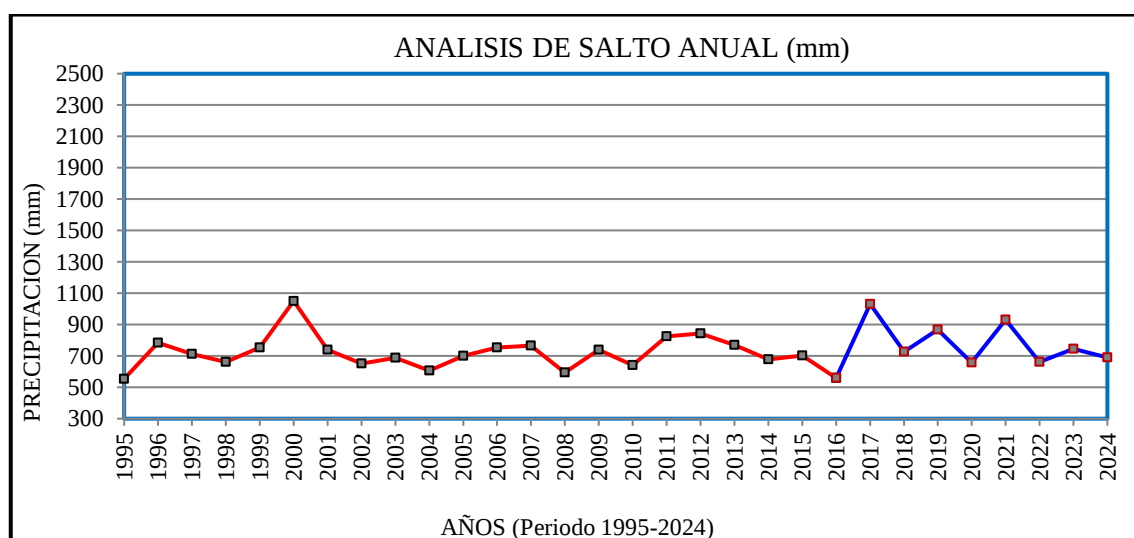
Análisis de tendencia de la información pluviométrica mensual Paucaray



De la figura 34 se tiene el análisis de la información pluviométrica mensual en Paucaray, "ANALISIS DE SALTO MENSUAL (mm)", muestra una variabilidad significativa en las precipitaciones a lo largo de 360 meses acumulados, con valores que alcanzan hasta 250 mm en meses pico. La distribución se presenta en dos segmentos temporales: el primero (0-240 meses, en rojo) destaca una mayor irregularidad en los niveles de precipitación, mientras que el segundo (240-360 meses, en azul) nos muestra una tendencia hacia una estabilidad relativa en los valores intermedios.

Figura 35

Análisis de tendencia de la información pluviométrica anual Paucaray



De la figura 35 se tiene El análisis de la tendencia de precipitación anual en Paucaray entre 1995 y 2024 muestra una alta variabilidad interanual con valores que

oscilan entre aproximadamente 300 mm y 2500 mm. Destacan picos significativos en 1999 y 2017, posiblemente relacionados con eventos climáticos extremos, mientras que los mínimos en años como 2005 reflejan periodos secos críticos. Aunque no se identifica una tendencia clara de incremento o disminución sostenida a largo plazo, los patrones observados son esenciales para el cálculo del factor R en el modelo RUSLE, dado que la erosividad de la lluvia depende directamente de la cantidad y distribución de las precipitaciones.

3.1.2.2. Análisis de curva de doble masa

El análisis de doble masa consistió en identificar los quiebres en las cinco estaciones, y posteriormente se determinó cuál de ellas era la más consistente en términos de homogeneidad. En base a este análisis, se seleccionó promedio de acumulación de precipitación.

Tabla 33

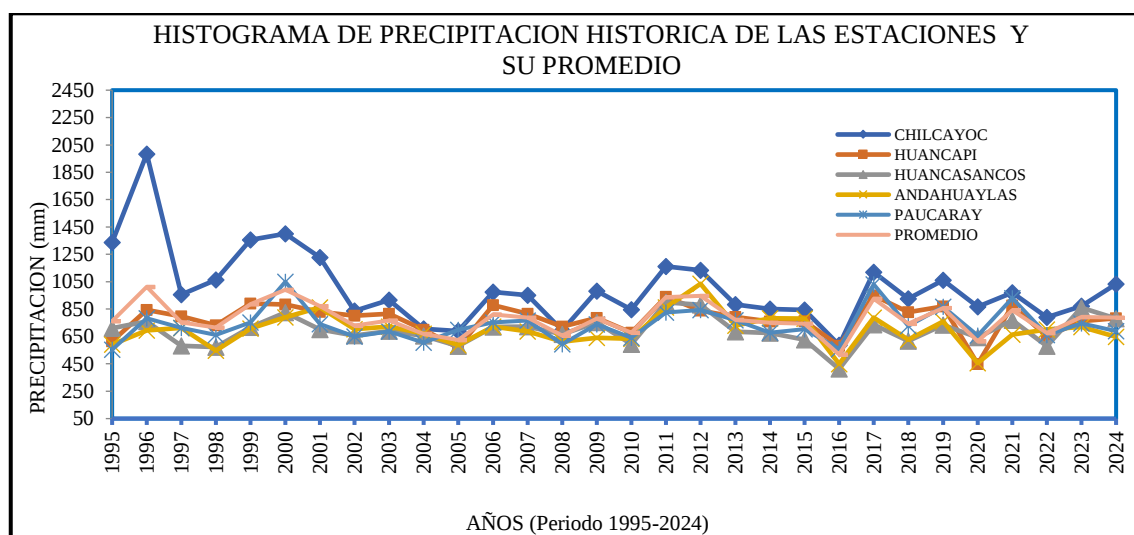
Curva doble acumulada de la precipitación promedio

N°	AÑO	CHILCAYOC		HUANCAPI		HUANCASANCOS		ANDAHUAYLAS		PAUCARAY		PROMEDIO	
		PP	Pacum	PP	Pacum	PP	Pacum	PP	Pacum	PP	Pacum	PP	Pacum
1	1995	1337.10	1337.10	614.40	614.40	710.32	710.32	590.90	590.90	554.00	554.00	761.34	761.34
2	1996	1983.90	3321.00	844.10	1458.50	759.96	1470.28	693.70	1284.60	783.25	1337.25	1012.98	1774.33
3	1997	955.60	4276.60	796.80	2255.30	582.50	2052.78	711.98	1996.58	713.17	2050.42	752.01	2526.34
4	1998	1063.90	5340.50	732.30	2987.60	573.70	2626.48	546.00	2542.58	661.00	2711.42	715.38	3241.72
5	1999	1356.60	6697.10	891.40	3879.00	718.82	3345.30	708.60	3251.18	753.00	3464.42	885.68	4127.40
6	2000	1401.00	8098.10	884.60	4763.60	826.30	4171.60	789.70	4040.88	1050.00	4514.42	990.32	5117.72
7	2001	1228.80	9326.90	828.90	5592.50	701.10	4872.70	863.90	4904.78	740.00	5254.42	872.54	5990.26
8	2002	837.80	10164.70	801.00	6393.50	657.89	5530.59	702.60	5607.38	651.00	5905.42	730.06	6720.32
9	2003	917.30	11082.00	815.20	7208.70	688.50	6219.09	721.80	6329.18	688.00	6593.42	766.16	7486.48
10	2004	707.10	11789.10	699.20	7907.90	655.20	6874.29	670.90	7000.08	606.00	7199.42	667.68	8154.16
11	2005	690.57	12479.67	568.10	8476.00	579.40	7453.69	587.20	7587.28	700.11	7899.53	625.08	8779.23
12	2006	976.18	13455.85	878.20	9354.20	720.00	8173.69	723.20	8310.48	753.76	8653.29	810.27	9589.50
13	2007	952.50	14408.35	816.30	10170.50	722.30	8895.99	688.10	8998.58	765.94	9419.23	789.03	10378.53
14	2008	693.63	15101.98	721.40	10891.90	667.30	9563.29	613.50	9612.08	594.21	10013.44	658.01	11036.54
15	2009	981.90	16083.88	785.11	11677.01	751.80	10315.09	641.40	10253.48	739.00	10752.44	779.84	11816.38
16	2010	847.36	16931.24	678.65	12355.66	594.50	10909.59	632.50	10885.98	641.50	11393.94	678.90	12495.28
17	2011	1163.10	18094.34	939.74	13295.40	899.40	11808.99	861.70	11747.68	824.96	12218.90	937.78	13433.06
18	2012	1133.20	19227.54	839.98	14135.38	880.90	12689.89	1034.88	12782.56	843.92	13062.82	946.58	14379.64
19	2013	884.60	20112.14	793.06	14928.44	685.10	13374.99	728.95	13511.51	769.73	13832.55	772.29	15151.93
20	2014	850.70	20962.84	760.98	15689.42	676.00	14050.99	783.60	14295.11	678.09	14510.64	749.87	15901.80
21	2015	844.50	21807.34	763.04	16452.46	626.00	14676.99	781.00	15076.11	702.93	15213.57	743.49	16645.29
22	2016	587.70	22395.04	582.61	17035.07	412.49	15089.48	449.30	15525.41	559.39	15772.96	518.30	17163.59
23	2017	1120.50	23515.54	949.80	17984.87	735.30	15824.78	789.00	16314.41	1031.00	16803.96	925.12	18088.71
24	2018	926.60	24442.14	826.60	18811.47	616.50	16441.28	625.70	16940.11	727.50	17531.46	744.58	18833.29
25	2019	1062.20	25504.34	870.20	19681.67	733.20	17174.48	758.90	17699.01	867.50	18398.96	858.40	19691.69
26	2020	867.50	26371.84	448.89	20130.56	643.81	17818.29	454.60	18153.61	656.91	19055.87	614.34	20306.03
27	2021	970.80	27342.64	876.50	21007.06	768.60	18586.89	663.14	18816.75	930.30	19986.17	841.87	21147.90
28	2022	789.28	28131.92	650.00	21657.06	580.20	19167.09	702.05	19518.80	662.10	20648.27	676.73	21824.63
29	2023	871.83	29003.75	761.10	22418.16	859.67	20026.76	719.34	20238.14	745.70	21393.97	791.53	22616.16
30	2024	1033.57	30037.32	783.70	23201.86	781.84	20808.60	648.41	20886.55	689.36	22083.33	787.38	23403.53

De la tabla 33 se tiene La curva doble acumulada de la precipitación promedio permite observar la tendencia general de las precipitaciones a lo largo de los años 1995-2024 en las cinco localidades. Los valores acumulados muestran un comportamiento de incremento sostenido hasta el 2024, destacando años específicos con precipitaciones significativamente altas, como 1996, 1999, y 2017, debido probablemente a eventos climáticos extremos como El Niño. Las precipitaciones más bajas, como en 2016, reflejan periodos de sequía o condiciones climáticas adversas. El promedio de las precipitaciones anuales (PP) varía notablemente entre localidades, siendo Chilcayoc la más lluviosa y Paucaray la más seca en general.

Figura 36

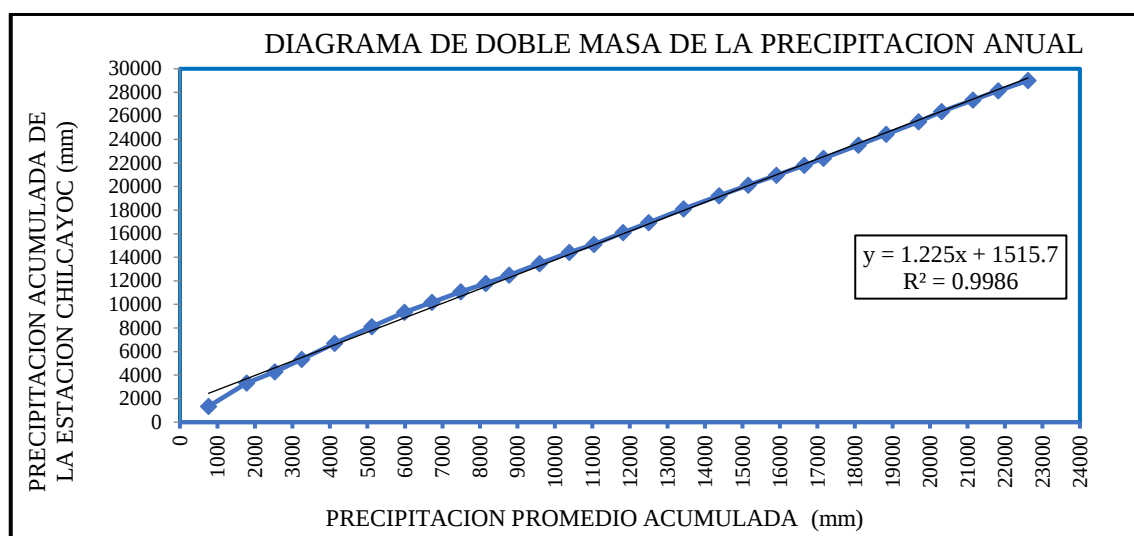
Histograma de precipitación histórica de las estaciones y su promedio



De la figura 36 se tiene el histograma de precipitación histórica de las estaciones muestra la variación anual de las precipitaciones (en mm) desde 1995 hasta 2024 para las estaciones Chilcayoc, Huancapi, Huanca Sancos, Andahuaylas y Paucaray, además del promedio general. Destaca que Chilcayoc registra las precipitaciones más altas, especialmente en años como 1995 y 1996, donde se alcanzan picos significativos, mientras que las otras estaciones presentan valores más cercanos al promedio general, representado por la línea naranja. A partir del año 2000, las precipitaciones muestran una tendencia más estable con fluctuaciones menores en todas las estaciones.

Figura 37

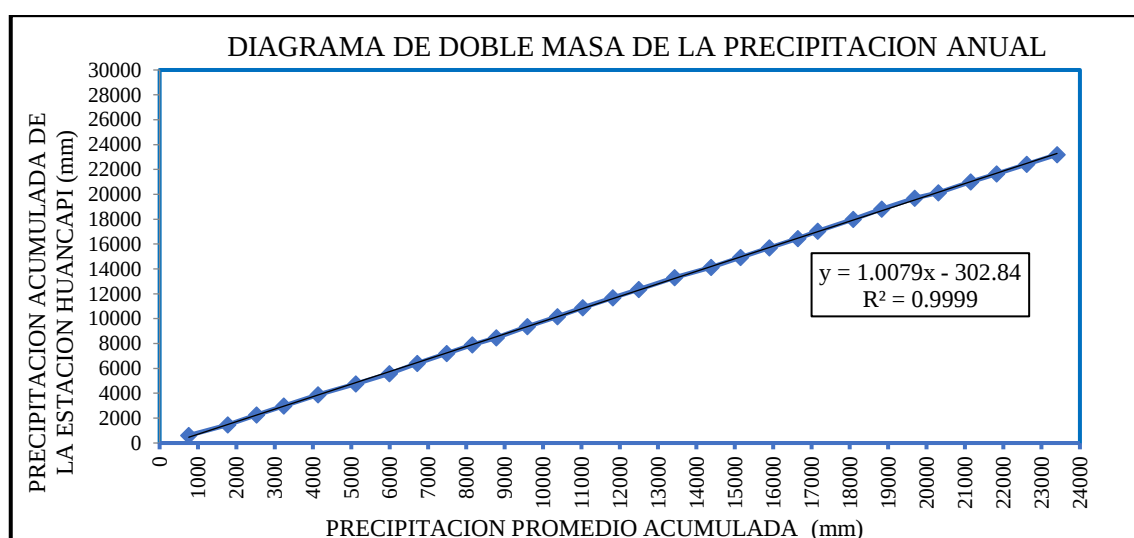
Diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica con estación promedio de la estación Chilcayoc



De la figura 37 se tiene el diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica para la estación Chilcayoc, en comparación con el promedio acumulado de todas las estaciones, refleja una relación altamente consistente, con una tendencia lineal representada por la ecuación $y=1.225x+1515.7$ y un coeficiente de determinación $R^2=0.9986$, lo que indica una correlación casi perfecta entre ambas variables. Esta fuerte correspondencia sugiere que los datos de la estación Chilcayoc son consistentes y fiables a lo largo del tiempo.

Figura 38

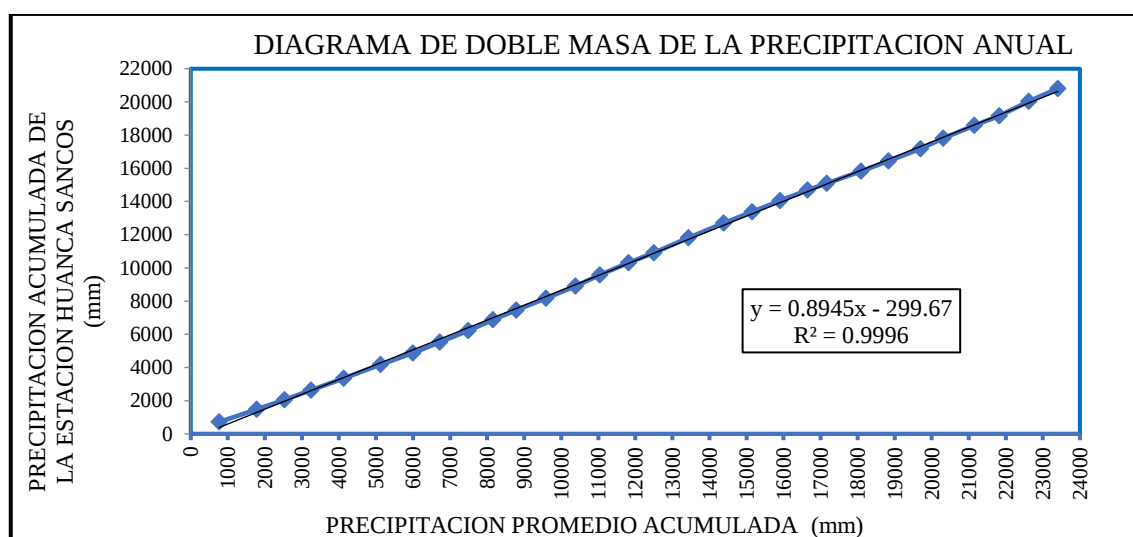
Diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica con estación promedio de la estación Huancapi



De la figura 38 se tiene el diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica para la estación Huancapi, comparado con el promedio acumulado de todas las estaciones, revela una notable relación lineal, representada por la ecuación $y=1.0079x-302.84$, con un coeficiente de determinación $R^2=0.9999$, lo que indica una correlación casi perfecta entre las dos variables. Esto demuestra la consistencia y homogeneidad de los datos de la estación Huancapi a lo largo del periodo analizado. La línea de tendencia refleja que las precipitaciones acumuladas en Huancapi siguen muy de cerca el promedio regional, validando la calidad y fiabilidad de los registros para estudios hidrológicos.

Figura 39

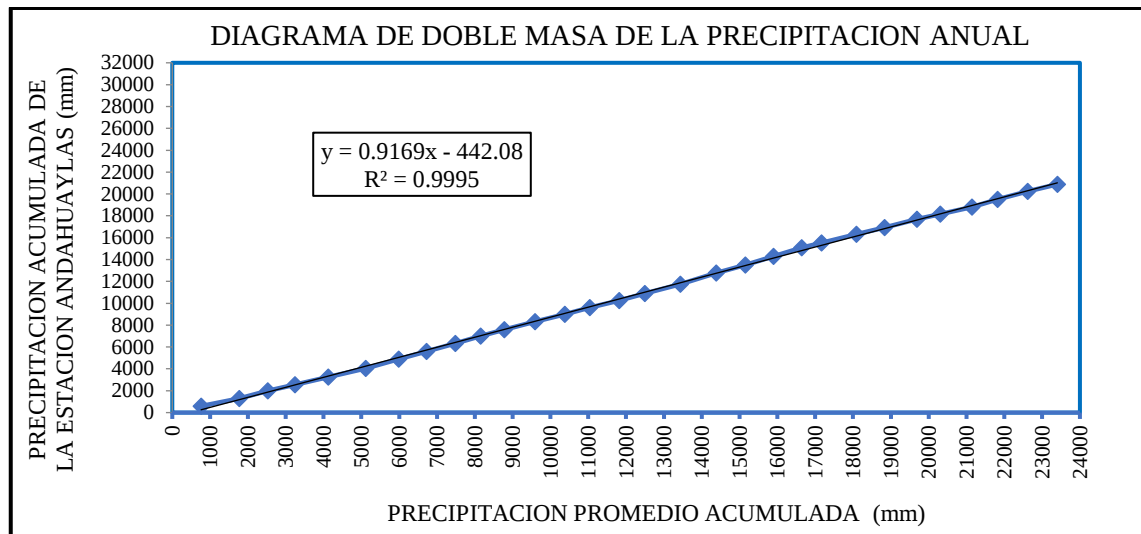
Diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica con estación promedio de la estación Huanca Sancos.



En la figura 39 se tiene el diagrama de doble masa para la estación Huanca Sancos, comparado con el promedio acumulado regional, evidencia una relación lineal sólida, representada por la ecuación $y=0.8945x-299.67$, y un coeficiente de determinación $R^2=0.9996$. Esto indica una correlación casi perfecta, aunque con una pendiente menor a 1, lo que sugiere que las precipitaciones acumuladas en Huanca Sancos son, en promedio, ligeramente inferiores al promedio regional.

Figura 40

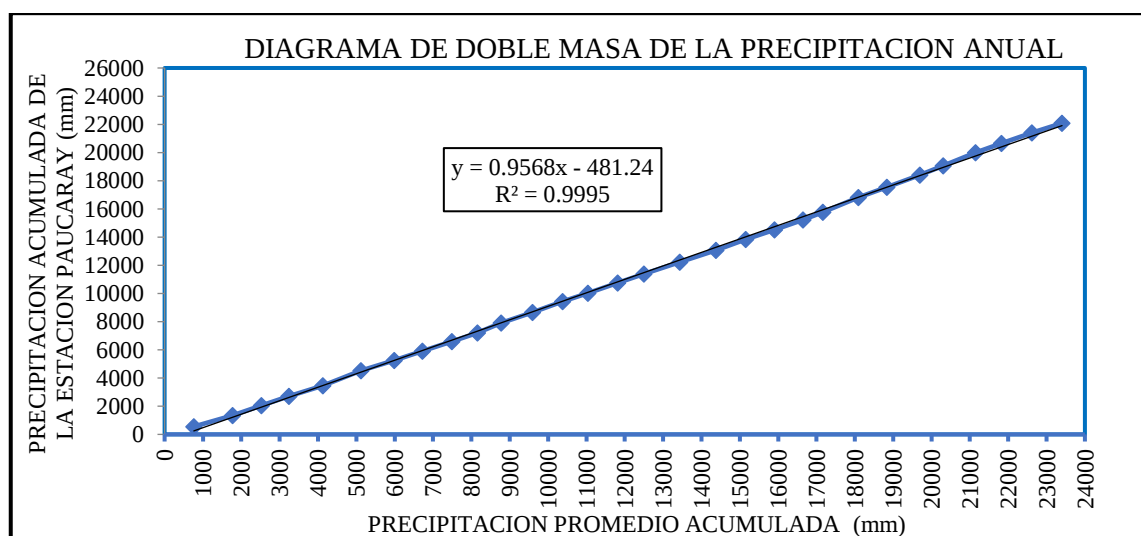
Diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica con estación promedio de la estación Andahuaylas.



De la figura 40 se tiene el diagrama de doble masa para la estación Andahuaylas, en comparación con el promedio acumulado de las estaciones, presenta una relación lineal definida por la ecuación $y=0.9169x-442.08$ con un coeficiente de determinación $R^2=0.9995$, lo que evidencia una alta correlación y consistencia entre las precipitaciones acumuladas de Andahuaylas y el promedio regional. La pendiente inferior a 1 indica que las precipitaciones acumuladas en Andahuaylas son ligeramente menores en comparación con el promedio general, lo que refuerza la necesidad de adaptar estrategias específicas de manejo hídrico en esta región.

Figura 41

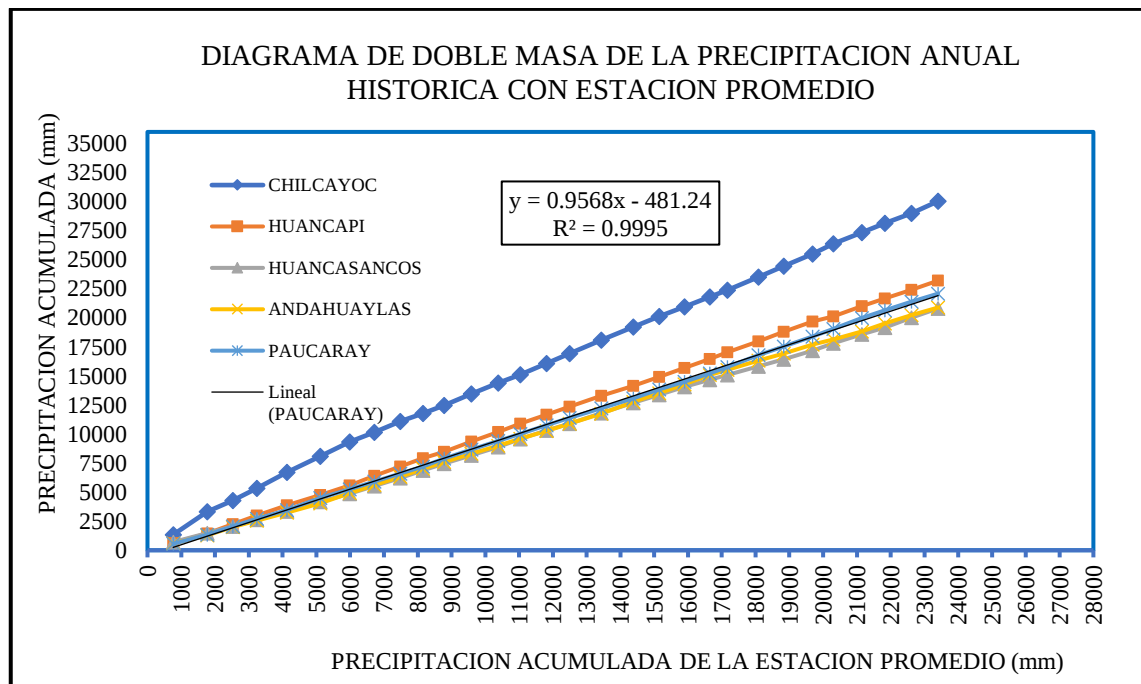
Diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica con estación promedio de la estación Paucaray.



De la figura 41 tiene el diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica para la estación Paucaray, en comparación con el promedio acumulado regional, muestra una relación lineal representada por la ecuación $y=0.9568x-481.24$, y un coeficiente de determinación $R^2=0.9995$, indicando una alta correlación entre ambas variables. La pendiente cercana a 1 refleja que las precipitaciones acumuladas en Paucaray se asemejan al promedio regional, con ligeras diferencias debido a condiciones específicas de la estación.

Figura 42

Diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica con estaciones promedios.



De la figura 42 se tiene el diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica con estaciones promedios destaca una consistencia notable entre las precipitaciones acumuladas de las estaciones meteorológicas individuales (Chilcayoc, Huancapi, Huanca sancos, Andahuaylas y Paucaray) y el promedio regional acumulado. cada estación presenta una alta correlación con el promedio, como lo reflejan los coeficientes de determinación R^2 , cercanos a 1 en todas las ecuaciones de tendencia. Estos resultados validan la calidad y homogeneidad de los datos hidrológicos, fundamentales para estudios de precipitación y para determinar el factor R en el modelo RUSLE, utilizado en la estimación de la erosión hídrica.

3.2. Análisis estadístico

3.2.1. Análisis estadístico de Estación Chilcayoc

Se plantea la hipótesis de que existe un salto en el año de 2005, para el cual se le realizó el análisis estadístico, es decir el análisis de saltos y tendencias para los periodos citados.

Numero de datos, promedio y desviación estándar para los periodos de análisis de la estación Chilcayoc

PERIODO		N	MEDIA	DESV. ESTANDAR	S(x)2
1995	2005	132	98.24	105.40	11108.62
2006	2024	228	76.03	75.27	5664.88

ANÁLISIS DE SALTOS

Salto o Consistencia en la media

Prueba "T" de Student

Desviación estándar ponderada

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Desviación de las diferencias de los promedios

$$S_d = S_p * \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Cálculo del T, calculado (Tc) según:

$$t_c = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_d}$$

Cálculo del valor critico de t, tabular Tt:

GL= GL1+GL2 (grado de libertad)

Resultado de validación estadística de prueba "T" de Student

Sp	Sd	Tc	Alfa	G.L.	Tt (95%) Tabla	Comparc.	Diferencia Signific.
87.504	9.570	2.321	0.05	358	1.967	Tc > Tt	SI

Conclusión

Tc>Tt, Por lo tanto, se rechaza la H0, no hay consistencia en la media por lo tanto es necesario corregir los datos.

Salto o Consistencia en la desviación estándar

Prueba "F" de Fisher

Cálculo del F, calculado (Fc) según:

$$\text{Si: } S_1^2(X) > S_2^2(X) \text{ Entonces } F_c = \frac{S_1^2(X)}{S_2^2(X)} \quad \text{y } G.L.N. = n_1 - 1$$
$$G.L.N. = n_2 - 1$$

$$\text{Si: } S_2^2(X) > S_1^2(X) \text{ Entonces } F_c = \frac{S_2^2(X)}{S_1^2(X)} \quad \text{y } G.L.N. = n_2 - 1$$
$$G.L.N. = n_1 - 1$$

Resultado de validación estadística de prueba de prueba de "F" de Fisher

Fc	Alfa	G.L.N.	G.L.D.	Ft (95%)	Comparación	Diferencia
Calculado		(1)	(2)	Tabla		Signific.
1.961	0.05	131	227	1.285	Fc > Ft	SI

Conclusión

Tc>Tt, Por lo tanto, se rechaza la H0, no hay consistencia en la media por lo tanto es necesario corregir los datos.

ANÁLISIS DE TENDENCIA

Tendencia o consistencia en la media (m)

Datos

n	=	360
t	=	180.50
Tm	=	83.44
St	=	104.07
S _{Tm}	=	86.97
t*Tm	=	13902.04

Resultado de validación estadística de prueba "T"

R	B	A	Tc	Alfa	G.L.	Tt (95%)	Comparc.	Diferencia
			Calculado			Tabla		Signific.
-0.128	-0.107	102.743	2.442	0.05	358	1.967	Tc > Tt	SI

Conclusión

Tc>Tt, Por lo tanto, se rechaza la H0, no hay consistencia en la media por lo tanto es necesario corregir los datos.

Tendencia o consistencia en la desviación estándar (s)

Datos

n	=	30
t	=	15.50
Ts	=	83.76
St	=	8.80
S _{Ts}	=	26.37
t*T _s	=	1206.43

Resultado de validación estadística de prueba "T"

R	B	A	Tc Calculado	Alfa	G.L.	Tt (95%) Tabla	Comparc.	Diferencia Signific.
-0.395	-1.184	102.113	2.357	0.05	28	2.048	Tc > Tt	SI

Conclusión

Tc > Tt, Por lo tanto, se rechaza la H0, no hay consistencia en la varianza por lo tanto es necesario corregir los datos.

3.2.2. Análisis estadístico de Estación Huancapi

Se plantea la hipótesis de que existe un salto en el año de 2005, para el cual se le realizará el análisis estadístico, es decir el análisis de saltos y tendencias para los periodos citados.

Numero de datos, promedio y desviación estándar para los periodos de análisis de la estación Huancapi

PERIODO		N	MEDIA	DESV. ESTANDAR	S(x)2
1995	2005	132	65.90	65.34	4269.32
2006	2024	228	63.72	64.51	4161.52

ANÁLISIS DE SALTOS

Salto o Consistencia en la media

Prueba "T" de Student

Desviación estándar ponderada

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Desviación de las diferencias de los promedios

$$S_d = S_p * \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Cálculo del T, calculado (Tc) según:

$$t_c = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{s_{\bar{d}}}$$

Cálculo del valor crítico de t, tabular Tt:

GL= GL1+GL2 (grado de libertad)

Resultado de validación estadística de prueba "T" de Student

Sp	Sd	Tc	Alfa	G.L.	Tt (95%) Tabla	Comparc.	Diferencia Signific.
64.815	7.089	0.307	0.05	358	1.967	Tc < Tt	NO

Conclusión

Tc < Tt, Por lo tanto, se acepta la H0, hay consistencia en la media por lo tanto no es necesario corregir los datos.

Salto o Consistencia en la desviación estándar

Prueba "F" de Fisher

Cálculo del F, calculado (Fc) según:

Si: $S_1^2(X) > S_2^2(X)$ Entonces $F_c = \frac{S_1^2(X)}{S_2^2(X)}$ y $G.L.N. = n_1 - 1$
 $G.L.N. = n_2 - 1$

Si: $S_2^2(X) > S_1^2(X)$ Entonces $F_c = \frac{S_2^2(X)}{S_1^2(X)}$ y $G.L.N. = n_2 - 1$
 $G.L.N. = n_1 - 1$

Resultado de validación estadística de prueba de prueba de "F" de Fisher

Fc	Alfa	G.L.N. (1)	G.L.D. (2)	Ft (95%) Tabla	Comparación	Diferencia Signific.
Calculado						
1.026	0.05	131	227	1.285	Fc < Ft	NO

Conclusión

Fc < Tt, Por lo tanto, se acepta H0, hay consistencia en la varianza, sin embargo, no es necesaria realizar las correcciones de los datos.

ANÁLISIS DE TENDENCIA

Tendencia o consistencia en la media (m)

Datos

n	=	360
t	=	180.50
Tm	=	64.45
St	=	104.07

$$STm = 64.70$$

$$t*Tm = 11443.27$$

Resultado de validación estadística de prueba "T"

R	B	A	Tc Calculado	Alfa	G.L.	Tt (95%) Tabla	Comparc.	Diferencia Signific.
-0.028	-0.018	67.614	0.534	0.05	358	1.967	Tc < Tt	NO

Conclusión

Tc < Tt, Por lo tanto, se acepta la H0, hay consistencia en la media por lo tanto no es necesario corregir los datos.

Tendencia o consistencia en la desviación estándar (s)

Datos

$$n = 30$$

$$t = 15.50$$

$$Ts = 65.53$$

$$St = 8.80$$

$$STs = 13.05$$

$$t*Ts = 1010.55$$

Resultado de validación estadística de prueba "T"

R	B	A	Tc Calculado	Alfa	G.L.	Tt (95%) Tabla	Comparc.	Diferencia Signific.
-0.045	-0.066	66.558	0.246	0.05	28	2.048	Tc < Tt	NO

Conclusión

Tc < Tt, Por lo tanto, se acepta la H0, hay consistencia en la varianza por lo tanto no es necesario corregir los datos.

3.2.3. Análisis estadístico de Estación Huanca Sancos

Se plantea la hipótesis de que existe un salto en el año de 2016, para el cual se le realizara el análisis estadístico, es decir el análisis de saltos y tendencias para los periodos citados.

Numero de datos, promedio y desviación estándar para los periodos de análisis de la estación Huanca Sancos

PERIODO		N	MEDIA	DESV. ESTANDAR	S(x)2
1995	2016	264	57.29	57.65	3323.16
2017	2024	96	58.06	63.52	4034.30

ANÁLISIS DE SALTOS

Salto o Consistencia en la media

Prueba "T" de Student

Desviación estándar ponderada

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Desviación de las diferencias de los promedios

$$S_d = S_p * \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Cálculo del T, calculado (Tc) según:

$$t_c = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_d}$$

Cálculo del valor crítico de t, tabular Tt:

GL= GL1+GL2 (grado de libertad)

Resultado de validación estadística de prueba "T" de Student

Sp	Sd	Tc	Alfa	G.L.	Tt (95%) Tabla	Comparc.	Diferencia Signific.
59.261	7.063	0.110	0.05	358	1.967	Tc < Tt	NO

Conclusión

Tc < Tt, Por lo tanto, se acepta la H0, hay consistencia en la media por lo tanto no es necesario corregir los datos.

Salto o Consistencia en la desviación estándar

Prueba "F" de Fisher

Cálculo del F, calculado (Fc) según:

$$\text{Si: } S_1^2(X) > S_2^2(X) \text{ Entonces } F_c = \frac{S_1^2(X)}{S_2^2(X)} \quad \text{y } \begin{matrix} G.L.N. = n_1 - 1 \\ G.L.N. = n_2 - 1 \end{matrix}$$

$$\text{Si: } S_2^2(X) > S_1^2(X) \text{ Entonces } F_c = \frac{S_2^2(X)}{S_1^2(X)} \quad \text{y } \begin{matrix} G.L.N. = n_2 - 1 \\ G.L.N. = n_1 - 1 \end{matrix}$$

Resultado de validación estadística de prueba de prueba de "F" de Fisher

Fc	Alfa	G.L.N. (1)	G.L.D. (2)	Ft (95%) Tabla	Comparación	Diferencia Signific.
Calculado						
1.214	0.05	263	95	1.309	Fc < Ft	NO

Conclusión

$F_c < T_t$, Por lo tanto, se acepta H_0 hay consistencia en la varianza, sin embargo, no es necesaria realizar las correcciones de los datos.

ANÁLISIS DE TENDENCIA

Tendencia o consistencia en la media (m)

Datos

n	=	360
t	=	180.50
T _m	=	57.80
St	=	104.07
ST _m	=	61.54
t*T _m	=	10406.04

Resultado de validación estadística de prueba "T"

R	B	A	T _c Calculado	Alfa	G.L.	T _t (95%) Tabla	Comparc.	Diferencia Signific.
-0.004	-0.003	58.254	0.080	0.05	358	1.967	$T_c < T_t$	NO

Conclusión

$T_c < T_t$, Por lo tanto, se acepta la H_0 , hay consistencia en la media por lo tanto no es necesario corregir los datos.

Tendencia o consistencia en la desviación estándar (s)

Datos

n	=	30
t	=	15.50
T _s	=	62.32
St	=	8.80
ST _s	=	12.84
t*T _s	=	981.99

Resultado de validación estadística de prueba "T"

R	B	A	T _c Calculado	Alfa	G.L.	T _t (95%) Tabla	Comparc.	Diferencia Signific.
0.142	0.208	59.093	0.789	0.05	28	2.048	$T_c < T_t$	NO

Conclusión

$T_c < T_t$, Por lo tanto, se acepta la H_0 , hay consistencia en la varianza por lo tanto no es necesario corregir los datos.

3.2.4. Análisis estadístico Andahuaylas

Se plantea la hipótesis de que existe un salto en el año de 2016, para el cual se le realizara el análisis estadístico, es decir el análisis de saltos y tendencias para los periodos citados.

Numero de datos, promedio y desviación estándar para los periodos de análisis de la estación Andahuaylas

PERIODO		N	MEDIA	DESV. ESTANDAR	S(x)2
1995	2016	264	58.33	50.43	2542.96
2017	2024	96	57.86	55.31	3058.83

ANÁLISIS DE SALTOS

Salto o Consistencia en la media

Prueba "T" de Student

Desviación estándar ponderada

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Desviación de las diferencias de los promedios

$$S_d = S_p * \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Cálculo del T, calculado (Tc) según:

$$t_c = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_d}$$

Cálculo del valor critico de t, tabular Tt:

GL= GL1+GL2 (grado de libertad)

Resultado de validación estadística de prueba "T" de Student

Sp	Sd	Tc	Alfa	G.L.	Tt (95%) Tabla	Comparc.	Diferencia Signific.
51.767	6.170	0.077	0.05	358	1.967	Tc < Tt	NO

Conclusión

Tc < Tt, Por lo tanto, se acepta la H0, hay consistencia en la media por lo tanto no es necesario corregir los datos.

Salto o Consistencia en la desviación estándar

Prueba "F" de Fisher

Cálculo del F, calculado (Fc) según:

$$F_c = \frac{S_1^2(X)}{S_2^2(X)}$$

Si: $S_1^2(X) > S_2^2(X)$ Entonces y $G.L.N. = n_1 - 1$
 $G.L.N. = n_2 - 1$

Si: $S_2^2(X) > S_1^2(X)$ Entonces $F_c = \frac{S_2^2(X)}{S_1^2(X)}$ y $G.L.N. = n_2 - 1$
 $G.L.N. = n_1 - 1$

Resultado de validación estadística de prueba de prueba de "F" de Fisher

Fc	Alfa	G.L.N. (1)	G.L.D.	Ft (95%)	Comparación	Diferencia
Calculado			(2)	Tabla		Signific.
1.203	0.05	263	95	1.309	Fc < Ft	NO

Conclusión

Fc < Tt, Por lo tanto, se acepta H0 hay consistencia en la varianza, sin embargo, no es necesaria realizar las correcciones de los datos.

ANÁLISIS DE TENDENCIA

Tendencia o consistencia en la media (m)

Datos

n = 360
t = 180.50
Tm = 58.02
St = 104.07
STm = 53.66
t*Tm = 10366.12

Resultado de validación estadística de prueba "T"

R	B	A	Tc	Alfa	G.L.	Tt (95%)	Comparc.	Diferencia
			Calculado			Tabla		Signific.
-0.019	-0.010	59.788	0.360	0.05	358	1.967	Tc < Tt	NO

Conclusión

Tc < Tt, Por lo tanto, se acepta la H0, hay consistencia en la media por lo tanto no es necesario corregir los datos.

Tendencia o consistencia en la desviación estándar (s)

Datos

n = 30
t = 15.50
Ts = 54.01

$$\begin{aligned} St &= 8.80 \\ STs &= 10.88 \\ t*Ts &= 844.82 \end{aligned}$$

Resultado de validación estadística de prueba "T"

R	B	A	Tc Calculado	Alfa	G.L.	Tt (95%) Tabla	Comparc.	Diferencia Signific.
0.079	0.098	52.493	0.436	0.05	28	2.048	Tc < Tt	NO

Conclusión

Tc < Tt, Por lo tanto, se acepta la H0, hay consistencia en la varianza por lo tanto no es necesario corregir los datos.

3.2.5. Análisis estadístico de Paucaray

Se plantea la hipótesis de que existe un salto en el año de 2016, para el cual se le realizara el análisis estadístico, es decir el análisis de saltos y tendencias para los periodos citados.

Numero de datos, promedio y desviación estándar para los periodos de análisis de la estación Andahuaylas

PERIODO	N	MEDIA	DESV. ESTANDAR	S(x)2
1995 2016	264	60.00	62.76	3938.43
2017 2024	96	62.02	63.34	4011.98

ANÁLISIS DE SALTOS

Salto o Consistencia en la media

Prueba "T" de Student

Desviación estándar ponderada

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Desviación de las diferencias de los promedios

$$S_d = S_p * \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Cálculo del T, calculado (Tc) según:

$$t_c = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_d}$$

Cálculo del valor critico de t, tabular Tt:

GL= GL1+GL2 (grado de libertad)

Resultado de validación estadística de prueba "T" de Student

Sp	Sd	Tc	Alfa	G.L.	Tt (95%) Tabla	Comparc.	Diferencia Signific.
62.912	7.498	0.270	0.05	358	1.967	Tc < Tt	NO

Conclusión

Tc < Tt, Por lo tanto, se acepta la H0, hay consistencia en la media por lo tanto no es necesario corregir los datos.

Salto o Consistencia en la desviación estándar**Prueba "F" de Fisher**

Cálculo del F, calculado (Fc) según:

$$\text{Si: } S_1^2(X) > S_2^2(X) \text{ Entonces } F_c = \frac{S_1^2(X)}{S_2^2(X)} \quad \text{y } \begin{matrix} G.L.N. = n_1 - 1 \\ G.L.N. = n_2 - 1 \end{matrix}$$

$$\text{Si: } S_2^2(X) > S_1^2(X) \text{ Entonces } F_c = \frac{S_2^2(X)}{S_1^2(X)} \quad \text{y } \begin{matrix} G.L.N. = n_2 - 1 \\ G.L.N. = n_1 - 1 \end{matrix}$$

Resultado de validación estadística de prueba de prueba de "F" de Fisher

Fc Calculado	Alfa	G.L.N. (1)	G.L.D. (2)	Ft (95%) Tabla	Comparación	Diferencia Signific.
1.019	0.05	263	95	1.309	Fc < Ft	NO

Conclusión

Fc < Tt, Por lo tanto, se acepta H0 hay consistencia en la varianza, sin embargo, no es necesaria realizar las correcciones de los datos.

ANÁLISIS DE TENDENCIA**Tendencia o consistencia en la media (m)****Datos**

n	=	360
t	=	180.50
Tm	=	61.34
St	=	104.07
STm	=	63.07
t*Tm	=	11112.83

Resultado de validación estadística de prueba "T"

R	B	A	Tc Calculado	Alfa	G.L.	Tt (95%) Tabla	Comparc.	Diferencia Signific.
0.006	0.004	60.668	0.117	0.05	358	1.967	Tc < Tt	NO

Conclusión

$T_c < T_t$, Por lo tanto, se acepta la H_0 , hay consistencia en la media por lo tanto no es necesario corregir los datos.

Tendencia o consistencia en la desviación estándar (s)

Datos

n	=	30
t	=	15.50
Ts	=	63.76
St	=	8.80
STs	=	12.80
t*Ts	=	994.14

Resultado de validación estadística de prueba "T"

R	B	A	Tc Calculado	Alfa	G.L.	Tt (95%) Tabla	Comparc.	Diferencia Signific.
0.053	0.076	62.572	0.288	0.05	28	2.048	$T_c < T_t$	NO

Conclusión

$T_c < T_t$, Por lo tanto, se acepta la H_0 , hay consistencia en la varianza por lo tanto no es necesario corregir los datos.

3.3. Corrección de los datos

Después de realizar la validación de los datos estadísticos, se identificó una inconsistencia en la homogeneidad de la estación Chilcayoc, donde se observó un salto y quiebres en el año 2005. Ante esto, se procedió a corregir los datos utilizando las ecuaciones 43 y 44.

Tabla 34*Precipitación mensual y anual de Estación Chilcayoc corregido*

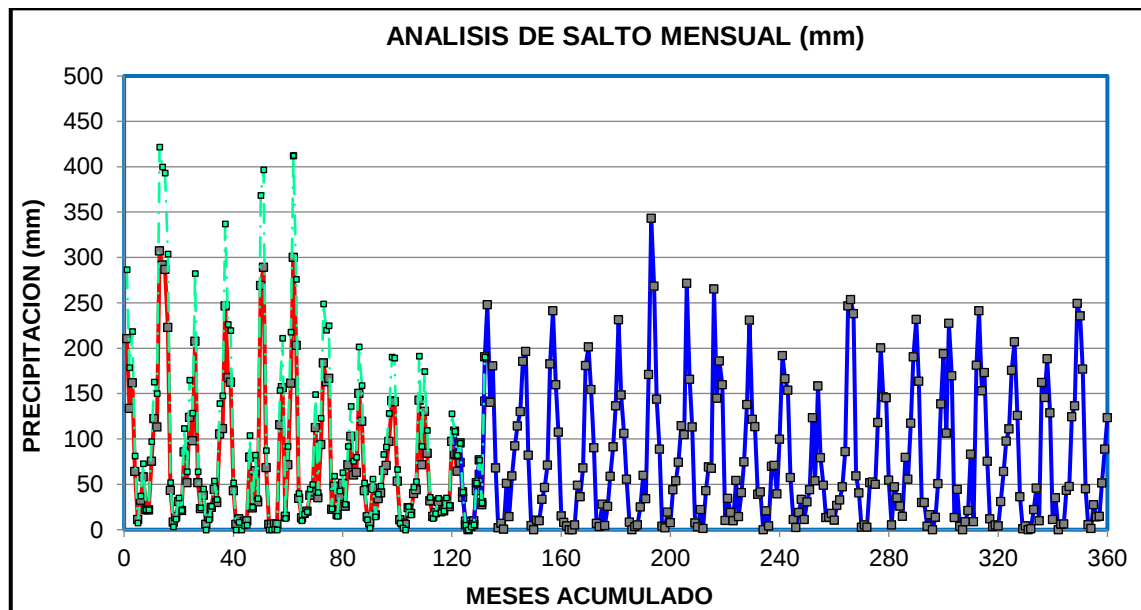
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1995	210.5	133.5	161.9	64.01	11.31	32.37	57.94	21.66	21.59	75.29	122.2	113.1	1025
1996	307.1	291.5	286.7	223	43.15	8.235	14.45	30.87	21.16	85.64	51.72	123.8	1487
1997	97.78	207.6	51.58	23.23	37.94	5.878	13.88	24.45	44.3	29.73	105.2	111.4	752.9
1998	246.5	167.6	162.6	42.87	5.878	11.81	5.878	8.949	9.592	80.07	23.73	64.79	830.3
1999	30.44	269.1	289.2	68.29	5.878	5.878	6.164	5.878	115.6	156.6	14.8	71.58	1039
2000	161.6	300.1	203	34.44	13.02	18.02	20.16	38.01	41.58	112.3	35.16	93.71	1071
2001	183.7	163	166.6	22.3	48.01	16.59	36.58	50.87	25.87	71.58	103	60.01	948
2002	63.01	150	119.4	42.73	13.95	7.378	45.8	16.09	34.01	40.3	65.29	70.93	668.8
2003	97.36	141.9	141.1	53.44	10.95	7.164	5.878	24.09	17.73	39.58	43.8	142.6	725.6
2004	71.43	130.5	84.22	31.44	14.73	18.59	30.8	19.59	20.59	31.09	25.23	97.28	575.5
2005	83.43	64.51	74.08	35.51	9.449	5.878	8.378	9.877	42.73	60.79	27.28	141.8	563.7
2006	247.7	140.3	180.4	68	1.91	6.8	0.4	51	14.37	59.1	92.2	114	976.2
2007	130.2	185.3	196.4	82.1	4.6	0	10.4	9.8	33.3	46.6	71.2	182.6	952.5
2008	241.3	159.6	107.6	15	7.9	4.03	0	0	5	49	36.1	68.1	693.6
2009	180.9	201.4	154.4	90	6.9	3.5	28.1	4.6	25.6	58.9	91.3	136.3	981.9
2010	231.3	148.3	105.9	55.5	8.3	0	3.5	5.1	24.8	59.66	34	171	847.4
2011	343.1	268.3	143.7	88.7	3.7	2.1	19.1	7.6	43.9	54	74.4	114.5	1163
2012	104.5	271.4	165.7	113.1	7.4	3.2	22.2	1.4	42.9	68.9	67.5	265	1133
2013	144.7	185.7	159.7	10.1	34.5	18.9	9.6	54.1	14.2	40.7	74.5	137.9	884.6
2014	231	121.5	113.3	39	41.4	0	20.8	4.2	69.7	70.8	39.3	99.7	850.7
2015	191.9	166.5	153.8	57.3	11.1	2.2	19	33.5	11.1	30.6	44.1	123.4	844.5
2016	54	158.2	79.1	49	13.4	13.6	17.9	10.3	26.5	32.6	47.3	85.8	587.7
2017	246.6	253.4	238	59.2	40.6	2.7	5.2	2.8	51.8	52.4	49.9	117.9	1121
2018	200.1	146.3	145.3	54.4	5.3	47.1	35.1	25.8	14.5	79.6	55.6	117.5	926.6
2019	190.5	231.7	163.7	29.9	29.9	3.6	16.6	0	13.6	50.5	138.4	193.8	1062
2020	106.3	227.4	169.4	13.4	44.3	3.9	0	8.8	21	83.1	8.6	181.3	867.5
2021	241.2	153	173.2	75.2	11.8	3.3	5.1	4.1	30.9	64.2	97.7	111.1	970.8
2022	175.4	206.8	125.8	36.1	0.8	4	0	0.8	22	45.68	9.6	162.3	789.3
2023	145.7	188.2	128.7	11	35	0	5.8	6.1	43.2	47.4	124.2	136.5	871.8
2024	249.3	235.6	177.1	45.08	5.66	1.32	27.35	14.12	14.74	51.29	88.81	123.3	1034
PROM	173.6	188.9	154	54.44	17.62	8.601	16.4	16.48	30.59	60.93	62.07	124.4	908.2

3.3.1. Análisis visual de los gráficos de histograma corregido de Estación Chilcayoc

Tras corregir los datos, en los histogramas de las figuras N° 42 y 43 se observa un leve salto en 2005. Posteriormente, los datos fueron validados mediante un análisis estadístico.

Figura 43

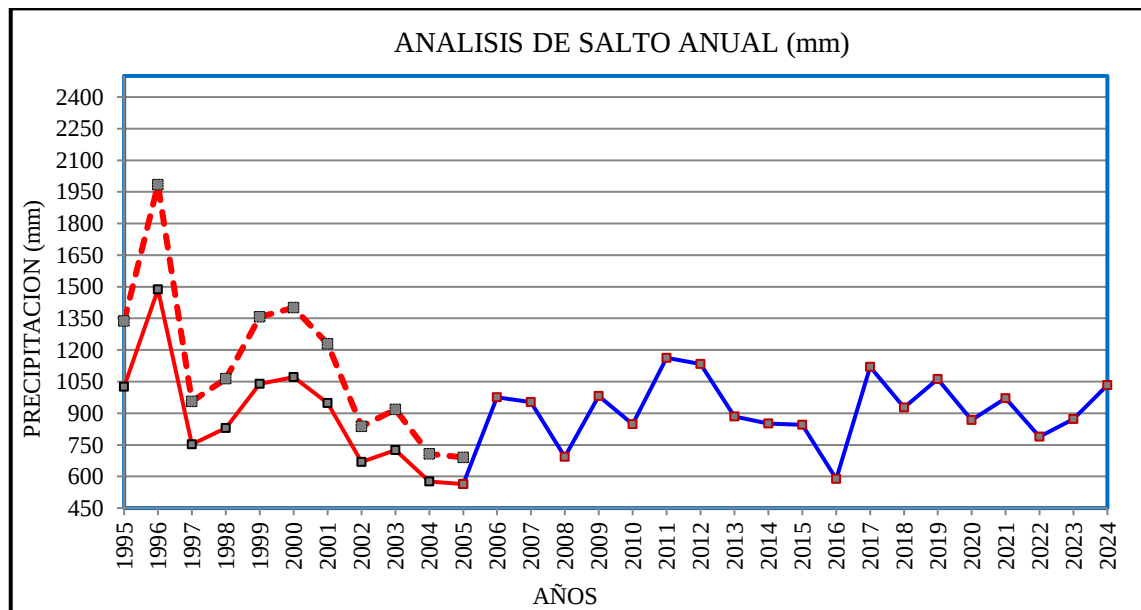
Análisis de tendencia de la información pluviométrica mensual Chilcayoc corregido



De la tabla 43 se tiene El análisis corregido de la tendencia de la información pluviométrica mensual de Chilcayoc muestra un ajuste importante en los datos originales, donde se detectaron y corrigieron saltos mediante metodología estadística, lo que permitió una representación más coherente y continua de la variabilidad mensual. El gráfico refleja una alta fluctuación en los primeros 120 meses, con precipitaciones que alcanzan valores máximos de hasta 450 mm en picos específicos, mientras que en el tramo posterior (mes 120 a 360), la tendencia se estabiliza con picos menores que no superan los 300 mm. Este ajuste no solo mejora la precisión de los registros históricos, sino que también optimiza su aplicación en cálculos hidrológicos críticos, como la determinación del factor R en el modelo RUSLE, clave para estimar la erosión hídrica. Los datos corregidos ofrecen una base más confiable para evaluar patrones estacionales y su impacto en la planificación hídrica y agrícola en Chilcayoc.

Figura 44

Análisis de tendencia de la información pluviométrica anual Chilcayoc corregido



De la figura 44 se tiene El análisis corregido de la tendencia de la información pluviométrica anual de Chilcayoc, tras ajustar los datos mediante metodología estadística para eliminar inconsistencias, muestra un comportamiento más continuo y fiable. La gráfica presenta una clara tendencia decreciente en el período 1995-2005, evidenciada por la línea roja que refleja valores iniciales elevados, superiores a 2000 mm, que disminuyen gradualmente hasta aproximarse a los 1200 mm en 2005. Posteriormente, el período 2006-2024, representado por la línea azul, exhibe una estabilización relativa de las precipitaciones con fluctuaciones más leves alrededor de los 1500 mm anuales.

3.3.2. Análisis de curva de doble masa corregido

Después de la corrección de los datos, se seleccionó la estación Paucaray como estación base, debido a que presenta un número reducido de quiebres.

Tabla 35

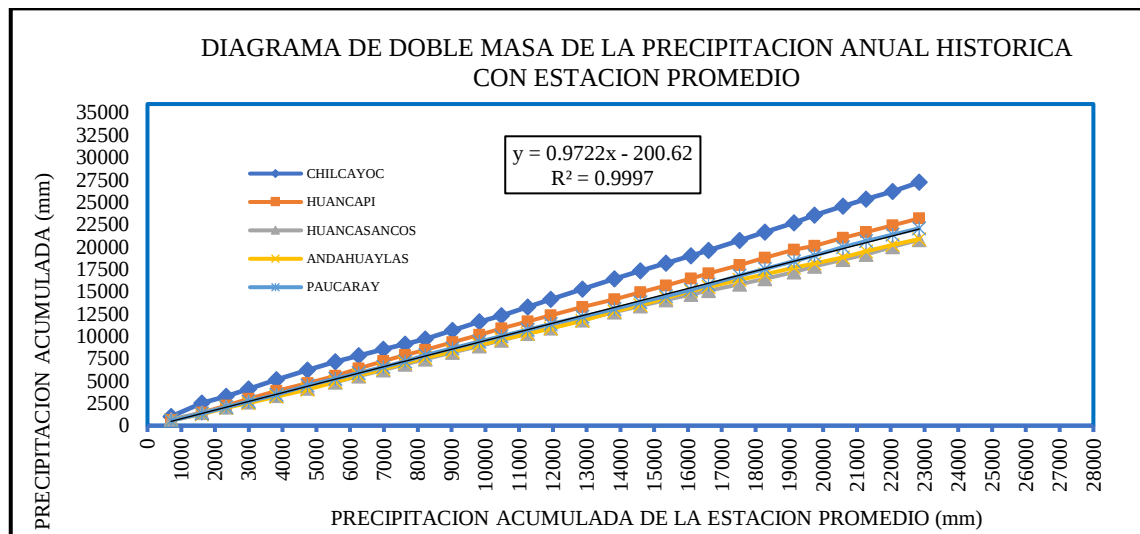
Curva doble acumulada de la precipitación estación base Paucaray

N°	AÑO	CHILCAYOC		HUANCAPI		HUANCASANCOS		ANDAHUAYLAS		PAUCARAY		PROMEDIO	
		PP	Pacum	PP	Pacum	PP	Pacum	PP	Pacum	PP	Pacum	PP	Pacum
1	1995	1025.38	1025.38	614.40	614.40	710.32	710.32	590.90	590.90	554.00	554.00	699.00	699.00
2	1996	1487.26	2512.64	844.10	1458.50	759.96	1470.28	693.70	1284.60	783.25	1337.25	913.65	1612.65
3	1997	752.94	3265.58	796.80	2255.30	582.50	2052.78	711.98	1996.58	713.17	2050.42	711.48	2324.13
4	1998	830.28	4095.86	732.30	2987.60	573.70	2626.48	546.00	2542.58	661.00	2711.42	668.66	2992.79
5	1999	1039.30	5135.16	891.40	3879.00	718.82	3345.30	708.60	3251.18	753.00	3464.42	822.22	3815.01
6	2000	1071.01	6206.17	884.60	4763.60	826.30	4171.60	789.70	4040.88	1050.00	4514.42	924.32	4739.33
7	2001	948.04	7154.21	828.90	5592.50	701.10	4872.70	863.90	4904.78	740.00	5254.42	816.39	5555.72
8	2002	668.82	7823.03	801.00	6393.50	657.89	5530.59	702.60	5607.38	651.00	5905.42	696.26	6251.98
9	2003	725.59	8548.62	815.20	7208.70	688.50	6219.09	721.80	6329.18	688.00	6593.42	727.82	6979.80
10	2004	575.49	9124.11	699.20	7907.90	655.20	6874.29	670.90	7000.08	606.00	7199.42	641.36	7621.16
11	2005	563.68	9687.79	568.10	8476.00	579.40	7453.69	587.20	7587.28	700.11	7899.53	599.70	8220.86
12	2006	976.18	10663.97	878.20	9354.20	720.00	8173.69	723.20	8310.48	753.76	8653.29	810.27	9031.13
13	2007	952.50	11616.47	816.30	10170.50	722.30	8895.99	688.10	8998.58	765.94	9419.23	789.03	9820.15
14	2008	693.63	12310.10	721.40	10891.90	667.30	9563.29	613.50	9612.08	594.21	10013.44	658.01	10478.16
15	2009	981.90	13292.00	785.11	11677.01	751.80	10315.09	641.40	10253.48	739.00	10752.44	779.84	11258.00
16	2010	847.36	14139.36	678.65	12355.66	594.50	10909.59	632.50	10885.98	641.50	11393.94	678.90	11936.91
17	2011	1163.10	15302.46	939.74	13295.40	899.40	11808.99	861.70	11747.68	824.96	12218.90	937.78	12874.69
18	2012	1133.20	16435.66	839.98	14135.38	880.90	12689.89	1034.88	12782.56	843.92	13062.82	946.58	13821.26
19	2013	884.60	17320.26	793.06	14928.44	685.10	13374.99	728.95	13511.51	769.73	13832.55	772.29	14593.55
20	2014	850.70	18170.96	760.98	15689.42	676.00	14050.99	783.60	14295.11	678.09	14510.64	749.87	15343.42
21	2015	844.50	19015.46	763.04	16452.46	626.00	14676.99	781.00	15076.11	702.93	15213.57	743.49	16086.92
22	2016	587.70	19603.16	582.61	17035.07	412.49	15089.48	449.30	15525.41	559.39	15772.96	518.30	16605.22
23	2017	1120.50	20723.66	949.80	17984.87	735.30	15824.78	789.00	16314.41	1031.00	16803.96	925.12	17530.34
24	2018	926.60	21650.26	826.60	18811.47	616.50	16441.28	625.70	16940.11	727.50	17531.46	744.58	18274.92
25	2019	1062.20	22712.46	870.20	19681.67	733.20	17174.48	758.90	17699.01	867.50	18398.96	858.40	19133.32
26	2020	867.50	23579.96	448.89	20130.56	643.81	17818.29	454.60	18153.61	656.91	19055.87	614.34	19747.66
27	2021	970.80	24550.76	876.50	21007.06	768.60	18586.89	663.14	18816.75	930.30	19986.17	841.87	20589.53
28	2022	789.28	25340.04	650.00	21657.06	580.20	19167.09	702.05	19518.80	662.10	20648.27	676.73	21266.25
29	2023	871.83	26211.87	761.10	22418.16	859.67	20026.76	719.34	20238.14	745.70	21393.97	791.53	22057.78
30	2024	1033.57	27245.44	783.70	23201.86	781.84	20808.60	648.41	20886.55	689.36	22083.33	787.38	22845.16

La tabla 35 refiere que, La curva doble acumulada de la precipitación con estación base Paucaray refleja una acumulación progresiva de las precipitaciones anuales desde 1995 hasta 2024 en cinco estaciones meteorológicas de la región. Chilcayoc destaca como la estación con mayores aportes pluviométricos, particularmente en años como 1996 y 2000, mientras que Paucaray, siendo la base de comparación, presenta valores más bajos y estables a lo largo del período. El promedio general muestra un incremento sostenido en las precipitaciones acumuladas, alcanzando los 22,845.16 mm en 2024. Este análisis resalta patrones regionales consistentes, evidenciados por las diferencias en aportes individuales de cada estación, y la importancia de correlacionar estos datos con la dinámica hidrológica para calcular el factor R en el modelo RUSLE. La homogenización del comportamiento acumulativo respalda la calidad y utilidad de los registros históricos para la implementación de estrategias de manejo sostenible del agua y el suelo en la región.

Figura 45

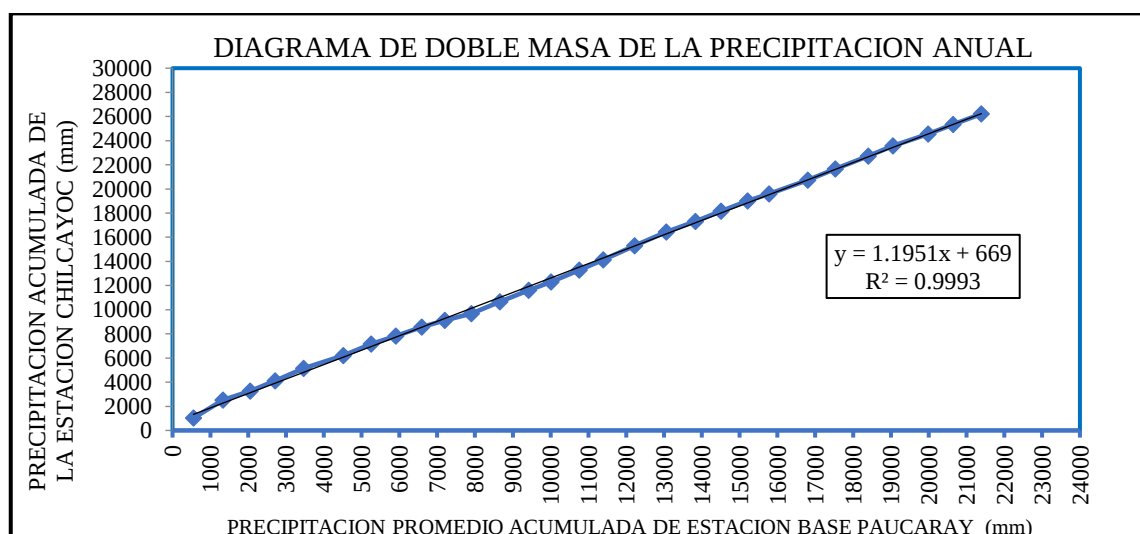
Curva doble acumulada de la precipitación promedio corregido



De la figura 45 se tiene La curva doble acumulada de la precipitación promedio corregido revela una notable consistencia en los datos de las estaciones estudiadas (Chilcayoc, Huancapi, Huanca Sancos, Andahuaylas y Paucaray) tras la aplicación de métodos estadísticos para eliminar anomalías y garantizar la homogeneidad. La ecuación de la línea de tendencia para Paucaray, $y=0.9722x-200.62$, con un coeficiente de determinación $R^2=0.9997$, confirma una correlación casi perfecta entre las precipitaciones acumuladas de esta estación y el promedio regional. Este ajuste resalta la calidad de los datos y su utilidad para el análisis hidrológico, particularmente para el cálculo del factor R en el modelo RUSLE, crucial en la estimación de la erosión hídrica.

Figura 46

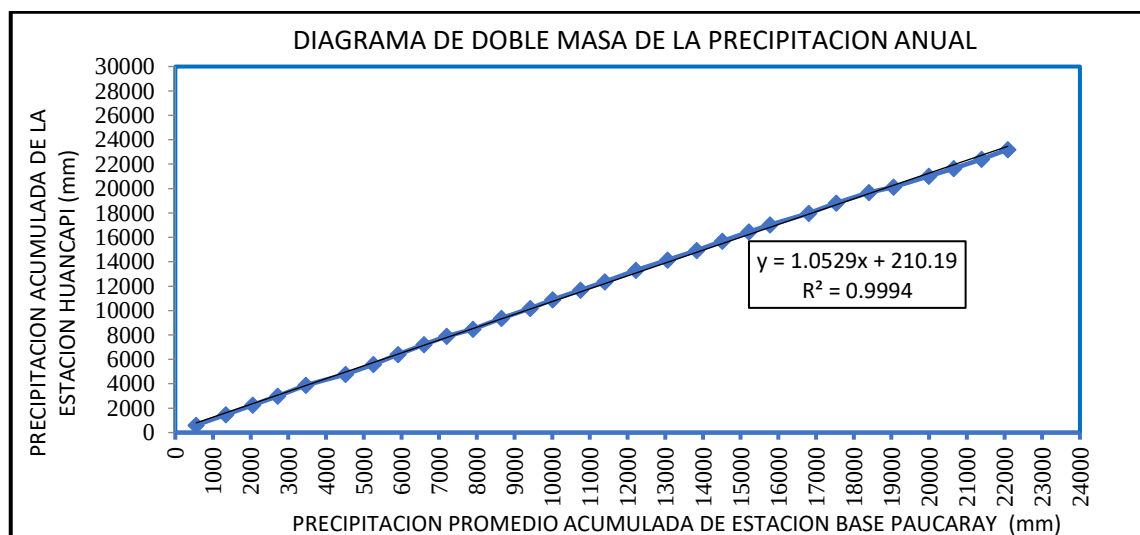
Diagrama de doble masa de precipitación anual histórica Chilcayoc con estación base Paucaray



De la figura 46 el diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica para la estación Chilcayoc con estación base Paucaray revela una correlación lineal sólida, con una ecuación $y=1.1951x+669$ y un coeficiente de determinación $R^2=0.9993$, lo que indica una relación altamente consistente entre las precipitaciones acumuladas de ambas estaciones. Esta correspondencia es clave para validar la homogeneidad y fiabilidad de los datos hidrológicos, asegurando que las precipitaciones registradas en Chilcayoc son coherentes con los patrones regionales representados por la estación base Paucaray. La pendiente mayor a 1 destaca que Chilcayoc tiende a recibir más precipitación acumulada en comparación con Paucaray, lo cual es relevante para el cálculo del factor R en el modelo RUSLE, fundamental en la estimación de la erosión hídrica.

Figura 47

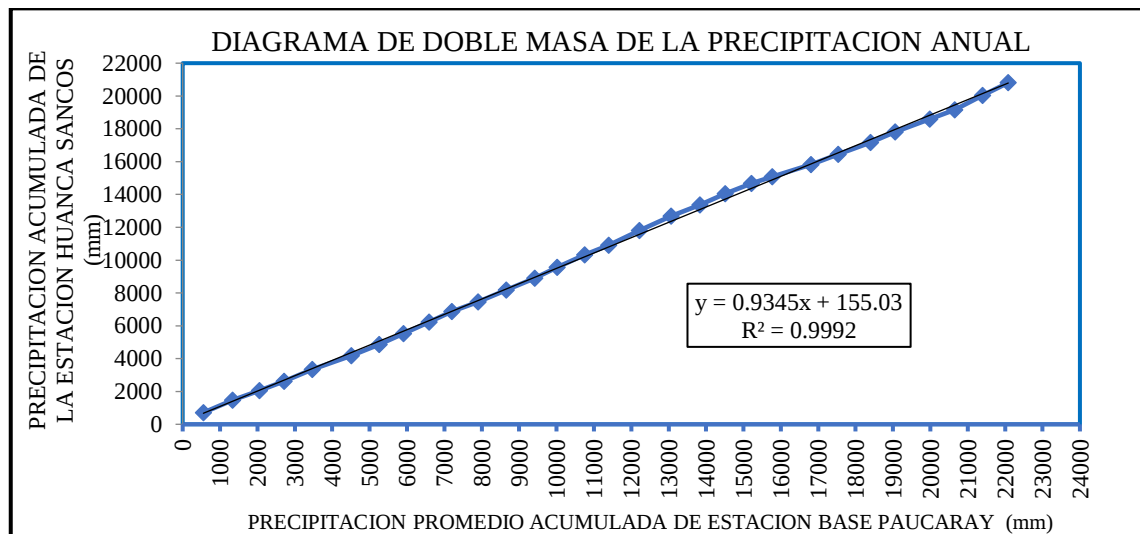
Diagrama de doble masa de precipitación anual histórica Huancapi con estación base Paucaray.



De la figura 47 se tiene El diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica de la estación Huancapi comparado con la estación base Paucaray refleja una relación lineal muy sólida, con la ecuación $y=1.0529x+210.19$ $y = 1.0529x + 210.19$ y un coeficiente de determinación $R^2=0.9994$ $R^2 = 0.9994$, lo que indica una correlación casi perfecta entre ambas precipitaciones acumuladas. La pendiente cercana a 1 sugiere que las precipitaciones en Huancapi siguen un comportamiento acumulativo similar al de Paucaray, aunque con valores ligeramente más altos. Este análisis no solo valida la consistencia y calidad de los datos registrados en ambas estaciones, sino que también es crucial para la evaluación hidrológica, particularmente en el cálculo del factor R del modelo RUSLE

Figura 48

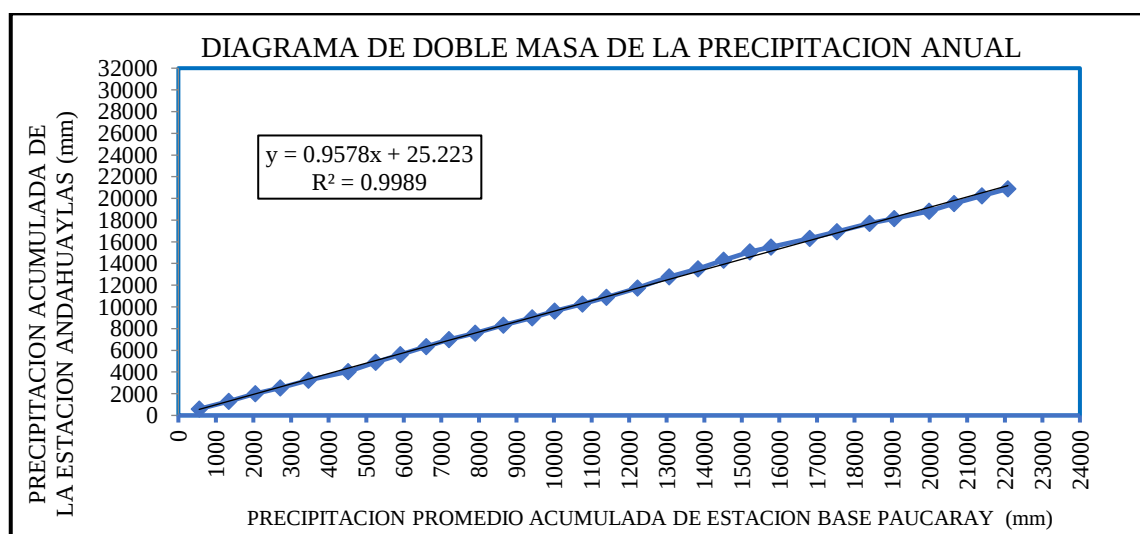
Diagrama de doble masa de precipitación anual Huanca Sancos con estación base Paucaray.



De la figura 48 se tiene el diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica de Huanca Sancos con estación base Paucaray refleja una relación lineal consistente entre las precipitaciones acumuladas de ambas estaciones, validada por la ecuación $y=0.8794x+356$, y un coeficiente de determinación $R^2=0.9991$. La pendiente inferior a 1 indica que las precipitaciones acumuladas en Huanca Sancos son sistemáticamente más bajas que las de Paucaray, lo que puede estar relacionado con diferencias geográficas o climáticas locales. Este análisis confirma la homogeneidad y fiabilidad de los datos hidrológicos, fundamentales para su aplicación en cálculos del factor R en el modelo RUSLE, esencial para la evaluación de la erosión hídrica.

Figura 49

Diagrama de doble masa de precipitación anual Andahuaylas con estación base Paucaray.



De la figura 49 se tiene el diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica de Chilcayoc en comparación con la estación base Paucaray evidencia una relación altamente consistente, representada por la ecuación $y=0.9578x+25.223$ y un coeficiente de determinación $R^2=0.9989$, que demuestra una correlación casi perfecta entre las precipitaciones acumuladas de ambas estaciones. La pendiente cercana a 1 indica que las precipitaciones acumuladas de Andahuaylas están en línea con las de Paucaray, aunque con valores ligeramente inferiores.

3.4. Análisis estadístico corregido

3.4.1. Análisis estadístico corregido de Estación Chilcayoc

Se plantea la hipótesis de que existe un salto en el año de 2005, para el cual se le realizara el análisis estadístico, es decir el análisis de saltos y tendencias para los periodos citados.

Numero de datos, promedio y desviación estándar para los periodos de análisis de la estación Chilcayoc

PERIODO		N	MEDIA	DESV. ESTANDAR	S(x)2
1995	2005	132	76.03	75.27	5664.88
2006	2024	228	75.51	74.95	5617.28

ANÁLISIS DE SALTOS

Salto o Consistencia en la media

Prueba "T" de Student

Desviación estándar ponderada

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Desviación de las diferencias de los promedios

$$S_{\bar{d}} = S_p * \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Cálculo del T, calculado (Tc) según:

$$t_c = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{\bar{d}}}$$

Cálculo del valor critico de t, tabular Tt:

GL= GL1+GL2 (grado de libertad)

Resultado de validación estadística de prueba "T" de Student

Sp	Sd	Tc	Alfa	G.L.	Tt (95%) Tabla	Comparc.	Diferencia Signific.
75.065	8.210	0.064	0.05	358	1.967	Tc < Tt	NO

Conclusión

Tc < Tt, Por lo tanto, se acepta la H0, hay consistencia en la media por lo tanto no es necesario corregir los datos.

Salto o Consistencia en la desviación estándar**Prueba "F" de Fisher**

Cálculo del F, calculado (Fc) según:

$$\text{Si: } S_1^2(X) > S_2^2(X) \text{ Entonces } F_c = \frac{S_1^2(X)}{S_2^2(X)} \quad \text{y } \begin{matrix} G.L.N. = n_1 - 1 \\ G.L.N. = n_2 - 1 \end{matrix}$$

$$\text{Si: } S_2^2(X) > S_1^2(X) \text{ Entonces } F_c = \frac{S_2^2(X)}{S_1^2(X)} \quad \text{y } \begin{matrix} G.L.N. = n_2 - 1 \\ G.L.N. = n_1 - 1 \end{matrix}$$

Resultado de validación estadística de prueba de prueba de "F" de Fisher

Fc Calculado	Alfa	G.L.N. (1)	G.L.D. (2)	Ft (95%) Tabla	Comparación	Diferencia Signific.
1.008	0.05	131	227	1.285	Fc < Ft	NO

Conclusión

Fc < Tt, Por lo tanto, se acepta H0 hay consistencia en la varianza, sin embargo, no es necesaria realizar las correcciones de los datos.

ANÁLISIS DE TENDENCIA**Tendencia o consistencia en la media (m)****Datos**

n	= 360
t	= 180.50
Tm	= 75.68
St	= 104.07
STm	= 74.95
t*Tm	= 13486.55

Resultado de validación estadística de prueba "T"

R	B	A	Tc Calculado	Alfa	G.L.	Tt (95%) Tabla	Comparc.	Diferencia Signific.
-0.022	-0.016	78.582	0.422	0.05	358	1.967	Tc < Tt	NO

Conclusión

$T_c < T_t$, Por lo tanto, se acepta la H_0 , hay consistencia en la media por lo tanto no es necesario corregir los datos.

Tendencia o consistencia en la desviación estándar (s)

Datos

n	=	30
t	=	15.50
Ts	=	73.75
St	=	8.80
STs	=	19.95
t*Ts	=	1153.89

Resultado de validación estadística de prueba "T"

R	B	A	Tc Calculado	Alfa	G.L.	Tt (95%) Tabla	Comparc.	Diferencia Signific.
0.061	0.139	71.590	0.337	0.05	28	2.048	$T_c < T_t$	NO

Conclusión

$T_c < T_t$, Por lo tanto, se acepta la H_0 , hay consistencia en la varianza por lo tanto no es necesario corregir los datos.

3.4.2. Cálculo factor erosividad pluvial ("R")

Se determinó el factor "R" mediante el método de Índice de Fournier Modificado o también denominado índice de agresividad de la lluvia y se clasificó según la tabla de IFM para Latinoamérica; por lo tanto, obteniendo valores de 1083.36 MJ.mm/ha.h.año con un 17.93% del área total y se clasificó como Muy Alto.

Tabla 36

Resultados del factor de erosividad (R) para la cuenca Chonta

Factor R MJ.mm/Ha.Hrs.año	Área Ha	Porcentaje %	Clasificación
1010.95	1942.22	16.20	Muy alto
1028.27	2190.17	18.27	Muy alto
1041.62	2757.53	23.01	Muy alto
1054.40	2947.03	24.59	Muy alto
1083.36	2149.50	17.93	Muy alto
Total	11986.45	100	

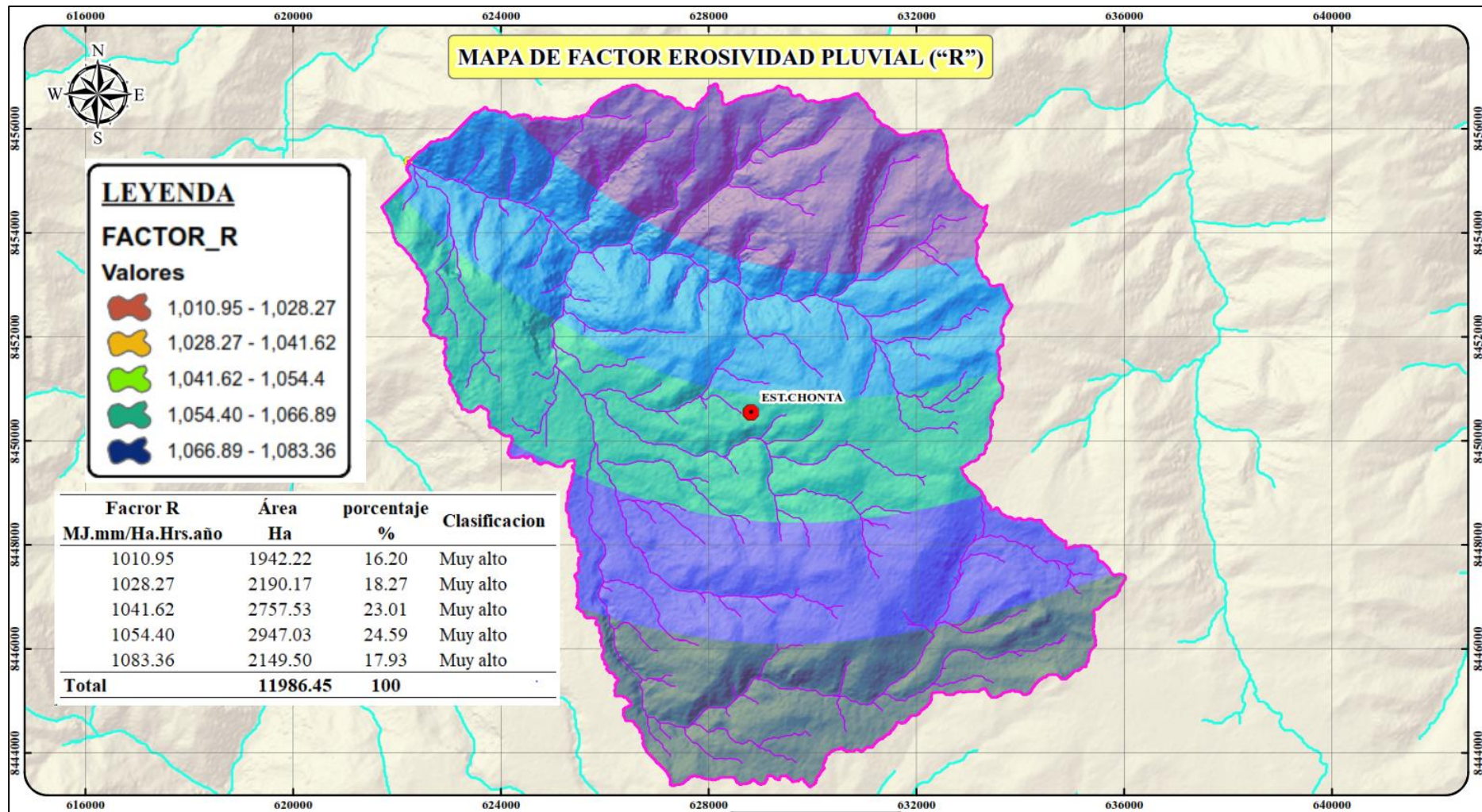
Nota. Elaboración propia

Análisis

En la Tabla 36 se tiene el análisis de los resultados del factor de erosividad (R) para la cuenca Chonta muestra una clasificación uniforme de "Muy alto" en todos los rangos evaluados, destacando la alta energía erosiva de las precipitaciones en la región. Las áreas asociadas a valores de R mayores, como 1054.40 MJ.mm/Ha.Hrs.año, abarcan la mayor proporción (24.59%) del total de 11,986.45 Ha, seguidas de áreas con R de 1041.62 MJ.mm/Ha.Hrs.año (23.01%) y 1028.27 MJ.mm/Ha.Hrs.año (18.27%). Este patrón de distribución evidencia la importancia de las lluvias intensas y frecuentes como factores clave en la erosión hídrica. Además, el impacto de estas lluvias se refleja en el Índice de Fourier, que analiza la concentración temporal de las precipitaciones. Las lluvias más concentradas generan una mayor erosividad debido a su intensidad y energía cinética, incrementando los valores del factor R en áreas vulnerables. Este comportamiento subraya la necesidad de incluir el Índice de Fourier en los estudios de erosividad, ya que permite identificar periodos críticos donde las lluvias concentradas tienen un efecto erosivo significativo. Los valores más bajos del rango, aunque representan una menor proporción del área total, aún contribuyen de manera considerable al proceso erosivo, reforzando la importancia de estrategias específicas de manejo y conservación de suelos en zonas críticas dentro de la cuenca Chonta.

Figura 50

Mapa del factor de erosividad (R) - cuenca Chonta



3.4.3. Cálculo Factor de Erodabilidad del suelo (“k”)

Se presenta en la siguiente tabla 36 la clasificación del factor “K” según los grados de erodabilidad USDA 1962; por lo tanto, con un valor de 0.017 Ton.ha.h/ha.MJ.mm con un (14.99% del área total) son suelos débilmente erodable y 0.021 a 0.029 Ton.ha.h/ha.MJ.mm con un (85.01% del área total) son suelos medianamente erodable.

Tabla 37

Resultados del factor de erodabilidad (K) para la cuenca Chonta

Factor K	Área	Porcentaje	Clasificación
Ton.Ha.Hrs/MJ.Ha.mm	Ha	%	
0.008632-0.0102	1392.41	11.62	Débilmente erodable
0.0102-0.0113	4298.91	35.86	Débilmente erodable
0.0113-0.0124	2407.86	20.09	Débilmente erodable
0.0124-0.014	2089.80	17.43	Débilmente erodable
0.014-0.0156	1797.48	15.00	Débilmente erodable
Total	11986.45	100.00	

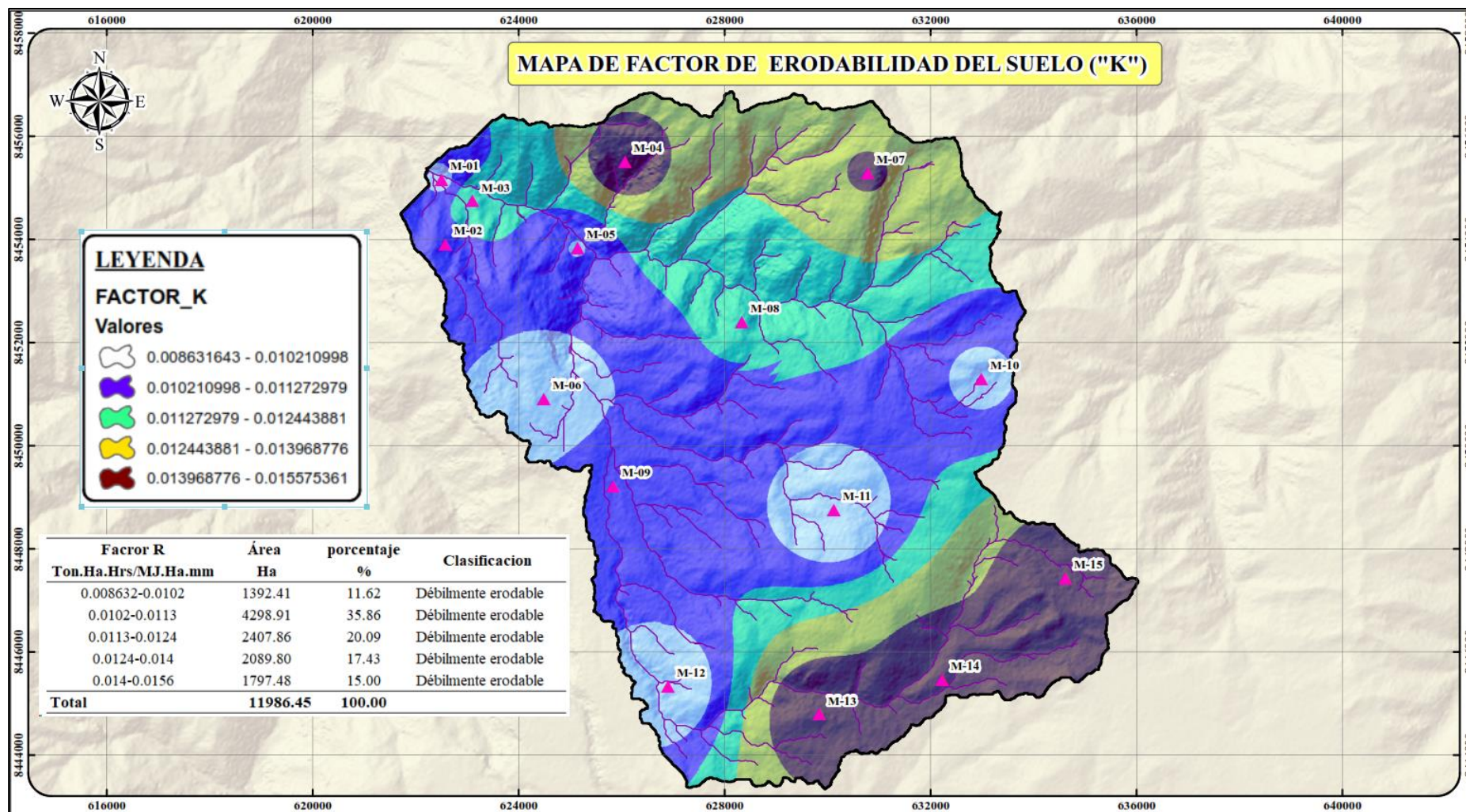
Nota: Elaboración propia

Análisis

En la tabla 37 se tiene el análisis de los resultados del factor de erodabilidad (K) para la cuenca Chonta indica que la totalidad del área estudiada, de 11,986.45 Ha, presenta suelos clasificados como "Débilmente erodables", lo que sugiere que el impacto de los procesos erosivos está moderado por las características intrínsecas de los suelos. La mayor proporción del área (35.86%) se encuentra en el rango de erodabilidad 0.0102-0.0113 Ton.Ha.Hrs/MJ.Ha.mm, seguido por un 20.09% en el rango de 0.0113-0.0124 Ton.Ha.Hrs/MJ.Ha.mm, reflejando niveles homogéneos de vulnerabilidad en los suelos frente a la acción de las lluvias. Las áreas asociadas a los rangos más bajos y más altos de erodabilidad (11.62% y 15.00%, respectivamente) representan zonas menos frecuentes, pero igualmente importantes para estrategias de conservación. Este análisis es clave para identificar patrones de resistencia y susceptibilidad del suelo, permitiendo diseñar medidas de manejo enfocados en mitigar el impacto erosivo y garantizar la sostenibilidad del uso de los recursos en la cuenca.

Figura 51

Mapa del factor de erodabilidad (K) – cuenca Chonta



3.4.4. Cálculo factor longitud y pendiente ("LS")

Para la cuenca Chonta, el factor "LS" se clasificó según los grupos de pendientes, resultando en los siguientes valores y distribuciones en el área total:

- ✓ "LS" = 0.3, que corresponde al 0.64% del área total.
- ✓ "LS" = 1.5, que abarca el 21.12% del área total.
- ✓ "LS" = 3.40, que representa el 50.42% del área total.
- ✓ "LS" = 5.60, que ocupa el 21.81% del área total.
- ✓ "LS" = 8, que cubre el 5.99% del área total.
- ✓ "LS" = 14.60, que corresponde al 0.004% del área total.
- ✓ "LS" = 20.20, que representa el 0.004% del área total.
- ✓ Finalmente, "LS" = 25.80, que cubre el 0.004% del área total.
- ✓ Finalmente, "LS" = 28.50, que cubre el 0.003% del área total.

A continuación, se detalla en la siguiente tabla 38:

Tabla 38

Resultados del factor de LS para la cuenca Chonta

GRUPO DE	FACTOR	Área	porcentaje
PENDIENTE EN (°)	LS	Ha	%
0 - 3	0.30	77.15	0.64
3 - 12	1.50	2531.97	21.12
12 - 18	3.40	6044.07	50.42
18 - 24	5.60	2614.01	21.81
24 - 30	8.00	717.47	5.99
30 - 60	14.60	0.51	0.004
60 - 70	20.20	0.49	0.004
70 - 100	25.80	0.43	0.004
>100	28.50	0.34	0.003
Total		11986.45	100.00

Nota: Elaboración propia

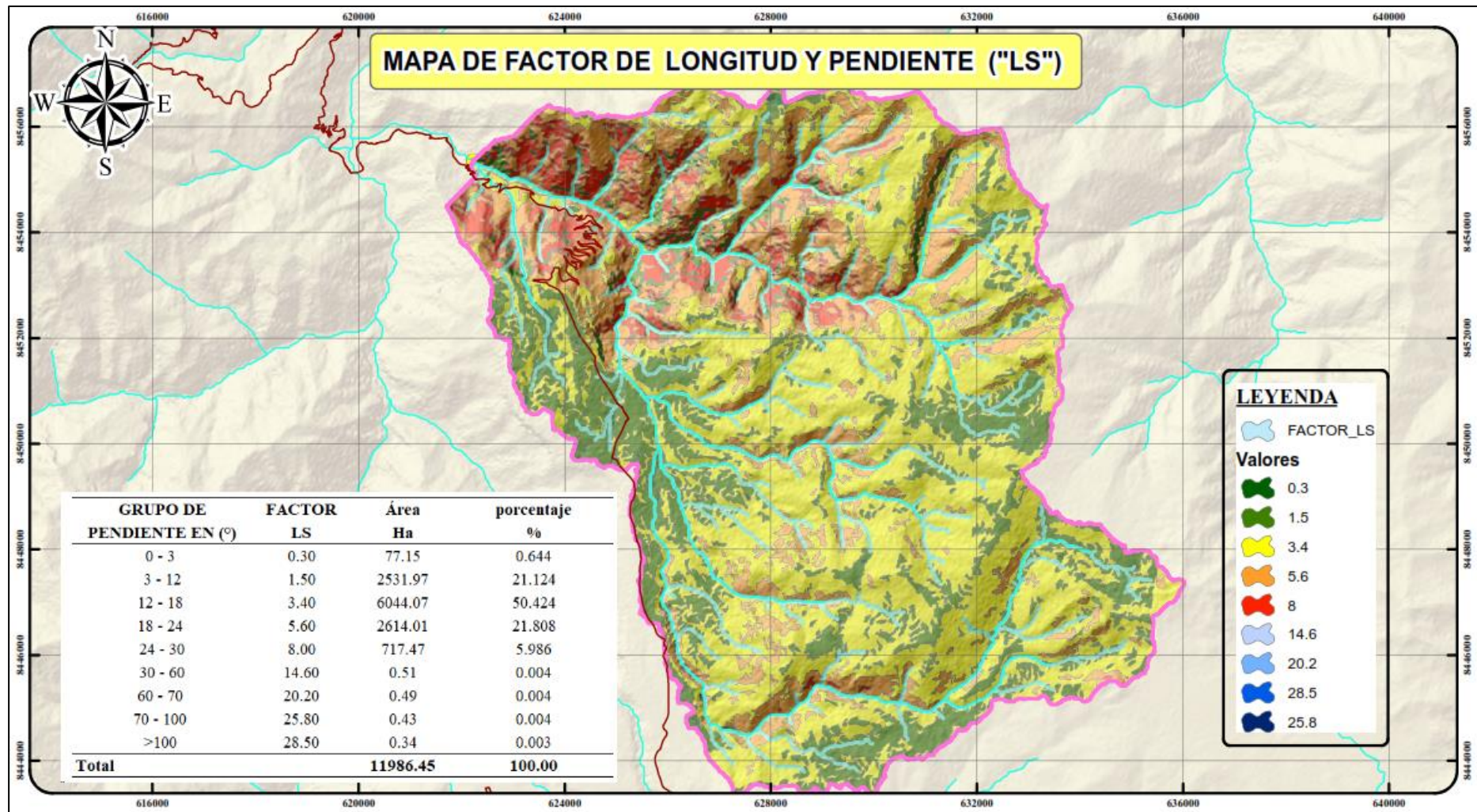
Análisis

En la tabla 38 se aprecia el análisis de los resultados del factor LS para la cuenca Chonta. que muestra una variabilidad significativa en la susceptibilidad del terreno a la erosión hídrica según los grupos de pendiente. La mayor proporción del área, 50.42%, corresponde a pendientes entre 12-18°, con un factor LS de 3.40, lo que indica una alta vulnerabilidad a procesos erosivos moderados. Las pendientes más pronunciadas, como

las de 18-24° (21.81% del área, LS = 5.60) y 24-30° (5.99% del área, LS = 8.00), reflejan zonas críticas con mayores riesgos de erosión. Por otro lado, las pendientes más suaves, de 0-3° (0.64% del área, LS = 0.30) y 3-12° (21.12% del área, LS = 1.50), tienen una menor susceptibilidad debido a la estabilidad relativa del suelo. Aunque las pendientes extremas (>30°) representan una proporción mínima (menos del 0.02%), sus elevados factores LS (14.60 a 28.50) las convierten en áreas prioritarias para estrategias de manejo sostenible del suelo y conservación hídrica.

Figura 52

Mapa del factor de topográfico (LS) - cuenca Chonta



3.4.5. Cálculo Factor "P" (Prácticas de conservación)

Se decidió no considerar el factor "P" en esta investigación, por lo que durante las visitas al campo no se observaron las prácticas de conservación.

3.4.6. Cálculo del factor (C) cobertura vegetal con el satélite (Sentinel 2A) para la cuenca Chonta.

La cobertura vegetal fue clasificada según los valores del NDVI, conforme a la tabla publicada en la Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Zulia (2020). A partir de esta clasificación, se determinó lo siguiente sobre la distribución de la cobertura en el área de estudio:

- ✓ El 1.03 Ha (0.0086%) del área total corresponde a Bosque y Selva Nublada.
- ✓ El 12.70 Ha (0.11%) del área total está compuesto por Bosque, Cultivos y Pastizales.
- ✓ El 1618.62 Ha (13.50%) del área total corresponde a Pastizales.
- ✓ El 6396.40 Ha (53.36%) del área total, de mayor relevancia, está dominado por Cultivos y Pastizales.
- ✓ El 3943.40 Ha (32.90%) del área total, igualmente relevante, está compuesto por Cultivos y Arbustales.
- ✓ El 12.27 Ha (0.10%) del área total presenta Vegetación Escasa.
- ✓ El 1.03 Ha (0.0086%) del área total corresponde a Vegetación Semiárida.
- ✓ Finalmente, el 1.00 Ha (0.0083%) del área total está ocupado por Suelo Desnudo.

A continuación, se detalla en la siguiente tabla 39:

Tabla 39

Resultados del factor de cobertura vegetal C para la cuenca Chonta

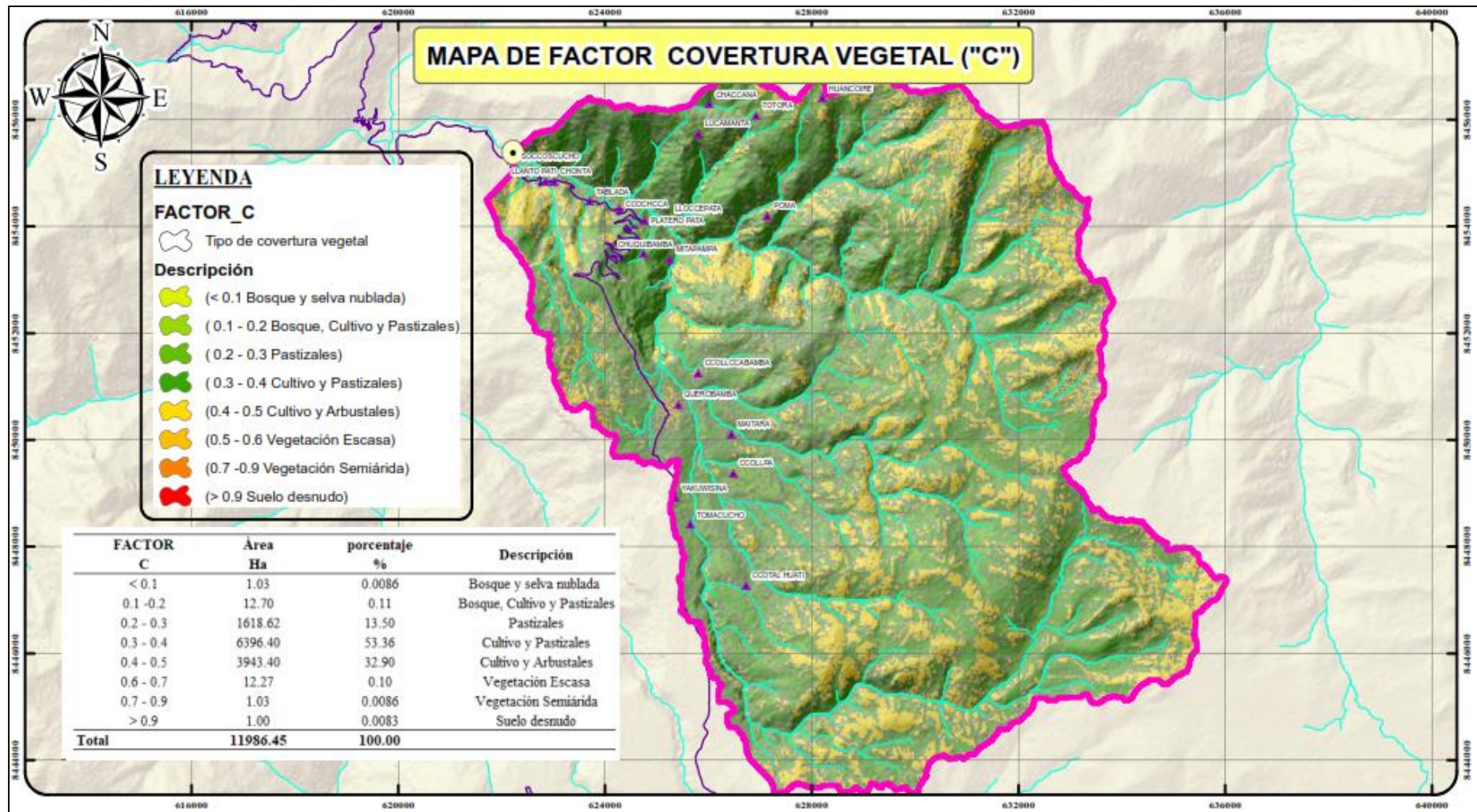
FACTOR C	Área Ha	porcentaje %	Descripción
< 0.1	1.03	0.0086	Bosque y selva nublada
0.1 -0.2	12.70	0.11	Bosque, Cultivo y Pastizales
0.2 - 0.3	1618.62	13.50	Pastizales
0.3 - 0.4	6396.40	53.36	Cultivo y Pastizales
0.4 - 0.5	3943.40	32.90	Cultivo y Arbustales
0.6 - 0.7	12.27	0.10	Vegetación Escasa
0.7 - 0.9	1.03	0.0086	Vegetación Semiárida
> 0.9	1.00	0.0083	Suelo desnudo
Total	11986.45	100.00	

Análisis

En la tabla 39 se tiene El análisis de los resultados del factor de cobertura vegetal (C) para la cuenca Chonta refleja la predominancia de las coberturas relacionadas con Cultivo y Pastizales, que abarcan el 53.36% del área total (6,396.40 Ha) con un rango de 0.3-0.4, y Cultivo y Arbustales, que representan el 32.90% del área (3,943.40 Ha) con un rango de 0.4-0.5. Estas categorías indican una moderada protección del suelo frente a la erosión hídrica, dado que las coberturas vegetales ofrecen una reducción parcial de la energía cinética de las precipitaciones. Los rangos más bajos del factor C (<0.1 y $0.1-0.2$), que incluyen Bosque y selva nublada, suman solo el 0.12% del área, lo que señala una limitada presencia de coberturas densas que proporcionen mayor protección contra la erosión. Por otro lado, las categorías de Vegetación Escasa, Vegetación Semiárida y Suelo Desnudo, que corresponden a los rangos de factor C más altos ($0.6-0.9$ y >0.9), representan un porcentaje insignificante del área total ($<0.02\%$), pero son críticas por su alta vulnerabilidad a la erosión.

Figura 53

Mapa del factor de cobertura vegetal ("C")- cuenca Chonta



3.5. Cálculo de la erosión potencial y actual para la cuenca Chonta

3.5.1. Erosión potencial

La erosión hídrica potencial fue agrupada según las tablas adaptadas de la FAO (1980), se identificó las zonas de mayor y menor susceptibilidad a ser erosionadas por lo que los valores obtenidos solo son influenciados por la longitud y gradiente pendiente de la cuenca, intervención de la lluvia y por el tipo de suelo; por lo tanto se determinó con un valor de menores a 5 t.ha⁻¹.año influye un área de 158.63 Ha con un (1.32% del área total) presenta erosión baja, con un valor 5 a 25 t.ha⁻¹.año influye un área 4313.43 Ha con un (35.99% del área total) presenta una erosión Ligera, con un valor 25 a 50 t.ha⁻¹.año influye un área 4920.84 Ha con un (41.05% del área total) presenta una erosión Moderada, con un valor 50 a 100 t.ha⁻¹.año influye un área 2578.52 Ha con un (21.51% del área total) presenta una erosión Alta, con un valor 100 a 200 t.ha⁻¹.año influye un área 13.40 Ha con un (0.11% del área total) presenta una erosión Muy Alta, y finalmente con un valor mayores 200 t.ha⁻¹.año influye un área 1.63 Ha con un (0.01% del área total) presenta una erosión Crítica o catastrófica.

Tabla 40

Resultados de la erosión potencial para la cuenca Chonta

Erosión	Área	porcentaje	Tipo de
Potencial t.Ha ⁻¹ .año	Ha	%	Erosión potencial
< 5	158.63	1.32	Baja o Normal
5 - 25	4313.43	35.99	Ligera
25 - 50	4920.84	41.05	Moderada
50 - 100	2578.52	21.51	Alta o severa
100 - 200	13.40	0.11	Muy Alta o muy severa
> 200	1.63	0.01	Crítica o catastrófica
Total	11986.45	100.00	

Nota: Elaboración propia

Análisis

En la tabla 40, se tiene El análisis de los resultados de la erosión potencial para la cuenca Chonta muestra que el 41.05% del área total (4,920.84 Ha) está clasificada como de erosión moderada, siendo este el tipo predominante en la región. Le sigue la categoría de erosión ligera, que abarca el 35.99% del área (4,313.43 Ha), y la categoría de erosión alta o severa, con un 21.51% (2,578.52 Ha), lo que subraya la significativa vulnerabilidad del suelo frente a procesos erosivos. Las áreas clasificadas con erosión muy alta o muy

severa (0.11%, 13.40 Ha) y crítica o catastrófica (0.01%, 1.63 Ha) representan un porcentaje mínimo, pero son esenciales para identificar zonas prioritarias de intervención. Por otro lado, las áreas con erosión baja o normal (1.32%, 158.63 Ha) muestran una menor susceptibilidad al impacto erosivo.

Figura 54

Mapa de erosión potencial - cuenca Chonta.



3.5.2. Erosión actual

La erosión hídrica actual fue agrupada según las tablas adaptadas de la FAO (1980) mediante esta tabla se identificó las zonas de mayor y menor susceptibilidad a ser erosionadas por lo que los valores obtenidos solo son influenciados por la longitud y gradiente pendiente de la cuenca, intervención de la lluvia, por el tipo de suelo, uso actual de suelos y las prácticas de conservación; por lo tanto se determinó con un valor menor de 0.5 t.ha⁻¹.año influye un área de 1878.68 ha con un (15.67% del área total) presenta erosión normal, con un valor 0.5 a 5 t.ha⁻¹.año influye un área 9168.22 ha con un (76.49% del área total) presenta una erosión ligera, con un valor 25 a 50 t.ha⁻¹.año influye un área 928.94 ha con un (7.75% del área total) presenta una erosión moderada, con un valor 50 a 100 t.ha⁻¹.año influye un área 6.71 ha con un (0.06% del área total) presenta una erosión alta, con un valor 100 a 200 t.ha⁻¹.año influye un área 2.37 ha con un (0.02% del área total) presenta una erosión muy alta, con un valor mayor de 200 t.ha⁻¹.año influye un área 1.53 ha con un (0.01% del área total) presenta una erosión crítica o catastrófica.

Tabla 41

Resultados de la erosión actual de la cuenca Chonta

EROSION	Área	porcentaje	Tipo de
ACTUAL t.ha ⁻¹ .año	Ha	%	Erosión actual
< 5	1878.68	15.67	Baja o Normal
5 - 25	9168.22	76.49	Ligera
25 - 50	928.94	7.75	Moderada
50 - 100	6.71	0.06	Alta o severa
100 - 200	2.37	0.02	Muy Alta o muy severa
> 200	1.53	0.01	Crítica o catastrófica
Total	11986.45	100.00	

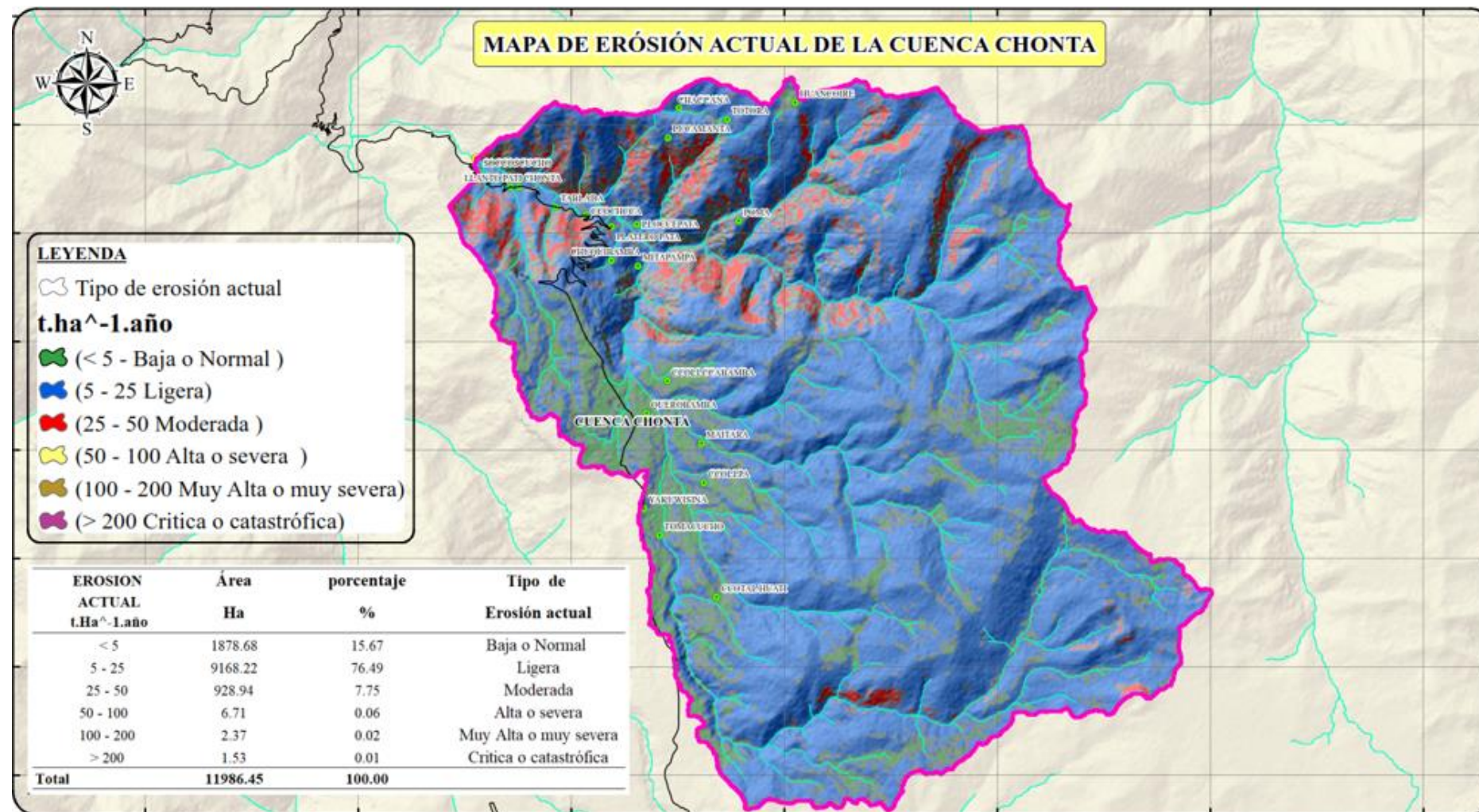
Nota: Elaboración propia

Análisis

En la tabla 41 se tiene El análisis de los resultados de la erosión actual en la cuenca Chonta revela que la mayoría del área, 76.49% (9,168.22 Ha), está clasificada como de erosión ligera, indicando un impacto erosivo moderado que aún permite una relativa sostenibilidad en el uso del suelo. Por otro lado, el 15.67% (1,878.68 Ha) presenta erosión baja o normal, lo que refleja áreas menos afectadas y con mayor estabilidad del suelo. Las zonas clasificadas como de erosión moderada abarcan el 7.75% (928.94 Ha), mientras que las categorías de alta o severa, muy alta o muy severa, y crítica o catastrófica juntas representan menos del 0.1% del área total, aunque son de alta prioridad para intervenciones estratégicas debido a su extrema vulnerabilidad al proceso erosivo.

Figura 55

Mapa de erosión actual de la cuenca Chonta



DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los parámetros geomorfológicos de la cuenca Chonta evidencian una configuración alargada y con pendientes pronunciadas, reflejada en un coeficiente de compacidad de 1.80 y un bajo índice de circularidad (0.31). Estas características geomorfológicas indican una mayor predisposición a una rápida concentración de escorrentía superficial, lo que incrementa significativamente el riesgo de erosión hídrica. Este hallazgo coincide con lo señalado por Cárdenas y Pérez (2021) en su estudio de la cuenca del río Mayo, en la región San Martín, Perú, donde se concluyó que factores como la pendiente del terreno y la forma de la cuenca tienen una influencia directa en los procesos erosivos, especialmente cuando se ven agravados por modificaciones en el uso del suelo. La interacción entre la morfología de la cuenca y las actividades antrópicas resalta la necesidad de un manejo integral del territorio para mitigar la degradación del suelo.

Los resultados del factor R en este estudio para la cuenca Chonta evidencian un nivel muy alto de erosividad, con valores comprendidos entre 1010.95 y 1083.36 MJ.mm/Ha.Hr.Año, lo que confirma que la intensidad de las precipitaciones contribuye significativamente a la erosión hídrica en toda la región. Según Camargo et al. (2018), valores elevados de erosividad están directamente relacionados con la energía cinética de las lluvias, lo que incrementa el potencial erosivo, especialmente en áreas con precipitaciones intensas. Este comportamiento también es consistente con lo señalado por Perales (2019), quien destaca que las regiones con mayores precipitaciones acumuladas anuales presentan una mayor agresividad hídrica. Además, el factor R está influenciado por la variación climática y las características topográficas, como lo menciona Camargo et al. (2018), quienes enfatizan que las zonas de mayor altitud tienden a mostrar valores más altos de erosividad debido a lluvias más frecuentes e intensas. Este patrón también se observa en estudios realizados en otras cuencas, como el de la cuenca del río Supte

Grande (Huánuco), donde se aplicó el modelo RUSLE para evaluar la erosión hídrica (Perales, 2019).

Respecto al factor de erosionabilidad K, los valores obtenidos para la cuenca Chonta oscilan entre 0.008632 y 0.0156 Tonhah/MJmmha**, lo que, según la clasificación de la USDA (1962), se considera dentro de la categoría de "Débilmente erodable". Este rango concuerda con los resultados reportados por Piscitelli et al. (2010) para suelos representativos de la cuenca alta del arroyo Azul (Argentina), donde se observó que los valores de K están influenciados principalmente por la textura del suelo, siendo los suelos de textura fina (arcillosos) más erosionables debido a su menor permeabilidad y mayor escorrentía. Asimismo, los valores más bajos de K en la cuenca Chonta corresponden a suelos de textura gruesa, como los francos arenosos, que presentan mayor porosidad y permiten una mayor infiltración del agua, reduciendo así el desprendimiento y transporte de partículas, tal como lo mencionan Camargo et al. (2018). Por otro lado, los valores medios de K se asocian a suelos de textura franco, que muestran una susceptibilidad intermedia a la erosión hídrica.

Estos resultados también son consistentes con los hallazgos de Castillo y Rojas (2019) en la subcuenca Huancay (La Libertad), quienes destacaron que los suelos arcillosos, aunque más resistentes al agua, tienden a ser más erosionables debido a su menor capacidad de infiltración. Este análisis subraya la importancia de considerar las características texturales y estructurales del suelo al diseñar estrategias de manejo sostenible para mitigar la erosión hídrica en la cuenca Chonta.

La distribución espacial del factor LS en la cuenca Chonta generó valores que oscilan entre 0.30 y 28.50, siendo los valores más altos asociados a las zonas con pendientes más pronunciadas y longitudes mayores. Este comportamiento está respaldado por estudios como los de Camargo et al. (2018), quienes señalan que mientras mayor sea la pendiente, mayor será el impacto erosivo debido al recorrido de las gotas de lluvia y el desprendimiento del suelo. Según la clasificación del Instituto Nacional de Investigación en Suelo y Conservación (INISC), más del 72% del área estudiada corresponde a pendientes moderadas (3-18°) que presentan factores LS entre 1.50 y 3.40, destacándose como zonas de erosión hídrica crítica moderada. Por otro lado, las áreas con pendientes

extremas ($>30^\circ$), aunque representan menos del 1% del total, muestran factores LS elevados (hasta 28.50), que reflejan una alta vulnerabilidad al impacto erosivo.

Estos resultados son consistentes con los hallazgos de Castillo y Rojas (2019) en la subcuenca Huancay (La Libertad), donde identificaron que las zonas de mayor pendiente y longitud producen los valores más altos del factor LS, y con los de Álvarez (2019) en la subcuenca Ichu (Huancavelica), donde se observaron rangos similares de LS en las áreas de cabecera. Ambos estudios emplearon la metodología planteada por Desmet y Govers (1996), concluyendo que existe una relación directa entre el factor LS y la pendiente ($R^2 = 0.996$), lo que también es evidente en los resultados para la cuenca Chonta.

El valor del factor C en la cuenca Chonta varía según el tipo de uso del suelo y la cobertura vegetal. Las áreas con bosque y selva nublada presentan los valores más bajos (< 0.1), lo que coincide con lo señalado por Lianes et al. (2009), quienes destacan que las coberturas densas, como los bosques, ofrecen una mayor protección al suelo al interceptar las gotas de lluvia y reducir su energía cinética. En contraste, las áreas con suelo desnudo muestran los valores más altos (> 0.9), indicando una alta susceptibilidad a la erosión hídrica. La mayor parte del área estudiada está dominada por cultivo y pastizales, con factores C de 0.3-0.4 y 0.4-0.5, que abarcan el 53.36% y el 32.90% del territorio, respectivamente. Estos valores reflejan una protección moderada del suelo frente a la erosión, en comparación con las coberturas más densas. Según Ibáñez Asensio et al. (2011), las coberturas vegetales menos densas, como los pastizales, ofrecen una protección parcial, pero son más vulnerables en comparación con los bosques. Además, estudios como el de Perales (2019) en la cuenca del río Supte Grande han reportado valores de factor C similares, utilizando la metodología propuesta por Durigon et al. (2014), que relaciona el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) con el factor C. Esta relación es altamente significativa ($R^2 = 0.949$), como lo demuestran investigaciones recientes, y refuerza la importancia de conservar las coberturas vegetales para mitigar la erosión hídrica.

A través de la estimación de la pérdida de suelo debido a la erosión hídrica potencial en la cuenca Chonta, se identificaron áreas con alta vulnerabilidad a la erosión. Los resultados muestran que la erosión potencial (sin considerar la cobertura vegetal)

presenta un porcentaje significativo de erosión severa, con un 21.51% del área clasificada como alta o severa (50-100 t/ha/año) y un 0.11% como muy alta o muy severa (100-200 t/ha/año). Este comportamiento se debe a que este cálculo no incluye la influencia protectora de la cobertura vegetal, lo que incrementa la susceptibilidad del suelo a los procesos erosivos. Además, los valores más altos de erosión se observaron en zonas con pendientes pronunciadas, lo que coincide con lo señalado por Solano (2016), quien en su estudio para la subcuenca del río Shullcas estimó que el 47.20% de la superficie presentaba erosión muy alta (>200 t/ha/año) en áreas de pendientes superiores al 5%.

Por otro lado, en las zonas de pendientes más suaves, la erosión potencial fue menor, con un 1.32% del área clasificada como de erosión baja o normal (<5 t/ha/año). Este patrón refleja la influencia del factor LS, que está directamente relacionado con la longitud y el gradiente de pendiente, tal como lo menciona Perales (2019) en su investigación para la cuenca del río Supte Grande, donde el 61.67% del área presentó erosión muy severa en ausencia de cobertura vegetal.

En comparación con estudios previos, como el de Gamboa (2023) en la cuenca del río Tumbes, donde la tasa de erosión potencial promedio fue de 167.18 t/ha/año, los resultados de la cuenca Chonta son consistentes en cuanto a la relación entre la pérdida de suelo y la ausencia de cobertura vegetal. Esto subraya la importancia de implementar medidas de conservación del suelo, como la reforestación y el manejo sostenible de cultivos, para mitigar los efectos de la erosión hídrica en áreas críticas. Si no se toman acciones inmediatas, la degradación del suelo podría alcanzar niveles catastróficos, comprometiendo la sostenibilidad de los recursos naturales en la región.

Considerando el uso actual de la tierra y la cobertura vegetal en la cuenca Chonta, los resultados de la erosión hídrica actual muestran que la mayoría del área presenta niveles bajos a moderados de erosión. Un 76.49% del área total (9,168.22 Ha) se clasifica con erosión ligera (5-25 t/ha/año) y un 15.67% (1,878.68 Ha) con erosión baja o normal (<5 t/ha/año). Estas categorías se ubican principalmente en las partes baja y media de la cuenca, donde la cubierta vegetal ejerce un efecto protector significativo al reducir el impacto de las gotas de lluvia y disminuir la escorrentía, como también lo menciona Condori (2021) en su estudio para la cuenca Cairani, donde identificó que los niveles bajos y moderados de erosión están asociados a pendientes suaves y una mayor cobertura

vegetal. Sin embargo, en áreas con poca o ninguna cobertura vegetal, los niveles de erosión aumentan, alcanzando valores altos o severos (50-100 t/ha/año) en el 0.06% del área (6.71 Ha), muy altos o muy severos (100-200 t/ha/año) en el 0.02% (2.37 Ha), y críticos o catastróficos (>200 t/ha/año) en el 0.01% (1.53 Ha). Estos valores extremos se concentran en pendientes pronunciadas o áreas degradadas, donde la ausencia de cobertura vegetal expone el suelo a procesos intensivos de erosión hídrica. Según Solano (2016), la erosión hídrica actual contrarresta significativamente los niveles de erosión potencial debido a la presencia de cobertura vegetal, lo cual también se observa en el presente estudio. Respecto a las tasas de erosión, se reportaron valores máximos de hasta 5.06 t/ha/año en escenarios de vegetación escasa, por debajo del límite máximo permisible de 10 t/ha/año recomendado por Morga (2006), quienes señalan que una tasa superior comprometería la sostenibilidad del suelo al superar su ritmo de regeneración. Estos resultados son consistentes con los obtenidos por Dioses y Pérez (2018) para la cuenca Piura, donde se observó una tasa de erosión hídrica actual de 10.4 t/ha/año, y con el estudio de Sabino (2016), quien reportó una tasa de 30.9 t/ha/año para la región hidrológica Pacífico 6. Estas comparaciones resaltan que las tasas de erosión en la cuenca Chonta son moderadas en relación con otras regiones, pero aún requieren estrategias de manejo sostenible para evitar un agravamiento futuro.

CONCLUSIONES

1. Se estimó la erosión hídrica en la cuenca Chonta aplicando el modelo RUSLE, lo que permitió identificar zonas con distintos niveles de vulnerabilidad. Los resultados evidencian que, aunque gran parte del área presenta tasas de erosión dentro de los límites permisibles, existen sectores con niveles severos que requieren medidas de conservación urgentes.
2. Se identificaron los factores R, K, L y S del modelo RUSLE que influyen directamente en la erosión hídrica dentro de la cuenca Chonta, destacando que el factor de erosividad pluvial (R) presentó valores entre 1010.95 y 1083.36 MJ·mm/ha·h·año, clasificados como muy altos, lo que evidencia una considerable intensidad y frecuencia de lluvias capaces de movilizar partículas del suelo, especialmente durante eventos extremos. En cuanto al factor de erodabilidad del suelo (K), los valores oscilaron entre 0.008632 y 0.0156 t·ha·h/MJ·mm·ha, siendo considerados débilmente erodables, lo cual se relaciona con la presencia predominante de suelos arcillosos y franco arcillo arenosos, que, si bien son menos propensos a la erosión, pueden tornarse vulnerables bajo condiciones topográficas desfavorables o ante la pérdida de cobertura vegetal. Por su parte, el factor topográfico (LS), que considera la longitud y el gradiente de la pendiente, varió entre 0.30 y 28.50, con una predominancia de pendientes moderadas (12° a 18°) que abarcan el 50.42% del área, siendo estas zonas particularmente susceptibles a la erosión debido a que las pendientes favorecen el escurrimiento superficial y el consecuente arrastre de partículas del suelo.
3. Se determinó el factor de cobertura vegetal (C) mediante el análisis de imágenes multiespectrales del satélite Sentinel 2A, utilizando el índice de vegetación NDVI como base de cálculo, obteniéndose valores que oscilaron mayoritariamente entre 0.3 y 0.5, correspondientes a áreas de cultivos temporales, pastizales y vegetación rala,

las cuales abarcan aproximadamente el 86.26% de la cuenca. Este rango de valores indica que la vegetación ofrece una protección moderada frente a la erosión hídrica, al disminuir la velocidad del escurrimiento superficial y amortiguar el impacto directo de las gotas de lluvia sobre el suelo. Sin embargo, la presencia de coberturas con baja densidad vegetal en sectores localizados incrementa la vulnerabilidad a la pérdida de suelo, lo que resalta la importancia de implementar estrategias de conservación de la cobertura vegetal, especialmente en zonas de ladera o con alta pendiente.

4. Se estimaron los niveles de erosión hídrica potencial (EP) y actual (EA) mediante la integración de los factores del modelo RUSLE, revelando contrastes significativos en la magnitud de pérdida de suelo en la cuenca. La erosión potencial, que simula un escenario sin cobertura vegetal protectora, presentó tasas de 50 a 100 t/ha/año en un 21.51% del área total, clasificadas como altas o severas, mientras que un 0.11% del territorio registró tasas muy altas (100–200 t/ha/año) y un 0.01% presentó niveles críticos (>200 t/ha/año), evidenciando zonas de extrema vulnerabilidad ante procesos erosivos intensos. En contraste, la erosión actual, que incorpora la cobertura vegetal existente, mostró valores significativamente reducidos, con un 15.67% del área en niveles de erosión baja (<5 t/ha/año) y un 76.49% en tasas de erosión ligera (5–25 t/ha/año), ambas dentro de los límites permisibles establecidos por la FAO, lo que resalta el papel clave de la vegetación en la mitigación de la erosión hídrica.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda promover la reforestación en áreas con alta y muy alta vulnerabilidad a la erosión hídrica, especialmente en pendientes pronunciadas ($>18^\circ$), donde los factores R y LS tienen mayor impacto.
- Se recomienda fomentar el uso de técnicas de cultivos conservacionistas, como el terraceo y la siembra directa, en zonas agrícolas dominadas por cultivos y pastizales, con factores C entre 0.3 y 0.5.
- Se recomienda diseñar sistemas de drenaje controlado en áreas con suelos débilmente erodables (factor $K \leq 0.0156$), para reducir la escorrentía y mitigar el transporte de sedimentos.
- Se recomienda priorizar la conservación de áreas boscosas y selva nublada (<0.1 del factor C) que ofrecen máxima protección contra la erosión hídrica.
- Se recomienda incentivar la regeneración natural y proyectos de revegetación en las zonas más afectadas por la erosión potencial, como aquellas clasificadas como crítica (>200 t/Ha/Año).

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Álvarez, A. (2019). *Análisis temporal del nivel de la erosión hídrica de la subcuenca del río Ichu 2013 y 2017* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio UNH.
<https://repositorio.unh.edu.pe/items/5f12bfcf-72ca-414c-8fee-360243117b22>.
- Alonso, A., Bermúdez, L., & Rafaelli, S. (2011). *La degradación de los suelos por erosión hídrica. Métodos de estimación* (Vol. 4). Edit.um.
<https://surl.li/xqeygq>
- Andrés, R. (2020). *Aplicación de la ecuación universal (RUSLE) a un sistema de información geográfica que permita diagnosticar la pérdida de suelos* [Tesis de licenciatura, Universidad Agraria del Ecuador].
<https://surl.lu/dnsarm>.
- Aouichaty, N., Bouslihim, Y., Hilali, S., Zouhri, A., & Koulali, Y. (2022). Estimation of water erosion in abandoned quarries sites using the combination of RUSLE model and geostatistical method. *Scientific African*, 16, e01153.
<https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01153>
- Arias, P., Escolano, S., & Saz, A. (2023). *Estimación de la erosión del suelo mediante el modelo RUSLE. Caso de estudio: cuenca media alta del río Mira en los Andes de Ecuador* (No. ART-2023-131598). Universidad de Zaragoza.
<https://zaguan.unizar.es/record/125941>
- Arnoldus, J. (1978). An approximation of the rainfall factor in the universal soil loss equation. En M. de Boodt & D. Gabriels (Eds.), *Assessment of erosion* (pp. 127–132). John Wiley & Sons.
<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19831974087>
- Ayllón, A., & Ccenhua, A. (2021). *Estimación del riesgo de erosión del suelo utilizando el modelo RUSLE-GIS: Un estudio de caso de la cuenca del río Cañete* [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Unión].
<http://hdl.handle.net/10757/663458>
- Buzai, D., & Montes, J. (2021). *Estadística espacial: fundamentos y aplicación con sistemas de información geográfica*. <http://www.inigeo.unlu.edu.ar/?q=node/24>
- Cahuana, A., & Yugar, W. (2009). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología CIV-233*. Universidad Mayor de San Simón.

- <https://www.udocz.com/apuntes/869328/hidrologia-univ-mayor-san-simon-bolivia-compress>.
- Calle, F. (2021). *Efecto de los cambios de uso de suelo en el aumento de la erosión hídrica a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos en la zona de amortiguamiento del Santuario Nacional Tabaconas Namballe* [Tesis de pregrado, Universidad Católica Sedes Sapientiae].
<https://hdl.handle.net/20.500.14095/1094>
- Camargo, C., & López, R. (2018). *Erosión hídrica, fundamentos, evaluación y cartográfica: una revisión con énfasis en el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica*. Dialnet.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6687514.pdf>.
- Canalejo, S. (2018). *Caracterización de imágenes satelitales Sentinel-2 para aplicaciones de teledetección* [Trabajo final de máster, Universitat Oberta de Catalunya].
<https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/81436/6/scalejocTFM0618memoria.pdf>.
- Cárdenas, S., & Pérez, E. (2021). Aplicación del modelo RUSLE utilizando el programa ArcGIS para evaluar el cambio morfológico en la cuenca del río Mayo, San Martín - 2021 [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/97514>
- Carnicer, M., & Pérez, L. (2020). *Guía para muestreo de suelos agrícolas*.
<https://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/51132>
- Carvalho, D., Lucio, V., Homem, M., Sanchez, P., & Sampaio, W. (2014). Predicting soil erosion using RUSLE and NDVI time series from TM Landsat 5. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49(3), 215–224.
<https://www.scielo.br/j/pab/a/kMN3dwZ7cdyvwXQDjwDFYMs/?lang=en>
- Casanova G., Delgado, D., & Panchana, R. (2024). Estimación de volúmenes de sedimentos por erosión hídrica empleando el modelo RUSLE en cuencas de la provincia de Manabí, Ecuador. *Revista de Teledetección*, (63), 1–21.
<https://riunet.upv.es/handle/10251/202436>
- Castillo, A., & Rojas, A. (2019). *Erosión hídrica del suelo como efecto de la precipitación pluvial del fenómeno del Niño Costero en la subcuenca Huancay, Chicama* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio UCV.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/41021>.

- Castro, J. A., Villarreal, J. E., y Cabrera, J. A. (2024). Pérdida de suelo por erosión hídrica en la subcuenca río Estibaná, Panamá. *Agronomía Mesoamericana*, 35(1), 1–15.
<https://doi.org/10.15517/am.2024.59684>
- Cedeño, D. (1997). *Apuntes de hidrología*. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá.
<https://www.udocz.com/apuntes/501144/apuntes-de-hidrologia-actualizado>
- Chow, R., & Mays, W. (2021). *Applied hydrology* (2nd ed.). McGraw-Hill Education.
<https://surl.li/amfqms>
- Condori, E. (2021). *Análisis de la erosión hídrica en la cuenca Cairani utilizando el modelo RUSLE* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Moquegua]. Repositorio UNAM.
<https://repositorio.unam.edu.pe/handle/20.500.12692/41021>.
- Dioses, R., & Pérez, F. (2018). *Evaluación de la erosión hídrica en la cuenca del río Piura mediante SIG*. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).
<https://hdl.handle.net/20.500.12672/10055>
- Dumas, Á. (2012). *Riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica del río Mundo* [Tesis de máster, Universidad Complutense de Madrid].
<https://hdl.handle.net/20.500.14352/46543>
- Durigon, L., Carvalho, F., Antunes, H., & Oliveira, S. (2014). NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. *International Journal of Remote Sensing*, 35(2), 441–453.
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01431161.2013.871081>
- FAO. (1980). *Metodología provisional para la evaluación y representación cartográfica de la desertización*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
<https://surl.lu/ditzhm>
- FAO. (2022). *Healthy soils for a healthy people and planet: FAO calls for reversal of soil degradation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
<https://www.fao.org/newsroom/detail/agriculture-soils-degradation-FAO-GFFA-2022>
- Gamboa, O. (2023). *Estimación de la erosión hídrica aplicando la metodología RUSLE con técnicas de teledetección en la cuenca del río Tumbes* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Tumbes]. Repositorio UNTumbes.
<https://repositorio.untumbes.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12874/64161>.

- Guerrero, J. (2023). *Análisis morfométrico adimensional en la sierra de las cuencas hidrográficas Pachitea y Perené, con fines de transferencia de información hidrológica* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca].
<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5848>
- Guzmán, A., 2021. *Análisis de la erosión potencial y efectiva del suelo por medio de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) en el área de jurisdicción de la CAR* [Tesis de licenciatura, Universidad Militar Nueva Granada].
<https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/b1728d49-8c5d-4c26-81f9-c05c9c86da45/content>
- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, M. (2011). *El factor C de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE)*. Universidad Politécnica de Valencia.
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16568/AD%20C%20%20%20USLE.pdf?sequence=1>.
- INETER. (2005). *Erosión hídrica-mapa de amenazas-recomendaciones técnicas para su elaboración*. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales.
<https://webserver2.ineter.gob.ni/geofisica/proyectos/metalarn/erosion.pdf>
- Lal, R. (2001). Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*, 12(6), 519–539.
<https://doi.org/10.1002/ldr.472>
- Lianes, E., Marchamalo, M., & Roldán, M. (2009). Evaluación del factor C de la RUSLE para el manejo de coberturas vegetales en el control de la erosión en la cuenca del río Birrís, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 33(2), 217–235.
<https://www.redalyc.org/pdf/436/43613279007.pdf>
- Mancilla, G., & Marambio, C. (2008). *Estrés hidráulico crítico de suelos forestales bajo distinto uso, en un sector de la Cordillera de la Costa de la VII región* [Tesis de licenciatura, Universidad de Chile]. Repositorio UChile.
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/151612>
- Mannaerts, C. (1999). *El factor K del RUSLE: Efecto de las propiedades del suelo y características del perfil en la pérdida de suelo*. Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/handle/10251/16850>
- Mendoza, M., Arteaga, G., & Delgado, D. (2023). La erosividad de la lluvia como factor condicionante de la erosión hídrica en Manabí. *Polo del Conocimiento*, 8(6), 343–364. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/5177/0>

- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2023). *Impactos de la erosión hídrica en ecosistemas fluviales y recursos hídricos en el Perú*. Gobierno del Perú.
<https://www.gob.pe/minam>
- Montenegro, D. (2024). *Análisis geomorfológico de la cuenca hidrográfica del río Amojú empleando Sistemas de Información Geográfica en la provincia de Jaén, región Cajamarca* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca].
<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/6766>
- Moreira, A., Mirándola, H., Luiz, A., Salinas, E., & Oliveira, I. J. D. (2020) Manejo integrado de cuencas hidrográficas: Posibilidades y avances en los análisis de uso y cobertura de la tierra. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 29(2), 319–338.
<https://www.redalyc.org/journal/2818/281863455006/html/>
- Moreno, R. H. (2017). *Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando el método USLE y haciendo uso del SIG en la cuenca del río Olleros – distrito de Olleros, periodo 2015* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo].
<https://acortar.link/un7Zz0>
- Morgan; C. (1997). *Erosión y conservación de suelos*. Madrid, España.
<http://books.google.cl/books?id=jcfqafiu1uc>
- Morgan, C. (2023). *Soil erosion and conservation* (3rd ed.). Blackwell Publishing.
<https://www.wiley.com/enfr/Soil+Erosion+and+Conservation%2C+3rd+Edition-p-9781405117814>
- Muñoz , P. (2013). *Apuntes de teledetección: Índice de vegetación*. Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN).
<https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/32aa08a4-d57c-4b1b-921d-62327f65691f>
- Niño, F., & Castro, E. (2020). *Integración de imágenes satelitales Sentinel-2 en CDCol* [Proyecto de pregrado, Universidad de los Andes]. Repositorio Uniandes.
<http://hdl.handle.net/1992/51466>
- Okenmuo, C., & Ewemoje, T. A. (2023). Estimation of soil water erosion using RUSLE, GIS, and remote sensing in Obibia River watershed, Anambra, Nigeria. *DYSONA - Applied Science*, 4(1).
<https://doaj.org/article/c558a408f41b4bfda3cbf8dad40c7333>
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*. España.
<https://volaya.github.io/gis-book/es/>

- Orán, P., Gómez, M., Bosque, J., & Vallejo, I. (2010). Una propuesta complementaria de análisis de sensibilidad de un modelo basado en técnicas SIG y evaluación multicriterio. En *Tecnologías de la información geográfica: La información geográfica al servicio de los ciudadanos* (pp. 971–987). Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. <https://core.ac.uk/reader/157759320>
- Organismo Internacional de Energía Atómica [IAEA], 2024. *¿Qué es la erosión del suelo? ¿Cómo se puede estudiar y mitigar con técnicas nucleares?* IAEA. <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-la-erosion-del-suelo>
- Paredes, J., Sánchez, L., & García, M. (2021). Clasificación de cuencas hidrográficas y su relación con los procesos erosivos. *Revista de Geografía Física y Ambiental*, 13(2), 45–60. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=386>
- Perales, F. (2019). *Pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando el modelo RUSLE en la cuenca del río Supte Grande, provincia Leoncio Prado - Huánuco* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional. https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/1720/TS_AFPQ_2019.pdf?sequence=1
- Pimentel, D., Zuniga, R., & Morrison, D. (2024). Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267(5201), 1117–1123. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.267.5201.1117>
- Pinargote, J. d., Palma, R. L., & Pinargote, R. M. (2021). Erosión hídrica en la cuenca alta del río Guineal, del cantón 24 de mayo, Ecuador. *Polo del Conocimiento*, 6(3), 1992–2004. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2487>
- Piscitelli, M., Varni, M., Sfeir, A., & Ares, G. (2010). *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)* (Agricultural Handbook No. 703). United States Department of Agriculture (USDA). <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5718160.pdf>.
- Renard, G., Foster, R., Weesies A. et al. (Coordinators). (1997) *Predicting Soil Erosion by Water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. USDA Agricultural Handbook No. 703, 404 pp. http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/64080530/RUSLE/AH_703.pdf
- Risco, P., & Vera, P. (2023). *Relación de la red de drenaje y la evolución hipsométrica con las características morfológicas de la subcuenca del río Carrizal* [Tesis de licenciatura, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix

- López”].<https://www.scirp.org/journal/papercitationdetails?paperid=63978&JournalID=209>
- Ruiz, C., & Pacheco, A. (2020). Estimación del factor C de la RUSLE en la microcuenca del río Lodana, Ecuador, usando imágenes del satélite Sentinel-2. *Revista Técnica “Visión Electrónica”*, 14(2).
<https://doi.org/10.22209/rt.ve2020n2a10>
- Sabino, J. A. (2016). *asa de erosión hídrica en las regiones hidrológicas del Perú* [Informe técnico]. Instituto Geofísico del Perú.
<https://hdl.handle.net/20.500.12672/5812>
- Saccatoma, V. (2017). *Estimación de la erosión hídrica y el manejo de aguas en la cuenca de Yucaes - Huamanga - Ayacucho - 2017* [Tesis pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de]. Repositorio Institucional.
<http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3154>
- Smith, D. (2020). *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning* (USDA Agricultural Handbook No. 537). United States Department of Agriculture.
https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/60600505/RUSLE/AH_537%20Predicting%20Rainfall%20Soil%20Losses.pdf
- Solano, R. (2016). *Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la subcuenca del río Shullcas 2000–2013, Huancayo* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional.
<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3486/Solano%20Peralta.pdf?sequence=1>
- Taco, F. (2021). *Uso del sistema de información geográfica para la cuantificación de la erosión hídrica potencial en la cuenca Chamacha - Lima* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional.
<https://hdl.handle.net/20.500.12996/4875>
- UNEP. (1992). *World atlas of desertification*. Land Degradation & Development. United Nations Environment Programme.
<https://wedocs.unep.org/20.500.11822/42137>
- Van der Knijff, J., Jones, R., & Montanarella, L. (1999). *Soil erosion risk assessment in Italy*. European Soil Bureau, Joint Research Centre.
https://esdac.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/serae/GRIMM/italia/eritaly.pdf

- Velásquez, S. (2008). *Erosión de suelos utilizando la EUPSR (RUSLE)*. Geomática Ambiental.
<https://sigagis.blogspot.com/2014/11/erosion-de-suelos-utilizando-la-eupsr.html>
- Villón, M. (2002). *Hidrología estadística* (2.^a ed.). Editorial Villón.
<https://www.udocz.com/apuntes/97147/05-villon-maximo-hidrologia-estadistica>
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning* (USDA Agricultural Handbook No. 537). United States Department of Agriculture.
https://www.ars.usda.gov/ARSPUserFiles/60600505/RUSLE/AH_537%20Predicting%20Rainfall%20Soil%20Losses.pdf
- Williams, J.R. (1995). The EPIC model. In V. P. Singh (Ed.), *Computer models of watershed hydrology* (pp. 909–1000). Water Resources Publications.
<https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=1153277>
- Zanandrea, F., Gaspari, J., Perdomo, S., & Laurencena, C. (2024). Morfometría de la cuenca del río Areco, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Domus*.
<https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/view/15769>
- Zaragoza, E. (2021). *Análisis multitemporal de la cobertura del terreno y su asociación con las tasas de erosión hídrica en Acoculco, Puebla* [Tesis de maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California]
<https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/3597>

ANEXOS

1. DATOS DE LAS PRECIPITACIONES DE LAS ESTACIONES UTILIZADA

REGISTRO DE PRECIPITACIÓN MENSUAL COMPLETADAS Y EXTENDIDAS

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS



REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)



Estación: **CHILCAYOC**

Latitud : 13° 52' 57"

Dpto: Ayacucho

Parámetro: Precipitación Mensual (mm)

Longitud : 73° 43' 35"

Prov: Sucre

Altitud : 3410 msnm

Dist: Chalcos

ITEM	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1995	286.5	178.7	218.5	81.4	7.6	37.1	72.9	22.1	22	97.2	162.9	150.2	1337
2	1996	421.8	399.9	393.3	304	52.2	3.3	12	35	21.4	111.7	64.2	165.1	1984
3	1997	128.7	282.5	64	24.3	44.9	0	11.2	26	53.8	33.4	139.1	147.7	956
4	1998	337	226.4	219.5	51.8	0	8.3	0	4.3	5.2	103.9	25	82.5	1064
5	1999	34.4	368.6	396.7	87.4	0	0	0.4	0	153.6	211	12.5	92	1357
6	2000	218	412	276	40	10	17	20	45	50	149	41	123	1401
7	2001	249	220	225	23	59	15	43	63	28	92	136	75.8	1229
8	2002	80	201.8	158.9	51.6	11.3	2.1	55.9	14.3	39.4	48.2	83.2	91.1	838
9	2003	128.1	190.5	189.3	66.6	7.1	1.8	0	25.5	16.6	47.2	53.1	191.5	917
10	2004	91.8	174.5	109.7	35.8	12.4	17.8	34.9	19.2	20.6	35.3	27.1	128	707
11	2005	108.6	82.1	95.5	41.5	5	0	3.5	5.6	51.6	76.9	29.97	190.3	691
12	2006	247.7	140.3	180.4	68	1.91	6.8	0.4	51	14.37	59.1	92.2	114	976
13	2007	130.2	185.3	196.4	82.1	4.6	0	10.4	9.8	33.3	46.6	71.2	182.6	953
14	2008	241.3	159.6	107.6	15	7.9	4.03	0	0	5	49	36.1	68.1	694
15	2009	180.9	201.4	154.4	90	6.9	3.5	28.1	4.6	25.6	58.9	91.3	136.3	982
16	2010	231.3	148.3	105.9	55.5	8.3	0	3.5	5.1	24.8	59.66	34	171	847
17	2011	343.1	268.3	143.7	88.7	3.7	2.1	19.1	7.6	43.9	54	74.4	114.5	1163
18	2012	104.5	271.4	165.7	113.1	7.4	3.2	22.2	1.4	42.9	68.9	67.5	265	1133
19	2013	144.7	185.7	159.7	10.1	34.5	18.9	9.6	54.1	14.2	40.7	74.5	137.9	885
20	2014	231	121.5	113.3	39	41.4	0	20.8	4.2	69.7	70.8	39.3	99.7	851
21	2015	191.9	166.5	153.8	57.3	11.1	2.2	19	33.5	11.1	30.6	44.1	123.4	845
22	2016	54	158.2	79.1	49	13.4	13.6	17.9	10.3	26.5	32.6	47.3	85.8	588
23	2017	246.6	253.4	238	59.2	40.6	2.7	5.2	2.8	51.8	52.4	49.9	117.9	1121
24	2018	200.1	146.3	145.3	54.4	5.3	47.1	35.1	25.8	14.5	79.6	55.6	117.5	927
25	2019	190.5	231.7	163.7	29.9	29.9	3.6	16.6	0	13.6	50.5	138.4	193.8	1062
26	2020	106.3	227.4	169.4	13.4	44.3	3.9	0	8.8	21	83.1	8.6	181.3	868
27	2021	241.2	153	173.2	75.2	11.8	3.3	5.1	4.1	30.9	64.2	97.7	111.1	971
28	2022	175.4	206.8	125.8	36.1	0.8	4	0	0.8	22	45.68	9.6	162.3	789
29	2023	145.7	188.2	128.7	11	35	0	5.8	6.1	43.2	47.4	124.23	136.5	872
30	2024	249.25	235.58	177.1	45.08	5.66	1.32	27.35	14.12	14.74	51.29	88.81	123.27	1034
N°DATOS		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
MEDIDIANA		191.20	195.95	161.70	51.70	9.15	3.30	11.60	9.30	25.20	56.45	59.90	125.70	954.05
DESV.STD		89.44	76.48	76.86	53.06	17.61	11.08	17.78	17.78	27.92	37.87	41.52	43.56	271.73
PP.MAX.		421.80	412.00	396.70	304.00	59.00	47.10	72.90	63.00	153.60	211.00	162.90	265.00	1983.90
PP.MINIMO		34.40	82.10	64.00	10.10	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	30.60	8.60	68.10	587.70
PROMEDIO		191.32	212.86	174.25	59.98	17.47	7.42	16.67	16.80	32.84	68.36	67.29	135.97	1001.24

REGISTRO DE PRECIPITACIÓN MENSUAL COMPLETADAS Y EXTENDIDAS

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS



REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)



Estación: **HUANCAPÍ**

Latitud : 13° 45' 1"

Dpto: Ayacucho

Parámetro: Precipitación Mensual (mm)

Longitud : 74° 4' 14"

Prov: Víctor Fajardo

Altitud : 3120 msnm

Dist: Huancapi

ITEM	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1995	129.1	124.5	118.5	33.1	6.2	0	0.8	3.9	17.3	43.2	73.1	64.7	614
2	1996	265	195	157.7	80.2	4.6	1.5	4	14.6	6.5	8.5	26.3	80.2	844
3	1997	189.2	114.1	119.4	17.2	27.7	0	7	50.3	34.8	20.7	99.7	116.7	797
4	1998	184.2	182.7	153.5	25	0	10.3	0	1.6	5.5	19.5	56.2	93.8	732
5	1999	80.6	239.6	200.1	106.3	4.1	6.1	4.4	3.5	69.1	63.8	24.8	89	891
6	2000	165.9	237.4	135.1	18.4	37.6	5.4	8.1	31.3	8	77.1	13.9	146.4	885
7	2001	239.9	126.6	140.7	58.3	34.4	10.1	14.1	13.9	43.2	30.6	74.4	42.7	829
8	2002	98.4	149	126.3	57.1	11.9	5.2	52.3	19.7	63.9	26.5	54.5	136.2	801
9	2003	171.6	155.8	163.2	62.4	18.5	0	7	30.2	21.3	41	37.3	106.9	815
10	2004	73.6	138.5	125.8	26.7	0	31.2	15.7	16.4	29.2	41.8	41.9	158.4	699
11	2005	49.5	69.9	110.1	49.1	9.4	0	5	21.9	58.3	50.6	27.8	116.5	568
12	2006	229	140	135.4	69	0	17.4	0	33.9	11	34.2	78	130.3	878
13	2007	88.7	143.9	184.1	85.1	7.8	0.6	0	14	33.4	30.8	40.7	187.2	816
14	2008	230	148.1	94.5	15.4	2.6	5	0	3.8	0.6	33.5	31.1	156.8	721
15	2009	129.9	176	152	53.8	10.8	0	30.25	6.99	9.96	42.01	65.38	108	785
16	2010	139.8	134.4	126.6	54.68	10.99	3.49	0	6.54	18.67	37.73	25.02	120.7	679
17	2011	274.2	181.3	168.8	61.23	3.55	4.36	7.16	19.97	43.84	25.82	70.81	78.65	940
18	2012	140.6	205.2	140	95.9	0.32	1.02	3.51	6.49	26.68	44.86	40.72	134.7	840
19	2013	119.5	175.5	166.9	19.44	27.15	33.09	3.39	38.99	17.14	26.82	48.54	116.5	793
20	2014	183.3	97.6	154.2	52.6	16.07	2.26	6.16	6.87	44.36	72.69	28.59	96.29	761
21	2015	166	138.4	145	61.06	17.63	4.28	2.93	24.93	19.15	36.34	44.16	103.2	763
22	2016	47.28	123	143	39.56	6.87	2.16	7.65	13.03	21.79	49.1	29.05	100.1	583
23	2017	278.3	222.5	157.4	63	29.1	10.6	9.9	5.2	30.9	47.2	41.2	54.5	950
24	2018	190.5	154.1	176.9	41.5	3	29.3	33.2	37.4	16	35	26.2	83.5	827
25	2019	164	160.5	101.3	22.1	14.1	15.8	20.2	0	9.3	58.6	75.1	229.2	870
26	2020	76.4	134.3	39.7	9.45	18.78	0	0	13.02	14.28	82.56	21.8	38.6	449
27	2021	238.9	151.9	147.7	61.27	13.98	3.74	1.68	30.01	25.19	51.5	55.88	94.77	877
28	2022	176.5	158.5	112.5	34.7	1.1	1.9	0	2.2	5.4	19.9	17.2	120.1	650
29	2023	139.8	172.1	124.2	12.9	28.5	0	9.1	4.9	19.6	48.4	73.8	127.8	761
30	2024	160.4	163.3	170.1	52.1	5.04	1.84	3.63	9.35	14.6	26.54	66.2	110.6	784
N°DATOS		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
MEDIDIANA		164.95	153.00	141.84	52.35	10.10	3.62	4.70	13.47	19.38	39.37	41.55	109.31	794.93
DESV.STD		65.12	38.07	31.17	25.19	11.01	9.43	11.75	13.16	17.67	17.48	22.09	40.24	114.56
PP.MAX.		278.30	239.60	200.10	106.30	37.60	33.09	52.30	50.30	69.10	82.56	99.70	229.20	949.80
PP.MINIMO		47.28	69.90	39.70	9.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	8.50	13.90	38.60	448.89
PROMEDIO		160.67	157.13	139.69	47.95	12.39	6.89	8.57	16.16	24.63	40.90	46.98	111.44	773.40

REGISTRO DE PRECIPITACIÓN MENSUAL COMPLETADAS Y EXTENDIDAS

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS



REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)



Estación: **PAUCARAY**

Latitud : 14° 2' 37"

Dpto: Ayacucho

Parámetro: Precipitación Mensual (mm)

Longitud : 73° 38' 18"

Prov: Sucre

Altitud : 3106 msnm

Dist: Santiago de Paucaray

ITEM	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1995	113	80	124	39	0	0	0	6	37	20	76	59	554
2	1996	197	214.7	157	51	11.32	1.22	0	6	18	18	30	79	783
3	1997	154	141.8	56.33	28.01	0	0	4	46	36	23	61	163	713
4	1998	176	86	179	37	0	8	0	0	13	27	34	101	661
5	1999	57	195	133	80	8	12	8	0	48	50	25	137	753
6	2000	172	286	220	30	3	16	29	40	18	95	29	112	1050
7	2001	199	140	158	94	24	1	9	46	4	20	17	28	740
8	2002	71	159	144	36	5	9	51	13	17	22	62	62	651
9	2003	108	139	134	48	5	0	1	26	16	51	37	123	688
10	2004	82	176	106	24	2	22	24	16	36	21	19	78	606
11	2005	97	131	129	52	12	0	8	11.27	48	64.84	6	141	700
12	2006	196	139	106	65	0	6	0	26	6	48	54.76	107	754
13	2007	106	119	223	46	4	0	1	2	20.94	38	69	137	766
14	2008	178	161	79	31	0	4	0	0	6	49.21	16	70	594
15	2009	147	189	131	44	4	0	16	6	17	58	87	40	739
16	2010	88	135	113.1	61	10.27	1.79	0.03	0.99	16.45	51.09	25.83	138	642
17	2011	252.2	166.6	176.3	32.64	4.03	6.71	2.24	10.83	19.59	27.49	57.59	68.74	825
18	2012	131.3	261.2	176.3	45.75	0.77	2.62	1.56	3.18	19.22	46.64	43.48	111.9	844
19	2013	133.8	175.2	140.2	32.43	14.44	22.94	3.56	48.41	16.45	41.95	60.24	80.02	770
20	2014	174.9	96.16	120.5	47.24	13.49	1.55	1.29	3.18	36.08	67.95	37.8	78	678
21	2015	126.5	154.4	130.2	54.92	7.82	2.87	1.44	32.36	23.75	38.37	43.77	86.53	703
22	2016	59.14	135.7	108.2	37.81	1.57	2.64	1.94	5.59	41.64	52.06	18.57	94.54	559
23	2017	258.4	209.2	174.5	50.1	18	18.8	5.5	3.2	28.6	60.5	71.6	132.6	1031
24	2018	153	129.7	148.1	43.1	1.3	31.6	28.9	28	8.1	37.4	39.4	78.9	728
25	2019	185.3	179.5	150.6	30.3	9.7	4.4	20.5	0	17.8	46.5	75.2	147.7	868
26	2020	106.4	224.7	33.5	19.4	0.6	0.11	0	7.3	10.7	98.2	15.2	140.8	657
27	2021	208.5	147.2	181.1	75	12	5.3	3.6	11	30	66.7	95.7	94.2	930
28	2022	195.1	160.5	134.7	20.7	0.6	4.6	0	4.9	4.2	0.5	15.3	121	662
29	2023	125.6	128	106.7	31.6	25.3	0	20.9	1.8	50.9	59	107	88.9	746
30	2024	201.1	143.5	104.9	17.9	0.39	1.02	2.39	3.15	13.8	39.98	65.6	95.63	689
N°DATOS		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
MEDIDIANA		150.00	150.82	133.50	41.05	4.02	2.76	2.32	6.00	18.00	46.57	41.44	95.09	720.34
DESV.STD		53.79	46.39	41.58	18.02	7.13	8.20	12.14	15.38	13.55	21.87	26.61	33.51	119.02
PP.MAX.		258.40	286.00	223.00	94.00	25.30	31.60	51.00	48.41	50.90	98.20	107.00	163.00	1050.00
PP.MINIMO		57.00	80.00	33.50	17.90	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.50	6.00	28.00	554.00
PROMEDIO		148.41	160.10	135.94	43.50	6.62	6.21	8.16	13.61	22.61	44.65	46.50	99.82	736.11

REGISTRO DE PRECIPITACIÓN MENSUAL COMPLETADAS Y EXTENDIDAS

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS



REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)



Estación: **HUANCASANCOS**

Latitud : 13° 55' 1"

Dpto: Ayacucho

Parámetro: Precipitación Mensual (mm)

Longitud : 74° 20' 1"

Prov: Huanca Sancos

Altitud : 3440 msnm

Dist: Sancos

ITEM	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1995	113	80	124	39	0	0	0	6	37	20	76	59	554
2	1996	197	214.7	157	51	11.32	1.22	0	6	18	18	30	79	783
3	1997	154	141.8	56.33	28.01	0	0	4	46	36	23	61	163	713
4	1998	176	86	179	37	0	8	0	0	13	27	34	101	661
5	1999	57	195	133	80	8	12	8	0	48	50	25	137	753
6	2000	172	286	220	30	3	16	29	40	18	95	29	112	1050
7	2001	199	140	158	94	24	1	9	46	4	20	17	28	740
8	2002	71	159	144	36	5	9	51	13	17	22	62	62	651
9	2003	108	139	134	48	5	0	1	26	16	51	37	123	688
10	2004	82	176	106	24	2	22	24	16	36	21	19	78	606
11	2005	97	131	129	52	12	0	8	11.27	48	64.84	6	141	700
12	2006	196	139	106	65	0	6	0	26	6	48	54.76	107	754
13	2007	106	119	223	46	4	0	1	2	20.94	38	69	137	766
14	2008	178	161	79	31	0	4	0	0	6	49.21	16	70	594
15	2009	147	189	131	44	4	0	16	6	17	58	87	40	739
16	2010	88	135	113.1	61	10.27	1.79	0.03	0.99	16.45	51.09	25.83	138	642
17	2011	252.2	166.6	176.3	32.64	4.03	6.71	2.24	10.83	19.59	27.49	57.59	68.74	825
18	2012	131.3	261.2	176.3	45.75	0.77	2.62	1.56	3.18	19.22	46.64	43.48	111.9	844
19	2013	133.8	175.2	140.2	32.43	14.44	22.94	3.56	48.41	16.45	41.95	60.24	80.02	770
20	2014	174.9	96.16	120.5	47.24	13.49	1.55	1.29	3.18	36.08	67.95	37.8	78	678
21	2015	126.5	154.4	130.2	54.92	7.82	2.87	1.44	32.36	23.75	38.37	43.77	86.53	703
22	2016	59.14	135.7	108.2	37.81	1.57	2.64	1.94	5.59	41.64	52.06	18.57	94.54	559
23	2017	258.4	209.2	174.5	50.1	18	18.8	5.5	3.2	28.6	60.5	71.6	132.6	1031
24	2018	153	129.7	148.1	43.1	1.3	31.6	28.9	28	8.1	37.4	39.4	78.9	728
25	2019	185.3	179.5	150.6	30.3	9.7	4.4	20.5	0	17.8	46.5	75.2	147.7	868
26	2020	106.4	224.7	33.5	19.4	0.6	0.11	0	7.3	10.7	98.2	15.2	140.8	657
27	2021	208.5	147.2	181.1	75	12	5.3	3.6	11	30	66.7	95.7	94.2	930
28	2022	195.1	160.5	134.7	20.7	0.6	4.6	0	4.9	4.2	0.5	15.3	121	662
29	2023	125.6	128	106.7	31.6	25.3	0	20.9	1.8	50.9	59	107	88.9	746
30	2024	201.1	143.5	104.9	17.9	0.39	1.02	2.39	3.15	13.8	39.98	65.6	95.63	689
N°DATOS		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
MEDIDIANA		150.00	150.82	133.50	41.05	4.02	2.76	2.32	6.00	18.00	46.57	41.44	95.09	720.34
DESV.STD		53.79	46.39	41.58	18.02	7.13	8.20	12.14	15.38	13.55	21.87	26.61	33.51	119.02
PP.MAX.		258.40	286.00	223.00	94.00	25.30	31.60	51.00	48.41	50.90	98.20	107.00	163.00	1050.00
PP.MINIMO		57.00	80.00	33.50	17.90	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.50	6.00	28.00	554.00
PROMEDIO		148.41	160.10	135.94	43.50	6.62	6.21	8.16	13.61	22.61	44.65	46.50	99.82	736.11

REGISTRO DE PRECIPITACIÓN MENSUAL COMPLETADAS Y EXTENDIDAS

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS



REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)



Estación: **ANDAHUAYLAS**

Latitud 13° 39' 24"

Dpto: Apurímac

Parámetro: Precipitación Mensual (mm)

Longitud 73° 22' 14"

Prov: Andahuaylas

Altitud : 2866 msnm

Dist: Andahuaylas

ITEM	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1995	117.2	92.6	170.7	42.2	2.8	8.1	20.7	6.7	8.8	23.8	35	62.3	591
2	1996	154.5	176.8	104.7	66.8	11.6	0.1	4.5	37.6	24	33.3	46.4	33.4	694
3	1997	141.3	143.7	110.4	38.7	15.3	2.2	2.8	53.7	33.3	32.9	84.2	53.5	712
4	1998	160.1	81.7	78.1	58.1	0.5	6	0.5	1.2	3.2	42.4	47.5	66.7	546
5	1999	113.2	148.8	132.1	45.6	9.2	3.5	13.5	0.5	84.6	34.6	33.9	89.1	709
6	2000	127.3	188.4	129.6	21.5	5.8	23.5	20	17.1	21.4	112.3	39.3	83.5	790
7	2001	212.7	110.9	153.4	28.3	73.1	10.2	19.5	30	30.8	37	59.1	98.9	864
8	2002	74	116.1	133.8	39.6	29	2.4	32.4	19.3	40.8	53.4	61.2	100.6	703
9	2003	105	142.9	148.2	59.5	15	12.8	4.3	36.7	50	24.7	25.6	97.1	722
10	2004	95.8	133.3	70.8	54.5	10.2	11.9	39.4	17.6	38.1	31.7	54.5	113.1	671
11	2005	83.8	71.3	112	19	3.3	0	12.3	6.8	26	91.8	64.7	96.2	587
12	2006	203.5	98	138.5	22.2	3.4	7.3	0	5	27.2	45.5	103.6	69	723
13	2007	100.7	90.1	137.4	38.8	18.7	0	17.8	10.8	9.9	59.4	47.8	156.7	688
14	2008	150.6	99.8	88.3	49	20.7	9.4	1	5.2	16.2	47.8	40.4	85.1	614
15	2009	137.7	123.2	85.5	61.6	14.3	0	20.5	3.7	5.7	30.1	67.7	91.4	641
16	2010	159.5	102.2	75.8	37.4	27	0.7	1.2	8.3	29.2	63.9	31.2	96.1	633
17	2011	226	204.4	113.9	39	11.2	6.9	8.6	9.5	41.4	41.8	64.7	94.3	862
18	2012	181	248.2	154.5	59.4	16.5	11.8	10.58	10	37.9	50.7	32.2	222.1	1035
19	2013	132.8	170.3	98.3	8.9	6.3	23.7	24.2	50.6	26.5	38.9	34	114.5	729
20	2014	218.5	113.3	120.7	36.4	57.5	0	10.2	3.9	54.7	52.1	26	90.3	784
21	2015	138.4	139.1	146.7	35.7	20.7	2.7	12.6	36.4	11.8	54.3	60.1	122.5	781
22	2016	42.6	176.7	26.5	37.2	0.6	8.6	10.8	15.3	3.6	46.3	39	42.1	449
23	2017	205.9	131.3	127.8	54.8	30.9	0	3.8	5.1	37	56	50.6	85.8	789
24	2018	113.8	90.3	118.2	33.8	5	22.1	21.8	39.6	8	54.4	46.2	72.5	626
25	2019	160.7	156.3	98.8	30.8	14.6	0	14.3	0	19.5	52.9	97	114	759
26	2020	89	86.7	48.4	24.89	0	2	0	6.71	13.8	73.6	9	100.5	455
27	2021	152.5	84.7	138.8	66.2	14.9	0.6	1.2	19.35	22.09	40.21	47.38	75.21	663
28	2022	167.3	153.1	128	41.74	7.16	0.69	0.06	2.53	24.57	37.38	18.51	121	702
29	2023	133.6	119.2	142.4	21.64	19.14	1.2	5.55	1.7	45.7	72.6	91.5	65.1	719
30	2024	140.7	122.8	146.9	15	9.68	1.05	12.5	19.9	13.6	40.37	65.45	60.5	648
N°DATOS		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
MEDIDIANA		139.55	122.98	124.25	38.75	12.95	2.55	10.69	9.75	25.29	45.90	47.44	90.85	702.33
DESV.STD		44.64	41.09	33.33	15.61	15.92	7.15	10.10	15.43	17.76	19.23	22.67	35.52	117.09
PP.MAX.		226.00	248.20	170.70	66.80	73.10	23.70	39.40	53.70	84.60	112.30	103.60	222.10	1034.88
PP.MINIMO		42.60	71.30	26.50	8.90	0.00	0.00	0.00	0.00	3.20	23.80	9.00	33.40	449.30
PROMEDIO		141.32	130.54	115.97	39.61	15.80	5.98	11.55	16.03	26.98	49.21	50.79	92.44	696.22

2. PANEL FOTOGRÁFICO DE LA VISITA A CAMPO Y EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DE LA CUENCA



Fotografía N°1: Suelo erosionable del Centro poblado de Querobamba



Fotografía N°2: Suelo erosionable del Centro poblado de Chonta



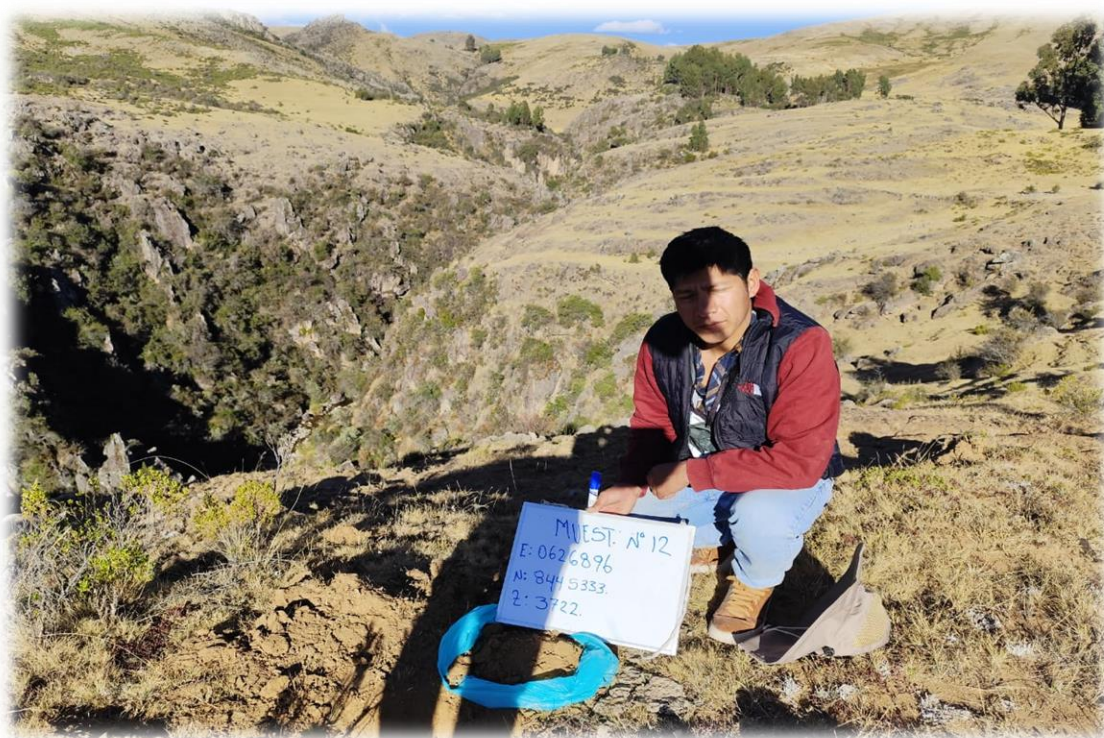
Fotografía N°3: Extracción de muestras de N° 15 de cuenca Chonta



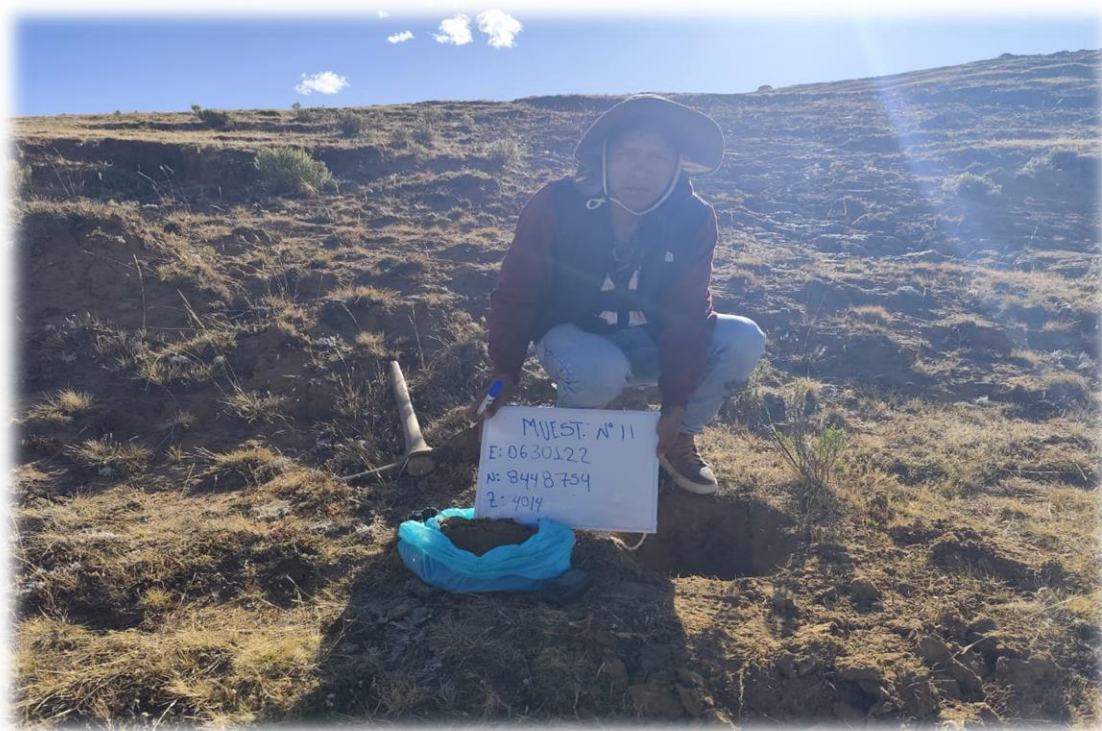
Fotografía N°4: Extracción de muestras de N° 14 de cuenca Chonta



Fotografía N°5: Extracción de muestras de N° 13 de cuenca Chonta



Fotografía N°6: Extracción de muestras de N° 12 de cuenca Chonta



Fotografía N°7: Extracción de muestras de N° 11 de cuenca Chonta



Fotografía N°8: Extracción de muestras de N° 10 de cuenca Chonta



Fotografía N°9: Extracción de muestras de N° 09 de cuenca Chonta



Fotografía N°10: Extracción de muestras de N° 08 de cuenca Chonta



Fotografía N°11: Extracción de muestras de N° 07 de cuenca Chonta



Fotografía N°12: Extracción de muestras de N° 06 de cuenca Chonta



Fotografía N°13: Extracción de muestras de N° 05 de cuenca Chonta



Fotografía N°14: Extracción de muestras de N° 04 de cuenca Chonta



Fotografía N°15: Extracción de muestras de N° 03 de cuenca Chonta



Fotografía N°16: Extracción de muestras de N° 02 de cuenca Chonta



Fotografía N°17: Extracción de muestras de N° 01 de cuenca Chonta



Fotografía N°18: Suelo erosionable de la cuenca Chonta

3. RESULTADO DEL ANALISIS FÍSICO DEL SUELO DE LA CUENCA CHONTA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN EN PASTOS Y GANADERIA
LABORATORIO DE SUELOS Y ANALISIS FOLIAR

Jr. Abraham Valdelomar N° 249 — Teléfono. 315936 966942996

Ayacucho — Perú

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra independencia y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

Región : Ayacucho HR. 0078
Provincia : Sucre
Distrito : Querobamba
Localidad : Cuenca Chonta
Proyecto : "TESIS"
Solicitante : Sr. Dayco Nahui Atao

ANÁLISIS FÍSICO DE SUELO

Muestra	Lugar	Este	Norte	Cota	Análisis Granulométrico				Clase Textural
					%Arena	%Limo	%Arcilla	% Orgánico	
M1	C.P. Chonta	622500	8455152	2585	55.3	22.5	22.2	8.3	Fr - Ar - Ao
M2	C.P. Chonta	622566	8453898	3170	63.3	20.5	16.2	5.3	Ar - Ao
M3	C.P. Chonta	623100	8454743	2711	57.3	26.5	16.2	6.4	Fr - Ao
M4	C.P. Chonta	626055	8455501	3494	71.3	18.5	10.2	2.7	Fr - Ao
M5	C.P. Chonta	625142	8453827	2868	69.3	16.5	14.2	4.8	Fr - Ao
M6	C.P. Ccollcabamba	624486	8450913	3525	39.3	26.5	34.2	11.4	Fr - Ao
M7	C.P. Pomabamba	630769	8455294	4262	71.3	16.5	12.2	2.4	Fr - Ao
M8	C.P. Ccollcabamba	628332	8452399	3719	71.3	15.5	13.2	3.3	Fr - Ao
M9	C.P. Ccollcabamba	625832	8449214	3529	53.3	26.5	20.2	7.4	Fr - Ao
M10	C.P. Pomabamba	632988	8451290	4324	53.3	23.5	23.2	8.3	Fr - Ar - Ao
M11	Huatanosa	630122	8448754	4014	53.3	20.5	26.2	6.2	Fr - Ar - Ao
M12	Huatanosa	626896	8445333	4724	51.3	22.5	26.2	9.3	Fr - Ar - Ao
M13	C.Ajumio	629831	8444791	4320	61.3	30.5	8.2	5.4	Fr - Ao
M14	C.Ajumio	632217	8445455	4066	43.3	44.5	12.2	10.6	Fr
M15	C.Ajumio	634610	8447432	4033	39.3	47.5	13.2	12.3	Fr

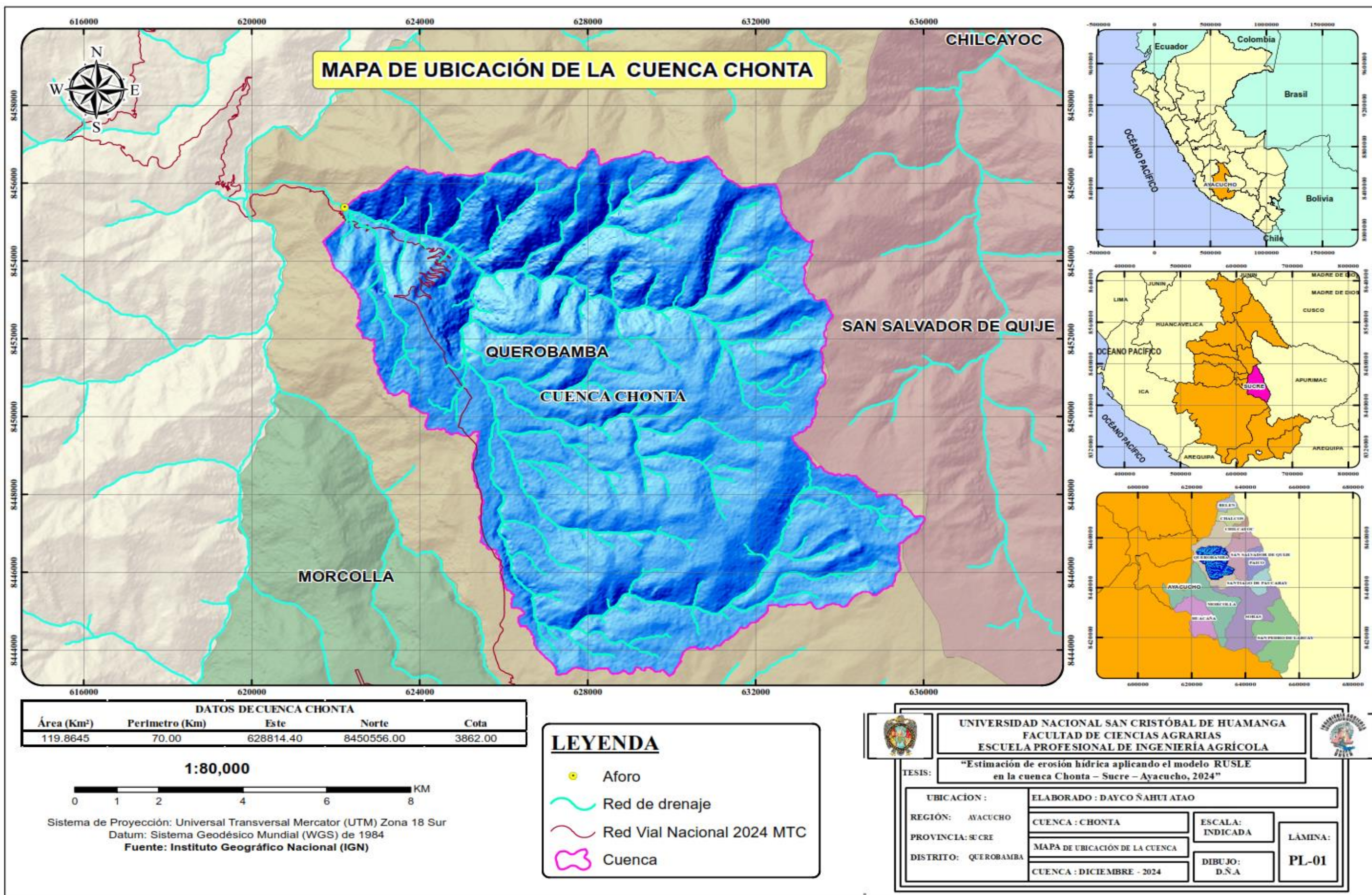
Ayacucho, 20 de setiembre del 2024.

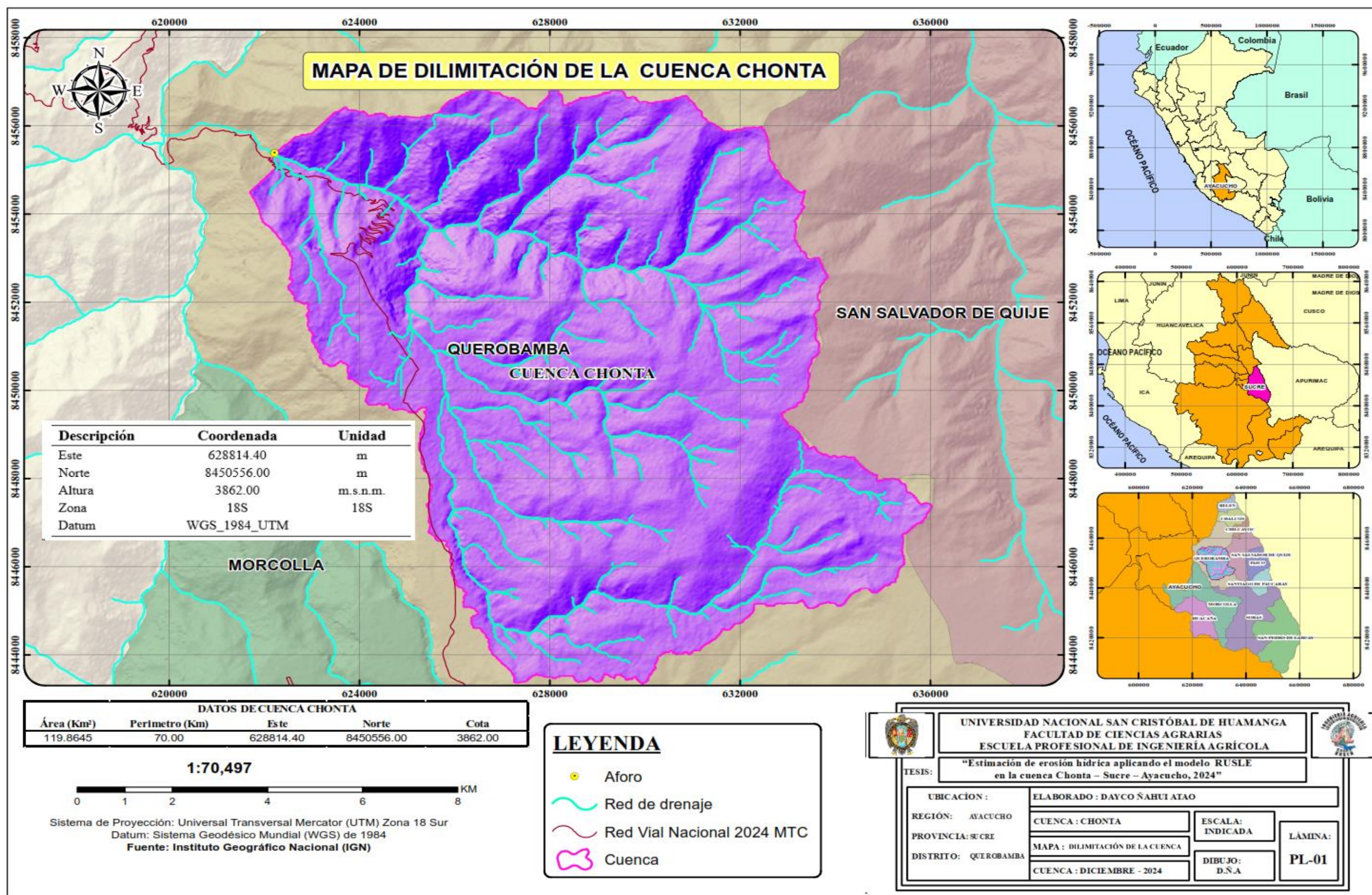
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS
PLANTA, AGUAS Y FERTILIZANTES
RESPONSABLE

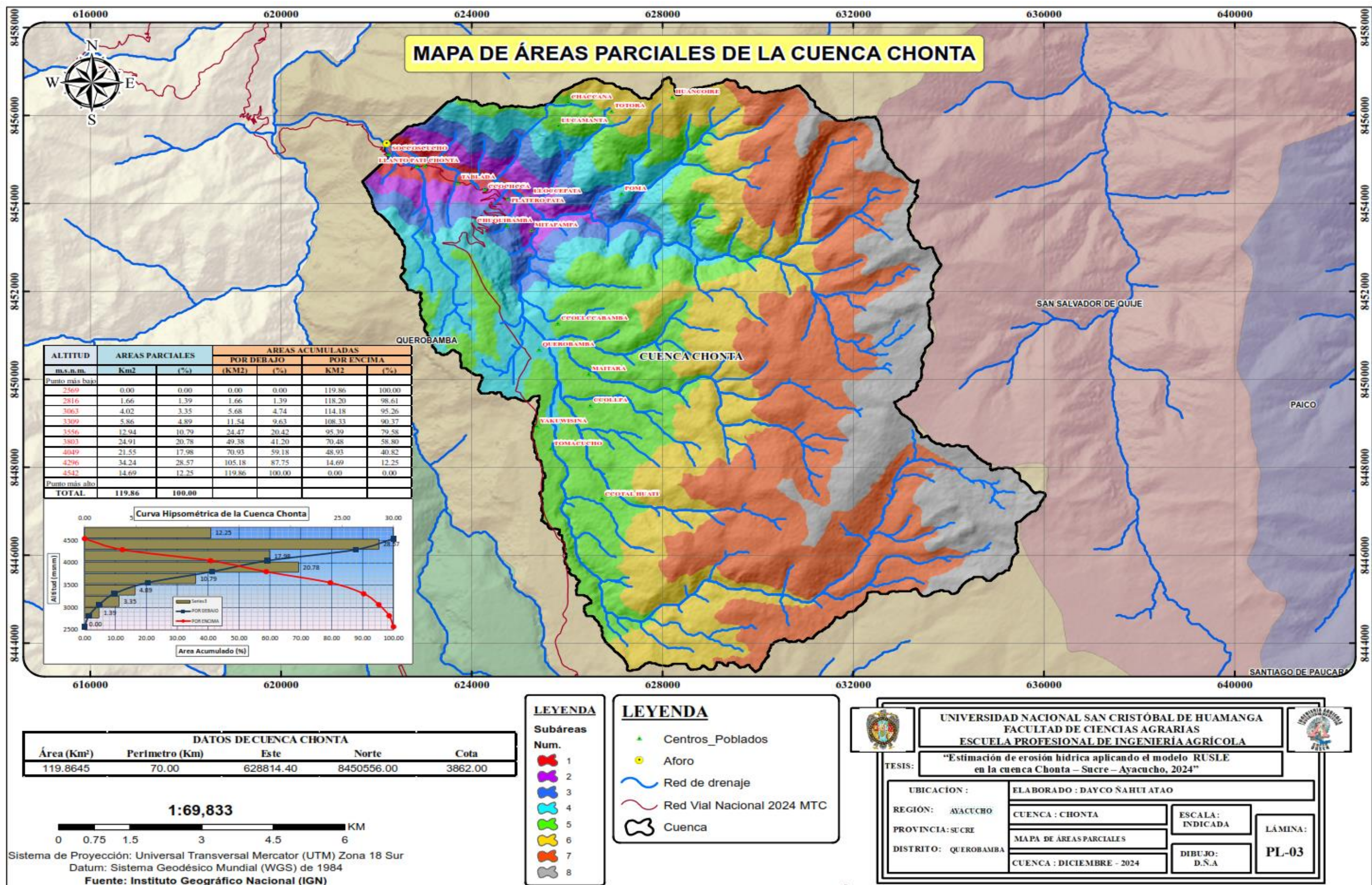
Juan B. Grón Molina
C.I.P. 77120

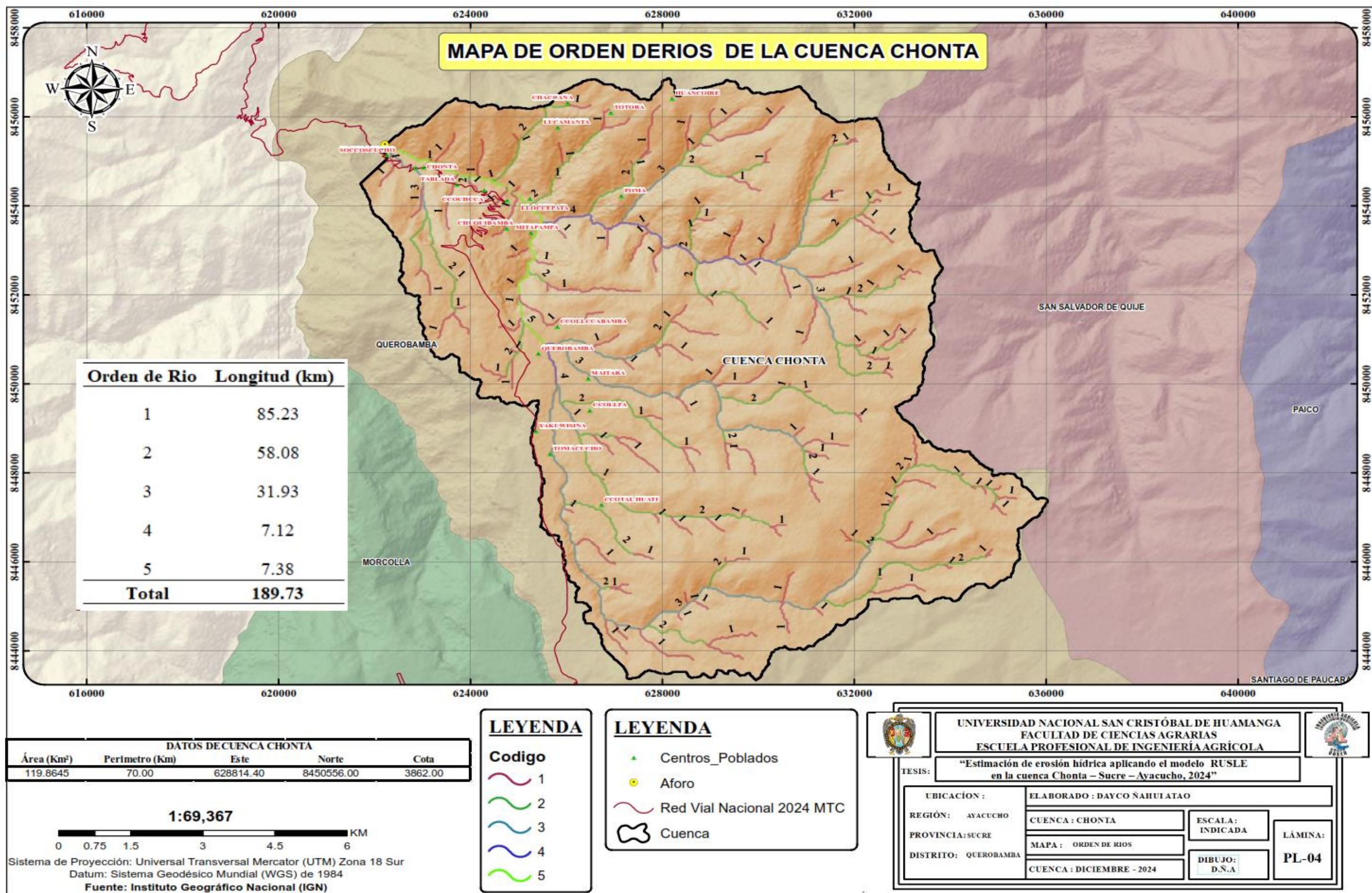
Ao: Arenoso; Ao-Fr: Arena franca; Fr-Ao: Franco arenoso; Fr: Franco; Fr-L: Franco limoso; L: Limoso;
Fr-Ar-Ao: Franco arcilla arenoso; Fr - Ar: Franco arcilloso; Fr - Ar - L: Franco arcillo limoso; Arcillo
arenoso; Ar - L: Arcillo limoso; Ar: Arcilloso

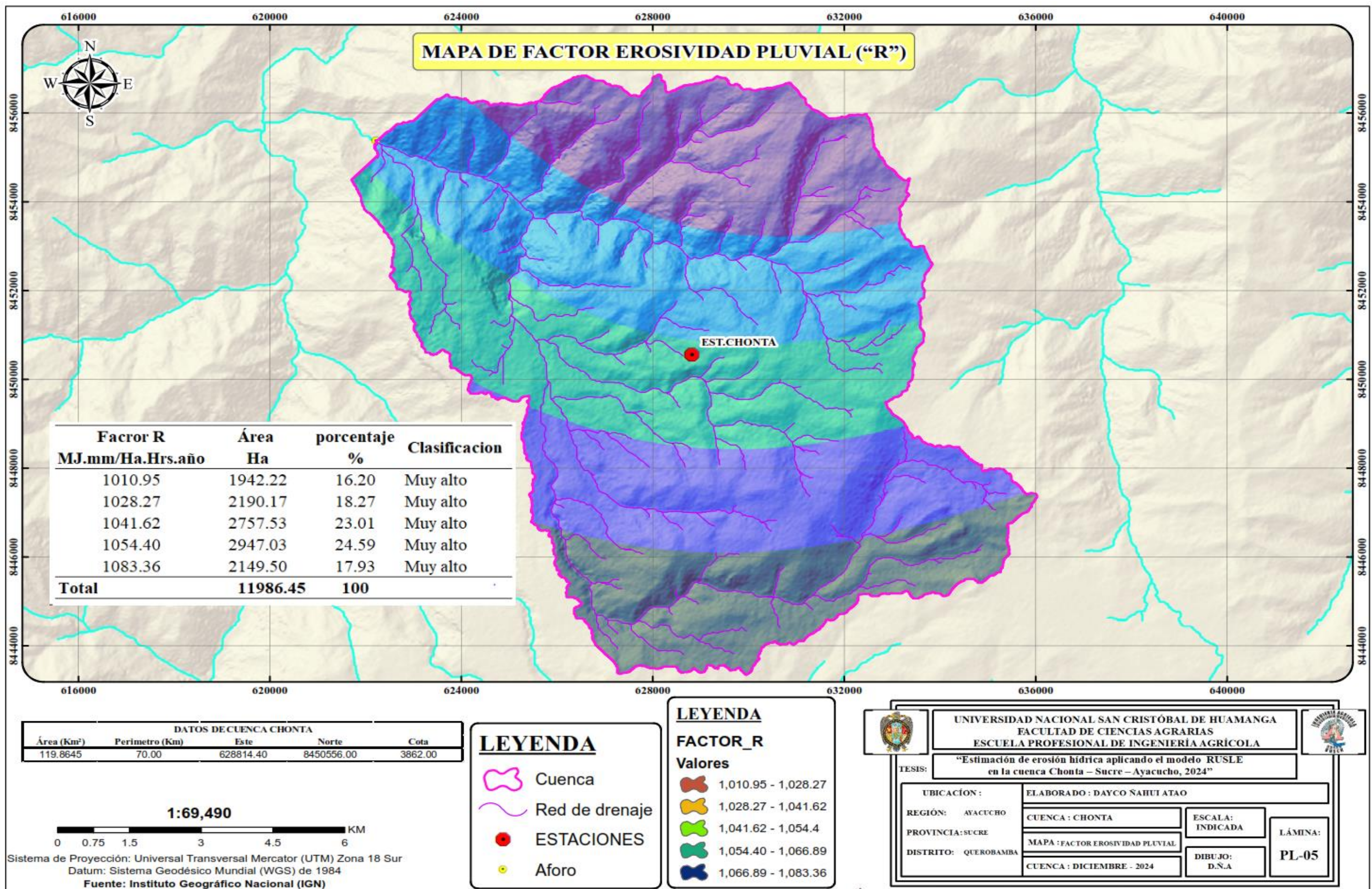
4. MAPAS DE LA CUENCA CHONTA

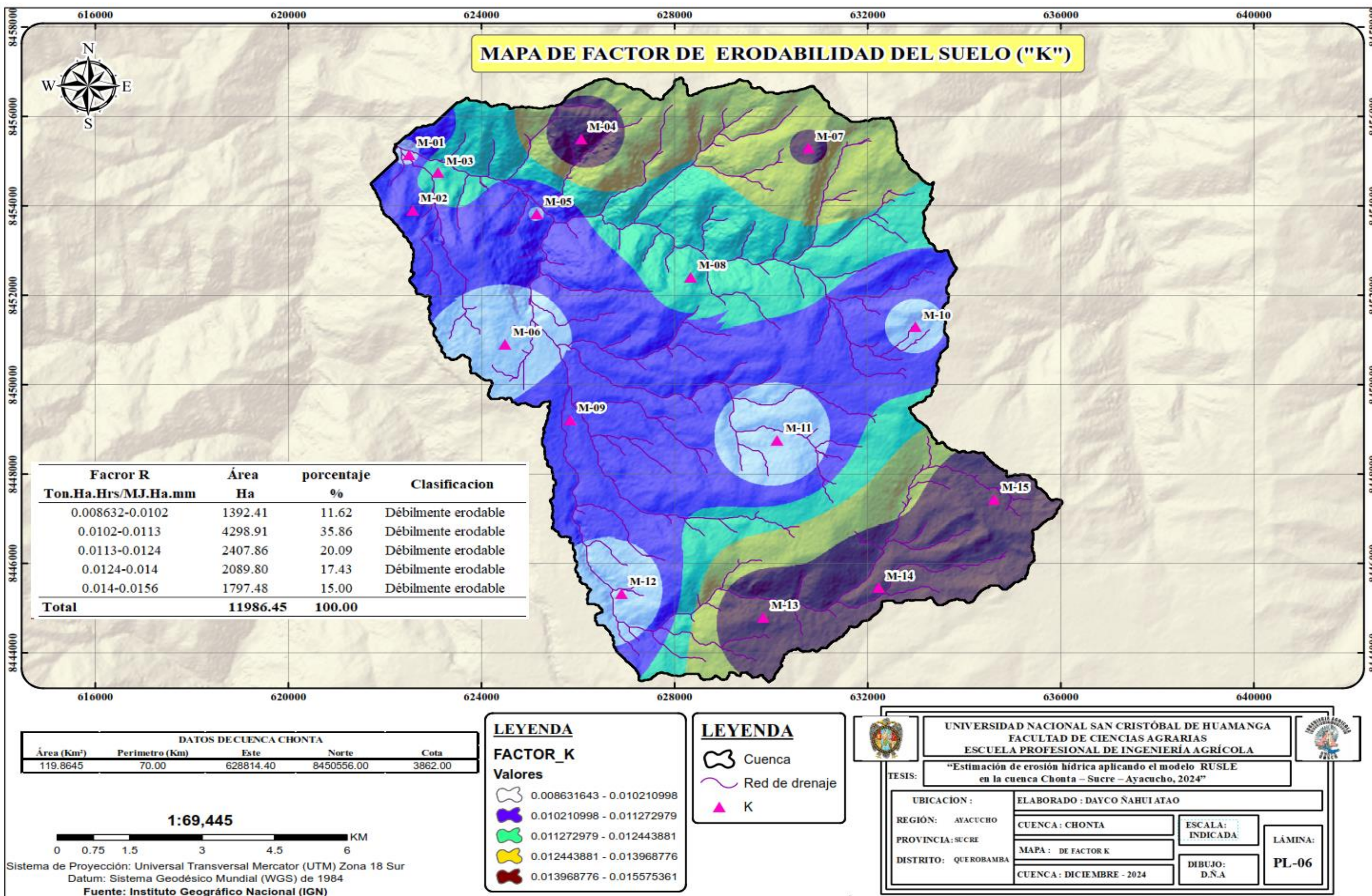


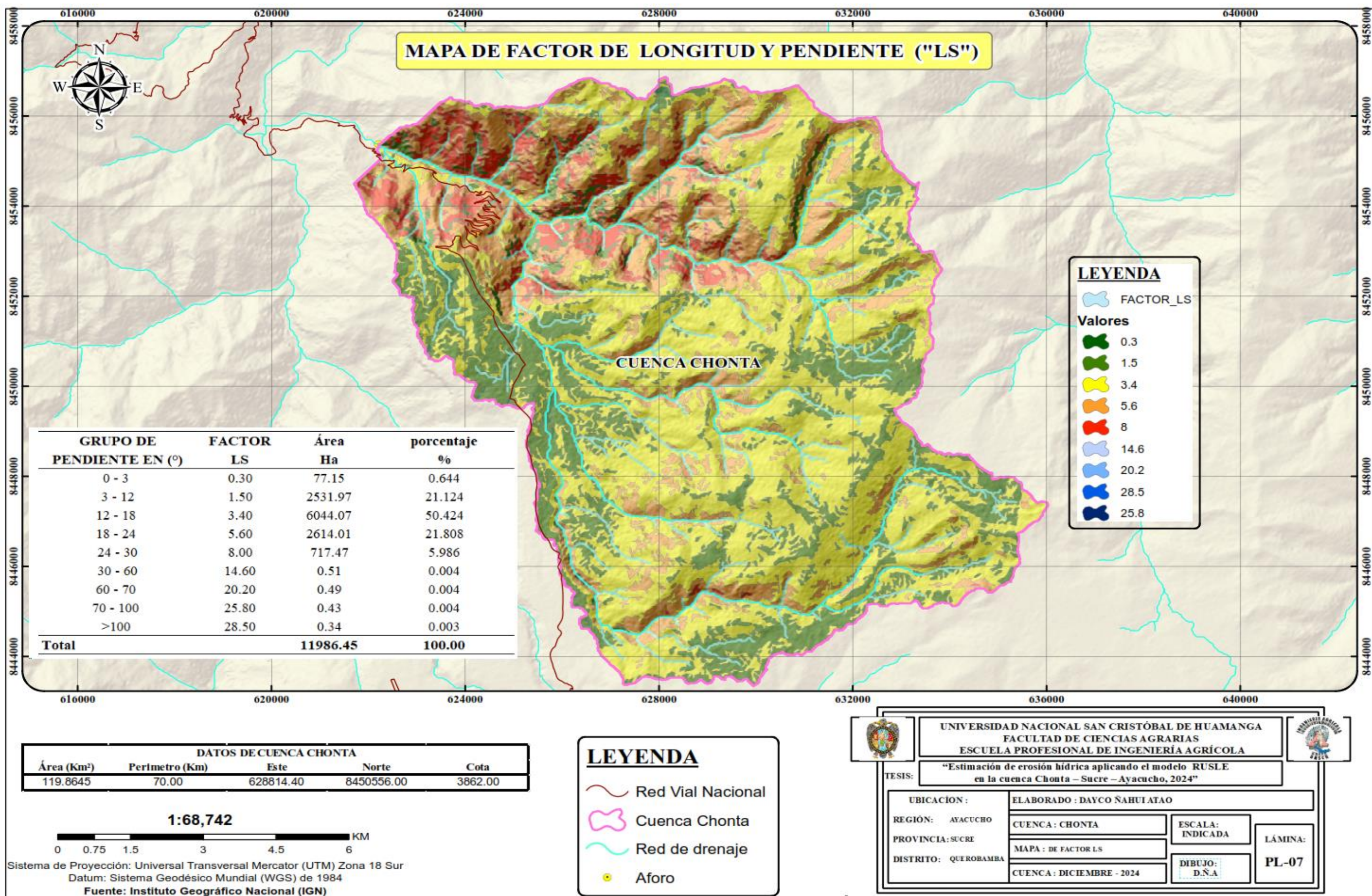


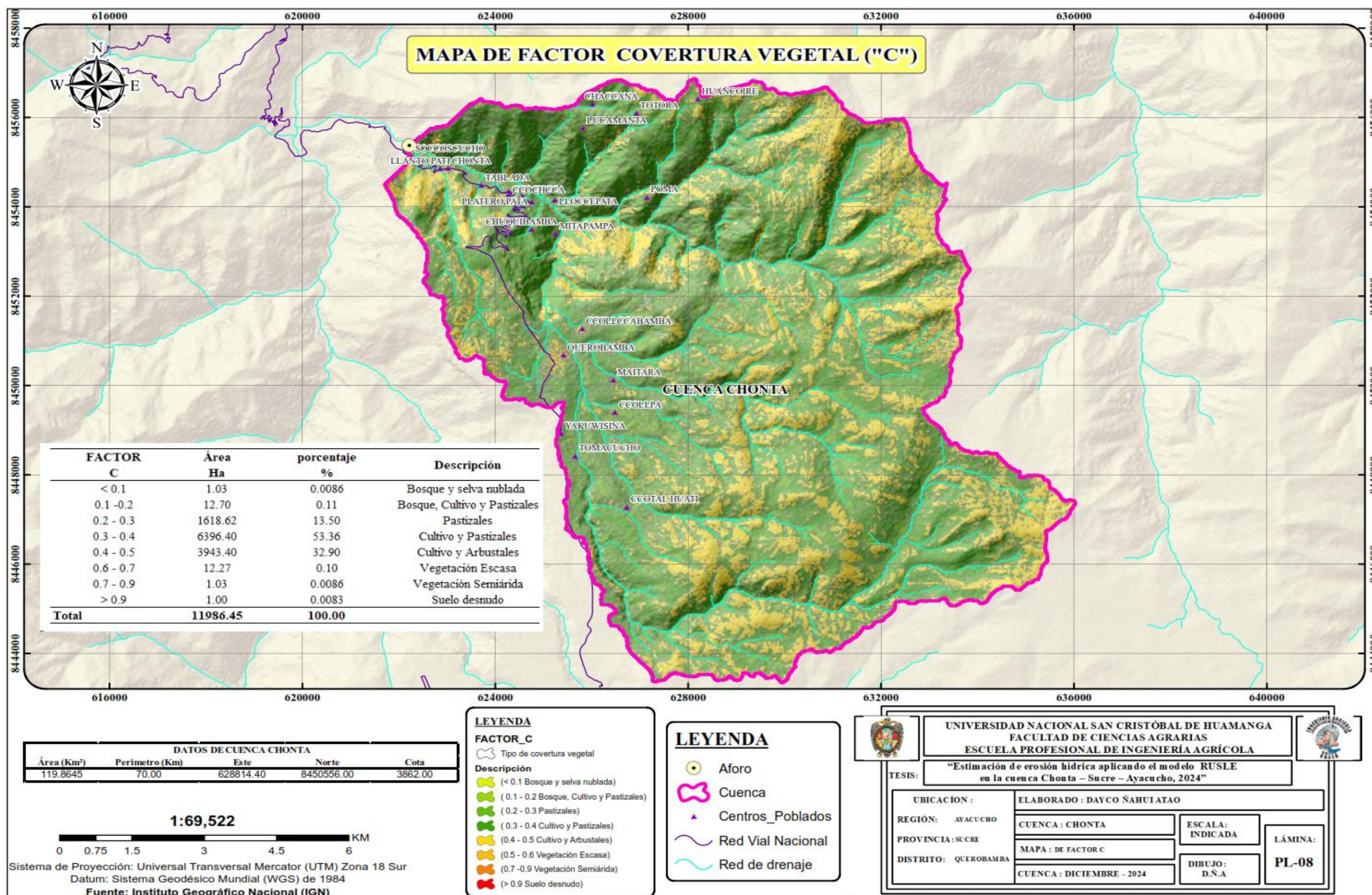


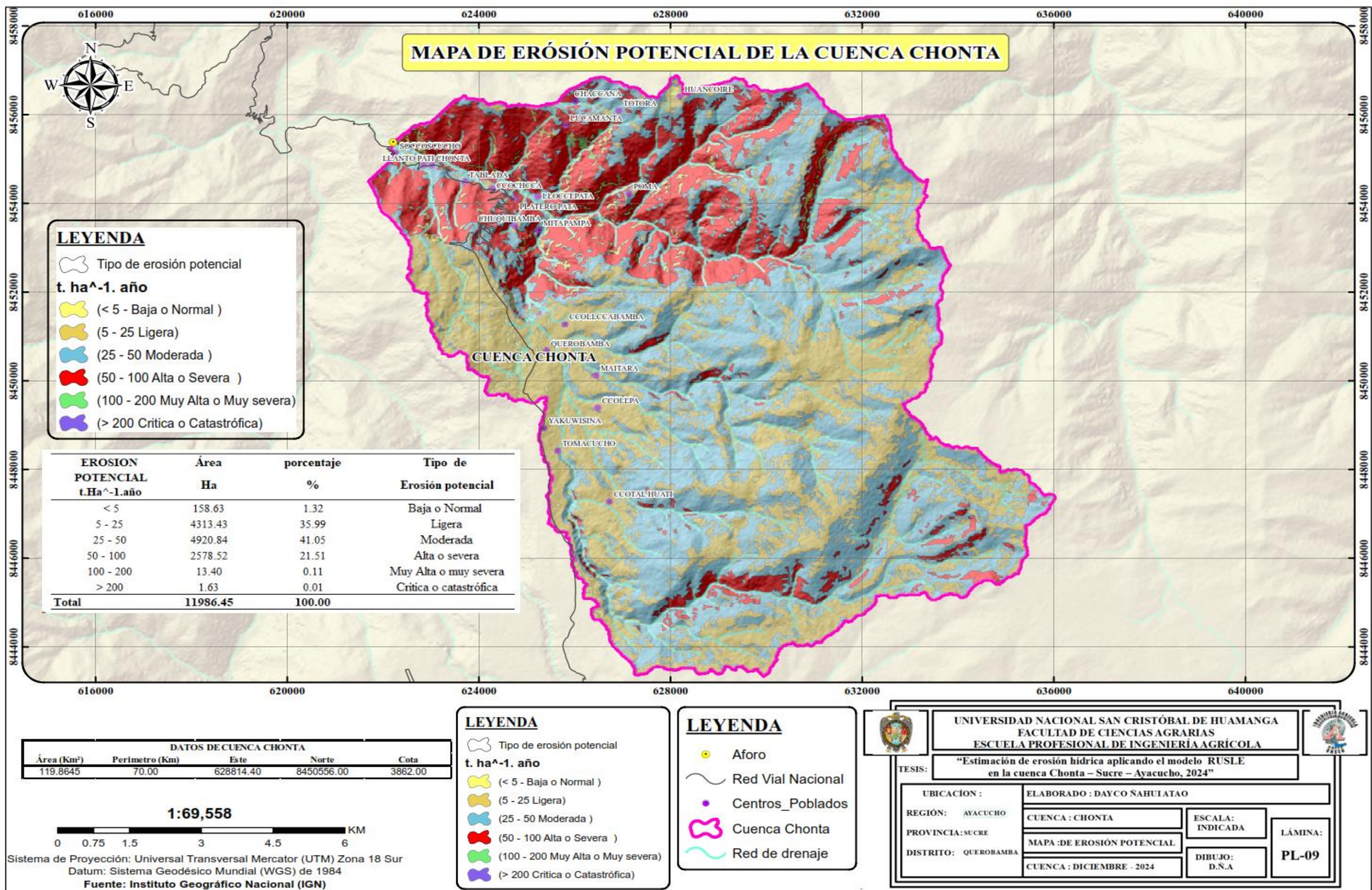


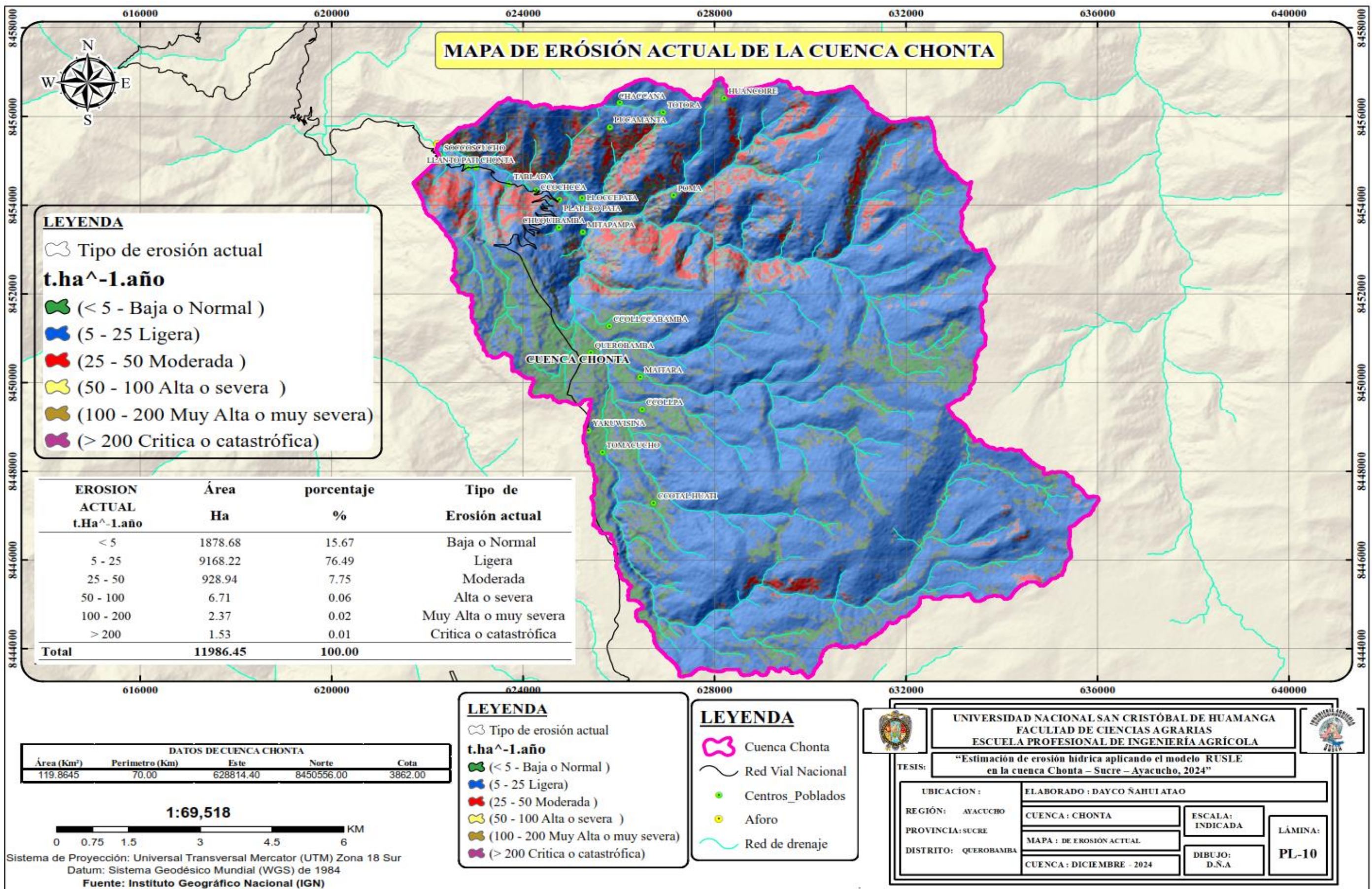


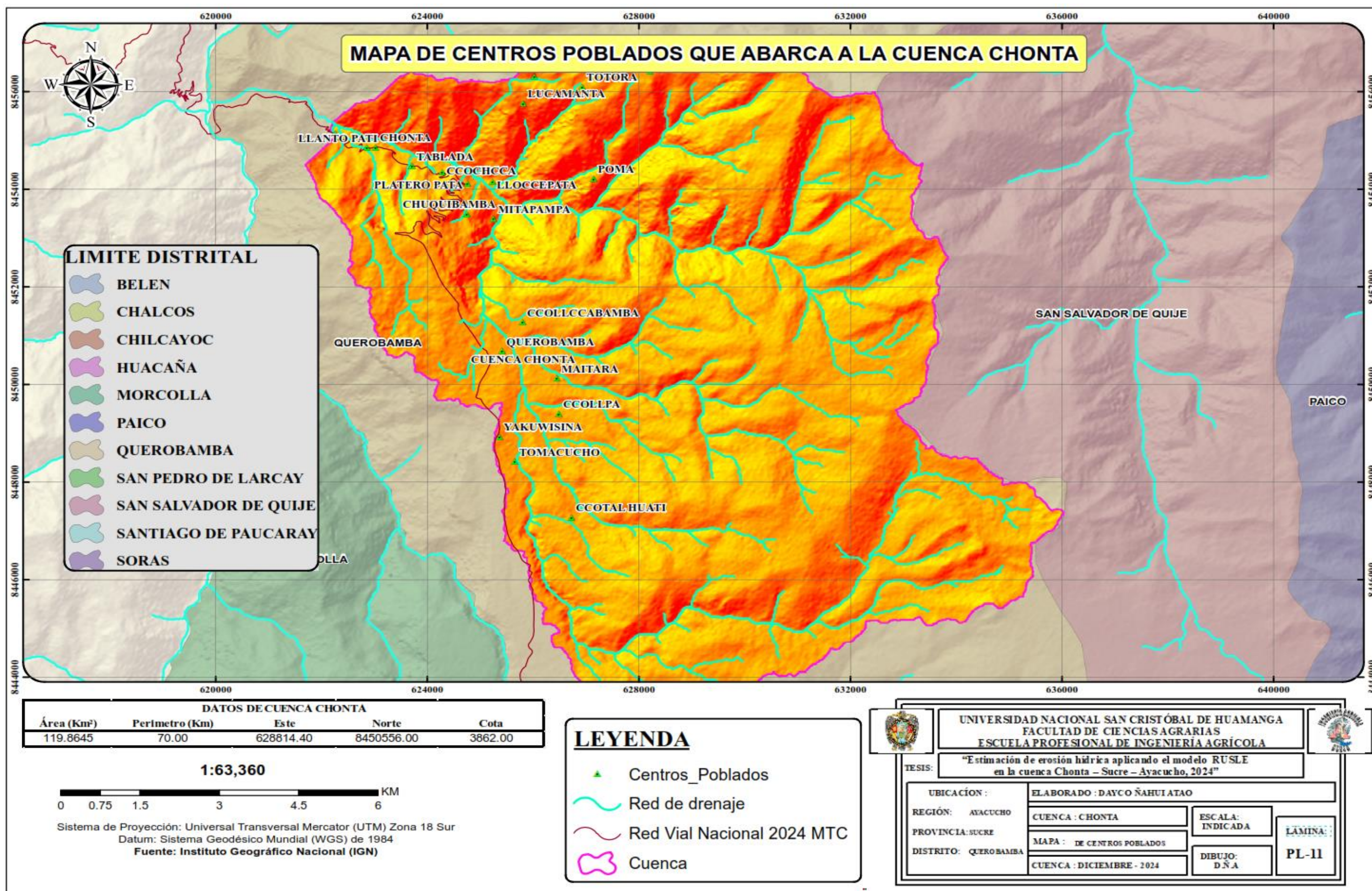


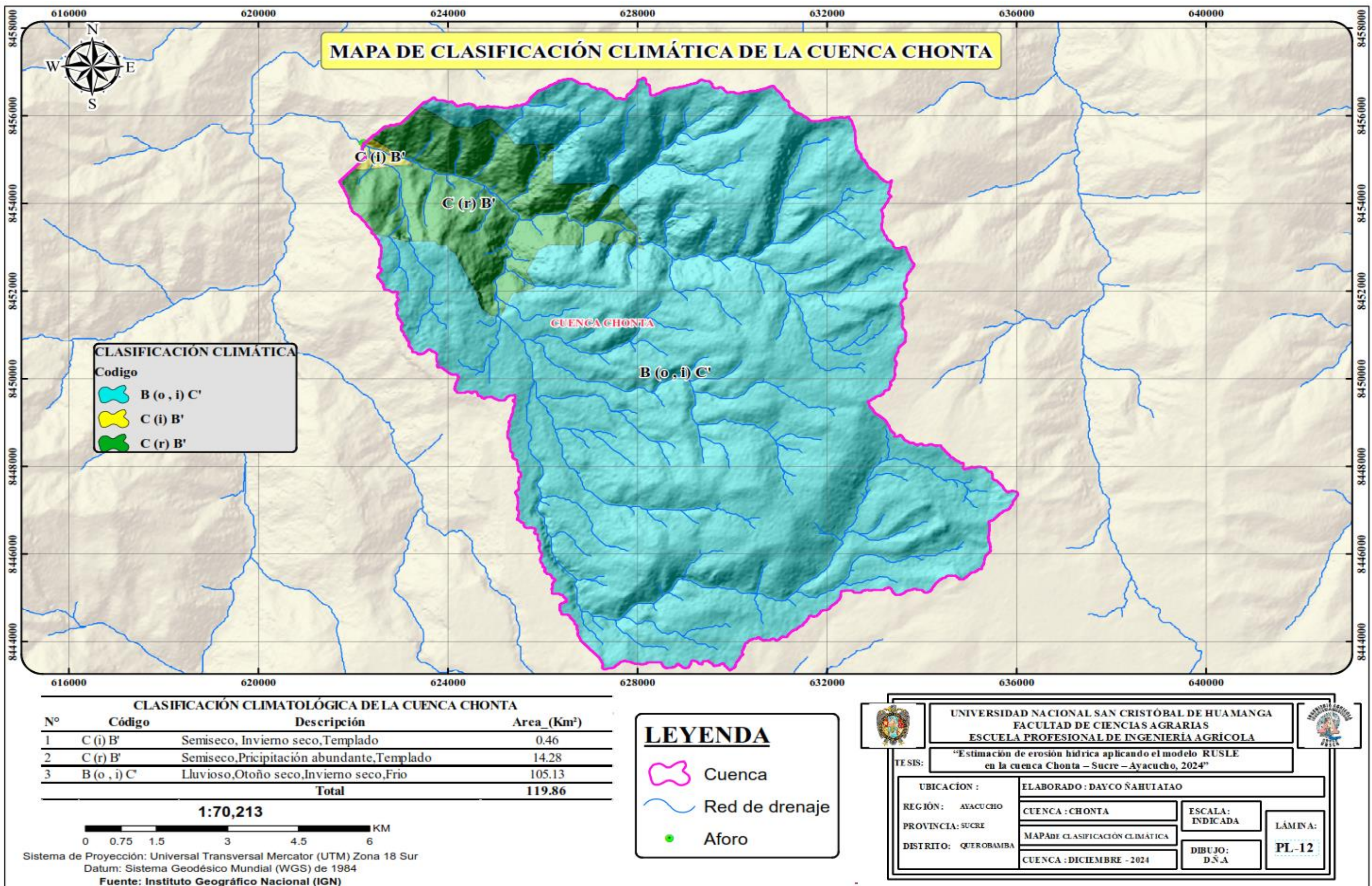


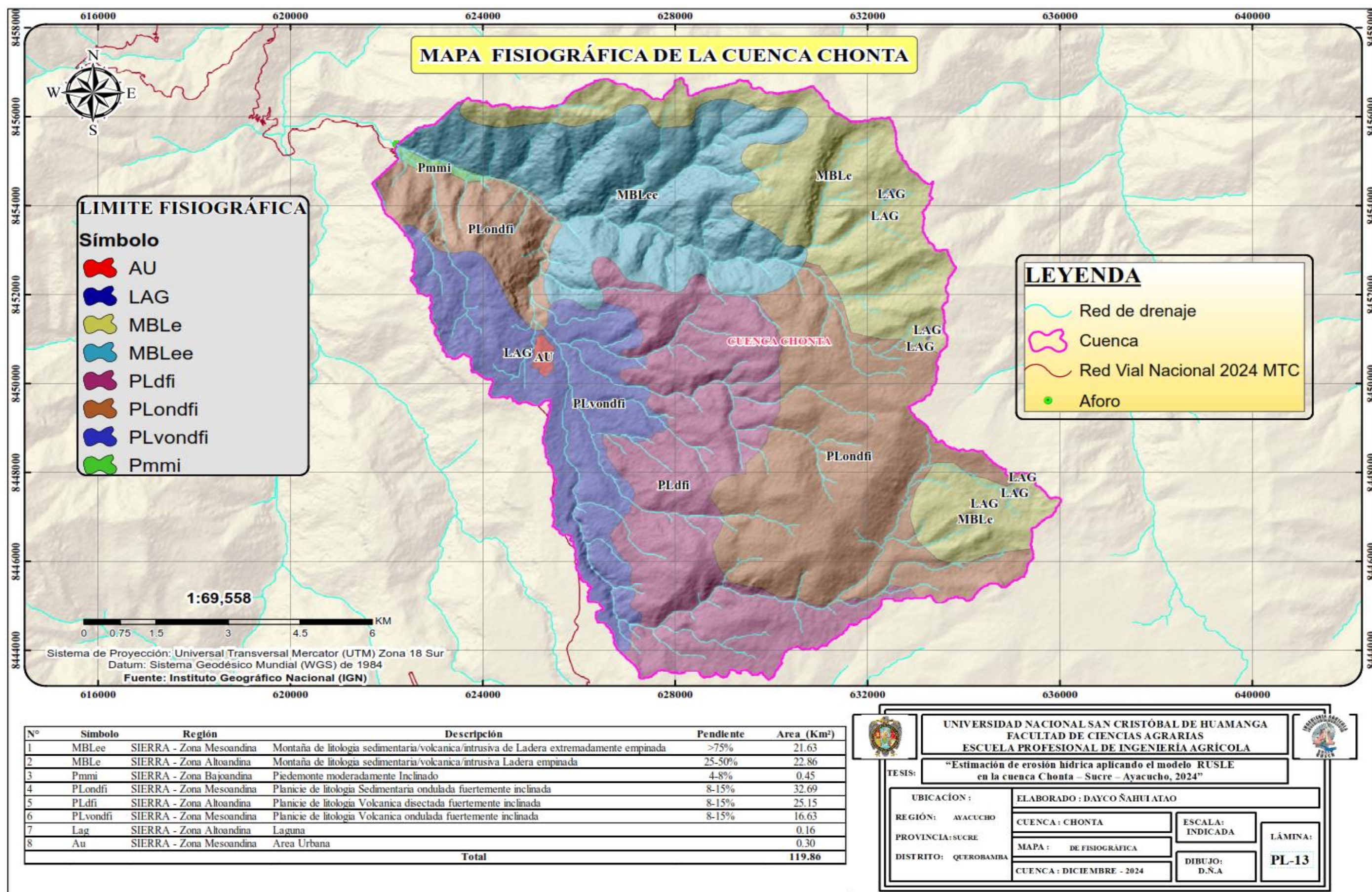












**UNSCH**FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS****Bach. DAYCO ÑAHUI ATAÓ****R.D. N° 071-2025-UNSCH-FCA-D**

En la ciudad de Ayacucho a los veinticuatro días del mes de abril del año dos mil veinticinco, siendo las dieciocho horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Felipe Escobar Ramírez Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por Ph.D. Sandra Del Águila Ríos, Mtro. Richard Alex Oscco Peceros como asesor, Ing. Efraín Chuchón Prado y el Ing. Juan Benjamín Girón Molina; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Estimación de erosión hídrica aplicando el modelo RUSLE en la cuenca Chonta - Sucre - Ayacucho, 2024**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola presentado por el Bachiller **DAYCO ÑAHUI ATAÓ**.

El señor Decano previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invito a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberación y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
Ph.D. Sandra Del Águila Ríos	15	14	16	15
Mtro. Richard Alex Oscco Peceros	16	16	16	16
Ing. Efraín Chuchón Prado	16	16	16	16
Ing. Juan Benjamín Girón Molina	16	15	16	16
PROMEDIO GENERAL				16

Acto seguido se invita al sustentante y publico en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.

Ph.D. Sandra Del Águila Ríos
Presidente

Mtro. Richard Alex Oscco Peceros
Asesor

Ing. Efraín Chuchón Prado
Jurado

Ing. Juan Benjamín Girón Molina
Jurado

Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Secretario Docente



UNSCH

FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe coordinador responsable de la valoración y verificación de originalidad de los trabajos de investigación y de tesis de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, designado mediante la RCF N° 005-2024-UNSCH-FCA-CF; hace constar que el trabajo de tesis titulado;

Estimación de erosión hídrica aplicando el modelo RUSLE en la cuenca Chonta – Sucre – Ayacucho, 2024

Autor : Dayco ÑAHUI ATAQ
Asesor : Richard Alex OSCCO PECEROS

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de investigación, aprobado mediante RCU N° 039-2021-UNSCH-CU, y RCU N° 1530-2023-UNSCH-CU, emitiendo un resultado de **siete (7 %)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajos estándar**.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con Identificador de la entrega: 2683960005

Ayacucho, 24 de mayo de 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ciencias Agrarias
Dr. Yuri Gálvez Gastelú
Coordinador de Control de originalidad de
trabajo de investigación y tesis - FCA

Estimación de erosión hídrica aplicando el modelo RUSLE en la cuenca Chonta – Sucre – Ayacucho, 2024

por Dayco ÑAHUI ATAO

Fecha de entrega: 24-may-2025 07:38p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2683960005

Nombre del archivo: Tesis_Dayco_Ñahui_Atao_EPIA.docx (38.8M)

Total de palabras: 40689

Total de caracteres: 217188

Estimación de erosión hídrica aplicando el modelo RUSLE en la cuenca Chonta – Sucre – Ayacucho, 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

7 %

INDICE DE SIMILITUD

7 %

FUENTES DE INTERNET

3 %

PUBLICACIONES

3 %

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.unsch.edu.pe

Fuente de Internet

1 %

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1 %

3

repositorio.ana.gob.pe

Fuente de Internet

1 %

4

repositorio.upecen.edu.pe

Fuente de Internet

1 %

5

repositorio.uandina.edu.pe

Fuente de Internet

1 %

6

Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

<1 %

7

repositorio.untumbes.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

8

livrosdeamor.com.br

Fuente de Internet

<1 %

9	orcid.org Fuente de Internet	<1 %
10	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.ucss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	K.D. Kumar, K. Kumar. "Line-of-sight-pointing for satellites in high altitude inclined elliptic orbits", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2005 Publicación	<1 %
15	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	pdfcookie.com Fuente de Internet	<1 %
17	SUSTAINABLE ENGINEERING CONSULTANTS S.A.C.. "PAP del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas de la Base Operativa San Clemente del Sistema de Transporte de Hidrocarburos por Ductos	<1 %

(STD)-IGA0018273", R.D. N° 042-2022-MINEM/DGAAH, 2022

Publicación

18

www.ign.es

Fuente de Internet

<1 %

19

repositorio.unap.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

20

repositorio.lamolina.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

21

repositorio.upn.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

22

cybertesis.unmsm.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

23

repositorioacademico.upc.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

24

Submitted to Universidad Católica de Santa María

Trabajo del estudiante

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo

Estimación de erosión hídrica aplicando el modelo RUSLE en la cuenca Chonta – Sucre – Ayacucho, 2024

Estimation of water erosion applying the RUSLE model in the Chonta – Sucre – Ayacucho basin, 2024

Dayco Ñahui Atao¹,
dayco.nahui.21@unsch.edu.pe

Richard Alex Oscco Peceros²
richard.oscco@unsch.edu.pe

Áreas de investigación: Medio Ambiente
Línea de investigación: Hidrología e hidráulica

RESUMEN

La investigación fue realizada en la cuenca Chonta, abarcando una superficie de 11,986.45 Ha, con altitudes y pendientes variables que van desde pendientes suaves (0-3°) hasta pronunciadas (>30°). El objetivo del estudio fue estimar la erosión hídrica aplicando la metodología RUSLE y utilizando herramientas SIG. Esta metodología integra cinco factores: el factor de erosividad R, determinado a partir de precipitaciones acumuladas anuales; el factor de erodabilidad K, estimado con datos texturales y orgánicos de los suelos; el factor topográfico LS, calculado a partir de un modelo digital de elevación (MDE); el factor de cobertura vegetal C, derivado de imágenes satelitales Sentinel 2a; y el factor de prácticas de manejo P, considerado como unidad para este estudio. Los resultados de la erosión hídrica potencial (sin considerar la cobertura vegetal ni prácticas de conservación) indican que el 21.51% del área presenta pérdida de suelo clasificada como alta o severa (50-100 t/ha/año), mientras que un 0.01% muestra erosión crítica (>200 t/ha/año). En contraste, la erosión hídrica actual, que considera la cobertura vegetal existente, reporta que el 76.49% del área tiene erosión ligera (5-25 t/ha/año) y el 15.67% erosión baja (<5 t/ha/año). Estas diferencias reflejan el papel crucial de la cobertura vegetal en la protección del suelo frente a los procesos erosivos. Se obtuvieron tasas promedio de erosión potencial y actual de 50-100 t/ha/año y 5.06 t/ha/año, respectivamente. Se generaron mapas de erosión hídrica que evidencian áreas críticas localizadas principalmente en las partes altas y de pendientes pronunciadas, donde la ausencia de coberturas vegetales agrava los procesos erosivos.

Palabras clave: erosión hídrica, suelos y RUSLE.

ABSTRACT

The research was carried out in the Chonta basin, covering an area of 11,986.45 Ha, with variable altitudes and slopes ranging from gentle slopes (0-3°) to steep slopes (>30°). The objective of the study was to estimate water erosion applying the RUSLE methodology and using GIS tools. This methodology integrates five factors: the erosivity factor R, determined from annual accumulated rainfall; the erodibility factor K, estimated with textural and organic data of the soils; the topographic factor LS, calculated from a digital elevation model (DEM); the vegetation cover factor C, derived from Sentinel 2a satellite images; and the management practices factor P, considered as a unit for this study. The results of potential water erosion (without considering vegetation cover or conservation practices) indicate that 21.51% of the area presents soil loss classified as high or severe (50-100 t/ha/year), while 0.01% shows critical erosion (>200 t/ha/year). In contrast, current water erosion, which considers the existing vegetation cover, reports that 76.49% of the area has light erosion (5-25 t/ha/year) and 15.67% has low erosion (<5 t/ha/year). These differences reflect the crucial role of vegetation cover in protecting the soil against erosive processes. Average potential and current erosion rates of 50-100 t/ha/year and 5.06 t/ha/year, respectively, were obtained. Water erosion maps were generated that show critical areas located mainly in the high parts and on steep slopes, where the absence of vegetation cover aggravates the erosive processes.

Keywords: water erosion, soils and RUSLE.

I. INTRODUCCIÓN

El Perú cuenta con una superficie territorial de 128,5 millones de hectáreas, de las cuales 8 millones sufren una severa erosión hídrica, afectando principalmente la región sierra (Taco, 2021). Este fenómeno se ve intensificado por la lluvia, cuyo impacto depende de su intensidad, duración y frecuencia. Se ha determinado que precipitaciones superiores a 15 mm/h durante 30 minutos pueden clasificarse como "erosivas", favoreciendo la pérdida de suelos agrícolas y naturales (Mendoza et al., 2023).

La erosión hídrica, agravada por actividades humanas, afecta la fertilidad del suelo y contribuye a la desertificación, poniendo en riesgo la sostenibilidad de los ecosistemas (Castro et al., 2024). La FAO la define como la pérdida de suelo causada por múltiples factores, donde las gotas de lluvia fragmentan sus partículas según su tamaño y velocidad.

El modelo RUSLE permite estimar la erosión y diseñar estrategias de manejo sostenible para mitigar sus impactos en el suelo, el agua y los ecosistemas. Su aplicación busca conservar los recursos naturales con base en evidencia científica.

A nivel mundial, la erosión hídrica disminuye la productividad agrícola, deteriora la infraestructura y contamina el agua, afectando la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible. Además, contribuye a la liberación de CO₂, intensificando el cambio climático (IAEA, 2024). El estudio de la degradación del suelo ha impulsado el uso de modelos de estimación como USLE, EPIC, WEPP, SWAT y RUSLE, siendo estos últimos los más utilizados, aunque con tendencia a sobrestimar resultados, particularmente en Europa (Andrés, 2020).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han demostrado ser herramientas eficaces en la gestión de recursos naturales, al facilitar el almacenamiento y análisis de datos espaciales, apoyando la toma de decisiones (Buzai y Montes, 2021).

La FAO (2022) advierte que el crecimiento poblacional, que podría alcanzar los 9 100 millones de habitantes en 2050, incrementará la demanda de alimentos en un 60 %. La agricultura debe responder a esta necesidad, pero su uso intensivo del suelo y la aplicación de agroquímicos reducen la fertilidad. Actualmente, la erosión provoca la pérdida de 75 mil millones de toneladas de suelo a nivel mundial, convirtiéndose en una preocupación gubernamental.

La erosión hídrica es un problema crítico en Perú, afectando especialmente las regiones altoandinas. Se estima que más del 72% del territorio presenta algún nivel de degradación, con 8 millones de hectáreas severamente afectadas. Factores como pendientes pronunciadas, lluvias intensas y prácticas agrícolas inadecuadas agravan la pérdida de suelo fértil, impactando la productividad agrícola y aumentando los costos de rehabilitación y conservación (OIEA, 2024).

Además, la erosión hídrica afecta los ecosistemas fluviales y la biodiversidad. Más del 40% de los ríos en zonas erosionadas presentan sedimentación crítica, lo que reduce la capacidad de las cuencas para regular el flujo hídrico y afecta el hábitat de especies acuáticas. Este problema incrementa los riesgos de desbordes y disminuye hasta en un 25% la funcionalidad de los embalses para riego y generación hidroeléctrica (MINAM, 2023).

En Querosbamba, las familias agricultoras y ganaderas enfrentan serios desafíos debido a la erosión del suelo. La pérdida de la capa fértil ha reducido los rendimientos de cultivos básicos como papa y maíz, afectando la seguridad alimentaria. Las tierras de pastoreo han perdido su capacidad productiva, generando conflictos internos por el acceso a zonas fértiles. Este deterioro ha provocado la migración de familias en busca de mejores oportunidades, dejando atrás terrenos improductivos.

Objetivo general

Estimar la erosión hídrica aplicando el modelo RUSLE de la cuenca Chonta – Sucre – Ayacucho, 2024.

Objetivos específicos

1. Estimar los factores de erosividad pluvial, erodabilidad de suelos, longitud de la pendiente y gradiente de la pendiente según el modelo RUSLE en la cuenca Chonta – Sucre – Ayacucho, 2024.
2. Determinar el factor de cobertura vegetal utilizando imágenes multiespectrales del satélite Sentinel 2A en la cuenca Chonta – Sucre – Ayacucho, 2024.
3. Cuantificar la erosión hídrica potencial y actual en la cuenca Chonta – Sucre – Ayacucho, 2024.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación del área de estudio

La cuenca Chonta está ubicada en el sur del Perú, a una altitud que varía aproximadamente entre 2,569.00 y 4,542.00 msnm, y abarca un área de 119.86 km².

2.1.1. Ubicación política cuenca Chonta

La cuenca Chonta se ubica políticamente en el: Departamento : Ayacucho

Provincia : Sucre

Distrito : Querobamba

2.1.2. Ubicación geográfica cuenca Chonta

El ámbito de estudio de la cuenca Chonta se encuentra, con las siguientes coordenadas:

Este : 628814.40

Norte : 8450556.00

Altura : 3862.00

2.1.3. Ubicación hidrográfica cuenca Chonta

La cuenca de estudio es parte de la red hidrográfica de la cuenca Sondondo limita:

Por el Norte: Cuenca Pampas.

Por el Este: Cuenca Pumapuquio y Huamcani

Por el Oeste: La cuenca Lucanas

Por el Sur: La cuenca Huamcarma

2.1.4. Punto de aforo cuenca Chonta

El punto de interés para determinar la cuenca Chonta se detalla a continuación.

Descripción	Coordenada	Unidad
Este	628814.40	m
Norte	8450556.00	m
Altura	3862.00	m.s.n.m.
Zona	18S	
Datum	WGS_1984_UTM	

2.1.5. Red hídrica de la cuenca Chonta

De acuerdo a los putos de aforo determinado sobre la red hídrica del río Chonta se considera dos vertientes tales como:

La cuenca Chonta está formada por río Poma y Querobamba que se reúnen en Mitapampa.

La desembocadura de todos estos ríos conforma la red hídrica de Chonta y el punto de aforo de interés, aguas abajo está conformado por río Sondondo y luego río Pampas.

2.2. Caracterización de la zona de estudio

2.2.1. Población

La población de la cuenca Chonta lo integran con 22 centros poblados, los cuales se mencionan la siguiente tabla.

Tabla 1

Número de habitantes en la población que interviene en la cuenca Chonta

Nº	Centros poblados	Población Hab.	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m)
1	Querobamba	1799	625411.47	8450674.8	3505
2	Huancoire	0	628200.38	8456407.73	3949
3	Soccoscucho	3	622256.69	8455131.84	2550
4	Chaccana	0	626018.79	8456299.07	3730
5	Lucamanta	0	625812.2	8455757.32	3575
6	Poma	20	627140.31	8454212.26	3342
7	Platero pata	0	624757.41	8454116.49	2841
8	Llanto pati	34	622855.06	8454849.31	2651
9	Chonta	36	623018.21	8454856.45	2658
10	Chuquibamba	0	624747.52	8453491.18	3094
11	Mitabamba	2	625250.41	8453392.74	2907
12	Ccollecabamba	470	625801.4	8451271.14	3535
13	Ccotal huati	0	626724.59	8447276.14	3654
14	Maitara	0	626448.48	8450119.55	3560
15	Ccochcca	16	624277.08	8454340.55	2834
16	Ccollpa	0	626481.68	8449396.99	3574
17	Totora	0	626924.04	8456093.78	3792
18	Llocepata	0	625230.6	8454153.14	2818
19	Tumacucho	0	625652.99	8448420.45	3531
20	Yakuwisina	0	625360.25	8448924.94	3541
21	Tablada	6	623707.92	8454477.59	2735
TOTAL:		2386.0			

Nota: Instituto Nacional de Estadística e Informática Ayacucho (2018)

2.2.2. Acceso a la cuenca Chonta

La cuenca Chonta se ubican en los distritos de Querobamba, las cuales cuentan con vías de dos categorías: Pista asfaltada y trocha carrozable.

2.2.3. Clasificación climatológica de cuenca

En el área de estudio de la cuenca Chonta, hay zonas con amplias quebradas y zonas planas que generan microclimas, como indica el mapa climático del Perú en el servidor Geo GPS PERÚ.

La información se basa en el SENAMHI y su capa de Shapefile de clasificación climática del año 2020, que se muestra en la siguiente tabla 2.

Tabla 2

Clasificación climatológica de la cuenca Chonta

CLASIFICACIÓN CLIMATOLÓGICA DE LA CUENCA CHONTA			
Nº	Código	Descripción	Área_ (Km²)
1	C (i) B'	Semiseco, invierno seco, Templado	0.46
2	C (r) B'	Semiseco, Precipitación abundante, Templado	14.28
3	B (o, i) C'	Lluvioso, otoño seco, invierno seco, Frio	105.13
Total			119.86

En la Tabla 2 mostrada, se puede observar la distribución de las áreas de clasificación climáticas en la cuenca Chonta. Se ha determinado que esta cuenca tiene una extensión mayor de área de 105.13 km² y se le ha clasificado según el método de Thornthwaite. Este método describe las condiciones climáticas como lluviosa, otoño seco, invierno seco y frío.

2.2.4. Fisiografía

La cuenca Chonta se caracteriza por tener una amplia diversidad de categorías fisiográficas, tal como se detalla en la tabla 2 adjunta. Cada una de estas categorías presenta paisajes fisiográficos con diferentes formaciones geológicas y litologías, tal y como se indica en el mapa fisiográfico del Perú disponible en el servidor Geo GPS PERÚ. El formato que se proporciona es shapefile y proviene de la Nota ONERN.

2.3. Método procedimental

2.3.1. Materiales y equipos

Materiales

- Imágenes de satélite en formato ráster de la cuenca Chonta
- Mapas descargados del servidor GEOGPSERU.COM
- Material de escritorio
- Lapicero, corrector, resaltador
- Papel bond
- Bolsas para muestras de suelos
- Regla, libreta de campo, lápiz

Equipos

- Cámara fotográfica
- Calculadora
- GPS navegador
- Laptop, impresora, fotocopias
- ArcGIS Versión 10.4
- Google Earth
- Hec 4

Herramientas del campo

- Pico (excavar)
- Pala (sacar material suelto)
- Wincha
- El presente proyecto constará de las siguientes etapas:

2.4. Metodología

La metodología para este trabajo de investigación consistió en 3 fases para el análisis de la información:

2.4.1. Fase pre campo

1. Se ingreso al aplicativo **Google Earth Pro** para delimitar el área referencia del proyecto y luego se descargó en formato KML de dicho proyecto.
2. Se inició sesión en EARTHDATA donde previo registro en la página web y recibimos un correo electrónico de confirmación donde activamos al usuario para iniciar sesión.
3. Posteriormente se importó a EARTHDATA en formato KML el aria de referencia de interés y se seleccionó el tipo de búsqueda geográfica, conjuntos de datos ALOS PALSAR, filtros adicionales terreno de alta resolución corregido, modo_FUD y luego se seleccionó la fecha desde 01/08/2010 al 4/08/2011 para la descarga del DEM.
4. Se descargaron DEM del satélite ALOS PALSAR, seleccionando las capas de interferencia más grande en el área de estudio como: AP26680FBSF6890RT1, AP26680FBSF6900RT1, AP26928FBSF6880RT1, AP26928FBSF6890RT1 y AP26928FBSF6890RT1 en formato TIFF a resolución 12.5m.
5. Se realizó la recopilación de datos históricos de las precipitaciones mensuales usando los servidores de la página del

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), Autoridad Nacional del Agua (ANA)

2.4.2. Fase de campo

1. Se realizó la extracción de 15 muestras de suelos de la capa arable de un cuadrante de 20x20cm y profundidad de 20cm de toda la zona de estudio.
2. Posteriormente, las extracciones se realizaron a razón de 2 a 3 muestras por día, durante una duración total de 1 semana.
3. Se georreferenció las zonas de mayor pendiente donde se aprecia las superficies afectadas por la erosión hídrica.
4. Se realizó el contraste las zonas de cobertura vegetal y los usos de suelos para poder validar la información del factor C.

2.4.3. Fase de gabinete

1. Se realizó la delimitación de la cuenca Chonta para poder contrarrestar con la información preliminar. Se selecciono los 15 puntos de muestreo para la extracción de muestras de suelo, longitudes, pendientes, cobertura vegetal y los usos de suelo que fueron visualizados por el servidor del Google Earth pro.
2. Delimitación de la cuenca y cálculo de parámetros geomorfológicos de la cuenca Chonta utilizando las fórmulas descritas.
3. Se calculó el Factor R para poder determinar el Raster del Factor R.
4. Se procesó el Raster del factor R para generar el mapa y determinar los niveles de erosividad de la lluvia de acuerdo a la clasificación establecida por el FAO (1980).
5. Las 15 muestras de suelo obtenidas en campo se analizaron en LABORATORIO DE SUELOS Y ANÁLISIS FOLIAR de la Universidad Nacional de san Cristóbal de Huamanga de la facultad de ciencias agrarias (Programa de Investigación en Pastos y Ganadería), determinándose la textura de suelo y cantidad de materia orgánica.
6. Los resultados obtenidos del LABORATORIO DE SUELOS Y ANÁLISIS FOLIAR nos permitieron

determinar el Factor K de erodabilidad del suelo de la zona cuenca Chonta.

7. Teniendo el Raster de la cuenca Chonta se determinó la pendiente y longitud elaborando el mapa del Factor LS de la zona de estudio.
8. Se procesó los datos de las imágenes satelital del Sentinel 2A para la Cálculo de la cobertura vegetal clasificándolo a partir del índice (NDVI) y finalmente se elaboró el mapa del Factor C para la cuenca Chonta.
9. Una vez determinado los factores R, K, LS se determinó la erosión potencial de la cuenca Chonta y finalmente se elaboró el mapa de los niveles de erosión potencial.
10. Una vez determinada la erosión potencial se multiplicó por el Factor C y P para determinar la erosión actual de la cuenca Chonta y finalmente se elaboró el mapa de los niveles de erosión actual.
11. Con los resultados obtenidos se realizaron tablas, mapas de los niveles de erosión hídrica de la cuenca Chonta.

2.4.4. Generación de parámetros geomorfológicos

La generación de los parámetros geomorfológicos de la cuenca Chonta se realizó a partir de su delimitación utilizando el programa ArcGIS 10.4, siguiendo el procedimiento que se detalla a continuación:

Paso 1: Se identificó el área de estudio en Google Earth Pro y se descargó en formato KML.

Paso 2: Se realizó la importación el formato KML del área de intervención de la cuenca Chonta en satélite ALOS PALSAR y se descargó el DEM en formato TIFF con una resolución de 12.5m para delimitar la cuenca en el programa ArcGIS 10.4.

Paso 3: El DEM descargado del satélite ALOS PALSAR en formato TIF se procedió a unir con la herramienta **ARCTOOLBOX de ArcGIS 10.4 (Mosaic To New Raster)**

Paso 4: Se descargo de página web y se instaló la herramienta de extensión **HEC-GeoHMS** y **Arc Hydro Tools** al **ArcGIS 10.4**, luego se importó el DEM descargado de ALAS PALSAR.

Paso 5: Con el DEM unido en formato TIF se procede a corregir los datos faltantes de píxeles o espacios con la herramienta **HEC-GeoHMS** (*Fill Sinks*)

Paso 6: Con el DEM unido en formato TIF corregido se procede a generar dirección de flujo con la herramienta **HEC-GeoHMS** (*Flow Direction*)

Paso 7: Con dirección de flujo generado se procede a generar acumulación de flujo con la herramienta **HEC-GeoHMS** (*Flow Accumulation*)

Paso 8: Con acumulación de flujo generado se procede a generar definición de flujo con la herramienta **HEC-GeoHMS** (*Stream Definition*)

Paso 9: Con definición de flujo y dirección de flujo generado se procede a generar segmentación de flujo con la herramienta **HEC-GeoHMS** (*Stream Segmentation*)

Paso 10: Con dirección de flujo y segmentación de flujo generado se procede a generar delineación de red flujo con la herramienta **HEC-GeoHMS** (*Catchment Grid delineation*)

Paso 11: Con delineación de red flujo generado se procede a generar procesamiento de polígono de flujo con la herramienta **HEC-GeoHMS** (*Catchment Polygon Processing*)

Paso 12: Con procesamiento de polígono de flujo y dirección de flujo generado se procede a generar creación de línea de drenaje de flujo con la herramienta **HEC-GeoHMS** (*Drainage Line Processing*)

Paso 14: Con creación de línea de drenaje de flujo y procesamiento de polígono de flujo generado se procede a generar delimitación de flujo con la herramienta **HEC-GeoHMS** (*Adjoint Catchment Processing*).

Paso 15: Con creación de línea de drenaje de flujo y procesamiento de polígono de flujo generado se procede a generar delimitación de flujo con la herramienta **HEC-GeoHMS** (*Adjoint Catchment Processing*).

Paso 16: Importamos punto de aforo de interés en formato *shapefile* al *ArcGIS 10.4* para delimitar el área de la cuenca Chonta.

Paso 17: Creamos carpeta de trabajo del proyecto para guardar trabajos realizados con el uso de herramienta **HEC-GeoHMS** (*Project Setup-Star New Project*).

Paso 18: Creamos carpeta de trabajo del proyecto para guardar trabajos realizados con el uso de herramienta **HEC-GeoHMS** (*Project Setup-Star New Project*).

Paso 18: Finalmente se realizó la delimitación del área de estudio del proyecto de interés insertando un punto al desfogue de la Cuenca Chonta con el uso de herramienta **HEC-GeoHMS** (*Project Point for Delimitación*).

Paso 19: Generamos el cuadrícula de pendiente para un DEM de la Cuenca Chonta con el uso de herramienta **Arc Hydro Tools** (*Slope*) y luego se determinó los parámetros geomorfológicos utilizando las fórmulas del marco teórico, tales como: Parámetro de forma, Rectángulo equivalente, Parámetro de relieve, Parámetro relacionados con la red hidrográfica, Desnivel de la cuenca, Pendiente de la cuenca.

2.4.5. Cálculo de los factores de erosividad pluvial, erodabilidad de suelos, longitud de la pendiente y gradiente de la pendiente

2.4.5.1. Factor de erosividad pluvial (R)

a) Obtención y elección de los datos histórico de las estaciones

Para el presente estudio se obtuvo la información pluviométrica del Autoridad Nacional de AGUA (ANA), fueron obtenidos a nivel mensual correspondiente de las estaciones pluviométricas que se hallan cerca al área de estudio y cuentan con datos suficientes y actualizados, donde se trabajó con 5 estaciones en la zona de estudio de la cuenca Chonta, en la siguiente figura se observa la información la pluviométrica de registro histórico.

2.4.5.2. Factor de erodabilidad del suelo (K)

Paso 1: Se llevó a cabo un análisis físico de los suelos en el laboratorio, el cual consistió en realizar el análisis granulométrico. Este análisis se ejecutó en condiciones in situ,

asegurando la obtención de datos representativos del terreno.

Paso 2: Se realizó el cálculo del factor K mediante la aplicación de las fórmulas de Sharpley y Williams.

Metodología Aplicada en ArcGIS

Paso 1: Una vez realizados los cálculos, se creó una tabla con los datos de textura del suelo, que luego se importó a ArcGIS 10.4. En este programa, se seleccionó la ventana de ArcToolbox (Spatial Analyst Tools > Interpolation > IDW), y se trabajó con una resolución de 12.5 píxeles.

Paso 2: A continuación, se delimitó la cuenca, utilizando la opción ArcToolbox (Spatial Analyst Tools > Extraction > Extract by Mask), y se ejecutó el proceso correspondiente.

Paso 3: Finalmente, se obtuvo el producto final del Factor K y se generó el mapa de erodabilidad.

2.4.5.3. Factor de topografía (LS)

a. FACTOR (L)

Paso 1: Ingresamos al ArcGIS 10.4 y ejecutamos la ventana de herramientas ARCTOOLBOX (Spatial Analyst Tools > Surface > Slope). Guardamos el resultado como "BETA" y ejecutamos la herramienta.

Paso 2: Ejecutamos la ventana de herramientas ARCTOOLBOX (Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster Calculator). Guardamos el resultado como "Parámetro_F" e ingresamos la siguiente fórmula:

$$(\sin("BETA" * 0.01745) / 0.0896) / (3 * \text{Power}(\sin("BETA" * 0.01745), 0.8)).$$

El valor 0.01745 se utiliza para convertir grados a radianes. Finalmente, ejecutamos la herramienta.

Paso 3: Ejecutamos la ventana de herramientas ARCTOOLBOX (Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster Calculator). Guardamos el resultado como "Parámetro_M" e ingresamos la fórmula:
$$("Parámetro_F" / (1 + "Parámetro_F"))$$
. Luego, ejecutamos la herramienta.

Paso 4: Para determinar la dirección del flujo, ejecutamos la herramienta ARCTOOLBOX (Spatial Analyst Tools > Hydrology > Flow

Direction). Guardamos el resultado como "Flow_D" y ejecutamos la herramienta.

Paso 5: Para determinar la acumulación del flujo, ejecutamos la herramienta ARCTOOLBOX (Spatial Analyst Tools > Hydrology > Flow Accumulation). Guardamos el resultado como "Flow_AC" y ejecutamos la herramienta.

Paso 6: Aplicamos la fórmula de la ecuación 24. Para ello, ejecutamos la herramienta ARCTOOLBOX (Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster Calculator). Guardamos el resultado como "FACTOR_L" e ingresamos la siguiente fórmula de la ecuación N° 28

$$\frac{(\text{Power}("Flow_AC" + 12.5, "Parámetro_M" + 1) - \text{Power}("Flow_AC", "Parámetro_M" + 1))}{(\text{Power}(12.5, "Parámetro_M" + 2) * \text{Power}(22.13, "Parámetro_M"))}$$

Finalmente, ejecutamos la herramienta.

b. FACTOR (S)

Paso 1: Se ejecutó la herramienta ARCTOOLBOX (Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster Calculator). Guardamos el resultado como FACTOR_S e ingresamos la siguiente fórmula de la ecuación N°29 y 30:

$$\text{Con } (\tan("BETA" * 0.01745) < 0.09, 10.8 * \sin("BETA" * 0.01745) + 0.03, 16.8 * \sin("BETA" * 0.01745) - 0.5).$$

c. Cálculo del RASTER_(LS)

Paso 1: Para generar el ráster del FACTOR_LS, se ejecutó la herramienta ARCTOOLBOX (Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster Calculator). Guardamos el resultado como RASTER_LS e ingresamos la siguiente fórmula:
$$("FACTOR_L" * "FACTOR_S")$$
. Finalmente, **ejecutamos la herramienta.**

Paso 2: Se obtuvo el resultado final del Factor LS y se generó su mapa correspondiente.

2.4.5.4. Cálculo del factor (P)

Paso 1: Durante el desarrollo de los trabajos de campo, no se observó ningún tipo de práctica de conservación de suelos en el área de la cuenca Chonta. Por lo tanto, en esta investigación no se tuvo en cuenta el valor de dicho factor.

2.4.6. Cálculo de los factores cobertura vegetal utilizando imágenes multispectrales del satélite Sentinel 2A

Paso 1: La página web utilizada fue Copernicus de la Agencia Especial Europea (ESA)

(<https://browser.dataspace.copernicus.eu/>), Para realizar la descarga, era necesario contar con una cuenta.

Paso 2: La selección del área de intervención se llevó a cabo, y se determinó que la fecha de detección sería entre el 01/06/2024 y el 12/02/2025.

Paso 3: Después de haber definido el área, procedemos a buscar todas las imágenes disponibles de la zona de estudio. Nuestro enfoque de intervención se encuentra en dos cuadrantes.

Paso 4: Luego se descarga la imagen satelital Sentinel 2A, se vuelven a extraer los productos de imagen de salida de Nivel 2A y se crea una resolución espacial correspondiente a cada grupo: 10 m, 20 m o 60 m; Para esta investigación, trabajamos con un producto de resolución de 10 m que contiene las bandas espectrales 2, 3, 4 y 8 para determinar la cobertura vegetal.

Paso 5: Se procedió a ejecutar el programa QGIS y exportamos las bandas del Sentinel 2A ejecutando la ventana **Administración de Notas de datos** (Raster _selección archivo de las bandas 4 y 8) y aplicamos añadir.

Paso 6: Se calculó el NDVI seleccionando la Caja de herramientas de **Procesos_Raster Calculator** donde la expresión será igual a: $NVDI = (Banda\ 8 - Banda\ 4) / (Banda\ 8 + Banda\ 4)$ donde se aplicará la fórmula predefinida de la siguiente manera:

```
("T18LXK_20241102T150719_B08_10m@1" -  
"T18LXK_20241102T150719_B04_10m@1"  
)/  
("T18LXK_20241102T150719_B08_10m@1"  
+  
"T18LXK_20241102T150719_B04_10m@1"  
)
```

Paso 7: Se calculó el algoritmo del Raster Calculator para obtener el NDVI donde su variación se da desde -1 a 1.

Paso 8: Por consiguiente, se exportó como capa Raster en formato Geo TIFF denominado NDVI.tiff y georreferenciado WGS 1984_UTM Zona 18S considerando una resolución de la capa 12.5.

Paso 9: Se procedió a ejecutar el programa ArcGIS 10.4 y lo georreferenciamos WGS_1984 UTM Zona 18S Coordenadas geográficas UTM donde exportamos la base de datos denominado NDVI.tiff donde se determinó el Factor C, donde aplicamos la **siguiente ecuación N° 33** se ingresó a la ventana **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster Calculator) y aplicamos ejecutar.

Paso 10: Luego, se realizó el corte de la cuenca donde se seleccionó la ventana ARCTOOLBOX (Spatial Analyst Tools > Extraction > Extract by Mask) y aplicamos ejecutar.

Paso 11: Se obtuvo el producto final del Factor C y se generó el mapa de Cobertura vegetal.

2.4.7. Cálculo de la erosión potencial y actual de la cuenca Chonta

a. Erosión potencial

Paso 1: Se determinó la erosión potencial multiplicando los factores R (Erosividad), K (Erodabilidad) y LS (Longitud y gradiente de topografía).

Paso 2: Obtenido el resultado se agrupó en niveles de acuerdo a la tabla adaptada por la FAO (1980) y se generó el mapa de erosión potencial.

b. Erosión actual

Paso 1: Se determinó la erosión actual multiplicando la erosión potencial por los factores

C (cobertura vegetal) y P (prácticas de conservación).

Paso 2: Con el resultado de la erosión actual se agrupó en niveles de acuerdo a la tabla adaptada por la FAO (1980) y se generó el mapa.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

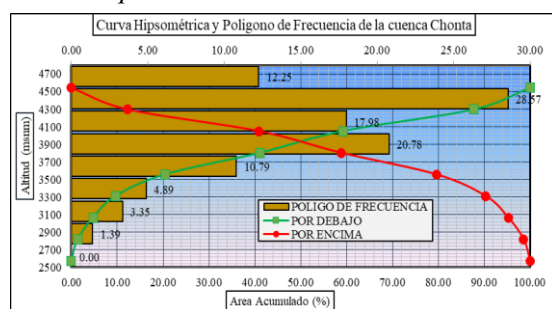
3.1. Cálculo de los factores de erosividad pluvial, erodabilidad de suelos, longitud de la pendiente y gradiente de la pendiente

3.1.1. Delimitación y parámetros geomorfológicos de la cuenca Chonta

La cuenca Chonta abarca el distrito de Querobamba de la provincia Sucre, que cuenta con 22 centros poblados. Tiene un área de 119.86 km² y un perímetro de 70 km. Forma parte de la Unidad Hidrográfica de la cuenca Sondondo y desemboca en río Pampas.

Figura 1

Curva Hipsométrica de la cuenca Chonta



La figura 2 nos muestra una distribución altitudinal de cómo se distribuyen las altitudes en la cuenca. Una curva más convexa indica que la mayor parte del área de la cuenca se encuentra en altitudes más bajas, mientras que una curva más cóncava sugiere que la mayor parte del área está en altitudes más altas. En este caso, la forma de la curva nos ayuda a identificar las zonas más susceptibles a la erosión hídrica. Se puede apreciar también que el rango de altitud entre 3900 y 4100 msnm tiene una alta frecuencia, lo que indica que una gran parte de la cuenca se encuentra en este intervalo. Estos datos son fundamentales para calcular el factor LS (longitud y pendiente de las laderas) del modelo RUSLE, ya que la topografía influye directamente en la erosión hídrica. Las zonas con pendientes más pronunciadas y altitudes específicas pueden ser identificadas como áreas críticas para implementar medidas de conservación del suelo.

3.1.2. Tratamiento y análisis e interpretación de datos de precipitación

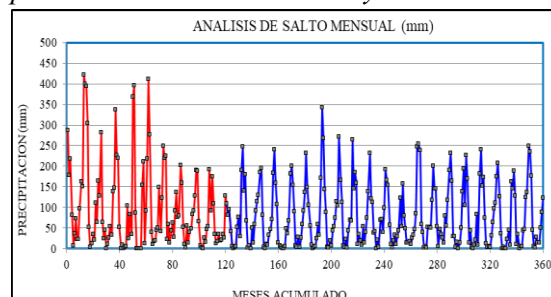
3.1.2.1. Análisis visual de los gráficos de histograma

a) Análisis visual de los gráficos de histograma de Estación Chilcayoc

En los histogramas de las figuras 2 se observa un salto brusco en 2005. Luego, los datos fueron corregidos y validados con análisis de doble masa y estadístico.

Figura 2

Análisis de tendencia de la información pluviométrica mensual Chilcayoc



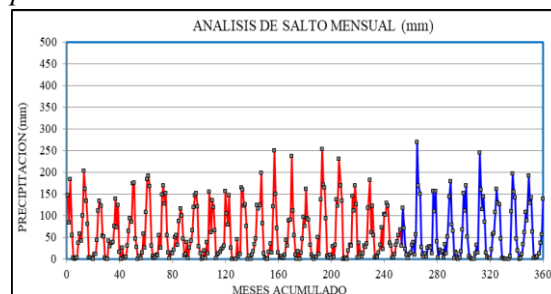
La Figura 2 nos muestra la tendencia de la información pluviométrica mensual, Los picos representan meses con precipitaciones altas, mientras que los valles indican meses con precipitaciones bajas. Esto refleja la naturaleza variable de la pluviometría.

b) Análisis visual de los gráficos de histograma de Estación Huanca sancos

En los histogramas de las figuras 3 se observa un salto mínimo en el año 2016, posteriormente se validó los datos con análisis doble masa y estadístico.

Figura 3

Análisis de tendencia de la información pluviométrica mensual Huanca Sancos



De la figura 3, se tiene el análisis de tendencia de la información pluviométrica mensual Huanca Sancos, el eje vertical (precipitación en mm) muestra variaciones significativas entre

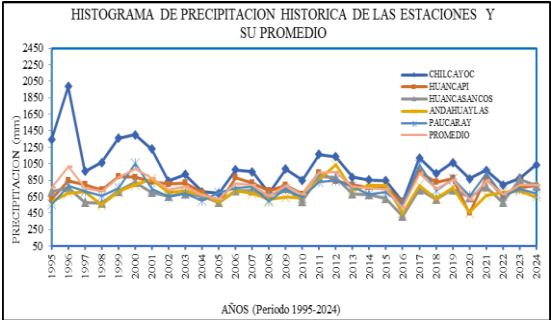
meses, con valores que oscilan entre 0 y 500 mm. Los picos de alta precipitación representan meses lluviosos, mientras que los valores bajos corresponden a meses secos, lo cual es típico en regiones con una marcada estacionalidad climática. La regularidad de los picos en ambas secciones sugiere un comportamiento estacional, donde ciertos meses del año probablemente concentran la mayoría de las lluvias. Este fenómeno podría estar vinculado a las condiciones climáticas

3.1.2.2. Análisis de curva de doble masa

El análisis de doble masa consistió en identificar los quiebres en las cinco estaciones, y posteriormente se determinó cuál de ellas era la más consistente en términos de homogeneidad. En base a este análisis, se seleccionó promedio de acumulación de precipitación.

Figura 4

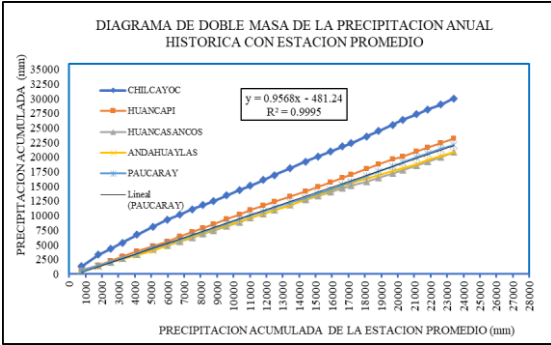
Histograma de precipitación histórica de las estaciones y su promedio



De la figura 4 se tiene el histograma de precipitación histórica de las estaciones muestra la variación anual de las precipitaciones (en mm) desde 1995 hasta 2024 para las estaciones Chilcayoc, Huancapi, Huanca Sancos, Andahuaylas y Paucaray, además del promedio general. Destaca que Chilcayoc registra las precipitaciones más altas, especialmente en años como 1995 y 1996, donde se alcanzan picos significativos, mientras que las otras estaciones presentan valores más cercanos al promedio general, representado por la línea naranja. A partir del año 2000, las precipitaciones muestran una tendencia más estable con fluctuaciones menores en todas las estaciones.

Figura 5

Diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica con estaciones promedios.



De la figura 5 se tiene el diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica con estaciones promedios destaca una consistencia notable entre las precipitaciones acumuladas de las estaciones meteorológicas individuales (Chilcayoc, Huancapi, Huanca sancos, Andahuaylas y Paucaray) y el promedio regional acumulado. cada estación presenta una alta correlación con el promedio, como lo reflejan los coeficientes de determinación R^2 , cercanos a 1 en todas las ecuaciones de tendencia. Estos resultados validan la calidad y homogeneidad de los datos hidrológicos, fundamentales para estudios de precipitación y para determinar el factor R en el modelo RUSLE, utilizado en la estimación de la erosión hídrica.

3.2. Análisis estadístico

3.2.1. Análisis estadístico de Estación Chilcayoc

Se plantea la hipótesis de que existe un salto en el año de 2005, para el cual se le realizó el análisis estadístico, es decir el análisis de saltos y tendencias para los periodos citados.

Tabla 2

Numero de datos, promedio y desviación estándar para los periodos de análisis de la estación Chilcayoc

PERIODO	N	MEDIA	DESV. ESTANDAR	S(x)2
1995 2005	132	98.24	105.40	11108.62
2006 2024	228	76.03	75.27	5664.88

ANÁLISIS DE SALTOS

Salto o Consistencia en la media

Prueba "T" de Student

Desviación estándar ponderada

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Desviación de las diferencias de los promedios

$$S_{\bar{d}} = S_p * \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Cálculo del T, calculado (Tc) según:

$$t_c = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{\bar{d}}}$$

Cálculo del valor critico de t, tabular Tt:

GL= GL1+GL2 (grado de libertad)

Resultado de validación estadística de prueba "T" de Student

Sp	Sd	Tc	Alfa	G.L.	Tt (95%) Tabla	Comp arc.	Diferencia Signific.
87.504	9.570	2.321	0.05	358	1.967	Tc > Tt	SI

Conclusión

Tc>Tt, Por lo tanto, se rechaza la H0, no hay consistencia en la media por lo tanto es necesario corregir los datos.

Salto o Consistencia en la desviación estándar

Prueba "F" de Fisher

Cálculo del F, calculado (Fc) según:

$$Si: S_1^2(X) > S_2^2(X)$$

$$Entonces F_c = \frac{S_1^2(X)}{S_2^2(X)} \quad y \quad G.L.N. = n_1 - 1$$
$$G.L.N. = n_2 - 1$$

$$Si: S_2^2(X) > S_1^2(X)$$

$$Entonces F_c = \frac{S_2^2(X)}{S_1^2(X)} \quad y \quad G.L.N. = n_2 - 1$$
$$G.L.N. = n_1 - 1$$

Resultado de validación estadística de prueba de prueba de "F" de Fisher

Fc	Alfa	G.L.N. (1)	G.L.D (2)	Ft (95%) Tabla	Comparación	Diferencia Signific.
1.961	0.05	131	227	1.285	Fc > Ft	SI

Conclusión

Tc>Tt, Por lo tanto, se rechaza la H0, no hay consistencia en la media por lo tanto es necesario corregir los datos.

ANÁLISIS DE TENDENCIA

Tendencia o consistencia en la media (m)

Datos

n	=	360
t	=	180.50
Tm	=	83.44
St	=	104.07
STm	=	86.97
t*Tm	=	13902.04

Resultado de validación estadística de prueba "T"

R	B	A	Tc Calculado	Alfa	G.L.	Tt (95%) Tabla	Comp arc.	Diferencia Signific.
-0.128	-0.107	102.743	2.442	0.05	358	1.967	Tc > Tt	SI

Conclusión

Tc>Tt, Por lo tanto, se rechaza la H0, no hay consistencia en la media por lo tanto es necesario corregir los datos.

Tendencia o consistencia en la desviación estándar (s)

Datos

n	=	30
t	=	15.50
Ts	=	83.76
St	=	8.80
STs	=	26.37
t*Ts	=	1206.43

Resultado de validación estadística de prueba "T"

R	B	A	Tc Calculado	Alfa	G.L.	Tt (95%) Tabla	Comp arc.	Diferencia Signific.
-	-	102	2.35	0.05	28	2.04	Tc > Tt	SI
0.395	1.184	.113	7	0.05	8	8		

Conclusión

Tc > Tt, Por lo tanto, se rechaza la H0, no hay consistencia en la varianza por lo tanto es necesario corregir los datos.

3.2.2. Análisis estadístico de Estación Huancapi

Se plantea la hipótesis de que existe un salto en el año de 2005, para el cual se le realizará el análisis estadístico, es decir el análisis de saltos y tendencias para los periodos citados.

Numero de datos, promedio y desviación estándar para los periodos de análisis de la estación Huancapi

PERIODO	N	MEDIA	DESV. ESTANDAR	S(x)2
199	200	13	65.90	4269.32
200	202	22	63.72	4161.52

ANÁLISIS DE SALTOS

Salto o Consistencia en la media

Prueba "T" de Student

Desviación estándar ponderada

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Desviación de las diferencias de los promedios

$$S_d = S_p * \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Cálculo del T, calculado (Tc) según:

$$t_c = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_d}$$

Cálculo del valor critico de t, tabular Tt:

GL= GL1+GL2 (grado de libertad)

Resultado de validación estadística de prueba "T" de Student

Sp	Sd	Tc	Alfa	G.L.
64.815	7.089	0.307	0.05	358

Conclusión

Tc < Tt, Por lo tanto, se acepta la H0, hay consistencia en la media por lo tanto no es necesario corregir los datos.

Salto o Consistencia en la desviación estándar

Prueba "F" de Fisher

Cálculo del F, calculado (Fc) según:

$$Si: S_1^2(X) > S_2^2(X)$$

$$G.L.N. = n_1 - 1$$

$$Entonces F_c = \frac{S_1^2(X)}{S_2^2(X)} \text{ y } G.L.N. = n_2 - 1$$

$$Si: S_2^2(X) > S_1^2(X)$$

$$G.L.N. = n_2 - 1$$

$$Entonces F_c = \frac{S_2^2(X)}{S_1^2(X)} \text{ y } G.L.N. = n_1 - 1$$

Resultado de validación estadística de prueba de prueba de "F" de Fisher

Fc	Alfa	G.L. N. (1)	G.L. D. (2)	Ft (95 %) Tabla	Comparación	Diferencia Signific.
1.026	0.05	131	227	1.285	Fc < Ft	NO

Conclusión

Fc < Tt, Por lo tanto, se acepta H0, hay consistencia en la varianza, sin embargo, no es necesaria realizar las correcciones de los datos.

ANÁLISIS DE TENDENCIA

Tendencia o consistencia en la media (m)

Datos

n	=	360
t	=	180.50
Tm	=	64.45
St	=	104.07
STm	=	64.70
t*Tm	=	11443.27

Resultado de validación estadística de prueba "T"

R	B	A	Tc Calculado	Alfa	G.L.	Tt (95 %) Tabla	Comparación	Diferencia Signific.
-	0.028	0.018	0.534	0.05	358	1.967	Tc < Tt	NO

Conclusión

Tc < Tt, Por lo tanto, se acepta la H0, hay consistencia en la media por lo tanto no es necesario corregir los datos.

Tendencia o consistencia en la desviación estándar (s)

Datos

n	=	30
t	=	15.50

Ts	=	65.53
St	=	8.80
STs	=	13.05
t*Ts	=	1010.55

Resultado de validación estadística de prueba "T"

R	B	A	Tc Calculado	Alfa	G.L.	Tt (95%) Tabla	Compara rc.	Diferencia Signific.
-	-	66.	0.24	0.	2	2.04	Tc < Tt	NO
0.0	0.0	55	6	0	8	8		
45	66	8		5				

Conclusión

Tc < Tt, Por lo tanto, se acepta la H0, hay consistencia en la varianza por lo tanto no es necesario corregir los datos.

3.3. Análisis estadístico corregido

3.3.1. Análisis estadístico corregido de Estación Chilcayoc

Se plantea la hipótesis de que existe un salto en el año de 2005, para el cual se le realizara el análisis estadístico, es decir el análisis de saltos y tendencias para los periodos citados.

Numero de datos, promedio y desviación estándar para los periodos de análisis de la estación Chilcayoc

PERIODO	N	Media	Desv. Estandar	S(x)2
199	200	13		5664.
5	5	2	76.03	88
200	202	22		5617.
6	4	8	75.51	28

3.3.2. Cálculo factor erosividad pluvial ("R")

Se determinó el factor "R" mediante el método de Índice de Fournier Modificado o también denominado índice de agresividad de la lluvia y se clasificó según la tabla de IFM para Latinoamérica; por lo tanto, obteniendo valores de 1083.36 MJ.mm/ha.h.año con un 17.93% del área total y se clasificó como Muy Alto.

Resultados del factor de erosividad (R) para la cuenca Chonta

Factor R MJ.mm/Ha.Hrs.año	Área Ha	Porcentaje %	Clasificación
1010.95	1942.22	16.20	Muy alto
1028.27	2190.17	18.27	Muy alto
1041.62	2757.53	23.01	Muy alto
1054.40	2947.03	24.59	Muy alto
1083.36	2149.50	17.93	Muy alto
Total	11986.45	100	

Análisis

En la Tabla se tiene el análisis de los resultados del factor de erosividad (R) para la cuenca Chonta muestra una clasificación uniforme de "Muy alto" en todos los rangos evaluados, destacando la alta energía erosiva de las precipitaciones en la región. Las áreas asociadas a valores de R mayores, como 1054.40 MJ.mm/Ha.Hrs.año, abarcan la mayor proporción (24.59%) del total de 11,986.45 Ha, seguidas de áreas con R de 1041.62 MJ.mm/Ha.Hrs.año (23.01%) y 1028.27 MJ.mm/Ha.Hrs.año (18.27%). Este patrón de distribución evidencia la importancia de las lluvias intensas y frecuentes como factores clave en la erosión hídrica. Además, el impacto de estas lluvias se refleja en el Índice de Fourier, que analiza la concentración temporal de las precipitaciones. Las lluvias más concentradas generan una mayor erosividad debido a su intensidad y energía cinética, incrementando los valores del factor R en áreas vulnerables. Este comportamiento subraya la necesidad de incluir el Índice de Fourier en los estudios de erosividad, ya que permite identificar periodos críticos donde las lluvias concentradas tienen un efecto erosivo significativo. Los valores más bajos del rango, aunque representan una menor proporción del área total, aún contribuyen de manera considerable al proceso erosivo, reforzando la importancia de estrategias específicas de manejo y conservación de suelos en zonas críticas dentro de la cuenca Chonta.

3.3.3 Cálculo Factor de Erodabilidad del suelo ("k")

Se presenta en la siguiente tabla 36 la clasificación del factor "K" según los grados de erodabilidad USDA 1962; por lo tanto, con un valor de 0.017 Ton.ha.h/ha.MJ.mm con un (14.99% del área total) son suelos débilmente erodable y 0.021 a 0.029 Ton.ha.h/ha.MJ.mm con un (85.01% del área total) son suelos medianamente erodable.

Resultados del factor de erodabilidad (K) para la cuenca Chonta

Factor K	Área	%	Clasificación
Ton.Ha.Hrs/MJ.Ha.m m	Ha	%	
0.008632-0.0102	1392.41	11.62	Débilmente erodable
0.0102-0.0113	4298.91	35.86	Débilmente erodable
0.0113-0.0124	2407.86	20.09	Débilmente erodable
0.0124-0.014	2089.80	17.43	Débilmente erodable
0.014-0.0156	1797.48	15.00	Débilmente erodable
Total	11986.45	100.00	

Análisis

En la tabla se tiene el análisis de los resultados del factor de erodabilidad (K) para la cuenca Chonta indica que la totalidad del área estudiada, de 11,986.45 Ha, presenta suelos clasificados como "Débilmente erodables", lo que sugiere que el impacto de los procesos erosivos está moderado por las características intrínsecas de los suelos. La mayor proporción del área (35.86%) se encuentra en el rango de erodabilidad 0.0102-0.0113 Ton.Ha.Hrs/ MJ. Ha. mm, seguido por un 20.09% en el rango de 0.0113-0.0124 Ton.Ha.Hrs/MJ.Ha. mm, reflejando niveles homogéneos de vulnerabilidad en los suelos frente a la acción de las lluvias. Las áreas asociadas a los rangos más bajos y más altos de erodabilidad (11.62% y 15.00%, respectivamente) representan zonas menos frecuentes, pero igualmente importantes para estrategias de conservación. Este análisis es clave para identificar patrones de resistencia y susceptibilidad del suelo, permitiendo diseñar medidas de manejo enfocados en mitigar el impacto erosivo y garantizar la sostenibilidad del uso de los recursos en la cuenca.

3.3.4. Cálculo factor longitud y pendiente ("LS")

Para la cuenca Chonta, el factor "LS" se clasificó según los grupos de pendientes, resultando en los siguientes valores y distribuciones en el área total:

- ✓ "LS" = 0.3, que corresponde al 0.64% del área total.

- ✓ "LS" = 1.5, que abarca el 21.12% del área total.
- ✓ "LS" = 3.40, que representa el 50.42% del área total.
- ✓ "LS" = 5.60, que ocupa el 21.81% del área total.
- ✓ "LS" = 8, que cubre el 5.99% del área total.
- ✓ "LS" = 14.60, que corresponde al 0.004% del área total.
- ✓ "LS" = 20.20, que representa el 0.004% del área total.
- ✓ Finalmente, "LS" = 25.80, que cubre el 0.004% del área total.
- ✓ Finalmente, "LS" = 28.50, que cubre el 0.003% del área total.

A continuación, se detalla en la siguiente tabla *Resultados del factor de LS para la cuenca Chonta*

GRUPO DE	FACTOR	Área	porcentaje
PENDIENTE EN (°)	LS	Ha	%
0 - 3	0.30	77.15	0.64
3 - 12	1.50	2531.97	21.12
12 - 18	3.40	6044.07	50.42
18 - 24	5.60	2614.01	21.81
24 - 30	8.00	717.47	5.99
30 - 60	14.60	0.51	0.004
60 - 70	20.20	0.49	0.004
70 - 100	25.80	0.43	0.004
>100	28.50	0.34	0.003
Total		11986.45	100.00

Análisis

En la tabla se aprecia el análisis de los resultados del factor LS para la cuenca Chonta, que muestra una variabilidad significativa en la susceptibilidad del terreno a la erosión hídrica según los grupos de pendiente. La mayor proporción del área, 50.42%, corresponde a pendientes entre 12-18°, con un factor LS de 3.40, lo que indica una alta vulnerabilidad a procesos erosivos moderados. Las pendientes más pronunciadas, como las de 18-24° (21.81% del área, LS = 5.60) y 24-30° (5.99% del área, LS = 8.00), reflejan zonas críticas con mayores riesgos de erosión. Por otro lado, las pendientes más suaves, de 0-3° (0.64% del área, LS = 0.30) y 3-12° (21.12% del área, LS = 1.50), tienen una menor susceptibilidad debido a la estabilidad relativa del suelo. Aunque las pendientes extremas (>30°)

representan una proporción mínima (menos del 0.02%), sus elevados factores LS (14.60 a 28.50) las convierten en áreas prioritarias para estrategias de manejo sostenible del suelo y conservación hídrica.

3.3.5. Cálculo Factor "P" (Prácticas de conservación)

Se decidió no considerar el factor "P" en esta investigación, por lo que durante las visitas al campo no se observaron las prácticas de conservación.

3.3.6. Cálculo del factor (C) cobertura vegetal con el satélite (Sentinel 2A) para la cuenca Chonta.

La cobertura vegetal fue clasificada según los valores del NDVI, conforme a la tabla publicada en la Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Zulia (2020). A partir de esta clasificación, se determinó lo siguiente sobre la distribución de la cobertura en el área de estudio:

- ✓ El 1.03 Ha (0.0086%) del área total corresponde a Bosque y Selva Nublada.
- ✓ El 12.70 Ha (0.11%) del área total está compuesto por Bosque, Cultivos y Pastizales.
- ✓ El 1618.62 Ha (13.50%) del área total corresponde a Pastizales.
- ✓ El 6396.40 Ha (53.36%) del área total, de mayor relevancia, está dominado por Cultivos y Pastizales.
- ✓ El 3943.40 Ha (32.90%) del área total, igualmente relevante, está compuesto por Cultivos y Arbustales.
- ✓ El 12.27 Ha (0.10%) del área total presenta Vegetación Escasa.
- ✓ El 1.03 Ha (0.0086%) del área total corresponde a Vegetación Semiárida.
- ✓ Finalmente, el 1.00 Ha (0.0083%) del área total está ocupado por Suelo Desnudo.

A continuación, se detalla en la siguiente tabla:

Resultados del factor de cobertura vegetal C para la cuenca Chonta

FACTOR C	Área Ha	Porcentaje %	Descripción
< 0.1	1.03	0.0086	Bosque y selva nublada
0.1 - 0.2	12.70	0.11	Bosque, Cultivo y Pastizales
0.2 - 0.3	1618.62	13.50	Pastizales
0.3 - 0.4	6396.40	53.36	Cultivo y Pastizales
0.4 - 0.5	3943.40	32.90	Cultivo y Arbustales
0.6 - 0.7	12.27	0.10	Vegetación Escasa
0.7 - 0.9	1.03	0.0086	Vegetación Semiárida
> 0.9	1.00	0.0083	Suelo desnudo
Total	11986.45	100.00	

Análisis

En la tabla se tiene El análisis de los resultados del factor de cobertura vegetal (C) para la cuenca Chonta refleja la predominancia de las coberturas relacionadas con Cultivo y Pastizales, que abarcan el 53.36% del área total (6,396.40 Ha) con un rango de 0.3-0.4, y Cultivo y Arbustales, que representan el 32.90% del área (3,943.40 Ha) con un rango de 0.4-0.5. Estas categorías indican una moderada protección del suelo frente a la erosión hídrica, dado que las coberturas vegetales ofrecen una reducción parcial de la energía cinética de las precipitaciones. Los rangos más bajos del factor C (<0.1 y 0.1-0.2), que incluyen Bosque y selva nublada, suman solo el 0.12% del área, lo que señala una limitada presencia de coberturas densas que proporcionen mayor protección contra la erosión. Por otro lado, las categorías de Vegetación Escasa, Vegetación Semiárida y Suelo Desnudo, que corresponden a los rangos de factor C más altos (0.6-0.9 y >0.9), representan un porcentaje insignificante del área total (<0.02%), pero son críticas por su alta vulnerabilidad a la erosión.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los parámetros geomorfológicos de la cuenca Chonta evidencian una configuración alargada y con pendientes pronunciadas, reflejada en un coeficiente de compacidad de 1.80 y un bajo índice de circularidad (0.31). Estas características geomorfológicas indican una mayor predisposición a una rápida concentración de escorrentía superficial, lo que incrementa significativamente el riesgo de

erosión hídrica. Este hallazgo coincide con lo señalado por Cárdenas y Pérez (2021) en su estudio de la cuenca del río Mayo, en la región San Martín, Perú, donde se concluyó que factores como la pendiente del terreno y la forma de la cuenca tienen una influencia directa en los procesos erosivos, especialmente cuando se ven agravados por modificaciones en el uso del suelo. La interacción entre la morfología de la cuenca y las actividades antrópicas resalta la necesidad de un manejo integral del territorio para mitigar la degradación del suelo.

Los resultados del factor R en este estudio para la cuenca Chonta evidencian un nivel muy alto de erosividad, con valores comprendidos entre 1010.95 y 1083.36 MJ.mm/Ha.Hr.Año, lo que confirma que la intensidad de las precipitaciones contribuye significativamente a la erosión hídrica en toda la región. Según Camargo et al. (2018), valores elevados de erosividad están directamente relacionados con la energía cinética de las lluvias, lo que incrementa el potencial erosivo, especialmente en áreas con precipitaciones intensas. Este comportamiento también es consistente con lo señalado por Perales (2019), quien destaca que las regiones con mayores precipitaciones acumuladas anuales presentan una mayor agresividad hídrica. Además, el factor R está influenciado por la variación climática y las características topográficas, como lo menciona Camargo et al. (2018), quienes enfatizan que las zonas de mayor altitud tienden a mostrar valores más altos de erosividad debido a lluvias más frecuentes e intensas. Este patrón también se observa en estudios realizados en otras cuencas, como el de la cuenca del río Supte Grande (Huánuco), donde se aplicó el modelo RUSLE para evaluar la erosión hídrica (Perales, 2019).

Respecto al factor de erosionabilidad K, los valores obtenidos para la cuenca Chonta oscilan entre 0.008632 y 0.0156 Tonhah/MJmmha**, lo que, según la clasificación de la USDA (1962), se considera dentro de la categoría de "Débilmente erodable". Este rango concuerda con los

resultados reportados por Piscitelli et al. (2010) para suelos representativos de la cuenca alta del arroyo Azul (Argentina), donde se observó que los valores de K están influenciados principalmente por la textura del suelo, siendo los suelos de textura fina (arcillosos) más erosionables debido a su menor permeabilidad y mayor escorrentía. Asimismo, los valores más bajos de K en la cuenca Chonta corresponden a suelos de textura gruesa, como los francos arenosos, que presentan mayor porosidad y permiten una mayor infiltración del agua, reduciendo así el desprendimiento y transporte de partículas, tal como lo mencionan Camargo et al. (2018). Por otro lado, los valores medios de K se asocian a suelos de textura franco, que muestran una susceptibilidad intermedia a la erosión hídrica. Estos resultados también son consistentes con los hallazgos de Castillo y Rojas (2019) en la subcuenca Huancay (La Libertad), quienes destacaron que los suelos arcillosos, aunque más resistentes al agua, tienden a ser más erosionables debido a su menor capacidad de infiltración. Este análisis subraya la importancia de considerar las características texturales y estructurales del suelo al diseñar estrategias de manejo sostenible para mitigar la erosión hídrica en la cuenca Chonta.

La distribución espacial del factor LS en la cuenca Chonta generó valores que oscilan entre 0.30 y 28.50, siendo los valores más altos asociados a las zonas con pendientes más pronunciadas y longitudes mayores. Este comportamiento está respaldado por estudios como los de Camargo et al. (2018), quienes señalan que mientras mayor sea la pendiente, mayor será el impacto erosivo debido al recorrido de las gotas de lluvia y el desprendimiento del suelo. Según la clasificación del Instituto Nacional de Investigación en Suelo y Conservación (INISC), más del 72% del área estudiada corresponde a pendientes moderadas (3-18°) que presentan factores LS entre 1.50 y 3.40, destacándose como zonas de erosión hídrica crítica moderada. Por otro lado, las áreas con pendientes extremas (>30°), aunque

representan menos del 1% del total, muestran factores LS elevados (hasta 28.50), que reflejan una alta vulnerabilidad al impacto erosivo.

Estos resultados son consistentes con los hallazgos de Castillo y Rojas (2019) en la subcuenca Huancay (La Libertad), donde identificaron que las zonas de mayor pendiente y longitud producen los valores más altos del factor LS, y con los de Álvarez (2019) en la subcuenca Ichu (Huancavelica), donde se observaron rangos similares de LS en las áreas de cabecera. Ambos estudios emplearon la metodología planteada por Desmet y Govers (1996), concluyendo que existe una relación directa entre el factor LS y la pendiente ($R^2 = 0.996$), lo que también es evidente en los resultados para la cuenca Chonta.

El valor del factor C en la cuenca Chonta varía según el tipo de uso del suelo y la cobertura vegetal. Las áreas con bosque y selva nublada presentan los valores más bajos (< 0.1), lo que coincide con lo señalado por Lianes et al. (2009), quienes destacan que las coberturas densas, como los bosques, ofrecen una mayor protección al suelo al interceptar las gotas de lluvia y reducir su energía cinética. En contraste, las áreas con suelo desnudo muestran los valores más altos (> 0.9), indicando una alta susceptibilidad a la erosión hídrica. La mayor parte del área estudiada está dominada por cultivo y pastizales, con factores C de 0.3-0.4 y 0.4-0.5, que abarcan el 53.36% y el 32.90% del territorio, respectivamente. Estos valores reflejan una protección moderada del suelo frente a la erosión, en comparación con las coberturas más densas. Según Ibáñez Asensio et al. (2011), las coberturas vegetales menos densas, como los pastizales, ofrecen una protección parcial, pero son más vulnerables en comparación con los bosques. Además, estudios como el de Perales (2019) en la cuenca del río Supte Grande han reportado valores de factor C similares, utilizando la metodología propuesta por Durigon et al. (2014), que relaciona el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) con el factor C. Esta relación es altamente significativa ($R^2 = 0.949$), como lo demuestran investigaciones

recientes, y refuerza la importancia de conservar las coberturas vegetales para mitigar la erosión hídrica.

A través de la estimación de la pérdida de suelo debido a la erosión hídrica potencial en la cuenca Chonta, se identificaron áreas con alta vulnerabilidad a la erosión. Los resultados muestran que la erosión potencial (sin considerar la cobertura vegetal) presenta un porcentaje significativo de erosión severa, con un 21.51% del área clasificada como alta o severa (50-100 t/ha/año) y un 0.11% como muy alta o muy severa (100-200 t/ha/año). Este comportamiento se debe a que este cálculo no incluye la influencia protectora de la cobertura vegetal, lo que incrementa la susceptibilidad del suelo a los procesos erosivos. Además, los valores más altos de erosión se observaron en zonas con pendientes pronunciadas, lo que coincide con lo señalado por Solano (2016), quien en su estudio para la subcuenca del río Shullcas estimó que el 47.20% de la superficie presentaba erosión muy alta (> 200 t/ha/año) en áreas de pendientes superiores al 5%.

Por otro lado, en las zonas de pendientes más suaves, la erosión potencial fue menor, con un 1.32% del área clasificada como de erosión baja o normal (< 5 t/ha/año). Este patrón refleja la influencia del factor LS, que está directamente relacionado con la longitud y el gradiente de pendiente, tal como lo menciona Perales (2019) en su investigación para la cuenca del río Supte Grande, donde el 61.67% del área presentó erosión muy severa en ausencia de cobertura vegetal.

En comparación con estudios previos, como el de Gamboa (2023) en la cuenca del río Tumbes, donde la tasa de erosión potencial promedio fue de 167.18 t/ha/año, los resultados de la cuenca Chonta son consistentes en cuanto a la relación entre la pérdida de suelo y la ausencia de cobertura vegetal. Esto subraya la importancia de implementar medidas de conservación del suelo, como la reforestación y el manejo sostenible de cultivos, para mitigar los efectos de la erosión hídrica en áreas críticas. Si no se toman acciones inmediatas, la degradación del suelo podría alcanzar niveles

catastróficos, comprometiendo la sostenibilidad de los recursos naturales en la región.

Considerando el uso actual de la tierra y la cobertura vegetal en la cuenca Chonta, los resultados de la erosión hídrica actual muestran que la mayoría del área presenta niveles bajos a moderados de erosión. Un 76.49% del área total (9,168.22 Ha) se clasifica con erosión ligera (5-25 t/ha/año) y un 15.67% (1,878.68 Ha) con erosión baja o normal (<5 t/ha/año). Estas categorías se ubican principalmente en las partes baja y media de la cuenca, donde la cubierta vegetal ejerce un efecto protector significativo al reducir el impacto de las gotas de lluvia y disminuir la escorrentía, como también lo menciona Condori (2021) en su estudio para la cuenca Cairani, donde identificó que los niveles bajos y moderados de erosión están asociados a pendientes suaves y una mayor cobertura vegetal. Sin embargo, en áreas con poca o ninguna cobertura vegetal, los niveles de erosión aumentan, alcanzando valores altos o severos (50-100 t/ha/año) en el 0.06% del área (6.71 Ha), muy altos o muy severos (100-200 t/ha/año) en el 0.02% (2.37 Ha), y críticos o catastróficos (>200 t/ha/año) en el 0.01% (1.53 Ha). Estos valores extremos se concentran en pendientes pronunciadas o áreas degradadas, donde la ausencia de cobertura vegetal expone el suelo a procesos intensivos de erosión hídrica. Según Solano (2016), la erosión hídrica actual contrarresta significativamente los niveles de erosión potencial debido a la presencia de cobertura vegetal, lo cual también se observa en el presente estudio. Respecto a las tasas de erosión, se reportaron valores máximos de hasta 5.06 t/ha/año en escenarios de vegetación escasa, por debajo del límite máximo permisible de 10 t/ha/año recomendado por Morga (2006), quienes señalan que una tasa superior comprometería la sostenibilidad del suelo al superar su ritmo de regeneración. Estos resultados son consistentes con los obtenidos por Dioses y Pérez (2018) para la cuenca Piura, donde se observó una tasa de erosión hídrica actual de 10.4 t/ha/año, y con el estudio de

Sabino (2016), quien reportó una tasa de 30.9 t/ha/año para la región hidrológica Pacífico 6. Estas comparaciones resaltan que las tasas de erosión en la cuenca Chonta son moderadas en relación con otras regiones, pero aún requieren estrategias de manejo sostenible para evitar un agravamiento futuro.

CONCLUSIONES

1. Se estimó la erosión hídrica en la cuenca Chonta aplicando el modelo RUSLE, lo que permitió identificar zonas con distintos niveles de vulnerabilidad. Los resultados evidencian que, aunque gran parte del área presenta tasas de erosión dentro de los límites permisibles, existen sectores con niveles severos que requieren medidas de conservación urgentes.
2. Se identificaron los factores R, K, L y S del modelo RUSLE que influyen directamente en la erosión hídrica dentro de la cuenca Chonta, destacando que el factor de erosividad pluvial (R) presentó valores entre 1010.95 y 1083.36 MJ·mm/ha·h·año, clasificados como muy altos, lo que evidencia una considerable intensidad y frecuencia de lluvias capaces de movilizar partículas del suelo, especialmente durante eventos extremos. En cuanto al factor de erodabilidad del suelo (K), los valores oscilaron entre 0.008632 y 0.0156 t·ha·h/MJ·mm·ha, siendo considerados débilmente erodables, lo cual se relaciona con la presencia predominante de suelos arcillosos y franco arcillo arenosos, que, si bien son menos propensos a la erosión, pueden tornarse vulnerables bajo condiciones topográficas desfavorables o ante la pérdida de cobertura vegetal. Por su parte, el factor topográfico (LS), que considera la longitud y el gradiente de la pendiente, varió entre 0.30 y 28.50, con una predominancia de pendientes moderadas (12° a 18°) que abarcan el 50.42% del área, siendo estas zonas particularmente susceptibles a la erosión debido a que las pendientes favorecen el escurrimiento

superficial y el consecuente arrastre de partículas del suelo.

3. Se determinó el factor de cobertura vegetal (C) mediante el análisis de imágenes multiespectrales del satélite Sentinel 2A, utilizando el índice de vegetación NDVI como base de cálculo, obteniéndose valores que oscilaron mayoritariamente entre 0.3 y 0.5, correspondientes a áreas de cultivos temporales, pastizales y vegetación rala, las cuales abarcan aproximadamente el 86.26% de la cuenca. Este rango de valores indica que la vegetación ofrece una protección moderada frente a la erosión hídrica, al disminuir la velocidad del escurrimiento superficial y amortiguar el impacto directo de las gotas de lluvia sobre el suelo. Sin embargo, la presencia de coberturas con baja densidad vegetal en sectores localizados incrementa la vulnerabilidad a la pérdida de suelo, lo que resalta la importancia de implementar estrategias de conservación de la cobertura vegetal, especialmente en zonas de ladera o con alta pendiente.
4. Se estimaron los niveles de erosión hídrica potencial (EP) y actual (EA) mediante la integración de los factores del modelo RUSLE, revelando contrastes significativos en la magnitud de pérdida de suelo en la cuenca. La erosión potencial, que simula un escenario sin cobertura vegetal protectora, presentó tasas de 50 a 100 t/ha/año en un 21.51% del área total, clasificadas como altas o severas, mientras que un 0.11% del territorio registró tasas muy altas (100–200 t/ha/año) y un 0.01% presentó niveles críticos (>200 t/ha/año), evidenciando zonas de extrema vulnerabilidad ante procesos erosivos intensos. En contraste, la erosión actual, que incorpora la cobertura vegetal existente, mostró valores significativamente reducidos, con un 15.67% del área en niveles de erosión baja (<5 t/ha/año) y un 76.49% en tasas de erosión ligera (5–25 t/ha/año), ambas dentro de los límites permisibles establecidos por la FAO, lo que resalta el

papel clave de la vegetación en la mitigación de la erosión hídrica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, A. (2019). *Análisis temporal del nivel de la erosión hídrica de la subcuenca del río Ichu 2013 y 2017* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio UNH. <https://repositorio.unh.edu.pe/items/5f12bfcf-72ca-414c-8fee-360243117b22>.
- Andrés, R. (2020). *Aplicación de la ecuación universal (RUSLE) a un sistema de información geográfica que permita diagnosticar la pérdida de suelos* [Tesis de licenciatura, Universidad Agraria del Ecuador]. <https://surl.lu/dnsarm>.
- Buzai, D., & Montes, J. (2021). *Estadística espacial: fundamentos y aplicación con sistemas de información geográfica*. <http://www.inigeo.unlu.edu.ar/?q=node/24>
- Camargo, C., & López, R. (2018). *Erosión hídrica, fundamentos, evaluación y cartográfica: una revisión con énfasis en el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica*. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6687514.pdf>.
- Cárdenas, S., & Pérez, E. (2021). *Aplicación del modelo RUSLE utilizando el programa ArcGIS para evaluar el cambio morfológico en la cuenca del río Mayo, San Martín - 2021* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/97514>
- Castillo, A., & Rojas, A. (2019). *Erosión hídrica del suelo como efecto de la precipitación pluvial del fenómeno del Niño Costero en la subcuenca Huancay, Chicama* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio

- UCV.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/41021>.
- Castro, J. A., Villarreal, J. E., y Cabrera, J. A. (2024). Pérdida de suelo por erosión hídrica en la subcuenca río Estibaná, Panamá. *Agronomía Mesoamericana*, 35(1), 1–15.
<https://doi.org/10.15517/am.2024.59684>
- Condori, E. (2021). *Análisis de la erosión hídrica en la cuenca Cairani utilizando el modelo RUSLE* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Moquegua]. Repositorio UNAM.
<https://repositorio.unam.edu.pe/handle/20.500.12692/41021>.
- Dioses, R., & Pérez, F. (2018). *Evaluación de la erosión hídrica en la cuenca del río Piura mediante SIG*. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).
<https://hdl.handle.net/20.500.12672/10055>
- Durigon, L., Carvalho, F., Antunes, H., & Oliveira, S. (2014). NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. *International Journal of Remote Sensing*, 35(2), 441–453.
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01431161.2013.871081>
- FAO. (1980). *Metodología provisional para la evaluación y representación cartográfica de la desertización*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
<https://surl.lu/ditzhm>
- FAO. (2022). *Healthy soils for a healthy people and planet: FAO calls for reversal of soil degradation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
<https://www.fao.org/newsroom/detail/agriculture-soils-degradation-FAO-GFFA-2022>
- Gamboa, O. (2023). *Estimación de la erosión hídrica aplicando la metodología RUSLE con técnicas de teledetección en la cuenca del río Tumbes* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Tumbes]. Repositorio UNTumbes.
<https://repositorio.untumbes.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12874/64161>.
- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, M. (2011). *El factor C de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE)*. Universidad Politécnica de Valencia.
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16568/AD%20C%20%20%20USLE.pdf?sequence=1>.
- Lianes, E., Marchamalo, M., & Roldán, M. (2009). Evaluación del factor C de la RUSLE para el manejo de coberturas vegetales en el control de la erosión en la cuenca del río Birris, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 33(2), 217–235.
<https://www.redalyc.org/pdf/436/43613279007.pdf>
- Mendoza, M., Arteaga, G., & Delgado, D. (2023). La erosividad de la lluvia como factor condicionante de la erosión hídrica en Manabí. *Polo del Conocimiento*, 8(6), 343–364.
<https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/5177/0>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2023). *Impactos de la erosión hídrica en ecosistemas fluviales y recursos hídricos en el Perú*. Gobierno del Perú.
<https://www.gob.pe/minam>
- Organismo Internacional de Energía Atómica [IAEA], 2024. *¿Qué es la erosión del suelo? ¿Cómo se puede estudiar y mitigar con técnicas nucleares?* IAEA.
<https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-la-erosion-del-suelo>
- Perales, F. (2019). *Pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando el modelo RUSLE en la cuenca del río Supte Grande, provincia Leoncio Prado - Huánuco* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional.
<https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream>

- /handle/20.500.14292/1720/TS_AFPQ_2019.pdf?sequence=1
- Piscitelli, M., Varni, M., Sfeir, A., & Ares, G. (2010). *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)* (Agricultural Handbook No. 703). United States Department of Agriculture (USDA).
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5718160.pdf>.
- Sabino, J. A. (2016). *asa de erosión hídrica en las regiones hidrológicas del Perú* [Informe técnico]. Instituto Geofísico del Perú.
<https://hdl.handle.net/20.500.12672/5812>
- Solano, R. (2016). *Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la subcuenca del río Shullcas 2000–2013, Huancayo* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional.
<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3486/Solano%20Peralta.pdf?sequence=1>.
- Taco, F. (2021). *Uso del sistema de información geográfica para la cuantificación de la erosión hídrica potencial en la cuenca Chamacha - Lima* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional.
<https://hdl.handle.net/20.500.12996/4875>
- Williams, J.R. (1995). The EPIC model. In V. P. Singh (Ed.), *Computer models of watershed hydrology* (pp. 909–1000). Water Resources Publications.
<https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=1153277>