

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS**

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

**DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN
HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO CHONTA – CAJAMARCA**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

Presentada por:

ANGEL RICARDO GOICOCHEA CUEVA

Asesor:

Dr. EDIN EDGARDO ALVA PLASENCIA

Cajamarca, Perú

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
Angel Ricardo Goicochea Cueva
DNI: 47368332
Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias. Programa de Maestría en Ciencias. Mención: Gestión Ambiental
2. Asesor: Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:

Determinación de la Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Chonta - Cajamarca
6. Fecha de evaluación: 29/03/2025
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 17%
9. Código Documento: 3117: 443866239
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 29/03/2025

*Firma y/o Sello
Emisor Constancia*



Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
DNI: 26620894

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2024 by
ANGEL RICARDO GOICOCHEA CUEVA
Todos los derechos reservados



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 050-2018-SUNEDUC/D
Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las **dieciocho** horas, del día 15 de octubre del dos mil veinticuatro, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. JUAN EDMUNDO CHÁVEZ RABANAL**, **Dr. WILFREDO POMA ROJAS**, **M.Sc. JHON ANTHONY VERGARA COPACONDORI** y en calidad de Asesor el **Dr. EDIN EDGARDO ALVA PLASENCIA**, actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada **DETERMINACIÓN DE LA PERDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RIO CHONTA - CAJAMARCA**, presentada por el **Bachiller en Ingeniería Hidráulica ANGEL RICARDO GOICOCHEA CUEVA**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó **aprobar** con la calificación de **dieciséis (16)** la mencionada Tesis; en tal virtud, el **Bachiller en Ingeniería Hidráulica, ANGEL RICARDO GOICOCHEA CUEVA**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS CON MENCIÓN GESTIÓN AMBIENTAL**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias.

Siendo las **dieciocho** horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

.....
Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
Asesor

.....
Dr. Juan Edmundo Chávez Rabanal
Jurado Evaluador

.....
Dr. Wilfredo Poma Rojas
Jurado Evaluador

.....
M.Sc. Jhon Anthony Vergara Copacondori
Jurado Evaluador

DEDICATORIA

A mi querida madre, por el vasto apoyo y aliento brindado durante todo este tiempo, por ser mi ejemplo de esfuerzo y dedicación, por haberme educado con valores y sobre todo por ser aquella persona incondicional durante todos los arduos momentos. Ningún hijo pudo haber tenido una mejor madre.

A mi padre, por su apoyo incondicional y consejos de vida, los cuales han hecho posible mi formación humana y profesional.

A mis hermanos Luis, Isabel, Elsa y Ceci por el apoyo y los tan gratos e incontables momentos en familia.

A Cynthia Rodríguez, por ser mi compañera, mi apoyo y mi mayor motivación durante todo este tiempo.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Cajamarca, por darme la oportunidad de formarme como profesional.

A la Escuela de Posgrado, por la educación y experiencias que brinda a los profesionales de nuestro país.

Finalmente, agradezco a todo aquel que lea este trabajo de investigación y se interese en profundizar en el tema.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS (SIGLAS).....	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	3
1.1.1. Objetivo General.....	3
1.1.2. Objetivos específicos	3
2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Antecedentes	4
2.2. Bases teóricas	6
2.2.1. Cuenca hidrográfica.....	6
2.2.2. Erosión de suelos.....	6
2.2.3. Erosión hídrica.....	7
2.2.4. Erosión hídrica en el Perú	8
2.2.4.1. Erosión muy ligera.....	8
2.2.4.2. Erosión ligera.....	8
2.2.4.3. Erosión moderada.....	8
2.2.4.4. Erosión severa.....	8
2.2.5. Etapas de la erosión hídrica.....	9
2.2.5.1. Desprendimiento.....	9
2.2.5.2. Arrastre o transporte.....	9
2.2.5.4. Deposición o sedimentación.....	9
2.2.6. Formas de la erosión hídrica	10
2.2.6.1. Erosión por salpicadura.....	10
2.2.6.2. Erosión laminar.....	10
2.2.6.3. Erosión en surcos.....	10
2.2.6.4. Erosión en cárcavas.....	11

2.2.7. Métodos de medición de la erosión hídrica.....	11
2.2.7.1. Modelos físicos teóricos.....	11
2.2.7.1.1. Water Erosion Prediction Project (WEPP).....	11
2.2.7.1.2. EUROSEM.....	11
2.2.7.2. Modelos paramétricos.....	11
2.2.7.3. Método de parcelas de escorrentía.....	11
2.2.7.4. Método de clavos de erosión.....	11
2.2.8. Ecuación universal de pérdida de suelo (USLE).....	12
2.2.9. Ecuación universal de pérdida de suelos modificada (MUSLE).....	12
2.2.10. Ecuación universal de pérdida de suelos revisada (RUSLE).....	12
2.2.11. Factor R o erosividad.....	13
2.2.12. Factor K o erodabilidad.....	14
2.2.13. El factor LS o longitud y gradiente de la pendiente.....	19
2.2.13.1. Factor L.....	19
2.2.13.2. Factor S.....	20
2.2.14. Factor C de cobertura vegetal.....	20
2.2.15. Factor P de prácticas de conservación de suelos.....	23
2.2.16. Pérdida de suelo.....	24
2.2.17. Sistemas de información geográfica.....	24
2.2.18. Imágenes Landsat.....	25
2.2.19. Análisis de consistencia.....	27
2.2.19.1. Análisis de saltos.....	27
2.2.19.1.1. Análisis gráfico o visual.....	28
2.2.19.1.2. Análisis de doble Masa.....	28
2.2.19.1.3. Análisis estadístico (identificación del salto).....	28
2.2.19.2. Análisis de tendencia.....	30
2.2.19.2.1. Tendencia en la media.....	30
2.2.19.2.2. Tendencia en la desviación estándar.....	30
2.2.20. Estimación de datos hidrológicos faltantes.....	31
2.2.20.1. Generación de números aleatorios con distribución normal.....	32
2.2.20.2. Generación de números aleatorios con distribución Log-normal.....	32
2.2.20.3. Generación de números aleatorios con distribución Gamma.....	32
2.2.21. Unidades de suelos.....	33

2.2.21.1. Fluvisoles (J).....	33
2.2.21.2. Leptosoles (L).....	33
2.2.21.3. Paramosol (PS).....	33
2.2.21.4. Phaeozem (H).....	33
2.2.21.5. Vertisol (V).....	33
2.2.21.6. Andosol – Leptosol (T-L).....	34
2.2.21.7. Fluvisol – Phaeozem (J-H).....	34
2.2.21.8. Páramo Andosol – Leptosol (PA-L).....	34
2.2.21.9. Paramosol – Leptosol (PS-L).....	34
2.2.21.10. Phaeozem – Leptosol (H-L).....	34
2.2.21.11. Phaeozem –Vertisol (H-V).....	34
2.2.21.12. Rendzina – Leptosol (E-L).....	34
2.2.22. Muestreo de suelos.....	35
2.2.23. Obtención de datos satelitales	36
2.2.24. Métodos de interpolación.....	36
2.2.24.1. IDW (Distancia Inversa Ponderada).....	36
2.2.24.2. Kriging.....	36
2.2.25. Corrección de imágenes satelitales	36
2.2.25.1. Corrección atmosférica.....	36
2.2.25.2. Corrección radiométrica.....	37
2.2.26. Caracterización de la cuenca del río Chonta	37
2.2.26.1. Delimitación hidrográfica.....	37
2.2.26.3. Delimitación administrativa.....	37
2.2.26.4. Delimitación política.....	37
2.2.26.5. Características del área de estudio.....	37
2.2.26.5.1. La temperatura.....	38
2.2.26.5.2. La humedad relativa.....	38
2.2.26.5.3. La evaporación.....	38
2.2.26.5.4. El viento.....	38
2.2.26.5.5. Precipitación.....	39
2.3. Definición de términos básicos	39
2.3.1. Teledetección.....	39
2.3.2. Precipitación.....	39

2.3.3. Escurrimiento	39
2.3.4. Suelo	39
3. MATERIALES Y MÉTODOS	40
3.1. Ubicación geográfica y política.....	40
3.2. Materiales y Equipos	41
3.2.1. Material cartográfico.....	41
3.2.2. Información pluviométrica.....	41
3.2.3. Mapas temáticos	41
3.2.4. Imágenes Landsat	42
3.2.5. Material para el trabajo de campo	43
3.2.6. Equipos y software.....	43
3.3. Metodología	43
3.3.1. Fase preliminar	43
3.3.2. Fase de Campo	44
3.3.2.1. Muestreo.....	44
3.3.2.2. Trabajo de laboratorio.....	45
3.3.3. Trabajo de gabinete.....	45
3.3.3.1. Factor R.....	45
3.3.3.2. Factor K.....	46
3.3.3.3. Factor LS.....	47
3.3.3.4. Factor C.....	49
3.3.3.5. Erosión hídrica.....	51
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
4.1. Determinación de la erosividad de la lluvia (factor R).....	52
4.2. Determinación de la erodabilidad del suelo (factor K).....	55
4.3. Determinación de la longitud y grado de pendiente (factor LS).....	59
4.4. Determinación de la cobertura vegetal (factor C)	61
4.5. Determinación del coeficiente de practicas de conservación de suelos (factor P)....	64
4.6. Determinación de la erosión hídrica	64
5. CONCLUSIONES	68
6. RECOMENDACIONES	70
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
8. ANEXOS	78

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Intensidad de la erosión por regiones del Perú	9
Tabla 2 Clasificación del IMF para Latinoamérica	14
Tabla 3 Clasificación de los grados de erodabilidad según USDA (1962).....	17
Tabla 4 Clase de permeabilidad según estructura de suelo	17
Tabla 5 Estructura del suelo a profundidades de 0.15 – 0.20 m.....	18
Tabla 6 Códigos de estructura de suelo USLE	18
Tabla 7 Clasificación de los valores del NDVI	21
Tabla 8 Valores del factor C para los mapas más comunes de cobertura de suelo	22
Tabla 9 Valores de “P” para cultivos en contorno y su máxima longitud permitida.....	23
Tabla 10 Clasificación de los niveles de intensidad de pérdida de suelo.....	24
Tabla 11 Características de las imágenes satelitales Landsat 5	26
Tabla 12 Características de las imágenes satelitales Landsat 7	26
Tabla 13 Características de las imágenes satelitales Landsat 8.....	26
Tabla 14 Estaciones meteorológicas en estudio	41
Tabla 15 Detalle de imágenes satelitales usadas	42
Tabla 16 Cálculo del factor R (1)	52
Tabla 17 Cálculo del factor R (2)	52
Tabla 18 Factor R en cada estación meteorológica	52
Tabla 19 Resultados de laboratorio (1)	57
Tabla 20 Resultados de laboratorio (2)	57
Tabla 21 Cálculo del factor K a partir de resultados de textura y %MO	57
Tabla 22 Tipos de cobertura vegetal en la cuenca del río Chonta	62
Tabla 23 Rangos de erosión hídrica en la cuenca del río Chonta	65

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Factores que afectan la susceptibilidad a la erosión.....	7
Figura 2. Etapas de la erosión hídrica	9
Figura 3. Ábaco para la determinación del índice de erosionabilidad del suelo	15
Figura 4. Triángulo de textura de suelos.....	16
Figura 5. Falla en imagen Landsat 7.....	25
Figura 6. Ubicación geográfica de la cuenca del río Chonta.....	40
Figura 7. Diagrama de fase de preliminar	44
Figura 8. Diagrama de flujo para el cálculo del factor R	46
Figura 9. Diagrama de flujo para el cálculo del factor K.....	47
Figura 10. Diagrama de flujo para el cálculo del factor LS	48
Figura 11. Procedimiento para la elaboración del mapa del factor LS	49
Figura 12. Diagrama de flujo para el cálculo del factor C	50
Figura 13. Corrección del bandeo en imágenes Landsat 7 y generación del NDVI	51
Figura 14. Diagrama de flujo para la determinación del mapa de erosión hídrica.	51
Figura 15. Factor R en cada estación meteorológica	53
Figura 16. Correlación entre precipitación media y factor R	54
Figura 17. Factor R de la cuenca del río Chonta	55
Figura 18. Mapa de suelos de la cuenca del río Chonta.....	56
Figura 19. Factor K de la cuenca del río Chonta	59
Figura 20. Pendientes de la cuenca del río Chonta	60
Figura 21. Factor LS de la cuenca del río Chonta	61
Figura 22. NDVI promedio 2001 - 2021	62
Figura 23. Factor C de la cuenca del río Chonta	62
Figura 24. Erosión Hídrica en la cuenca del río Chonta	65
Figura 25. Porcentajes de superficie según los rangos de erosión hídrica	66
Figura 26. Toma de muestras de suelo (1)	103
Figura 27. Toma de muestras de suelo (2)	104
Figura 28. Toma de muestras de suelo (3)	105
Figura 29. Toma de muestras de suelo en el distrito de Los Baños del Inca	106
Figura 30. Secado de muestras de suelo.....	106
Figura 31. Homogenización y cuarteo de muestras de suelo	107
Figura 32. Etiquetado y clasificación de muestras de suelo para laboratorio	107

LISTA DE ABREVIATURAS (SIGLAS)

USLE	Ecuación Universal de Pérdida de Suelos
MUSLE	Ecuación Universal de Pérdida de Suelos Modificada
RUSLE	Ecuación Universal de Pérdida de Suelos Revisada
ANA	Autoridad Nacional del Agua
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
USGS	Servicio Geológico de los Estados Unidos
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
SIG	Sistemas de Información Geográfica
IFM	Índice Modificado de Fournier
IGN	Instituto Geográfico Nacional
NDVI	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada
UNALM	Universidad Nacional Agraria La Molina
SLC	Scan Line Corrector
IDW	Inverse Distance Weighting
LAPFAS	Laboratorio de Plantas, Fertilizantes, Agua y Suelos

RESUMEN

La investigación tuvo como finalidad determinar la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Chonta durante el periodo 2001 – 2021 empleando la metodología RUSLE. Para tal fin, se recopiló información histórica de precipitaciones mensuales de las estaciones meteorológicas dentro del área de estudio, así como imágenes satelitales de la base de datos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), así mismo, se realizó la identificación y muestreo de las unidades de suelos a partir de información cartográfica. Los resultados muestran que los valores de los factores calculados oscilan de la siguiente manera: del factor R entre 87.47 y 176.89 MJ mm ha⁻¹h⁻¹, del factor K entre 0.02113 y 0.07806 t ha h ha⁻¹MJ⁻¹mm⁻¹, de los índices de vegetación de diferencia normalizada entre -0.558 y 0.835, del factor LS entre 0.03 y 1124.58 mientras que del factor C entre 0.0825 y 0.7791. Finalmente, de la superficie total, el 35.33% (12249 ha) tiene una pérdida de suelo menor a 5 t ha⁻¹año⁻¹, el 63.30% (21945 ha) tiene una pérdida de suelo de entre 5 y 25 t ha⁻¹año⁻¹, el 1.17% (407 ha) tiene una pérdida de suelo de entre 25 y 50 t ha⁻¹año⁻¹, el 0.11% (39 ha) tiene una pérdida de suelo de entre 50 y 100 t ha⁻¹año⁻¹, el 0.05% (17 ha) tiene una pérdida de suelo de entre 100 y 200 t ha⁻¹año⁻¹, y un 0.04% (12 ha) tiene una pérdida de suelo mayor a 200 t ha⁻¹año⁻¹

Palabras clave: Erosión, suelo, cuenca, RUSLE, teledetección.

ABSTRACT

The purpose of the research was to determine the loss of soil due to water erosion in the Chonta river basin during the period 2001 - 2021 using the RUSLE methodology. For this purpose, historical information on monthly rainfall from meteorological stations within the study area was collected, as well as satellite images from the United States Geological Survey (USGS) database, likewise, identification and sampling were carried out. of the soil units from cartographic information. The results show that the values of the calculated factors oscillate as follows: of the R factor between 87.47 and 176.89 MJ mm ha⁻¹h⁻¹, of the K factor between 0.02113 and 0.07806 t ha h ha⁻¹MJ⁻¹mm⁻¹, of the normalized difference vegetation indices between -0.558 and 0.835, of the LS factor between 0.03 and 1124.58 while of the C factor between 0.0825 and 0.7791. Finally, of the total area, 35.33% (12,249 ha) have a soil loss of less than 5 t ha⁻¹year⁻¹, 63.30% (21,945 ha) have a soil loss of between 5 and 25 t ha⁻¹year⁻¹, 1.17% (407 ha) have a soil loss of between 25 and 50 t ha⁻¹year⁻¹, 0.11% (39 ha) have a soil loss of between 50 and 100 t ha⁻¹year⁻¹, 0.05% (17 ha) has a soil loss of between 100 and 200 t ha⁻¹year⁻¹, and 0.04% (12 ha) has a soil loss greater than 200 t ha⁻¹year⁻¹.

Keywords: Erosion, soil, basin, RUSLE, remote sensing.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las acciones que originan una significativa reducción de la capacidad productiva de los suelos se conocen como procesos de degradación, entre los cuales el más importante es la erosión (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1980). Los agentes más relevantes involucrados en el proceso de la erosión son: el agua y el viento. Cuando el agente causante del fenómeno es el agua, la erosión se denomina hídrica, siendo esta la de mayor relevancia. El Perú es muy heterogéneo en las características de los suelos y en la incidencia de la precipitación, la misma que fluctúa aproximadamente entre 10 y 3000 mm por año, con una distribución anual desigual siendo mínima en el período de abril a noviembre y máxima de diciembre a marzo (Sabino et al., 2017).

Las zonas altoandinas se caracteriza por precipitaciones con fuertes intensidades y suelos con un grado de susceptibilidad significativa, en parte, por las pronunciadas pendientes del relieve propio del territorio (Rengifo et al., 2022). Anualmente se estima que, en nuestro país, se pierden en promedio de 200 000 a 300 000 ha, tomando en consideración una profundidad de suelo de 0.20 m. siendo la sierra peruana la más afectada debido al decrecimiento de tierra cultivables y efectos negativos sobre la economía y productividad (Bada, 2023).

La gestión de los recursos naturales en Cajamarca se vuelve más intensivo a partir de los años ochenta con el denominado Programa Nacional de Manejo de Cuencas y Conservación de Suelos (PRONAMACCS), posteriormente desde el año 1996 a la fecha, con el nombre de Proyecto Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos (PRONAMACHCS), hoy en día AGRO RURAL, tal programa tiene por objetivo el manejo y conservación de los recursos naturales a través de sus tres líneas de acción: Conservación de Suelos, Desarrollo Forestal e Infraestructura Rural. En el año 1983 se inician acciones de

conservación de suelos en las cuencas La Encañada y Tambomayo, teniendo dentro de su área de influencia la cuenca del río Chonta, las prácticas que se promovieron fueron terrazas de formación lenta y zanjales de infiltración. A partir del año 1992 como nueva estrategia del PRONAMACHCS, se complementaron acciones conservacionistas con sistemas agroforestales mediante el fomento de prácticas forestales en sistemas de barreras y cercos vivos en parcelas, así como mejoramiento de infraestructura de riego. Como resultado se logró masificar las prácticas conservacionistas en un 30 por ciento en el ámbito de las microcuencas, con participación de hasta el 50 por ciento de la población campesina (PRONAMACHCS, 2004).

La cuenca del río Chonta, como la mayor parte de los espacios interandinos, posee una gran variedad ecológica y, por ende, también con una vasta diversidad climática y biológica, ésta última ha venido sufriendo notables variaciones en la estructura y composición de la cobertura vegetal como consecuencia de actividades humanas insostenibles, así también, se observa un alto grado de deforestación y escasa cobertura en las laderas, las cuales vienen siendo cultivadas con técnicas inapropiadas en relación con el tipo de suelo, es por esto que, es posible observar grandes movimientos de suelos (Autoridad Nacional del Agua, 2010).

Actualmente no se han registrado trabajos relacionados con la erosión de suelos en la cuenca del río Chonta, sin embargo es notoria la degradación progresiva que se viene dando en áreas con pendientes considerables y con escasa cobertura vegetal. En consecuencia, la importancia de la investigación radica en el estudio y cuantificación de la pérdida de suelos como consecuencia de las fuertes precipitaciones propias del área de estudio, tal fenómeno representa una seria amenaza para el abastecimiento de alimentos de primera necesidad, poniendo en riesgo el bienestar y la existencia de los principales servicios ecosistémicos hídricos, razones por la cuales es de gran necesidad el estudio de este fenómeno.

La presente investigación se enfocó en determinar de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Chonta ubicada en la provincia y región de Cajamarca, para el periodo 2001 – 2021 mediante uso de la metodología de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos Revisada (RUSLE), además de técnicas de teledetección y aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Determinar la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Chonta.

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar los índices de erosividad de las estaciones meteorológicas dentro del área de influencia de la cuenca del río Chonta a partir de registros históricos de precipitaciones mensuales durante el periodo 2001 – 2021.
- Determinar los índices de erodabilidad en la cuenca del río Chonta a partir del muestreo de suelos y análisis de laboratorio.
- Elaborar mediante técnicas de teledetección el mapa del índice de vegetación de diferencia normalizada promedio para el periodo 2001 – 2021.
- Elaborar el mapa de cobertura vegetal a partir del índice de vegetación de diferencia normalizada promedio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Álvarez (2020) en la investigación titulada “Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica mediante la aplicación de la metodología USLE en la subcuenca del río Ichu” mencionó que, el objetivo general de la investigación fue estimar el nivel de erosión hídrica de la subcuenca del río Ichu en durante los años 2013 y 2017. Para tal fin, se usó el método de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelos (USLE), además de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). La investigación muestra que la tasa de erosión hídrica promedio que se dió en el año 2013 fue de 406.98 t/ha/año mientras que para el año 2017, la tasa promedio de pérdida fue de 554.36 t/ha/año. El autor concluye que, existe una variación considerable entre los años analizados, esto debido a la variación temporal de precipitaciones y, sobre todo, la de cobertura vegetal.

Tribak et al. (2021) en la investigación denominada “Evaluación de los usos del suelo y la erosión hídrica en la subcuenca hidrográfica montañosa del Oued Ourtza (Pre-Rif Oriental, Marruecos)” llevaron a cabo el estudio de la distribución espacial de los usos del territorio y de pérdida de suelo entre los años 2000 y 2014 mediante el uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE). Los resultados refieren que las pérdidas de suelo son notablemente altas ($40 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$), muy por encima de su tolerancia, aunque están cercanas a las tasas de degradación registradas en otras zonas del entorno mediterráneo y el Rif marroquí. Tales pérdidas se distribuyen heterogéneamente, correspondiendo las tasas mayores con las tierras no cultivadas ($>80 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$) cuya extensión sigue aumentando, sobre todo, en los tramos medio y bajo de la subcuenca donde dominan los materiales endebles. La investigación concluye que los suelos y formaciones superficiales ubicados sobre terrenos esencialmente

margosos manifiestan una gran susceptibilidad a la erosión, tanto más evidente sea la ausencia de vegetación y cultivos.

Rengifo et al. (2022) en la investigación denominada “Modelo USLE para estimar la erosión hídrica en siete municipios de la zona andina colombiana” se propuso el análisis de la erosión hídrica en siete municipios de la zona andina caucana: Almaguer, Bolívar; Cajibío, Mercaderes; Popayán, Puracé, y Santander de Quilichao, para esto, se usó el modelo de la Ecuación Universal de la Pérdida Suelo (USLE) además de la recolección de datos a través del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los resultados muestran que el desgaste de superficie está relacionado a precipitaciones superiores a 1500 mm causando pérdidas anuales de suelo con alrededor de 973 ton/ha, cifra que es mayor a la capacidad de recuperación de los sistemas naturales. La investigación concluye que, el uso inadecuado del suelo en la zona andina ha disminuido la cobertura vegetal natural, incrementado los procesos de erosión que reducen la infiltración e incrementan el escurrimiento.

Condori et al. (2022) en la investigación titulada “Pérdida de suelos por erosión hídrica en laderas semiáridas de la subcuenca Cairani – Camilaca, Perú” realizaron la evaluación de la erosión aplicando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE). Los resultados indican que, en promedio, la degradación de suelos corresponden a un nivel moderado (erosión actual de 10.68 t/ha/año y erosión potencial de 18.20 t/ha/año). La investigación concluye que la erosión de suelo en la cuenca de estudio tiene un impacto significativo en la capacidad productiva de suelos además de ocasionar repercusiones socioeconómicas provocando la migración de familias hacia valles costeros de la ciudad de Tacna.

Arias et al. (2023) en la investigación que tiene por título “Estimación de la erosión del suelo mediante el modelo RUSLE. Caso de estudio: cuenca media alta del río Mira en los Andes del Ecuador” cuyo objetivo principal fue medir e identificar la distribución espacial de la erosión hídrica aplicando el modelo RUSLE en entorno de los Sistemas de Información

Geográfica (SIG). Los resultados permitieron determinar que la erosión posee valores entre 0 y 812.30 t/ha/año mientras que la erosión promedio es de 32,79 t/ha/año. La investigación concluye que en áreas con cobertura vegetal con bosques y páramos se logró identificar una erosión promedio menor al umbral sostenible de erosión con valores menores a 10 t/ha/año mientras que, otro lado, las áreas con ausencia de vegetación son más propensas a tasas de erosión del suelo mucho más elevadas.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Cuenca hidrográfica

La definición de cuenca hidrográfica debe entenderse como una unidad fundamental para el estudio y evaluación ambiental, puesto que, facilita conocer y estudiar sus diferentes componentes, así como los procesos e interrelaciones que en ella suceden (Moreira et al. , 2020).

Hidrológicamente, la cuenca hidrográfica actúa como un colector que capta el agua proveniente de las precipitaciones y convierte buena parte de estas, en escorrentía superficial. Tal conversión, es dependiente de las condiciones y características físicas que ésta posee (Gaspari et al., 2019).

Condori (2018) afirmó que, la delimitación de una cuenca hidrográfica, se lleva a cabo sobre un plano a curvas a nivel, teniendo como referencia las líneas de divortium acuarun (parteaguas), la misma que separa a las cuencas contiguas y distribuye la escorrentía superficial, proveniente de la precipitación, hasta un punto de salida. (p.20)

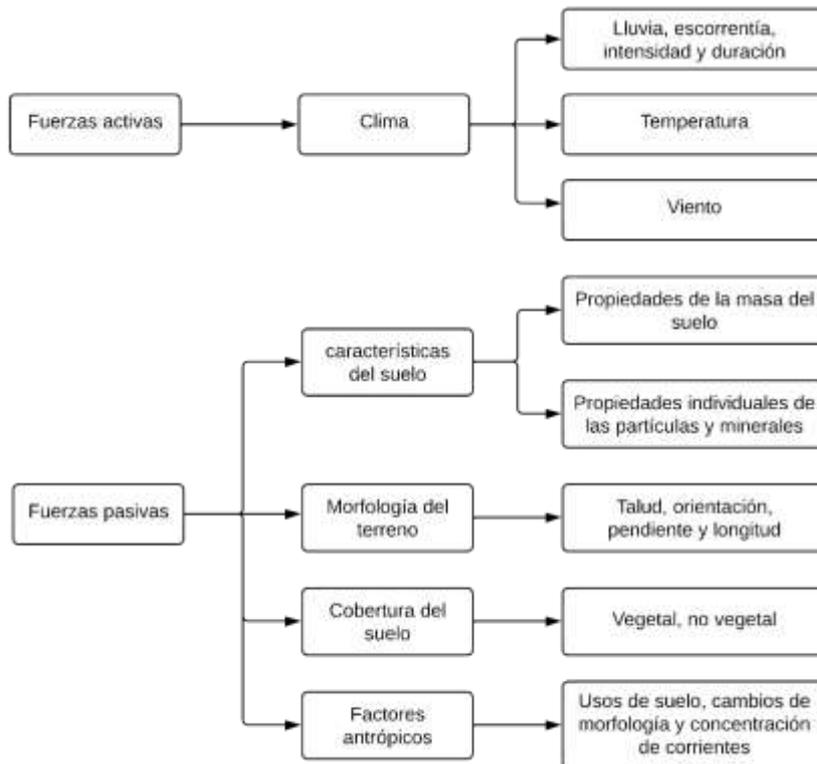
2.2.2. Erosión de suelos

La erosión es el producto de la interrelación de distintos factores que difieren de manera espacial y temporal. El estudio de tal fenómeno de estar encaminado en la comprensión de los componentes que inciden este proceso, para que, de esta manera, se logre un apropiado manejo y conservación del suelo.

La erosión sucede, generalmente, en zonas con escasa cobertura vegetal, con uso inapropiado de suelos, zonas expuestas a intensas precipitaciones, pendientes pronunciadas y de considerable longitud y con ausencia de prácticas de conservación (Alvarado, 2021, p.1).

Figura 1

Factores que afectan la susceptibilidad a la erosión.



Nota: La figura muestra los factores que inciden en la erosión progresiva de suelos. Tomado de Suarez, 2001.

2.2.3. Erosión hídrica.

La erosión hídrica debe ser entendida como la remoción, acarreo y disposición de partículas de suelo, así como de materia orgánica y nutrientes (Alvarez, 2020). Dicho fenómeno se presenta con diferentes grados de intensidad, llegando en muchas ocasiones hasta condiciones críticas, donde las consecuencias son irreversibles, ocasionando un desequilibrio armónico en las cuencas hidrográficas. Entre las principales consecuencias de dicho fenómeno, se puede mencionar la remoción de la capa orgánica superficial de los suelos, ocasionando una pérdida total de la capacidad productiva (Sabino et al., 2017, p.4).

Jumbo (2018) afirmó que la erosión hídrica es el desprendimiento y desplazamiento de las partículas de suelo debido a la escorrentía originada por la precipitación. Tal fenómeno depende de la interrelación de ciertos factores tales como la intensidad de lluvia, características de suelo, pendiente del terreno, cobertura vegetal y técnicas de conservación de suelo.

2.2.4. Erosión hídrica en el Perú

Taco (2021) afirmó que en el año 1996 el instituto nacional de recursos naturales (INRENA) elaboró material cartográfico de los niveles de erosión en nuestro país, identificando cuatro niveles de erosión los cuales se describen a continuación:

2.2.4.1. Erosión muy ligera. Correspondiente a erosión del tipo laminar, con un tipo de remoción de suelo imperceptible abarcando una superficie aproximada de 53 672 110 ha (41.4 % del territorio nacional), correspondiendo 49 996 260 ha a la sierra.

2.2.4.2. Erosión ligera. Se aprecia una notoria erosión laminar con degradación y arrastre de suelos con presencia de surcos. Son posibles los movimientos de masas, además de inundaciones eventuales. Este tipo de erosión abarca una superficie aproximada de 35 179 480 ha (27.4 % del territorio nacional), siendo la selva y la sierra las regiones más afectadas.

2.2.4.3. Erosión moderada. Se aprecia considerable erosión del tipo laminar además de la formación de surcos y cárcavas. Presentándose movimiento de masas e inundaciones. La superficie afectada es de aproximadamente 31 337 470 ha (24.4 % del territorio nacional) correspondiendo 14 730 640 ha a la sierra.

2.2.4.4. Erosión severa. Es posible observar abundante erosión en surcos y cárcavas con movimientos frecuentes de masas de suelo con abundante actividad del viento. La superficie afectada es de aproximadamente 8 240 810 ha (6.4 % del territorio nacional) correspondiendo 5 413 840 ha a la sierra.

Tabla 1*Intensidad de la erosión por regiones del Perú*

Símbolo	Intensidad de los procesos erosivos	Costa		Sierra		Selva		Total	
		ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
I	Muy ligera	1'672110	1.30	1'519660	1.20	49'996260	38.90	53'188030	41.40
II	Ligera	6'571880	5.10	14'146590	11.00	14'461010	11.30	35'179480	27.40
III	Moderada	4'106670	3.20	14'730640	11.50	12'500160	9.70	31'337470	24.40
IV	Severa	2'520650	2.00	5'413840	4.20	306320	0.20	8'240810	6.40
	Total	14'871310	11.60	35'810730	27.90	77'263750	60.10	27'945790	99.60
Lago Titicaca – lagunas - ríos								575 770	0.40
Total								28'521560	100

Nota: La tabla muestra el grado de intensidad de la erosión de suelos en el Perú. Tomado de Brack (2000), como se citó en Taco (2021)

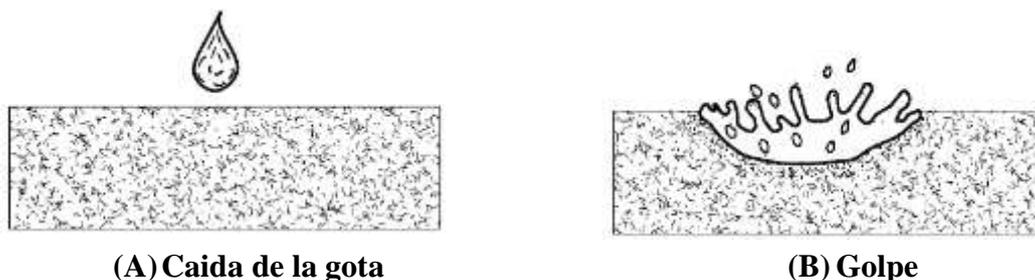
2.2.5. Etapas de la erosión hídrica

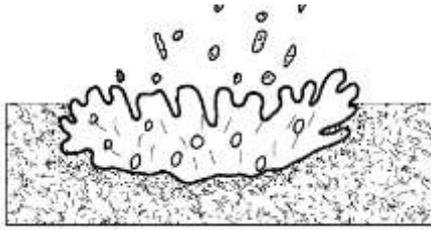
Jumbo (2018) definió las etapas de la erosión hídrica de la siguiente manera:

2.2.5.1. Desprendimiento. Etapa que se genera por el impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie. Durante esta fase, las partículas de menor tamaño permanecen en suspensión mientras que las más grandes inician su desplazamiento junto con la escorrentía.

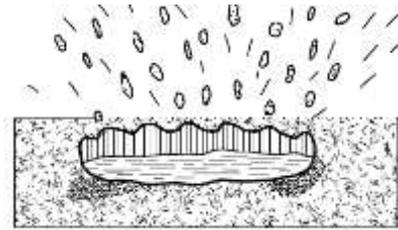
2.2.5.2. Arrastre o transporte. Etapa en la que el suelo pierde su capacidad de infiltración dando inicio a la generación de escorrentía. La capacidad de erosión está en función de la distribución e intensidad de la precipitación.

2.2.5.4. Deposición o sedimentación. Etapa en la que el suelo desplazado y las partículas en suspensión disminuyen su velocidad y son sedimentadas en zonas bajas de la cuenca.

Figura 2*Etapas de la erosión hídrica.*



(C) Desprendimiento



(D) Esparcimiento

Nota: La figura muestra las etapas de la erosión hídrica, desde el momento en que una gota de agua impacta sobre el suelo. Tomado de Suarez, 2001.

2.2.6. Formas de la erosión hídrica

2.2.6.1. Erosión por salpicadura. El salpicado del suelo se genera en el instante en que las gotas de lluvia caen sobre el suelo. La tasa de suelo salpicado difiere entre 50 a 90 veces más que el volumen perdido por socavación. En suelos con ausencia de cobertura vegetal, se salpica al aire aproximadamente 224 mg/ha como consecuencia de las precipitaciones (Sabino et al., 2017, p.8).

2.2.6.2. Erosión laminar. La erosión laminar remueve sistemáticamente el suelo en estratos finos, como resultado de la escorrentía que transita sobre el terreno. La generación de escorrentía forma pequeños riachuelos con velocidades que varían entre 0.3 y 0.6 m/s cuya fuerza abrasiva, depende de la profundidad y velocidad de escurrimiento para un tamaño, forma y densidad de partícula (Sabino et al., 2017, p.8).

Quispe (2018) mencionó que la erosión laminar es la remoción de la capa superficial del terreno, este tipo de erosión es notoria cuando la intensidad es incrementada por el paso del tiempo.

2.2.6.3. Erosión en surcos. Sabino et al. (2017) afirmaron que, la erosión en surcos se origina cuando el flujo superficial se concentra, al agua desprende el suelo, dando origen a canales y arroyos de pequeñas dimensiones bien definidos, los cuales se conocen como surcos o canalillos. Este tipo de canales son estables y de fácil identificación. La remoción y transporte de suelo es más severo ya que las velocidades de escurrimiento son mayores (p.9).

2.2.6.4. Erosión en cárcavas. Este tipo de erosión sucede sobre todo en cauces naturales de agua estacionales donde las avenidas originan el desprendimiento de suelo lateralmente así como la socavación del lecho causando la profundización del mismo. El aumento de las cárcavas se lleva a cabo en zonas de mayor altitud y con carencia de vegetación. La erosión por cárcavas se da, generalmente, posterior a la erosión laminar y en surcos originando grietas de 50 centímetros o más (Quispe, 2018).

2.2.7. Métodos de medición de la erosión hídrica

2.2.7.1. Modelos físicos teóricos. Los modelos físicos teóricos incluyen en su estudio las leyes de preservación de la masa y energía (Taco, 2021).

2.2.7.1.1. Water Erosion Prediction Project (WEPP). Es un método para la cuantificación de la erosión y está reflejado en un software de computadora considerando diversos procesos que se involucran en el fenómeno erosivo. El método estima la erosión laminar y en surcos en cuencas y laderas (Taco, 2021).

2.2.7.1.2. EUROSEM. Modelo similar al WEPP desarrollado para zonas europeas.

2.2.7.2. Modelos paramétricos. Taco (2021) afirmó que están basados en la inducción, y son aplicados en condiciones específicas.

2.2.7.3. Método de parcelas de escorrentía. Este método viene a ser un sistema de captación de suelo que fluye junto con la escorrentía, el mismo que es almacenado en recipientes para que posteriormente se cuantifique la cantidad de sedimento arrastrado a causa de la erosión (Jaramillo, 2015).

2.2.7.4. Método de clavos de erosión. Este tipo de metodología, resulta ser adecuada para medir la erosión hídrica producida en un área determinada porque permite cuantificar los sedimentos arrastrados mediante la medición directa en los clavos instalados. Los clavos a instalar en una parcela deberán tener una penetración de 0.3 m y unos 5 mm de diámetro (Quispe, 2018).

2.2.8. Ecuación universal de pérdida de suelo (USLE).

Actualmente, existen diversos procedimientos para estimar la pérdida de suelo que tienen una estrecha relación con actividades antropogénicas, Rosales (2020) afirma que:

La metodología que tiene mayor aceptación y difusión a nivel mundial es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE), formulada por Wischmeier & Smith (1962) y publicada en el Manual 534 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA) en el año 1978. La ecuación determina el volumen de suelo perdido anualmente como valor promedio de un determinado periodo de años, que se puede dar en una parcela o superficie como consecuencia de la erosión, con determinadas condiciones de vegetación, clima, relieve de terreno, usos de suelo y tipo de suelo (p.22).

Los factores de la USLE, fueron desarrollados a través de una unidad de análisis llamada parcela estándar, la misma que tiene una longitud de 22.13 metros, ubicada sobre una superficie con una pendiente homogénea de 9% en sentido longitudinal (Rosales, 2020)

2.2.9. Ecuación universal de pérdida de suelos modificada (MUSLE)

Con la finalidad de poder aplicar la USLE en cuencas hidrográficas, en el año 1975 Williams lleva a cabo la modificación del factor de erosividad (R), obteniendo así, la ecuación universal de pérdida de suelos modificada (MUSLE). Este método cuantifica el volumen de sedimento generado en una cuenca hidrográfica durante un episodio determinado de lluvia mediante la evaluación del caudal pico y volumen de escurrimiento observado. Para el desarrollo de la metodología se utilizaron datos de 18 microcuencas, además, es preciso indicar que, el uso de la MUSLE es recomendable para superficies menores a 100 kilómetros cuadrados (Taco, 2021).

2.2.10. Ecuación universal de pérdida de suelos revisada (RUSLE)

Con el objetivo de que la metodología USLE sea más general y universal al momento de estimar la pérdida de suelo, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA)

toma la decisión de llevar a cabo una ampliación del número de parcelas experimentales, y de esta manera optimizar la representación del rango de condiciones de clima, vegetación y suelo en su totalidad (Rosales, 2020, p.23).

El cambio más relevante fue la inclusión de herramientas informáticas en la obtención de cada factor, es así que, la ecuación RUSLE conserva los seis (6) factores originales propuestos por Wischmeier y Smith. La expresión matemática es:

$$A = R * K * LS * C * P \quad (1)$$

Donde:

A: Pérdida Anual de suelos por unidad de superficie ($t \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)

R: Índice de erosividad de lluvias ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$)

K: Factor de erodabilidad del suelo ($t \text{ ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$)

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

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

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

2.2.11. Factor R o erosividad

Escobar (2019) mencionó que el factor R representa la capacidad potencial de las lluvias para generar erosión; es función de las características físicas de las mismas (duración, velocidad, intensidad, y dimensión de gotas) y que los valores resultantes están influenciados en gran parte por la altitud.

Por otro lado, Jaramillo (2015) indicó que es el factor R, es el que define la agresividad o erosividad de la lluvia, siendo el que fija la capacidad potencial de las precipitaciones en ocasionar erosión en el suelo durante un periodo determinado de lluvia.

Uno de los métodos para calcular el factor de R de erosividad, es el Índice Modificado de Fournier que fue propuesto por Arnoldus en el año 1978.

Según Escobar (2019) el método utiliza una ecuación que fue obtenida por regresión lineal con valores de R conocidos vs. Lluvias promedio anuales. Tal método fue usado por la FAO para elaborar el mapa universal de degradación de suelos.

$$R = \sum_{i=1}^{i=12} \frac{pi^2}{P} \quad (2)$$

Dónde:

i = Número del mes

pi = Precipitación media mensual del mes (mm)

P = Precipitación media anual (mm)

El cálculo del factor R para un área de estudio, requiere una alta resolución pluviógrafos durante al menos 20 años (Thomas et al., 2018). La tabla 2 muestra la clasificación del factor R para Latinoamérica.

Tabla 2

Clasificación de IMF para Latinoamérica

Clase	Rango	Clasificación
1	Menor de 60	Muy bajo
2	60 a 90	Bajo
3	90 a 120	Moderado
4	120 a 160	Alto
5	Mayor de 160	Muy alto

Nota: La tabla muestra la clasificación del índice Modificado de Fournier (IMF) para los países de América Latina. Tomado de Ramirez et al., 2007.

2.2.12. Factor K o erodabilidad

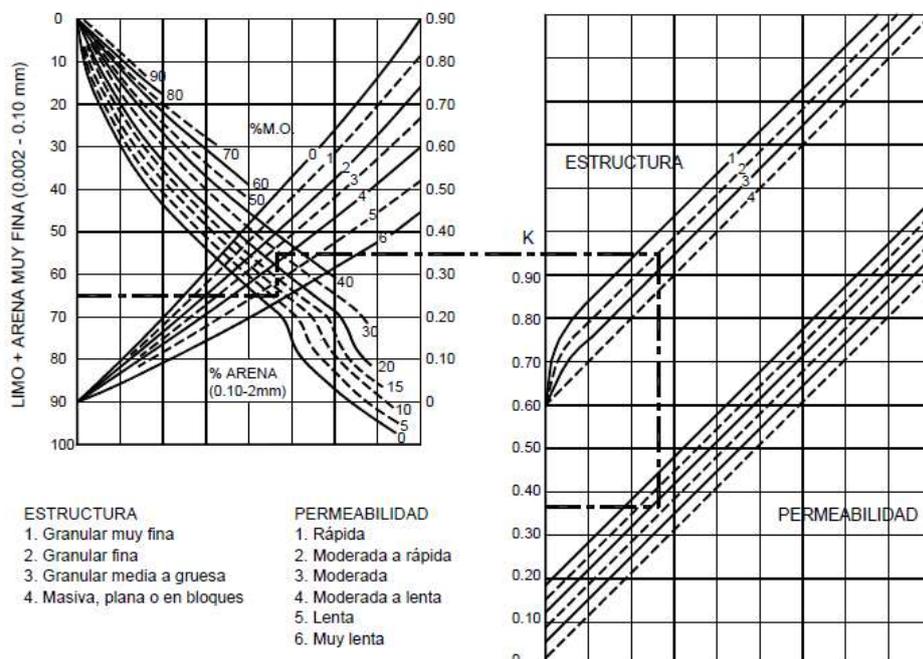
Representa la susceptibilidad del suelo a ser erosionado. Algunos tipos de suelos son erosionados con mayor celeridad que otros aun cuando condiciones como las pendientes, lluvia, cobertura y prácticas de manejo sean las similares, esto debido a las propiedades intrínsecas del suelo (Velásquez, 2008).

La erodabilidad es inversamente proporcional al contenido de partículas de arcilla y arena (excluyendo arena muy fina), es decir, disminuye mientras la cantidad de arcillas y arena es mayor. Del mismo modo Velásquez (2008) indicó que, los suelos con mayor contenido de arcilla poseen bajos valores de K, esto debido a la resistencia al desprendimiento de las partículas de suelo. Los suelos arenosos, tienen bajos valores de erodabilidad, aunque son fácilmente erodables. Suelos con una textura media, como los francos, generan una escorrentía moderada. Por otro lado, suelos que poseen un alto contenido de limo son los más susceptibles a ser erodados, ya que son fácilmente desprendibles, tienden a formar una especie de costra y producen altas tasas de escorrentía.

Renard et al., (1997) mencionaron que “Una aproximación algebraica útil del nomograma para aquellos casos donde la fracción de limo no exceda el 70% es:” (p. 74).

Figura 3

Nomograma para la determinación del índice de erosionabilidad del suelo



Nota: La figura muestra el nomograma para determinar el factor de erosionabilidad a partir de la textura, estructura y permeabilidad del suelo. Tomado de Suarez, 2001.

$$K = \frac{1}{7.594} \left(\frac{2.1M^{1.14}10^{-4}(12 - a) + 3.25(b - 2) + 2.5(c - 3)}{100} \right) \quad (3)$$

Donde:

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

a: Porcentaje de materia orgánica (% M.O.)

b: Código de tipo de estructura

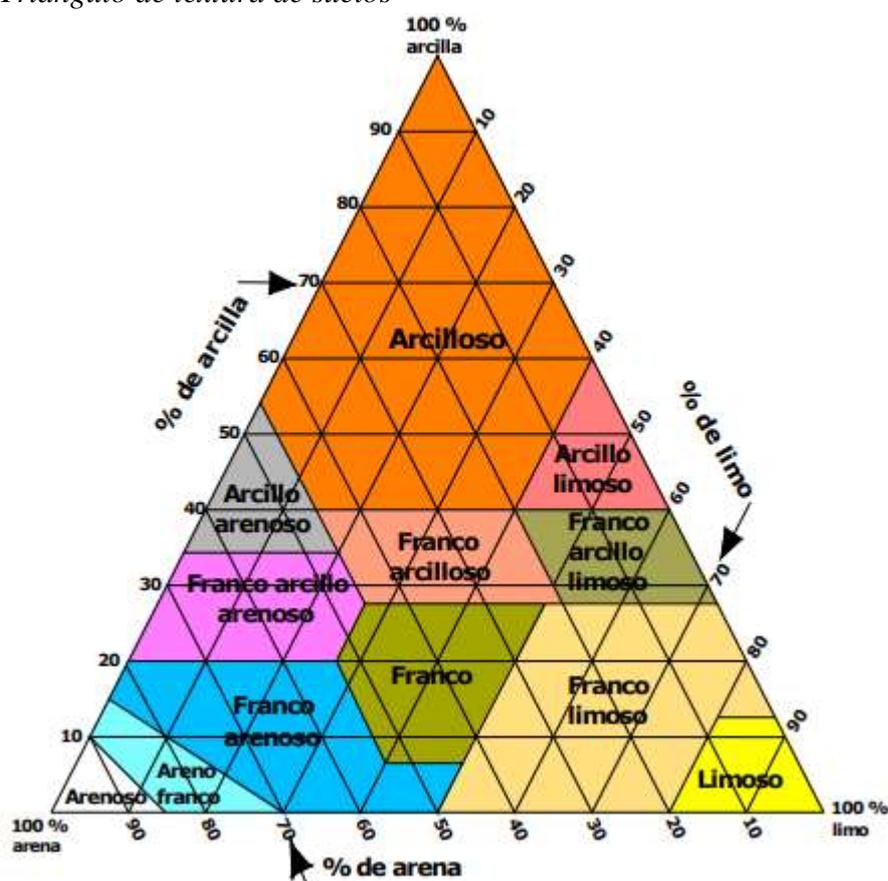
c: Clase de permeabilidad

El factor K se expresa como $t. \text{ acre}^{-1}$ por unidad de índice de erosión con las unidades habituales de EE UU $\text{ton. acre. h} (\text{cientos de acre. pie-tonf. in})^{-1}$. La división de esta ecuación con el factor 7.594 producirá valores K expresados en unidades del Sistema Internacional, específicamente en $t. \text{ ha. h. ha}^{-1}. \text{ MJ}^{-1}. \text{ mm}^{-1}$ (Renard et al., 1997, p.74).

La textura del suelo hace referencia al porcentaje de componentes inorgánicos como arena, limo y arcilla (FAO, 2015). La textura se puede determinar mediante el uso del triángulo de textura, el cual se muestra a continuación.

Figura 4

Triángulo de textura de suelos



Nota: La figura muestra el triángulo de textura, el cual permite determinar el tipo de suelo a partir del porcentaje de arena, limo y arcilla. Tomado de USDA, 1962.

A continuación, se presentan tablas de clasificación de erodabilidad, permeabilidad y de estructura del suelo, respectivamente.

Tabla 3

Clasificación de los grados de erodabilidad según USDA (1962)

Valor de K ($t\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$)	Clasificación
< 0.007902	Muy poco erodable
0.0079 – 0.0171	Poco erodable
0.0171 – 0.0329	Erodabilidad moderada
0.0342 – 0.0684	Alta erodabilidad
0.0684 – 0.1027	Muy alta erodabilidad

Nota: La tabla muestra la clasificación de los valores del factor K o de erodabilidad. Tomado de USDA, 1962.

Tabla 4

Clase de permeabilidad según textura de suelo.

Clase de permeabilidad	USDA (1983) Textura	Rawis et al. (1982) Kfs (m/día)	Hudson (1982) Kfs (m/día)
1 (rápida y muy rápida)	Arenosa	>1.463	>3
2 (moderada a rápida)	Arenosa franca, franco arenoso	0.488 – 1.463	1.5 - 3
3 (moderada)	Franca, franco limoso, limosa	0.122 – 0.488	0.48 – 1.5
4 (lenta a moderada)	Franco arcillo arenoso, franco arcilloso	0.049 – 0.122	0.12 – 0.48
5 (lenta)	Franco arcillo limosa, arcillo arenosa	0.024 – 0.049	0.03 – 0.120
6 (muy lenta)	Arcillosa, arcillo limosa	<0.024	<0.03

Nota: La tabla muestra la clasificación de la permeabilidad a partir de la textura de los suelos. Tomado del Manual de suelos N° 430 USDA, 1983.

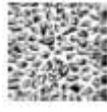
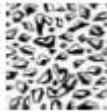
Tabla 5*Estructura del suelo a profundidades de 0.15 – 0.20 m*

Clase de estructura	Clasificación
1	Granular muy fino (< 1 mm)
2	Granular fino (1 - 2 mm)
3	Granular medio (2 - 5 mm) y granular grueso (5 – 10 mm)
4	Granular liso, prismático, culumnar y muy grueso (>10 mm)

Nota: La tabla muestra la clasificación de la estructura de los suelos. Tomado de Suarez, 2001.

Para una mejor clasificación del código de estructura del suelo, la tabla 5 muestra gráficamente los tipos de estructura facilitando la identificación visual en campo al momento de la recolección de muestras.

Tabla 6*Códigos de estructura del suelo de USLE*

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

Nota: La tabla muestra la clasificación de la estructura a partir del tamaño y forma granular del suelo observado in situ. Tomado de Mancilla, 2008.

2.2.13. El factor LS o longitud y gradiente de la pendiente

Según Castro (2013) la topografía irregular del terreno afecta directamente el proceso de erosión y se representa por el factor LS. La relación entre la erosión y factor LS es directamente proporcional, es decir, la erosión aumenta a medida que la longitud del terreno incrementa en el sentido de la pendiente (factor L) y la inclinación del terreno se hace más grande (factor S).

El factor LS interpreta la relevancia de la orografía en la erosión hídrica, el factor L que viene a ser la longitud promedio de la inclinación del terreno y el factor S es la inclinación de este (Wischmeier & Smith, 1978). En la presente investigación, factor LS será determinado por el método de Renard (1997) según las fórmulas de la RUSLE.

2.2.13.1. Factor L. Donde λ se define como la longitud de la pendiente (m), m representa el exponente de la longitud de la pendiente y β es el ángulo de la pendiente. La longitud de la pendiente se debe entender como la distancia horizontal desde donde se genera la escorrentía superficial hasta el punto donde empieza la deposición o donde la escorrentía fluye hacia un canal definido (Taco, 2021).

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m \quad (4)$$

$$m = \frac{F}{1 + F} \quad (5)$$

$$F = \frac{\frac{\sin\beta}{0,0896}}{3(\sin\beta)^{0.8} + 0.56} \quad (6)$$

$$L(i, j) = \frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{X^m * D^{m+2} * (22.13)^m} \quad (7)$$

Donde:

F: Raster F

β : Pendiente

m: Exponente de la longitud de la pendiente

L: Factor de la longitud de la pendiente

A (i, j): Acumulación de flujo a nivel de pixel (celda)

D: Tamaño del pixel

X: Factor de corrección de forma (X=1 para sistemas de pixelados)

22.13: Longitud estándar de la pendiente

2.2.13.2. Factor S. β se define como el ángulo medio a todos los subgrids en la dirección de la mayor pendiente (Taco, 2021).

$$S(i, j) = \begin{cases} 10.8 * \text{Sin}\beta_{(i,j)} + 0.03 & \tan\beta_{(i,j)} < 0.09 \\ 16.8 * \text{Sin}\beta_{(i,j)} - 0.5 & \tan\beta_{(i,j)} \geq 0.09 \end{cases} \quad (8)$$

Cuando se utiliza esta fórmula en el Raster Calculator de ArcGIS, se debe considerar que el ángulo tiene que ser convertido a radianes (1 grado sexagesimal = 0,01745 radianes), para que de esta manera pueda ser multiplicado con los demás componentes de las ecuaciones (Velásquez, 2008).

2.2.14. Factor C de cobertura vegetal

La cobertura vegetal es la capa de protección del suelo. Las partes aéreas, como hojas y tallos, reducen gran parte de la energía de las gotas de lluvia, de la escorrentía superficial y del viento, de modo tal que el efecto de degradación sobre el suelo es menor (Escobar, 2019).

Castro (2013) afirmó que, la cobertura vegetal es el parámetro que define el potencial de la vegetación para mitigar el arrastre de suelo, en otras palabras, si el suelo se mantiene desnudo durante la época de precipitaciones, el desprendimiento y arrastre de sedimento es mayor.

Por otro lado, Zaragoza (2021) mencionó que el factor C regula el efecto del tipo de cobertura del suelo en la erosión hídrica, además puede variar entre 0 y 1. Si el valor se acerca a uno (1), la erosión será mayor y favorable, mientras que, si es cercano a cero (0), el factor C, mitigará el efecto de degradación del suelo.

El uso de técnicas de teledetección para determinar el factor C a partir de índices de cobertura vegetal en imágenes satelitales, han mostrado resultados óptimos. Para la ponderación de la cobertura vegetal, se usa el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), que clasifica la vegetación en base a la actividad fotosintética. (Zaragoza, 2021, p.35). El NDVI puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (9)$$

Donde:

NIR: Infrarrojo cercano

RED: Banda roja del espectro visible

Zuñiga (2017) mencionó que, esta ecuación, permite conseguir un archivo tipo ráster cuyos valores varían entre -1 y +1. Los coeficientes con valores cercanos a cero, identifican a superficies con nula actividad fotosintética, es decir, suelos desnudos; los valores en el rango de 0 a 0.5, representan suelos con actividad fotosintética media; mientras que los que se acerquen a 1, constituyen suelos con alta actividad fotosintética.

Tabla 7

Clasificación de los Valores del NDVI

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)	
Clasificación	Valores
Nubes y cuerpos de agua	< 0.01
Suelos sin vegetación	0.01 – 0.09
Vegetación ligera	0.10 – 0.19
Vegetación mediana	0.20 – 0.40
Vegetación alta	> 0.4

Nota: La tabla muestra la clasificación del NDVI a partir de la medición del nivel de intensidad de la radiación que la vegetación refleja. Tomado de Merg et al., 2011.

Actualmente se dispone de valores de cobertura vegetal publicados por Wischmeier (1978) & Mannaerts (1999); para los tipos más habituales de cultivos, así como para las distintas coberturas; definidos de manera experimental.

Tabla 8

Valores del factor C para los tipos más comunes de cobertura de suelo.

Cubierta vegetal	C
Suelo desnudo	1
Bosque o matorral denso	0.001
Pradera herbácea en buenas condiciones	0.01
Pradera sobre pastoreada	0.1
Maíz, sorgo, alto rendimiento, laboreo convencional	0.20-0.55
Maíz, sorgo, alto rendimiento., sin laboreo convencional	0.50-0.90
Maíz, sorgo, bajo rendimiento, laboreo mínimo	0.02-0.1
Maíz, sorgo, alto rendimiento, laboreo con chisel	0.12-0.2
Maíz, sorgo, bajo rendimiento, laboreo con chisel	0.30-0.45
Algodón	0.40-0.70
Pradera herbácea	0.01-0.025
Soya	0.20-0.50
Trigo	0.10-0.40
Arroz	0.10-0.20
Cacahuate	0.30-0.80
Frutales con cobertura vegetal	0.01-0.80
Caña de azúcar	0.56
Arbolado denso	0.001-0.003
Arbolado forestal clareado	0.003-0.009
Arbolado muy clareado (25 -60%)	0.041
Matorral con buena cobertura	0.003-0.013
Matorral ralo y eriales	0.20-0.013
Cultivos anuales y herbáceos	0.25
Pasturas	0.15
Plantas herbáceas y matorjos (100%)	0.003
Plantas herbáceas y matorjos (60%)	0.035
Cubierta escasa (60%)	0.15-0.09
Cubierta inapreciable	0.45

Nota: La tabla muestra los valores del factor C según la cobertura vegetal. Tomado de Cayo, 2001.

Carvalho et al. (2014) afirmaron que, en base a investigaciones, se determinó un nuevo método para calcular el factor C reescalado de RUSLE basado en el NDVI para áreas con una cobertura vegetal preponderante. Zaragoza (2021), mencionó que tal la metodología fue deducida mediante modelos de regresión, y es recomendable para zonas con lluvias recurrentes.

A continuación de muestra la ecuación para determinar el factor Cr de RUSLE en base al NDVI.

$$Cr = \frac{(-NDVI + 1)}{2} \quad (10)$$

Donde:

Cr: Factor C reescalado, cuyos valores varían entre 0 y 1

2.2.15. Factor P de prácticas de conservación de suelos

Este factor constituye el resultado de mejores prácticas de conservación como son los cultivos en contorno, en bandas o franjas. Tal valor varía de 0 a 1 y depende de la pendiente del terreno, aunque es posible obtenerlo de tablas (Jumbo, 2018).

El factor P define la importancia que poseen las prácticas de conservación de suelos sobre las tasas de erosión, situando cultivos siguiendo las curvas de nivel, en fajas o terrazas para interrumpir las líneas de escorrentía (Taco, 2021). La cuenca en estudio, no registra prácticas de conservación. Nakaya (2018) mencionó que, en estos casos, el valor de P es 1.

Tabla 9

Valores de "P" para cultivos en contorno y su máxima longitud permitida

Gradiente de pendiente (%)	Factor P	Máxima longitud de pendiente (m)
1 – 2	0.6	120 - 180
3 – 5	0.5	90 – 100
6 – 8	0.5	60 – 65
9 – 12	0.6	40
13 – 16	0.7	25
17 – 20	0.8	20
21 -25	0.9	15

Nota: La tabla muestra los valores del factor de prácticas de conservación de suelos a partir del porcentaje y longitud de la pendiente. Tomado de Wischmeier & Smith, 1978.

2.2.16. Pérdida de suelo

La pérdida permitida de suelo depende de las condiciones de sí mismo, la erosión debe permanecer con una tasa menor o igual que el ritmo de formación de nuevo suelo, lamentablemente esto no sucede en la realidad, pues la tasa de formación es mucho menor que la pérdida (Escobar, 2019). Morgan (citado en Escobar, 2019) afirmó que la tasa de formación de nuevo suelo posee valores de entre 0.01 a 7.7 mm/año y en casos excepcionales, 0.1 mm/año.

El límite de erosión de suelos permitido oscila entre los valores de 2 y 12.5 t ha⁻¹ año⁻¹, dependiendo de la profundidad y características físicas que posean. Habitualmente se han ido aceptando valores de 12.5 t ha⁻¹ año⁻¹ para suelos profundos con un índice alto de permeabilidad y con buen drenaje, mientras que valores de 2 a 4 t ha⁻¹ año⁻¹ para suelos poco profundos (Quispe, 2018).

Tabla 10

Clasificación de los niveles de intensidad de pérdida de suelo.

Intensidad de amenaza	Pérdida de suelo t ha ⁻¹ año ⁻¹
Baja	< 5
Moderada	5 – 25
Media	25 - 50
Alta	50 – 100
Muy alta	100 – 200
Crítica	> 200

Nota: La tabla muestra los niveles de la intensidad de suelo perdido en toneladas por hectárea por año Adaptado de FAO, UNESCO y PNUMA, 1980.

2.2.17. Sistemas de información geográfica

Los sistemas de información geográfica son una tecnología de gestión de información geográfica constituida por equipos electrónicos (hardware) programados apropiadamente (software) que permiten administrar datos espaciales (información geográfica) y llevar a cabo complejos análisis siguiendo los criterios establecidos por el personal científico (Escobar, 2019).

La base de los S.I.G. son, por consiguiente, un conjunto de capas de información espacial en formato digital que constituyen diversas variables (formato ráster) o, por el contrario, que representan objetos (formato vectorial) a los que corresponden diversas entradas en una base de datos vinculada. Este tipo de estructura facilita combinar en un mismo sistema, información con formatos muy variados, ampliando la complejidad del sistema (Zuñiga, 2017).

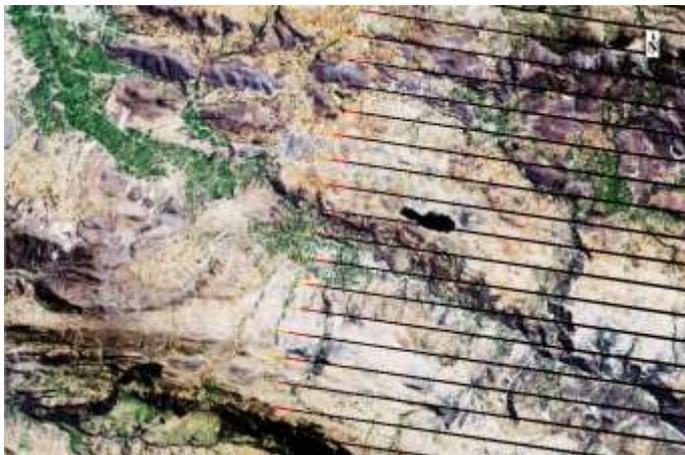
2.2.18. Imágenes Landsat

La Agencia Espacial Norteamericana (NASA), en la década de los años 60, llevó a cabo un proyecto dedicado enteramente a la observación de la tierra. Como consecuencia de tal proyecto, se puso en órbita el satélite de la serie ERTS (Satélite de Tecnología de Recursos Terrestres) en el año 1972. Posteriormente todo este grupo de satélites, fue renombrado como Landsat. (García, 2015).

Actualmente solo los satélites Landsat 7 (1999), Landsat 8 (2013) y Landsat 9 (2021) son los que mantienen su operación. Es preciso indicar que Landsat 7 presentó fallos en 2002, y como consecuencia, todas las imágenes capturadas presentan una pérdida de datos de por lo menos 22%. Las Scan Line Corrector (SLC) muestran huecos de forma de líneas paralelas diagonales de datos no válidos (gaps) que cubren la anchura de las imágenes (González, 2018).

Figura 5

Falla en imagen Landsat 7



Nota: La figura muestra imagen Landsat 7 con pérdida de datos denominada Scan Line Corrector originada el año 2002.

Sin embargo, si es necesario contar con imágenes satelitales anteriores a las fechas de lanzamiento de los satélites antes mencionados, es posible recurrir a imágenes Landsat 5 cuyo año de lanzamiento fue en 1984, y posee una data hasta el año 2011.

A continuación, se presentan las tablas 10, 11 12 con las principales características de los satélites Landsat 5, Landsat 7 y Landsat 8 respectivamente, cuya base de datos fue utilizada en el desarrollo de la presente investigación.

Tabla 11
Características de las imágenes satelitales Landsat 5

Landsat 5				
Periodicidad	16 días	Lanzamiento		01/03/1984
Sensor	Bandas espectrales		Longitud de onda (μm)	Resolución (m)
TM	1	Azul	0.45 – 0.52	30
	2	Verde	0.52 – 0.60	30
	3	Roja	0.63 – 0.69	30
	4	IRC	0.76 – 0.90	30
	5	IRL	1.55 – 1.75	30
	6	TL	10.4 – 12.5	120(30)
	7	TP	2.08 – 2.35	30

Nota: La tabla muestra las características de las imágenes Landsat 5. Adaptado de USGS, 2016.

Tabla 12
Características de las imágenes satelitales Landsat 7

Landsat 7				
Periodicidad	16 días	Lanzamiento		15/04/1999
Sensor	Bandas espectrales		Longitud de onda (μm)	Resolución (m)
ETM+	1	Azul	0.45 – 0.52	30
	2	Verde	0.52 – 0.60	30
	3	Roja	0.63 – 0.69	30
	4	IRC 1	0.76 – 0.90	30
	5	IRC 2	1.55 – 1.75	30
	6	IRT	10.4 – 12.5	30
	7	IRM	2.08 – 2.35	30
	8	Pancromático	0.5 – 0.9	15

Nota: La tabla muestra las características de las imágenes Landsat 7. Adaptado de USGS, 2016.

Tabla 13*Características de las imágenes satelitales Landsat 8*

Landsat 8				
Periodicidad	16 días	Lanzamiento	11/02/2013	
Sensor	Bandas espectrales		Longitud de onda (μm)	Resolución (m)
OLI	1	Aerosol costero	0.43 – 0.45	30
	2	Azul	0.45 – 0.51	30
	3	Verde	0.53 – 0.59	30
	4	Roja	0.64 – 0.67	30
	5	IRC 1	0.85 – 0.88	30
	6	IRC 2	1.57 – 1.65	30
	7	IRM	2.1 – 2.3	30
	8	Pancromático	0.5 – 0.68	15
TIRS	9	Cirrus	1.36 – 1.38	30
	10	IRT 1	10.6 – 11.19	100
	11	IRT 2	11.5 – 12.51	100

Nota: La tabla muestra las características de las imágenes Landsat 8. Adaptado de USGS, 2016.

Donde:

IRC: Infrarrojo cercano

TL: Térmico lejano

IRM: Infrarrojo medio

TP: Térmico próximo

IRT: Infrarrojo térmico

IRL: Infrarrojo térmico lejano

2.2.19. Análisis de consistencia

Con el propósito de verificar que los datos históricos de precipitaciones mensuales recopilados carecen de errores sistemáticos, se lleva a cabo el análisis de consistencia en los principales parámetros estadísticos: media y variancia.

2.2.19.1. Análisis de saltos. Se le denomina salto a formas determinísticas transitorias que conceden a una serie periódica o no periódica de un estado a otro, como consecuencia frente cambio realizados por el hombre producto al continuo desarrollo de los recursos hídricos en la cuenca (Aliaga y De Piérola, 1978).

2.2.19.1.1. Análisis gráfico o visual. Implica analizar visualmente la distribución temporal de la información disponible, para identificar la irregularidad de los mismos. La gráfica de la variable hidrológica (precipitación, caudales, etc.), en el eje de las ordenadas y el periodo cronológico respectivo (anual, mensual, semanal o diario) en el eje de las abscisas (Mejía, 2012).

2.2.19.1.2. Análisis de doble Masa. El análisis de doble masa es una técnica muy utilizada en la identificación de inconsistencias de datos hidrológicos, cuando se cuenta con 2 o más series de datos, en lo referente a errores que pueden haberse generado durante el registro de los mismos (Mejía, 2012).

2.2.19.1.3. Análisis estadístico (identificación del salto). Se lleva a cabo mediante un proceso estadístico, es decir, mediante un proceso de identificación de la homogeneidad o no de las series; mediante las pruebas T y F.

Consistencia en la media

Hp: $\mu_1 = \mu_2$ (Media poblacional)

Ha: $\mu_1 \neq \mu_2$

$\alpha = 0.05$

$$Sd = Sp * \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{1/2} \quad (11)$$

$$Sp = \left[\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{1/2} \quad (12)$$

$$Tc = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{Sd} \quad (13)$$

Donde:

$\mu_1 - \mu_2 = 0$ (por hipótesis)

Tc: T calculado

Sd: desviación estándar de los promedios

Sp: desviación estándar ponderada

\bar{X}_n : Media del periodo n

Decisión

Si $|T_c| < T_t$ (95%) $\mu_1 = \mu_2$ (estadísticamente)

Si $|T_c| > T_t$ (95%) $\mu_1 \neq \mu_2$ (estadísticamente)

T_t (T tabular) se calcula con $\alpha = 0.05$ y $GL = n_1 + n_2 - 2$

Consistencia en la desviación estándar (prueba de variancias)

Cálculo de las variancias de ambos periodos S_1^2 y S_2^2

$H_p: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ (variancias poblacionales)

$H_a: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

$\alpha = 0.05$

$$F_c = \frac{S_1^2}{S_2^2}, \text{ si } S_1^2 > S_2^2 \quad (14)$$

$$F_c = \frac{S_2^2}{S_1^2}, \text{ si } S_2^2 > S_1^2 \quad (15)$$

Donde:

F_c : F calculado

F_t : F tabular con $\alpha = 5\%$, $GLN = n_1 - 1$ y $GLD = n_2 - 1$

Decisión

Si $F_c < F_t$ (95%) $S_1 = S_2$ (estadísticamente)

Si $F_c > F_t$ (95%) $S_1 \neq S_2$ (estadísticamente)

Corrección de datos

Primer caso: periodo 1 es confiable

$$X'_t = \bar{X}_1 + S_1 \left(\frac{x_i - \bar{X}_2}{S_2} \right) \quad (16)$$

Segundo caso: periodo 2 es confiable

$$X'_t = \bar{X}_2 + S_2 \left(\frac{x_i - \bar{X}_1}{S_1} \right) \quad (17)$$

X'_t : Valor corregido x_i : valor a ser corregido

2.2.19.2. Análisis de tendencia. El análisis de tendencia, se realiza con la información libre de saltos. Según Aliaga y De Piérola (1978) las tendencias se entienden como una variación sistemática y continua sobre una muestra de datos hidrometeorológicos y, por ende, afecta la distribución y dependencia de la serie.

2.2.19.2.1. Tendencia en la media. Puede ser expresada de manera particular por la ecuación de regresión lineal

$$T_m = A_m + B_m t \quad (18)$$

Dónde:

t: tiempo en años, tomado como variable independiente de la tendencia (1, 2, 3, ..., n)

T_m: tendencia en la media.

A_m, B_m: coeficiente de la ecuación por ser estimados

Para la identificación del grado de significancia de la tendencia en la media, se analiza el coeficiente de correlación R

$$T_c = \frac{R\sqrt{(n-2)}}{\sqrt{(1-R^2)}} \quad (19)$$

Dónde:

T_c: valor estadístico t calculado

n: número total de datos

R: coeficiente de correlación

Decisión

Si $|T_c| < T_t$ (95%) R no es significativo

Si $|T_c| > T_t$ (95%) R es significativo y necesidad de corregir

T_t (T tabular) se calcula con $\alpha = 0.05$ y GL = n-2

2.2.19.2.2. Tendencia en la desviación estándar. La tendencia en la varianza T_s, se expresa por la ecuación de regresión lineal:

$$T_s = A_s + B_s t \quad (20)$$

Donde:

T_s : tendencia en la desviación estándar, siendo el valor corregido de la tendencia en la media

t : tiempo en años tomado como la variable independiente de la tendencia (1, 2, 3, ..., n)

A_s, B_s : coeficiente de la ecuación por ser estimados

Corrección de datos

Si la prueba R resulta ser significativa, la tendencia en la desviación estándar es significativa, por ende, se lleva a cabo la corrección de datos mediante la siguiente ecuación (Aliaga y De Piérola, 1978).

$$Z_T = \frac{X'_T - T_m}{T_s} \quad (21)$$

Donde:

Z_T : Serie sin tendencia en la media ni en la desviación estándar.

Para que el proceso conserve la media y la desviación estándar de manera constante, la ecuación es:

$$Z_T = \frac{X'_T - T_m}{T_s} * \bar{T}_s + \bar{T}_m \quad (22)$$

Donde:

\bar{T}_s y \bar{T}_m : promedios de la tendencia en la desviación estándar y media, respectivamente.

La serie Z_T se debe entender como una serie homogénea y consistente al 95%

2.2.20. Estimación de datos hidrológicos faltantes

Para completar los datos hidrológicos faltantes se utilizó la metodología de generación de números aleatorios. Mejía (2012) mencionó que, el dato faltante en la serie puede ser completado mediante el siguiente modelo lineal.

$$P_i = \bar{P} - \sigma\xi \quad (23)$$

Donde:

ξ : número aleatorio con distribución normal, lognormal, gamma, etc.

2.2.20.1. Generación de números aleatorios con distribución normal. Para la generación de números aleatorios con distribución normal, teniendo media igual a cero y desviación estándar igual a 1, se puede usar alguna de las siguientes ecuaciones.

$$\xi_i = (-2\ln X_i)^{1/2} \cos(2\pi X_{i+1}) \quad (24)$$

$$\xi_i = (-2\ln X_i)^{1/2} \text{sen}(2\pi X_{i+1}) \quad (25)$$

Para la completación de datos, mediante la distribución normal, se debe ajustar a la prueba Chi-cuadrado o Kolmogorov, si los datos Hidrológicos se ajustan, es posible completar el dato faltante en base a la ecuación (23) (Mejía, 2012).

2.2.20.2. Generación de números aleatorios con distribución Log-normal. Se lleva a cabo mediante el siguiente procedimiento:

- Se generan números aleatorios mediante la distribución normal
- Se transforman a $X = e^{u+\sigma Y}$; donde Y posee distribución normal y X, distribución Log-normal

2.2.20.3. Generación de números aleatorios con distribución Gamma. La expresión a usar es:

$$f(t) = \frac{t^{\gamma-1} e^{-t}}{\Gamma(\gamma)} \quad (26)$$

Siguiendo los siguientes pasos:

- Generación de números aleatorios con una distribución normal ξ
- Calcular el número aleatorio con una distribución Gamma o Pearson III mediante:

$$t = \gamma \left[1 - \frac{1}{9\gamma} + \frac{\xi}{3\sqrt{\gamma}} \right]^3 \quad (27)$$

Donde γ representa el parámetro de la función Gamma

2.2.21. Unidades de suelos

Cajamarca posee una gran extensión territorial donde el suelo representa el recurso de mayor relevancia para el desarrollo de vida de los seres vivos. A continuación se describen las unidades de suelo identificados y estudiados en la presente investigación de acuerdo al estudio de suelos y capacidad de uso mayor del departamento de Cajamarca elaborado por Poma y Alcántara (2010 - 2011).

2.2.21.1. Fluvisoles (J). Son suelos originados a partir de depósitos aluviales recientemente nuevos. Se ubican en zonas bajas adyacentes a cauces naturales que acogen material aluvial en épocas de crecientes. Se caracterizan por tener altas cantidades de grava redondeada (cantos rodados).

2.2.21.2. Leptosoles (L). Son suelos originados en su mayoría a partir de rocas areniscas cuarcíticas y en parte procedentes de rocas calizas y volcánicas. Son suelos superficiales con una distribución en las laderas de regiones alto andinas, además de poseer una fertilidad natural baja.

2.2.21.3. Paramosol (PS). Son suelos cuyo origen proviene de rocas del tipo areniscas, calizas y cuarcitas, así como también volcánicas. Este tipo de suelos son medianamente profundos, se ubican en laderas de montaña con una fertilidad baja y con erosión considerable.

2.2.21.4. Phaeozem (H). Estas unidades de suelos tienen su origen a partir de depósitos de material detrítico, además de rocas areniscas, cuarcitas y lutitas y en algunos casos particulares de calizas de procedencia aluvio coluvial. La fertilidad de este tipo de suelos es media.

2.2.21.5. Vertisol (V). Son suelos que poseen un origen limno fluvio glacial, formados a partir de depósitos de material detrítico y con profundidad importante ubicados generalmente en planicies y laderas relativamente suaves. Tiene una fertilidad que varía entre media a alta.

2.2.21.6. Andosol – Leptosol (T-L). El origen de esta asociación de suelo es a partir de la degradación de areniscas, cuarcitas, calizas y volcánicas, su ubicación generalmente es en laderas de montaña y pie de monte y tienen una fertilidad que varía entre media y baja.

2.2.21.7. Fluvisol – Phaeozem (J-H). Esta asociación de suelos está constituida por la descomposición de sedimentos aluviales y coluviales trasladados por los cauces naturales, se pueden ubicar en terrazas y planicies teniendo una considerable profundidad con una fertilidad que varía entre media y alta.

2.2.21.8. Páramo Andosol – Leptosol (PA-L). Esta unidad tiene un origen en tobas dacíticas y en la desintegración de rocas volcánicas. Son suelos superficiales y se localizan en laderas de colina y montaña además de poseer una fertilidad media a baja. Existe la presencia de afloramiento rocosos y son zonas de recarga del recurso hídrico.

2.2.21.9. Paramosol – Leptosol (PS-L). Son suelos originados de la descomposición de areniscas, cuarcitas y calizas en extensos depósitos fluvio glaciares en lugares lluviosos y fríos. Están relacionados con vastos afloramientos rocosos con una localización en laderas de colinas y montañas y considerablemente profundos.

2.2.21.10. Phaeozem – Leptosol (H-L). Este tipo de suelos están constituidos por la degradación de calizas, areniscas y margas, tienen una ubicación en ladera de colina y montaña con una profundidad moderada además de tener una fertilidad natural baja a media.

2.2.21.11. Phaeozem –Vertisol (H-V). Esta asociación de suelos proviene de depósitos de material aluvio coluvial y de limno fluvio glaciar. Su principal característica es el contenido de arcilla, fertilidad y considerable profundidad, ubicadas generalmente en planicies.

2.2.21.12. Rendzina – Leptosol (E-L). Este tipo de suelos tienen su procedencia a partir de la degradación de margas y calizas además de lutitas, tienen una profundidad baja a profunda con una localización en pendientes medianamente inclinada a empinada, además de tener una fertilidad baja a media.

2.2.22. Muestreo de suelos

El Instituto Nacional de Innovación Agraria (2024) mencionó que, la exactitud en los resultados de los ensayos y pruebas de suelos está relacionada con la manera de recolección de la muestra, la cual deberá ser significativa del área donde se tomó, además la manipulación de la misma no debería generar variación alguna en las propiedades del suelo antes del estudio y análisis en laboratorio. Al momento de llevar a cabo la planificación del muestreo de suelos, se debe considerar lo siguiente:

2.2.22.1. Reconocimiento. Para esta primera etapa del muestreo de suelos, es de suma importancia identificar y clasificar adecuadamente las zonas de iguales o similares características de relieve, estructura, textura, drenaje, color y existencia de cultivos.

2.2.22.2. Obtención de la muestra. Es recomendable limpiar una superficie de 0.50 x 0.50 m de cada punto elegido, y con la ayuda de una lampa recta, aperturar un hoyo en forma de “V” hasta una profundidad de 0.30 m. posteriormente extraer una submuestra, con ayuda de la lampa, en forma de rebanada de un espesor de 3 – 4 cm descartando los bordes laterales para mezclar y homogenizar con las demás submuestras. Para esto, se toman entre 10 a 30 submuestras, finalmente se tomará una muestra representativa de 1 kg para ser enviada al laboratorio.

2.2.22.3. Profundidad. Generalmente, las muestras son tomadas en la capa superficial del suelo (0 - 15 cm), no obstante, según las necesidades, es posible tomar muestras a diferentes profundidades, entre las cuales se tienen: 0 – 15 cm y 15 – 60 cm, 0 – 30 cm y 30 – 60 cm.

Entre algunas recomendaciones se puede mencionar: no mezclar las submuestras de distintos lotes, descartar el muestreo de suelo recientemente fertilizados, no extraer muestras de áreas cernas a zanjas, con cúmulos de estiércol o material vegetal, con quemas y en áreas pantanosas.

2.2.23. Obtención de datos satelitales

Los componentes implicados en la captación de datos satelitales son: fuente de energía, objeto de estudio y sensor. Por tanto, la radiación electromagnética, energía que se desplaza a la velocidad de la luz en modo de ondas a través del espacio de manera armónica, es el agente que vincula al objeto y el sensor, siendo fundamental ya que produce el reflejo por acción de la luz solar de los distintos objetos presentes en la superficie terrestre (Chuvieco, 2008).

2.2.24. Métodos de interpolación

Para la elaboración de los diversos mapas en la presente investigación, usando sistemas de información geográfica, será necesario usar los siguientes tipos de interpolación, que según Jumbo (2018) se pueden definir de la siguiente manera:

2.2.24.1. IDW (Distancia Inversa Ponderada). Este método combina la definición de vecindad entre zonas con disponibilidad de información con una variación progresiva de las superficies definidas por una tendencia

2.2.24.2. Kriging. Este método es del tipo geo-estadístico que caracteriza la correlación espacial y temporal con un atributo. Generalmente se utiliza en diversos campos de las ciencias de la tierra.

2.2.25. Corrección de imágenes satelitales

Procedimientos que se llevan a cabo con el objetivo de suprimir la incidencia de los aerosoles y la radiancia que se incorporan en el sensor.

2.2.25.1. Corrección atmosférica. Este tipo de corrección elimina el efecto de los aerosoles y radiancia implícita presentes en la atmósfera que capta el sensor y se incorpora en la imagen satelital. El objetivo es aumentar la calidad visual de la imagen, para ello es necesario transformar los números digitales (ND) en cada una de las bandas a valores de radiancia (L) y posteriormente a valores de reflectividad (Aguilar et al., 2010).

2.2.25.2. Corrección radiométrica. Los mismos autores mencionan que la alteración radiométrica es un fallo que repercute en la radiación o valor radiométrico de un elemento de la imagen, específicamente del pixel. Debido a que la señal se desplaza a través de la atmósfera; el brillo del sol, los cambios estacionales, la forma del terreno y algunas fallas del sensor alteran los valores radiométricos.

2.2.26. Caracterización de la cuenca del río Chonta

Barrera et al. (2007), en el inventario participativo de las fuentes de agua superficial de la cuenca del río Chonta, delimita y caracteriza la cuenca en estudio de la siguiente manera:

2.2.26.1. Delimitación hidrográfica. El área de estudio comprende el ámbito de la cuenca del río Chonta, de manera que las cuencas hidrográficas con las que limita ésta son:

- Por el Norte: Cuenca del río Llaucano
- Por el Sur: Cuenca del río Cajamarquino
- Por el Sureste: Cuenca del río Namora
- Por el Oeste: Cuenca del río Mashcón

2.2.26.3. Delimitación administrativa. La cuenca del río Chonta se sitúa dentro del ámbito del distrito de Riego Cajamarca, por ende, la administración del agua depende directamente de la Administración Técnica de la Dirección Regional de Agricultura Cajamarca.

2.2.26.4. Delimitación política. Políticamente el ámbito de estudio comprende los distritos de Baños del Inca, La Encañada y Cajamarca de la provincia y región de Cajamarca

2.2.26.5. Características del área de estudio. El clima de la cuenca del río Chonta se caracteriza por ser frío y húmedo, con períodos secos y lluviosos. El periodo de verano o seco se presenta entre mayo y septiembre, en tanto el periodo lluvioso, entre octubre y abril. Según ANA (2010) afirma que, el clima de la vertiente de la margen izquierda del río Cajamarquino, que se origina de la convergencia de los ríos Chonta y Mashcón, posee las siguientes características:

2.2.26.5.1. La temperatura. La temperatura promedio oscila entre 8.3 y 16.1 °C. En tal sentido, es posible afirmar que la cuenca presenta climas desde fríos a templados, los mismos que varían según el nivel altitudinal. Además, el gradiente térmico es de -0.55 °C por cada 100 metros de elevación.

2.2.26.5.2. La humedad relativa. La humedad relativa depende del comportamiento pluviométrico, este parámetro tiene una variación desde 75.19 % en marzo a 62.66 % agosto, con una tasa media multianual de 69.30 %.

2.2.26.5.3. La evaporación. Es levemente mayor durante los meses de precipitación mínima. De tal manera que la mayor tasa de evaporación se genera entre julio y agosto. Los estudios realizados por Minera Yanacocha señalan que este parámetro, en la estación La Quinua, oscila entre 42 mm (mayo) y 63 mm (agosto) al tiempo que el promedio acumulado anual es de 613 mm. En tanto que, la estación Yanacocha, registra mensualmente un acumulado que fluctúa entre los 55 mm (enero) y 104 mm (agosto), con un promedio anual acumulado de 893 mm.

2.2.26.5.4. El viento. Los patrones locales están directamente relacionados con la topografía del lugar, dando como resultado su canalización a lo largo de los ejes de los valles, con vientos prevalecientes colina arriba durante el día y vientos colina abajo en horas de la noche, en respuesta a las variaciones de densidad del aire ocasionados por los cambios de temperatura. En concordancia con los datos disponibles de la estación Yanacocha se puede afirmar que los vientos dominantes mantienen una dirección de sur y noreste durante la época húmeda y una dirección este durante la época de estiaje. La velocidad promedio multianual del viento es de 2.43 m/s. Es preciso indicar que el rango de variación mensual es irrelevante.

2.2.26.5.5. Precipitación. El estudio de la distribución espacial y temporal advierte que existen considerables variaciones entre las cantidades precipitadas entre un mes y otro, demostrando así, el efecto de las condiciones orográficas propias del lugar. En tal sentido se puede afirmar que la precipitación media anual es de 646.54 mm.

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Teledetección

Por teledetección se debe entender a cualquier técnica de recopilación de información sin tener contacto con ella. Tal técnica tiene como objetivo la captación, procesamiento y análisis de imágenes satelitales capturadas por satélites artificiales debido al sensor que expresa la radiación electromagnética, la cual presenta tres formas: emisión, reflectancia y emisión - reflexión (Chuvienco, 2008).

2.3.2. Precipitación

Condori (2018) refirió que la precipitación es un parámetro hidrológico que varía en función del tiempo y el espacio cuya unidad de medida es el milímetro de lluvia, entendiéndose como el volumen de agua precipitada en un metro cuadrado de superficie.

2.3.3. Escurrimiento

Este fenómeno se origina cuando la intensidad de precipitación es superior a la capacidad de infiltración del suelo. Tal flujo de agua posee la capacidad de remoción y transporte de suelo (Jaramillo, 2015).

2.3.4. Suelo

Recurso natural comúnmente conformado por un sistema complejo, natural y dinámico. Se encuentra formando una capa poco profunda sobre la litósfera de material relativamente disperso. Tal recurso es esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas y seres vivos (Jaramillo, 2015).

CAPÍTULO III

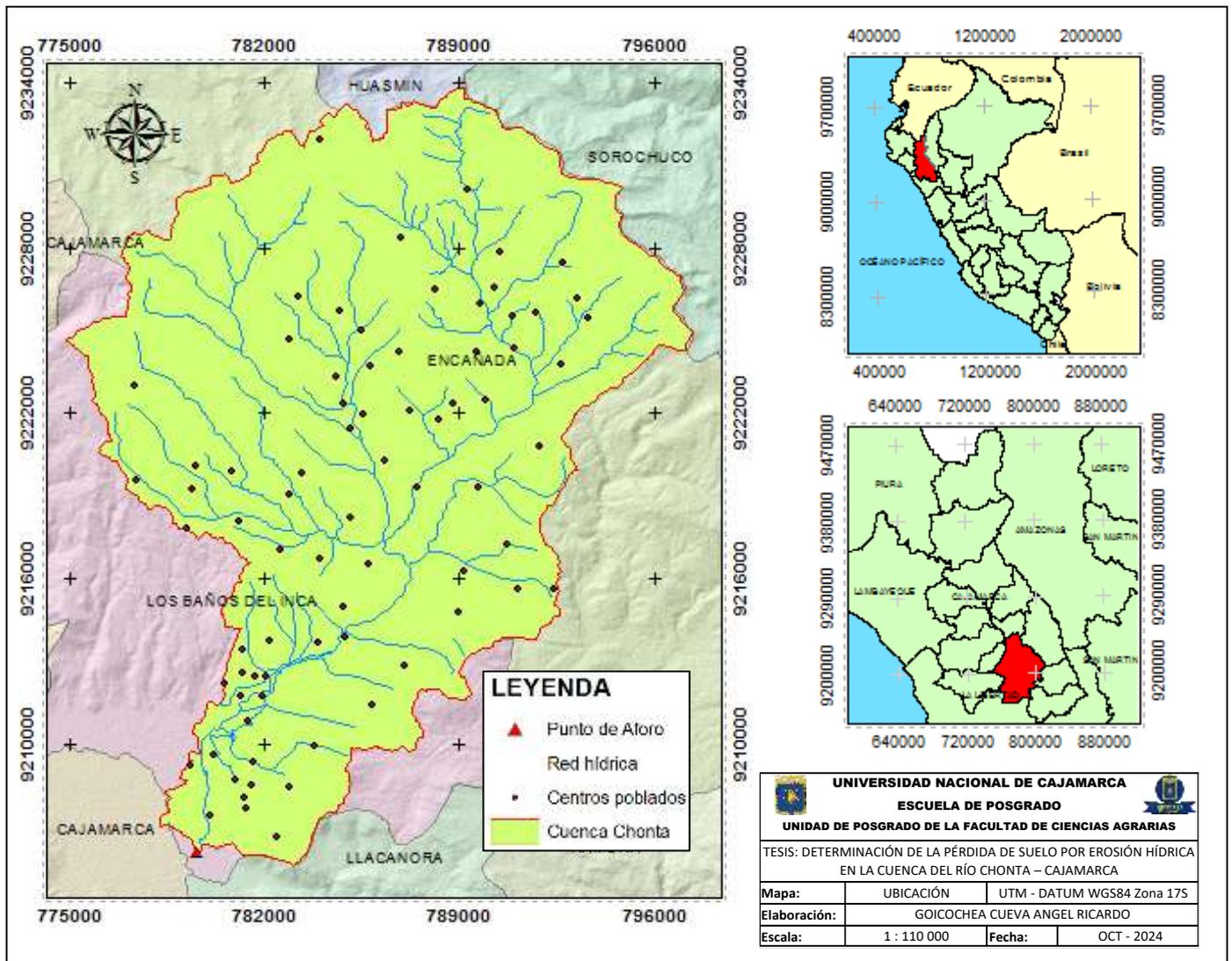
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica y política

La cuenca del río Chonta se ubica en los distritos de La Encañada y Los Baños del Inca, provincia y departamento de Cajamarca. Geográficamente está comprendida entre las coordenadas UTM 789157 m E y 9233776 m S por el norte, 783050 m E y 9205623 m S por el sur, 797366 m E y 9224928 m S por el este y 774890 m E y 9224605 m S por el oeste. Así también, está localizada entre los límites altitudinales 2631.00 y 4263.00 msnm.

Figura 6

Ubicación de la cuenca del río Chonta.



Nota: La figura muestra la ubicación de la cuenca del río Chonta en coordenadas UTM.

3.2. Materiales y Equipos

Para el desarrollo de la investigación fue necesario contar con los siguientes materiales y equipos.

3.2.1. Material cartográfico

Consistió en disponer de cartas nacionales 14f, 15f, 14g y 15g a escala de 1:100 000, obtenidos del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

3.2.2. Información pluviométrica

Consistió en disponer de información histórica de precipitaciones mensuales (2001-2021) obtenidas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Tabla 14

Estaciones meteorológicas en estudio

Estación	Este (m)	Norte (m)	Cota (msnm)
A. Weberbauer	777793.00	9207072.00	2673.00
Namora	794527.93	9203273.39	2760.00
Granja Porcón	762191.00	9221839.00	3149.00
San Juan	777016.40	9192592.60	2253.00
La Encañada	796408.00	9212494.00	2980.00
Jesús	788405.00	9198245.50	2564.00
Maqui Maqui	780019.00	9228957.00	4024.00
La Quinua	769157.00	9227473.00	3618.00
La Llica	774495.40	9249499.82	2625.00
Celendín	815563.05	9241556.56	2470.00

Nota: La tabla muestra las coordenadas UTM de ubicación de las estaciones meteorológicas usadas en la presente investigación. SENAMHI, 2023.

3.2.3. Mapas temáticos

La información temática que se usó es la siguiente:

- Mapa de Suelos, para analizar la distribución del factor K.
- Mapa de los límites distritales de la provincia de Cajamarca, para la identificación y ubicación de los puntos de muestreo de suelos.
- Mapa del límite departamental, para la ubicación geográfica de la cuenca del río Chonta.

3.2.4. Imágenes Landsat

Se utilizaron imágenes satelitales de los satélites Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM y Landsat 8 OLI/TIRS, proporcionados por el United States Geological Survey (USGS), dichas imágenes poseen diferentes bandas espectrales, que son útiles para estudio y análisis de cobertura terrestre. La siguiente tabla muestra los detalles de las imágenes satelitales usadas en el análisis del factor C de cobertura vegetal en base a la normalización del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).

Tabla 15

Detalle de imágenes satelitales usadas

Fecha	Satélite	Sensor	PATH (*)	ROW (**)
01/11/2001	Landsat 5	TM	009	065
08/02/2002	Landsat 5	TM	009	065
21/07/2003	Landsat 5	TM	009	065
01/09/2004	Landsat 7	ETM	009	065
11/08/2005	Landsat 5	TM	009	065
14/08/2006	Landsat 5	TM	009	065
01/08/2007	Landsat 5	TM	009	065
02/07/2008	Landsat 5	TM	009	065
15/09/2009	Landsat 7	ETM	009	065
01/08/2010	Landsat 7	ETM	009	065
09/06/2011	Landsat 5	TM	009	065
06/08/2012	Landsat 7	ETM	009	065
16/07/2013	Landsat 8	OLI/TIRS	009	065
04/08/2014	Landsat 8	OLI/TIRS	009	065
07/08/2015	Landsat 8	OLI/TIRS	009	065
24/07/2016	Landsat 8	OLI/TIRS	009	065
25/06/2017	Landsat 8	OLI/TIRS	009	065
05/12/2018	Landsat 8	OLI/TIRS	009	065
02/08/2019	Landsat 8	OLI/TIRS	009	065
04/08/2020	Landsat 8	OLI/TIRS	009	065
07/08/2021	Landsat 8	OLI/TIRS	009	065

Nota: La tabla muestra los detalles de las imágenes Landsat usadas en la presente investigación. Tomado de USGS (2022)

* Codificación asociada a la latitud para identificar una cuadrícula de la malla Landsat

** Codificación asociada a la longitud para identificar una cuadrícula de la malla Landsat

3.2.5. Material para el trabajo de campo

- Wincha métrica, para cuantificar la profundidad de toma de muestras
- Cámara fotográfica, para el registro fotográfico de las acciones realizadas.
- Bolsas plásticas (1000 gramos), se usaron para el transporte de las muestras de suelo.
- Lapiceros y marcadores, para apuntar y registrar los valores.
- Cuaderno de campo, se usó en el registro de información recolectada.
- GPS, se utilizó en el registro de coordenadas UTM de puntos de muestreo.

3.2.6. Equipos y software.

Los equipos y software utilizados en el procesamiento de la información recolectada serán los siguientes:

- Laptop
- Software ArcGIS versión 10.8
- Software Microsoft Office 2019
- Software Google Earth
- Software EasyFit versión 5.5
- Software ENVI 5.3

3.3. Metodología

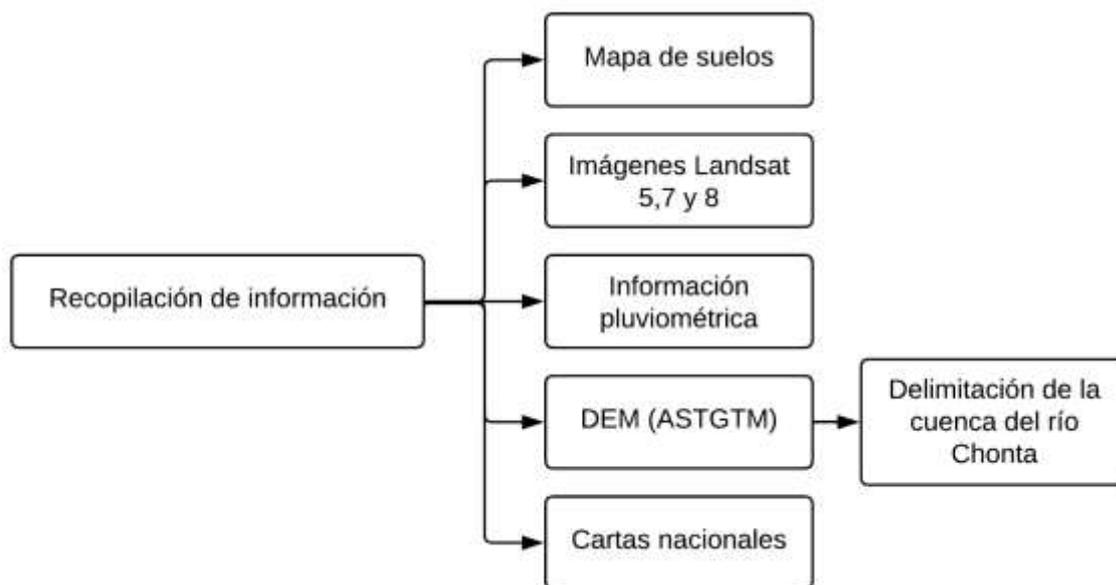
El procedimiento para la elaboración de la investigación fue dividido en tres (3) fases, preliminar, campo y gabinete, y se detallan a continuación:

3.3.1. Fase preliminar

Fue la primera fase de estudio, la cual consistió en la recopilación de información en formato Raster y Vectorial como el Modelo Digital de Elevación, geología, fisiografía, suelos, cobertura vegetal del Instituto Geográfico Nacional (IGN), así también, imágenes satelitales Landsat del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), así como información histórica de precipitaciones mensuales de estaciones meteorológicas administradas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Además, de la delimitación de la cuenca en estudio para una mejor identificación de la superficie de trabajo.

Figura 7.

Diagrama de fase de preliminar



Nota: La figura muestra el proceso para la recopilación de información necesaria para llevar a cabo la presente investigación.

3.3.2. Fase de Campo

Para la recopilación de muestras de suelo de la cuenca en estudio, se procedió a identificar los tipos de suelo según el mapa obtenido del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Posteriormente se definieron los puntos de donde se llevó a cabo la recolección de muestras representativas para el análisis en laboratorio de la textura (% arena, % limo y % de arcilla) y porcentaje de materia orgánica, datos necesarios para el cálculo de la erodabilidad. Es preciso indicar que, de los tipos de suelo identificados, no se consideró llevar a cabo el muestreo de los suelos de origen fluvial, cuerpos de agua, y casco urbano.

3.3.2.1. Muestreo. El número de muestras extraídas dependió del número de unidades de suelos identificadas (diez). Inicialmente se generaron diez puntos de muestro al azar por cada unidad de suelo mediante el uso de SIG, de donde se recolectó 1 kg de suelo a una profundidad entre 0 – 30 cm anotando las coordenadas UTM, altitud, fecha y unidad recolectada (ver anexo E).

Posteriormente se procedió a realizar la homogenización de las submuestras hasta obtener 1 kg de muestra representativa (10 en total), las cuales fueron enviadas al Laboratorio de Plantas, Fertilizantes, Agua y Suelos (LAPFAS) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) para la obtención del porcentaje de arena, limo, arcilla y materia orgánica, tales parámetros fueron usados en la fórmula del nomograma para el cálculo del factor K o de erodabilidad.

3.3.2.2. Trabajo de laboratorio. Para la determinación de la textura del suelo se utilizó el método de Bouyoucos o Hidrómetro, el cual se basa en la Ley de Stokes mediante la fuerza de fricción de una partícula esférica moviéndose a través de un fluido de menor densidad y con velocidad constante. En tal sentido, el análisis de la sedimentación se basa fundamentalmente en la velocidad de descenso de la partícula y su diámetro. En un determinado lapso de tiempo, las partículas con un diámetro mayor se habrán asentado mientras que las de un tamaño menor permanecerán en suspensión (Andrades et al., 2015)

3.3.3. Trabajo de gabinete

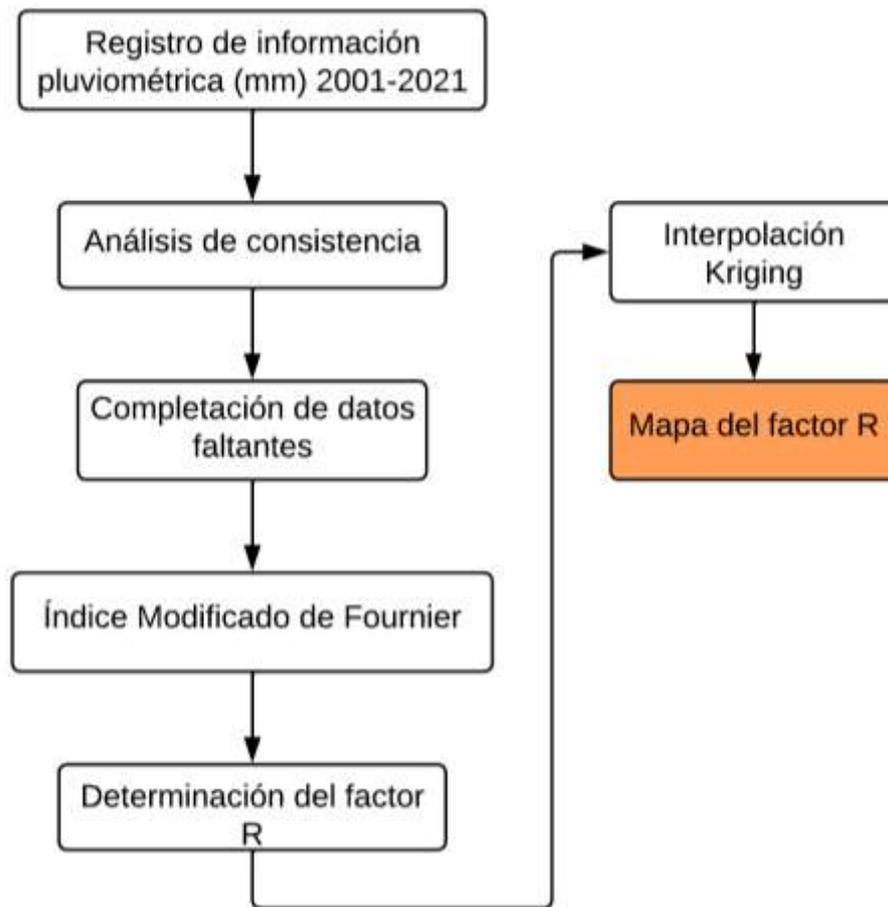
En la fase de gabinete se procesó la información recopilada durante la fase preliminar, campo y laboratorio mediante el uso de herramientas informáticas, estadísticas y de sistemas de información geográfica. De esta manera se pudo obtener los valores de cada uno de los factores de la Ecuación Universal de Pérdida De Suelos Revisada (RUSLE), posteriormente se generaron los mapas de cada uno de los factores de la ecuación así como el de erosión hídrica de la cuenca del río Chonta. Los detalles de cada procedimiento llevado a cabo en la presente investigación se detallan a continuación.

3.3.3.1. Factor R. Para el cálculo del factor, fue necesario recurrir a los registros de precipitaciones mensuales del periodo 2001 - 2021, de las estaciones meteorológicas en estudio, verificando la distribución espacial mediante el uso de los SIG.

Para el procesamiento de los datos de precipitación mensual se utilizó el software Microsoft Excel, por otro lado, para llevar a cabo la completación de datos de las estaciones incompletas se usó el software EasyFit.

Figura 8

Diagrama de flujo para el cálculo del factor R



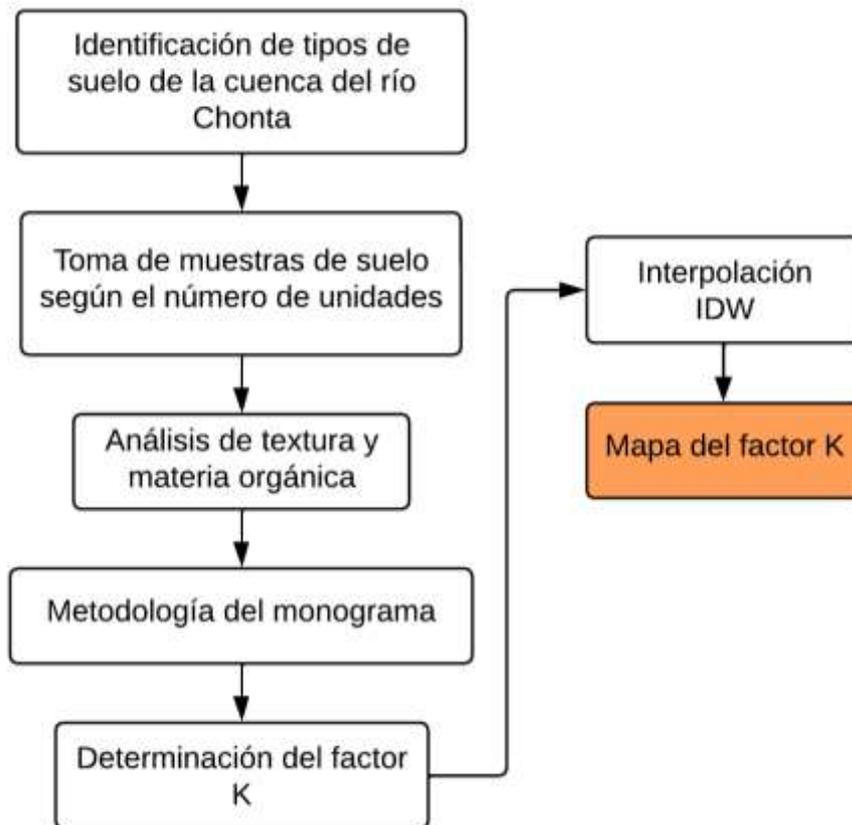
Nota: La figura muestra el proceso necesario para llevar a cabo el cálculo de la erosividad o del factor R.

3.3.3.2. Factor K. Para el cálculo del factor, fue necesaria la obtención de los valores de porcentajes de arena, arcilla, limo y materia orgánica en el laboratorio de análisis de suelo, plantas, agua y fertilizantes (LASPAF) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) y de esta manera, haciendo uso de la metodología del nomograma, se determinó el valor de erodabilidad para cada unidad de suelo.

El número de muestras representativas fueron diez, previamente se llevó a cabo la homogenización de todas las submuestras extraídas en campo (diez por cada unidad de suelo identificado dentro del área de la cuenca en estudio a partir del mapa de suelos) para posteriormente introducir los valores de erodabilidad y a través de la interpolación IDW se generó el archivo ráster del mapa del factor K

Figura 9

Diagrama de flujo para el cálculo del factor K

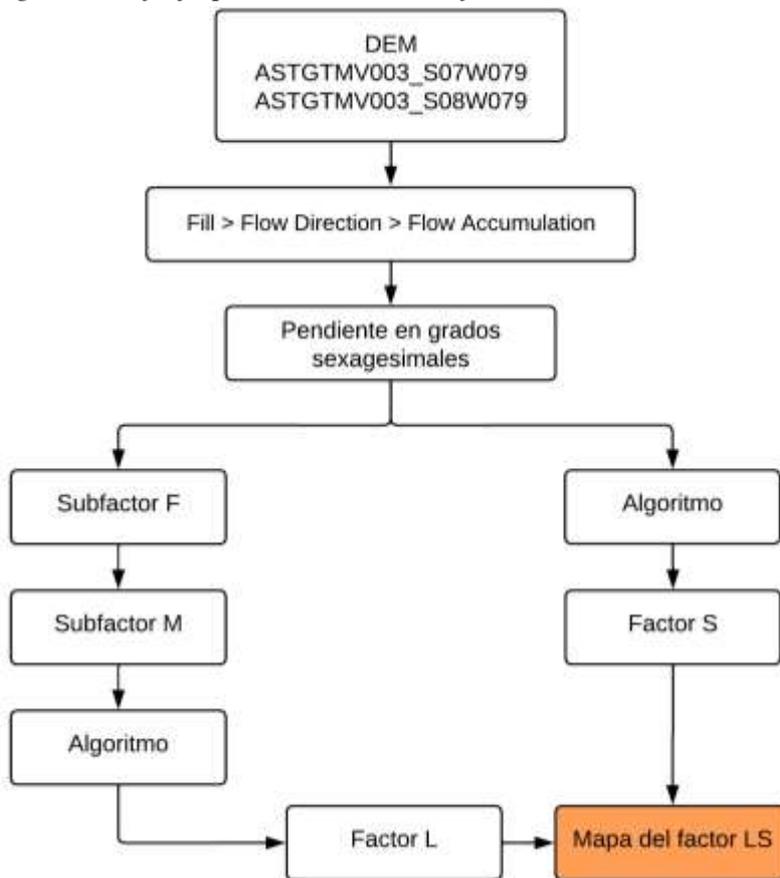


Nota: La figura muestra el proceso necesario para llevar a cabo el cálculo de la erodabilidad o del factor K.

3.3.3.3. Factor LS. Para el cálculo del factor, fue necesario recurrir al modelo digital de elevación de la cuenca en estudio, posteriormente se realizó las correcciones correspondientes mediante herramientas de sistemas de información geográfica. Se elaboró el mapa de pendientes y mediante la herramienta Raster Calculator se introdujeron los códigos para cada subfactor.

Figura 10

Diagrama de flujo para el cálculo del factor LS



Nota: La figura muestra el proceso necesario para llevar a cabo el cálculo del factor LS.

Tabla 16

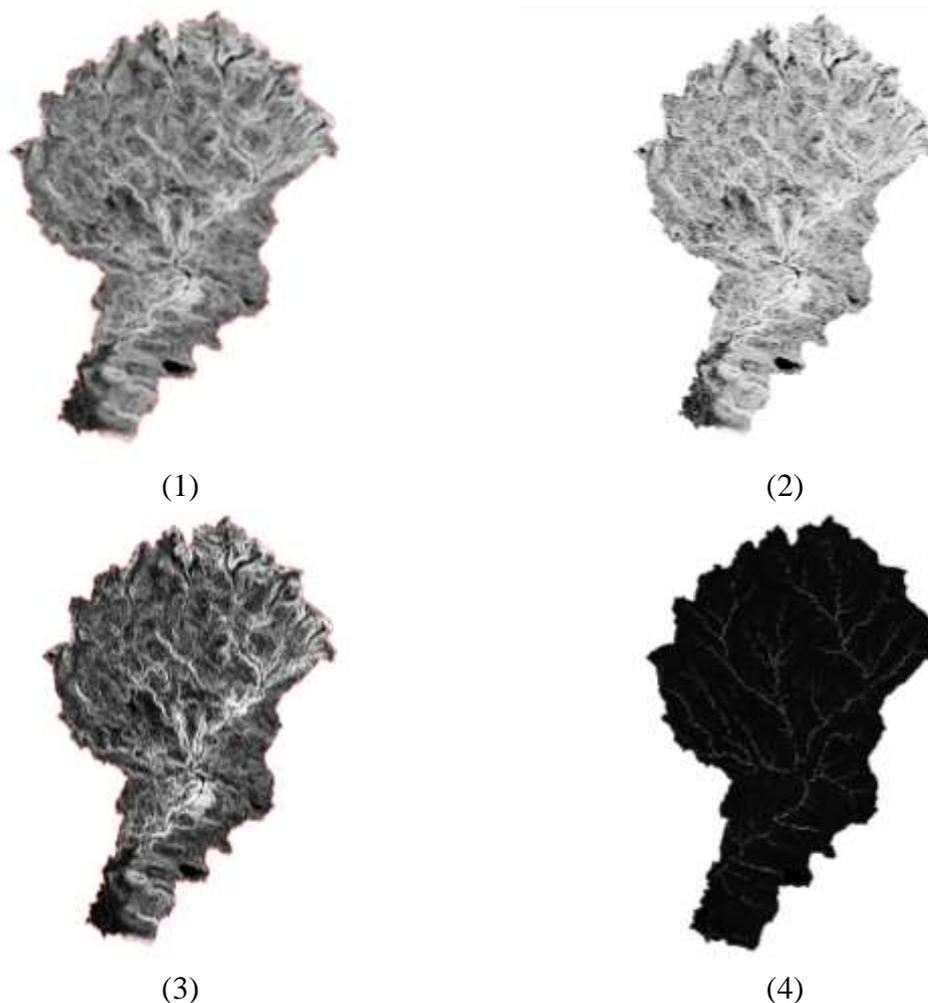
Algoritmos para elaboración del mapa del factor LS

Algoritmos para elaboración del mapa del factor LS
Subfactor F
$((\text{Sin}(\text{"pendiente"} * 0.01745) / 0.0896) / (3 * \text{Power}(\text{Sin}(\text{"pendientes"} * 0.01745), 0.8) + 0.56))$
Subfactor M
$\text{"Subfactor F"} / (1 + \text{"Subfactor F"})$
Factor S
$\text{Con}((\text{Tan}(\text{"pendiente"} * 0.01745) < 0.09), (10.8 * \text{Sin}(\text{"pendiente"} * 0.01745) + 0.03), (16.8 * \text{Sin}(\text{"pendiente"} * 0.01745) - 0.5))$
Factor L
$(\text{Power}((\text{"acumulación"} + 900), (\text{"subfactor_m"} + 1)) - \text{Power}(\text{"acumulación"}, (\text{"subfactor_m"} + 1))) / (\text{Power}(30, (\text{"subfactor_m"} + 2)) * \text{Power}(22.13, \text{"subfactor_m"}))$

Nota: La tabla muestra los algoritmos utilizados en los sistemas de información geográfica para la elaboración del mapa del factor LS a partir del mapa de pendientes de la cuenca en estudio. Adaptado de Taco, 2021.

Figura 11

Procedimiento para la elaboración del mapa del factor LS



Nota: La figura muestra el proceso de la elaboración del factor LS. Observa el subfactor F (1), subfactor M (2), factor S (3) y factor L (4)

3.3.3.4. Factor C. Para el cálculo del factor, fue necesaria la generación del índice de vegetación de diferencia normalizada promedio (NDVI) del periodo 2001-2021 y mediante el uso de la metodología de Carvalho, que relaciona el NDVI y el factor de cobertura vegetal, se determinó el coeficiente C para cada tipo de cobertura vegetal de la cuenca en estudio. Para la determinación del NDVI promedio fue necesario el uso de información histórica de los satélites Landsat 5, Landsat 7 y Landsat 8 recopilando información con no más del 10% de nubosidad.

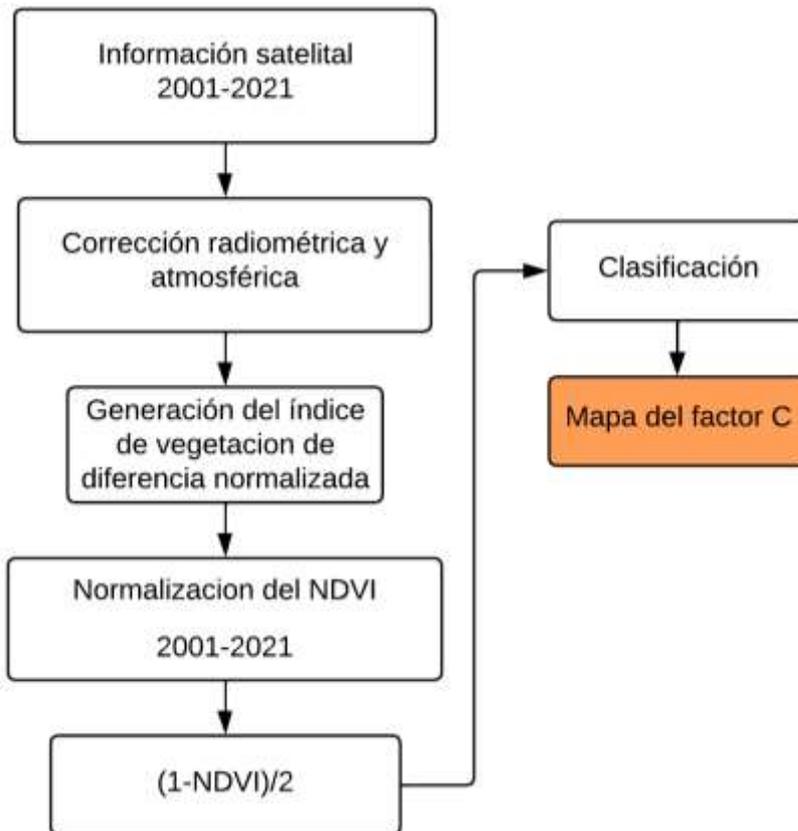
Es preciso indicar que a partir del año 2003 la información del satélite Landsat 7 posee un error el cual se corrigió mediante el uso del software ENVI 5.3.

La fórmula para la determinación del índice de vegetación de diferencia normalizada, previa corrección radiométrica y atmosférica, combina las bandas del infrarrojo cercano y roja del espectro visible, los valores cercanos o muy próximos a cero indican áreas con ausencia de cobertura vegetal, contrariamente valores mayores a 0.4 indican zonas con vegetación densa. El NDVI permite identificar los tipos y el estado de la vegetación en un área específica, además facilita la visualización y zonificación de los cambios anómalos de la cobertura vegetal.

El procedimiento que se ha llevado a cabo para la determinación del factor C se muestra a continuación.

Figura 12

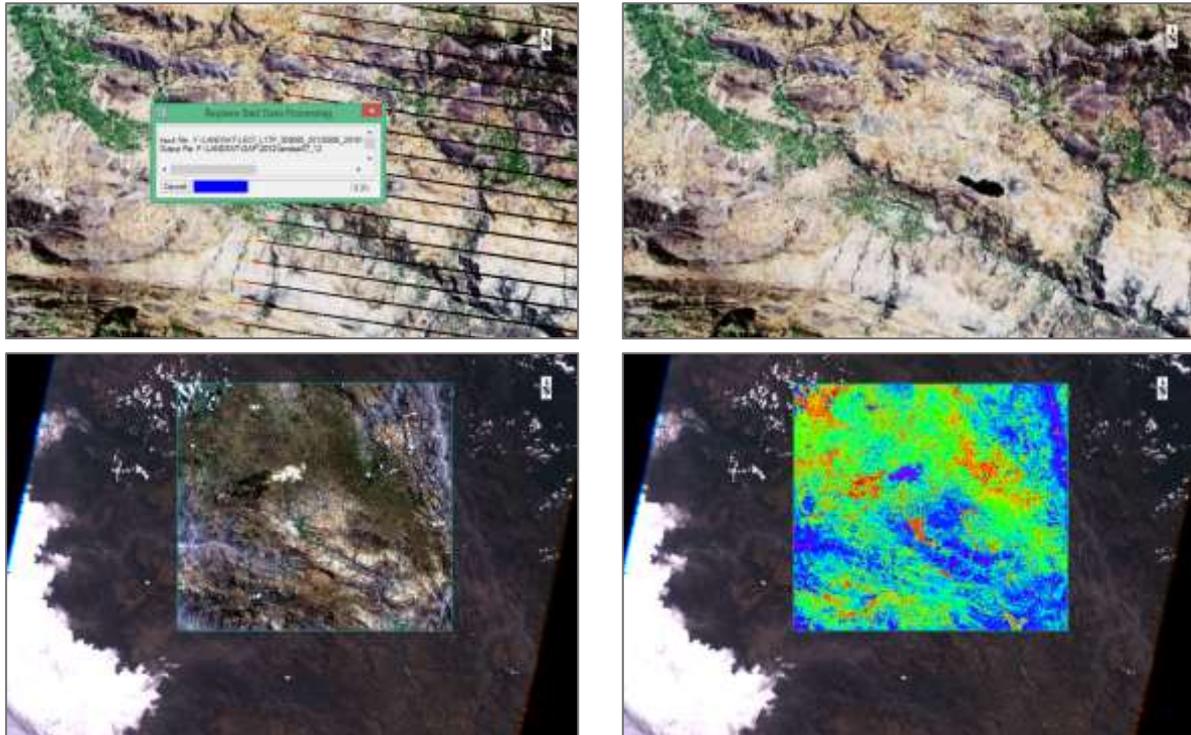
Diagrama de flujo para el cálculo del factor C



Nota: La figura muestra el proceso de la elaboración del factor C a partir del índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI y la metodología de Carvalho et al. (2014)

Figura 13

Corrección del bandeo en imágenes Landsat 7 y generación del NDVI

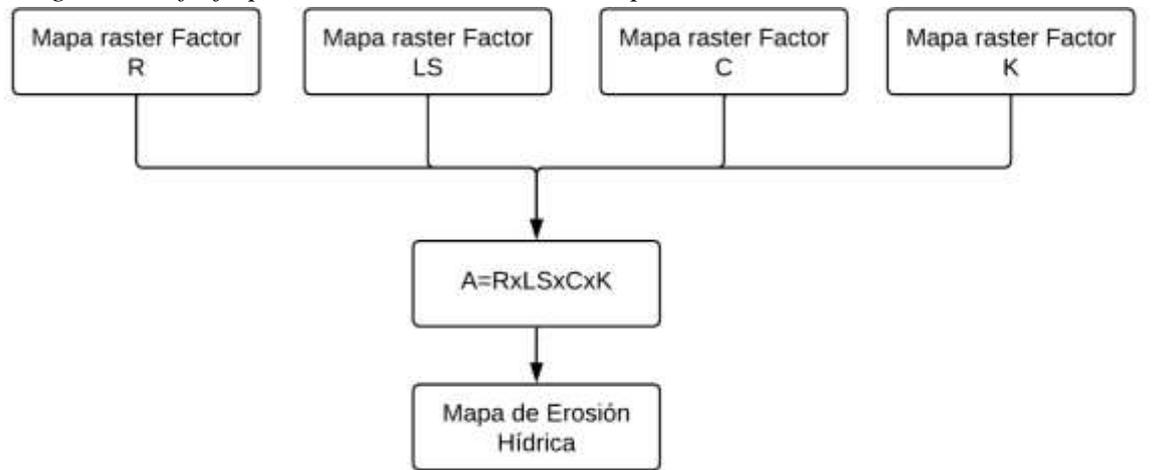


Nota: La figura muestra el proceso de corrección de imágenes Landsat 7 y obtención del índice de vegetación de diferencia normalizada en el software ENVI.

3.3.3.5. Erosión hídrica. Para la determinación de la erosión hídrica en la cuenca del río Chonta se aplicó la fórmula de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE) mediante la herramienta ráster calculator de los sistemas de información geográfica. El procedimiento de muestra a continuación

Figura 14.

Diagrama de flujo para la determinación del mapa de erosión hídrica



Nota: La figura el proceso de elaboración del mapa de erosión hídrica usando SIG.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de la erosividad de la lluvia (factor R)

Luego del análisis de consistencia, completación de información y cálculo el factor R en cada estación meteorológica en estudio, se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 17

Cálculo del factor R a partir de la precipitación media mensual multianual (1)

MES	WEBERBAUER		NAMORA		G. PORCÓN		SAN JUAN		LA ENCAÑADA	
	\overline{pp}	R	\overline{pp}	R	\overline{pp}	R	\overline{pp}	R	\overline{pp}	R
E	89.4	11.46	122.49	16.74	192.4	24.93	157.14	23.51	106.73	12.03
F	82.06	9.65	105.29	12.37	191.57	24.72	180.82	31.13	98.99	10.35
M	146.21	30.64	185.51	38.4	284.23	54.41	291.85	81.1	187.98	37.32
A	76.82	8.46	93.09	9.67	145.6	14.28	109.18	11.35	105.81	11.82
M	34.9	1.75	49.38	2.72	86.87	5.08	40.5	1.56	58.62	3.63
J	8.4	0.1	11.06	0.14	29.7	0.59	8.11	0.06	13.42	0.19
J	6.65	0.06	5.79	0.04	16.54	0.18	3.35	0.01	7.47	0.06
A	6.03	0.05	6.35	0.04	15.36	0.16	3.27	0.01	6.36	0.04
S	22.5	0.73	24.25	0.66	57.13	2.2	12.21	0.14	29.84	0.94
O	67.04	6.44	86.97	8.44	139.53	13.11	66.32	4.19	115.63	14.12
N	68.21	6.67	84.78	8.02	129.63	11.32	70.67	4.76	105.51	11.76
D	89.42	11.46	121.33	16.42	196.12	25.91	106.82	10.86	110.48	12.89
TOTAL	697.64	87.47	896.29	113.66	1484.68	176.89	1050.24	168.68	946.84	115.15

Tabla 18

Cálculo del factor R a partir de la precipitación media mensual multianual (2)

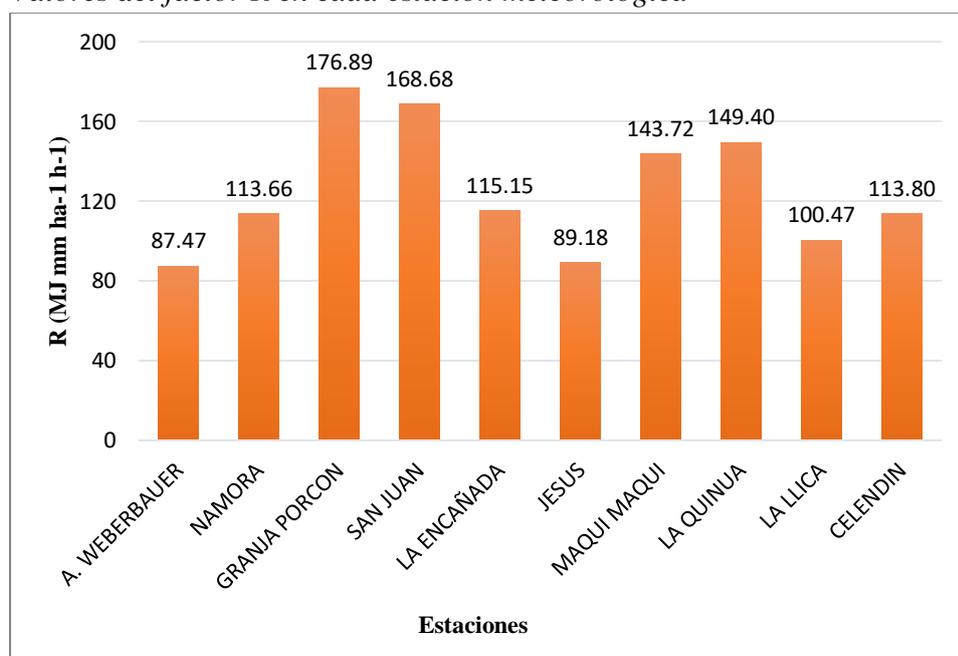
MES	JESÚS		MAQUI MAQUI		LA QUINUA		LA LLICA		CELENDIN	
	\overline{pp}	R	\overline{pp}	R	\overline{pp}	R	\overline{pp}	R	\overline{pp}	R
E	96.13	13.4	147.43	17.5	144.92	15.8	110.95	13.67	103.82	11.37
F	84.23	10.29	150.55	18.24	143.98	15.59	101.19	11.37	111.45	13.1
M	146.97	31.33	202.11	32.88	229.54	39.63	153.56	26.19	185.06	36.12
A	61.99	5.57	107.45	9.29	135.05	13.72	107.14	12.75	96.72	9.86
M	33.17	1.6	62.24	3.12	77.92	4.57	47.96	2.55	47.52	2.38
J	10.62	0.16	19.9	0.32	23.55	0.42	24.47	0.66	13.02	0.18
J	4.02	0.02	15.17	0.19	19.91	0.3	9.98	0.11	14.82	0.23
A	4.75	0.03	21.6	0.38	16.51	0.21	16.37	0.3	10.77	0.12
S	17.01	0.42	45.64	1.68	66	3.28	46.05	2.35	29.92	0.94
O	73.74	7.89	141.32	16.08	156.8	18.49	78.34	6.82	112.47	13.34
N	63.44	5.84	146.9	17.37	154.97	18.06	87.67	8.54	109.73	12.7
D	93.3	12.63	182.02	26.67	160.31	19.33	116.85	15.16	112.98	13.46
TOTAL	689.37	89.18	1242.33	143.72	1329.46	149.4	900.53	100.47	948.28	113.8

Nota: Las tablas 17 y 18 muestran los factores R de las estaciones meteorológicas utilizadas.

Tabla 19*Valores del factor R en cada estación meteorológica*

ESTACION	ESTE	NORTE	COTA	PP MEDIA	R
A. WEBERBAUER	777793.00	9207072.00	2673.00	697.64	87.47
NAMORA	794527.93	9203273.39	2760.00	896.29	113.66
GRANJA PORCON	762191.00	9221839.00	3149.00	1484.68	176.89
SAN JUAN	777016.40	9192592.60	2253.00	1050.24	168.68
LA ENCAÑADA	796408.00	9212494.00	2980.00	946.84	115.15
JESUS	788405.00	9198245.50	2564.00	689.37	89.18
MAQUI MAQUI	780019.00	9228957.00	4024.00	1242.33	143.72
LA QUINUA	769157.00	9227473.00	3618.00	1329.46	149.40
LA LLICA	774495.40	9249499.82	2625.00	900.53	100.47
CELENDIN	815563.05	9241556.56	2470.00	948.28	113.80

Nota: La tabla muestra la precipitación media y factor de erosividad en cada estación meteorológica

Figura 15*Valores del factor R en cada estación meteorológica*

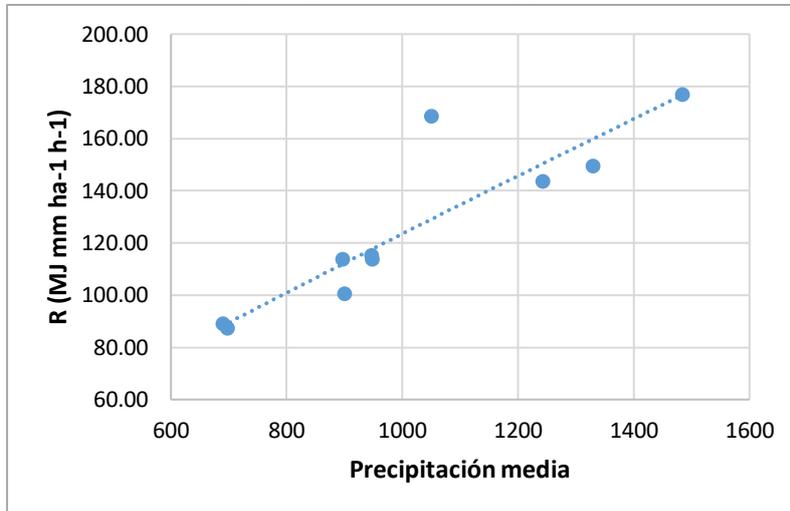
Nota: La figura muestra gráficamente el grado de intensidad de la erosividad en cada una de las estaciones meteorológicas usadas en la presente investigación.

El menor valor del factor R calculado pertenece a la estación Augusto Weberbauer ubicada a una altitud de 2673.00 msnm mientras que, contrariamente, el mayor valor calculado corresponde a la estación Granja Porcón ubicada a una altitud de 3149.00 msnm. Estos resultados indican que, a mayor altitud, la lluvia posee una elevada capacidad para iniciar el proceso de erosión de suelos.

Mejía (2012) mencionó que las precipitaciones incrementan con la altitud hasta alcanzar un pico máximo, a partir del cual la intensidad empieza a disminuir.

Figura 16

Correlación entre precipitación media y factor R



Nota: La figura muestra la correlación lineal del factor de erosividad y de la precipitación media de cada estación meteorológica, relacionando estrechamente tales variables con un coeficiente r de 0.92.

Luego de realizar la correlación entre la precipitación media y el factor R de cada estación meteorológica, se obtuvo un índice $r = 0.92$, identificando una estrecha relación entre estos parámetros, es decir, las precipitaciones poseen mayor intensidad a medida que la altitud aumenta y por ende una gota de agua tiene un mayor potencial para originar erosión.

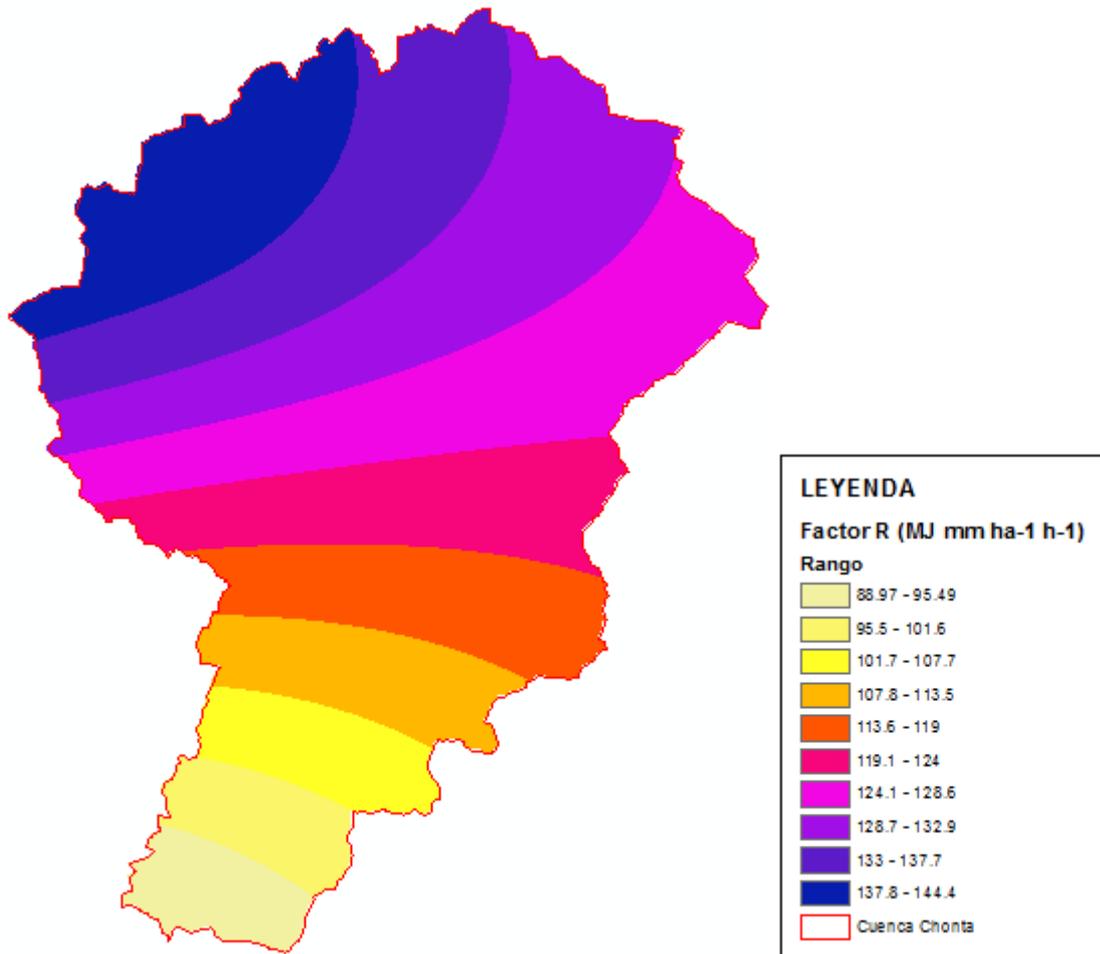
Condori et al. (2022) afirmaron existe una correlación entre la altitud e intensidad erosiva de las precipitaciones ($r = 0.72$) indicando que las variaciones de tales parámetros son insignificantes además de que, mediante el uso de la metodología del índice modificado de Fournier (IMF), los valores mínimos del factor R varían entre 60 y 90 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ mientras que, los valores máximos oscilan entre 120 y 160 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$

Para la elaboración del mapa de erosividad se hizo uso de los valores del factor R en cada estación meteorológica interpolándolos con la herramienta Kriging llevando a cabo una clasificación con 10 rangos, observándose que, en la parte alta de la cuenca, el factor R posee un valor de entre 137.8 y 144.4 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ que, según la clasificación IMF para

Latinoamérica (tabla 1), se tiene una erosividad alta, mientras que en zonas con menor altitud se tiene una erosividad baja con valores del factor R de entre 88.97 y 95.49 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹.

Figura 17

Factor R en la cuenca del río Chonta



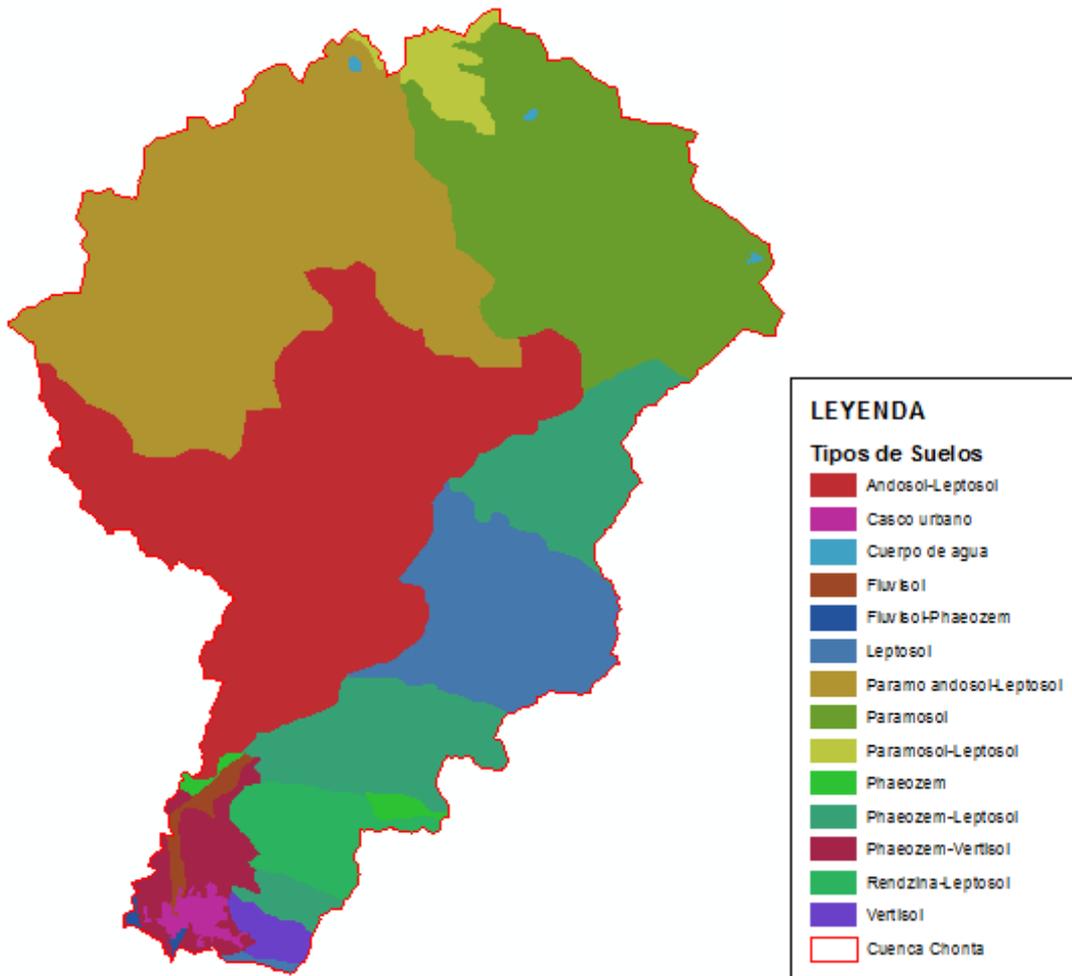
Nota: La figura muestra el mapa de erosividad de la cuenca del río Chonta clasificado en diez intervalos. Se aprecia valores elevados en la parte alta del área de estudio, mientras que, contrariamente valores mínimos en las partes bajas o planícies.

4.2. Determinación de la erodabilidad del suelo (factor K)

El mapa de suelos de la cuenca en estudio necesario para la identificación de las unidades de suelos y, por ende, del número de muestras a tomar en cuenta para la determinación de la erodabilidad, fue elaborado en base a información del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y se muestra a continuación:

Figura 18

Mapa de suelos de la cuenca del río Chonta



Nota: La figura muestra las diferentes unidades de suelo de la cuenca del río Chonta. Tomado de la base de datos del Instituto Geográfico Nacional

Luego del análisis de suelos en laboratorio, haciendo uso del método de Bouyoucos, se obtuvieron parámetros de textura y contenido de materia orgánica, necesarios para el uso de la fórmula del monograma propuesto por Renard et al., (1997). Los resultados de laboratorio se muestran en las tablas 20 y 21 correspondientes a muestras representativas de suelo de los distritos de Los Baños del Inca y La Encañada, respectivamente.

Tabla 20*Resultados de laboratorio (1)*

Claves	%			Clase textural	% M.O.
	Arena	Limo	Arcilla		
MSH-01	47	17	36	Ar.A.	0.80
MSH-06	67	20	13	Fr.A.	3.88
MSH-07	21	23	56	Ar.	0.74
MSH-08	33	17	50	Ar.	0.94
MSH-09	33	31	36	Fr.Ar.	2.61
MSH-10	71	11	18	Fr.A.	1.27

Tabla 21*Resultados de laboratorio (2)*

Claves	%			Clase textural	% M.O.
	Arena	Limo	Arcilla		
MSH-02	83	11	6	A.Fr.	2.67
MSH-03	61	23	16	Fr.A.	4.67
MSH-04	45	35	20	Fr.	4.08
MSH-05	21	37	42	Ar.	1.14

Nota: Las tablas 20 y 21 muestran los resultados del porcentaje de arena, limo, arcilla y porcentaje de materia orgánica determinados en laboratorio.

Tabla 22*Cálculo del factor K a partir de resultados de textura y %MO*

Clave	Clase textural	% Arena	% Limo	% Arcilla	Código de estructura	% MO	Clase permeabilidad	K
MSH-01	Ar.A.	47	17	36	3	0.8	5	0.05151
MSH-02	A.Fr.	83	11	6	2	2.67	2	0.07806
MSH-03	Fr.A.	61	23	16	3	4.61	2	0.05085
MSH-04	Fr.	45	35	20	3	4.08	3	0.05209
MSH-05	Ar.	21	37	42	3	1.14	6	0.04565
MSH-06	Fr.A.	67	20	13	3	3.88	2	0.06034
MSH-07	Ar.	21	23	56	3	0.74	6	0.03155
MSH-08	Ar.	33	17	50	3	0.94	6	0.03702
MSH-09	Fr.Ar.	33	31	36	3	2.61	4	0.04165
MSH-10	Fr.A.	17	11	18	3	1.27	2	0.02112

Nota: La tabla muestra el cálculo de la erodabilidad a partir de los resultados de laboratorio.

Donde:

Ar.A. Arcillo Arenoso

A.Fr. Arena Franca

Fr.A. Franco Arenoso

Fr. Franco

Ar. Arcilloso

Fr.Ar. Franco Arcilloso

Los resultados obtenidos muestran que los valores de erodabilidad oscilan entre 0.02113 y 0.07806 t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹, los menores valores de erodabilidad obtenidos corresponden a suelos arcillosos, mientras que los valores más altos corresponden a suelos con texturas de francos arenosos y arena franca.

Velásquez (2008) afirmó que los suelos con alto contenido de arcilla poseen bajos valores de K, ya que tienen una importante resistencia al desprendimiento del suelo; los suelos arenosos tienen bajos valores de erodabilidad, debido a su capacidad de infiltración, aunque son fácilmente erodables; los suelos francos tienen una moderada susceptibilidad al desprendimiento y originan una escorrentía moderada; por otro lado, los suelos que poseen un alto contenido de limo son los más susceptibles a ser erodados. Condori et al. (2022) afirman que suelos con valores de erodabilidad con rangos entre 0.0193 y 0.0435 t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹ concuerdan con suelos con contenido de materia orgánica entre 3 y 4.8 % y que se encuentran en áreas con pendientes fuertes.

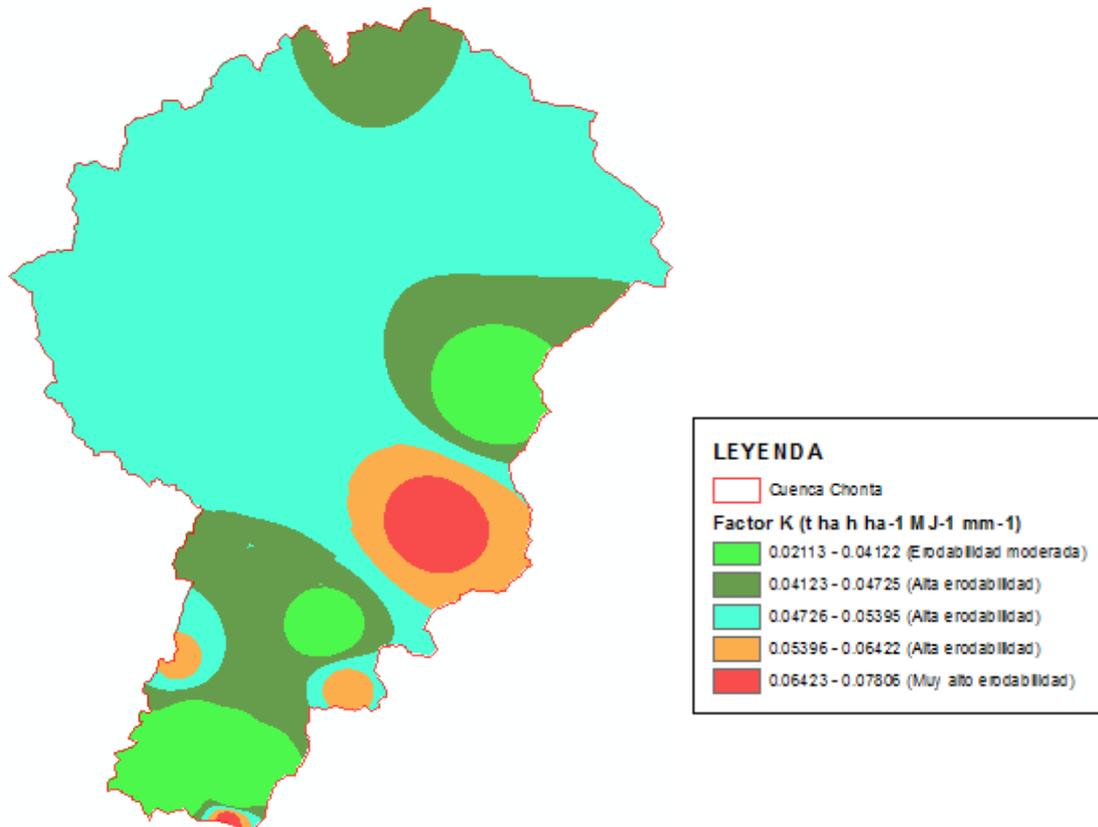
En la presente investigación los mayores valores del factor K se ubican en áreas con pendientes mayores a 15° y corresponden a suelos con poca o nula cohesión favoreciendo la degradación pregresiva de los mismos.

Los tipos de suelo con mayor valor del factor K corresponde a los del tipo arenas francas y que según Condori et al. (2022), poseen baja capacidad para la retención de agua, materia orgánica y sobre todo de nitrógeno nítrico, esto como consecuencia a su elevada capacidad de pérdida por volatilización.

Para la elaboración del mapa de erodabilidad, se usaron los valores del factor K obtenidos en la tabla 22 y con el uso de la herramienta de interpolación de distancia inversa ponderada (IDW), se identificaron las zonas más susceptibles a ser erodados. Las áreas con un nivel de muy alta erodabilidad (0.06423 – 0.07806), pertenece a suelos con escasa cobertura vegetal cuya textura fue determinada como arena franca.

Figura 19

Factor K de la cuenca del río Chonta



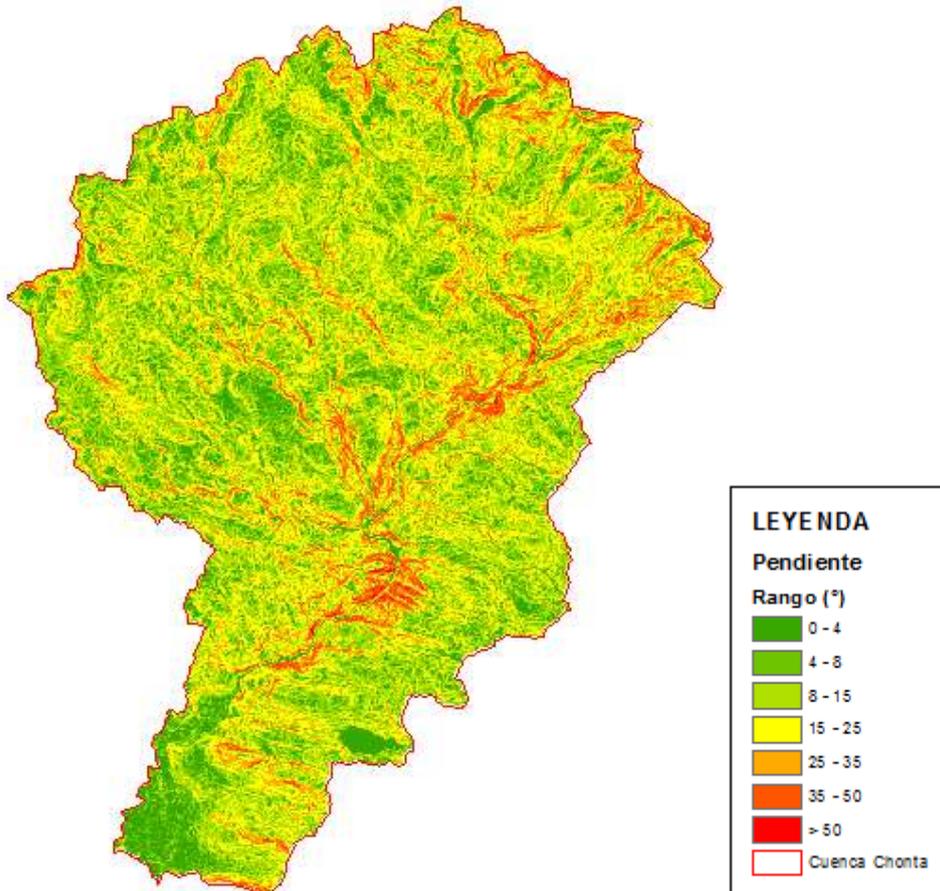
Nota: La figura muestra el mapa de erodabilidad elaborado con la herramienta IDW en SIG a partir de los valores del factor K de cada unidad de suelo.

4.3. Determinación de la longitud y grado de pendiente (factor LS)

Partiendo del modelo digital de elevación de la cuenca del río Chonta, obtenidos de la base de datos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), se elaboró el mapa de pendientes, el cual muestra que los valores máximos de pendiente varían entre 37° y 63°, pertenecientes a superficies adyacentes a los cauces naturales de la cuenca en estudio, mientras que las pendientes menos agrestes poseen valores de entre 0 y 7° ubicados en la parte baja, tal y como se muestra en la figura 24. Posteriormente se introdujeron algoritmos en las herramientas de sistemas de información geográfica (SIG) con el objetivo de determinar los factores L y S, a partir de los mapas de pendientes y acumulación de flujo de la cuenca en estudio.

Figura 20

Pendientes de la cuenca del río Chonta



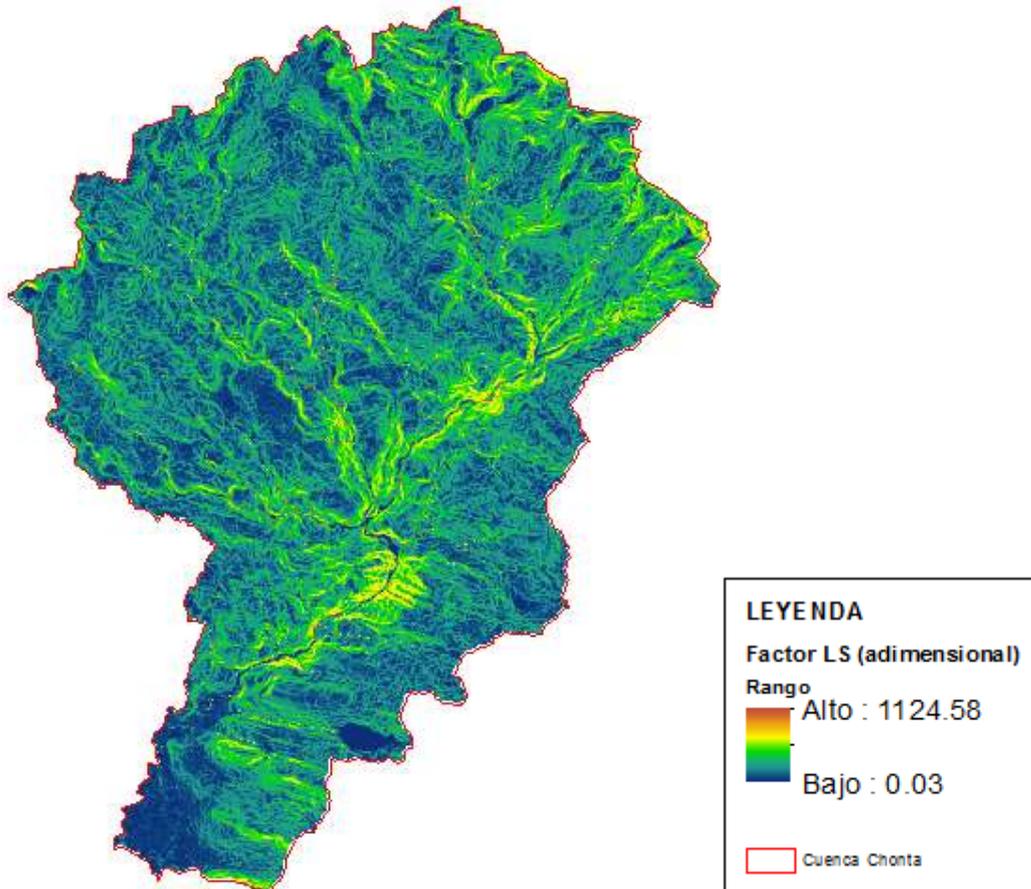
Nota: La figura muestra el mapa de pendientes elaborado a partir de las cartas nacionales 14f, 15f, 14g y 15g y clasificado mediante el método de Mármol et al. (2007)

Los valores adimensionales del factor LS, según la metodología de Renard, varían entre 0.03 – 1124.58, los mayores valores se sitúan en zonas de máxima longitud y grado pendiente, puesto que, a mayor longitud, mayor será el recorrido de una gota de agua precipitada hasta alcanzar el punto de concentración de flujo juntamente con las partículas de suelo desprendido; del mismo modo sucede con la pendiente, por cuanto, la pérdida de suelo aumenta prontamente en zonas con pendientes agrestes y escarpadas.

En general, a medida que el valor del factor LS incrementa, la tasa de erosión del suelo se intensifica. Esto conlleva a que las áreas con mayores valores de LS sean propensas a sufrir erosión del suelo y, por tanto, necesiten prácticas de manejo del suelo para que de esta manera se pueda prevenir la erosión y reducir la pérdida de suelo.

Figura 21

Factor LS de la cuenca del río Chonta



Nota: La figura muestra el mapa del factor LS elaborado a partir de mapa de pendientes.

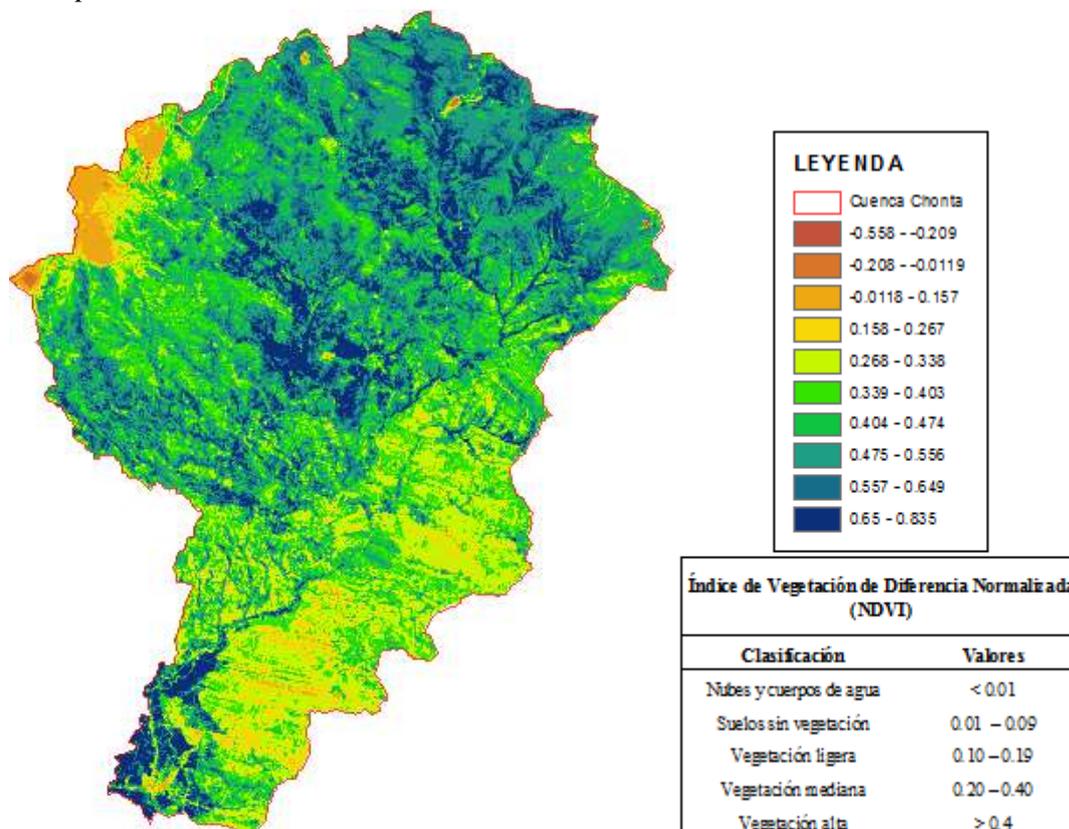
4.4. Determinación de la cobertura vegetal (factor C)

Los resultados del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) promedio fueron los siguientes: NDVI mínimo igual a -0.558 correspondiente a cuerpos de agua, nubes, NDVI máximo igual a 0.835 correspondiente a zonas con abundante vegetación. Zuñiga (2017) considera adecuada el uso de la metodología del NDVI para una mejor discretización de la cobertura vegetal según su correspondiente firma espectral. Del mismo modo Durigon et al. (2014) afirmaron que la combinación de las herramientas de teledetección y GIS para el cálculo del NDVI, es eficiente y precisa para la determinación de las variaciones espaciales y temporales de la cubierta vegetal de RUSLE en áreas extensas y con intensas precipitaciones.

Para la elaboración del mapa de NDVI promedio, se realizó la combinación de bandas del infrarrojo cercano y roja del espectro visible, previa corrección atmosférica y radiométrica.

Figura 22

NDVI promedio 2001 – 2021



Nota: La figura muestra el mapa del NDVI promedio para el periodo 2001 – 2021.

Para la determinación del factor C, se utilizó la expresión propuesta por Carvalho et al.

(2014) que calcula el factor C en función del NDVI.

Tabla 23

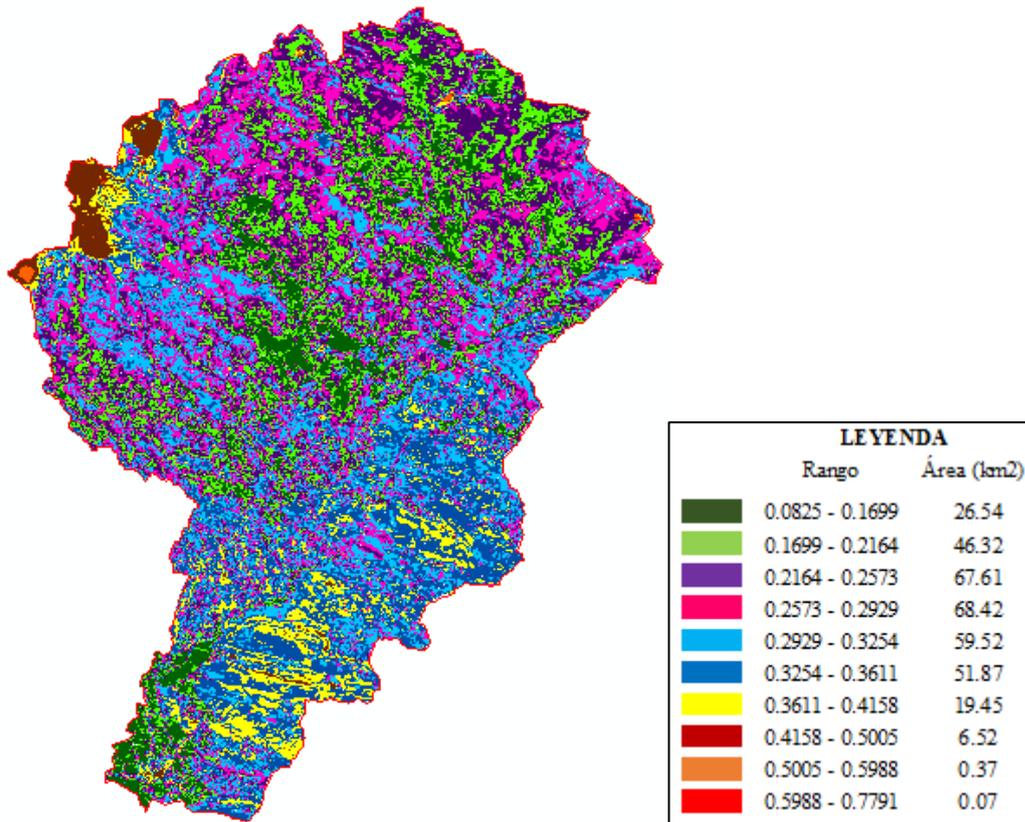
Tipos de cobertura vegetal en la cuenca del río Chonta

Rango	Área (km ²)	% Área	Descripción
0.0825 – 0.1699	26.54	7.66	Pradera sobre pastoreada, bosque escaso
0.1699 – 0.2164	46.32	13.36	Pasturas
0.2164 – 0.2573	67.61	19.50	Cultivos anuales herbáceos
0.2573 – 0.2929	68.42	19.74	Cultivos anuales de laboreo convencional
0.2929 – 0.3254	59.52	17.17	Cultivos de bajo rendimiento
0.3254 – 0.3611	51.87	14.96	Cobertura vegetal media
0.3611 – 0.4158	19.45	5.61	Cubierta escasa
0.4158 – 0.5005	6.52	1.88	Cubierta inapreciable
0.5005 – 0.5988	0.37	0.11	Suelo desnudo
0.5988 – 0.7791	0.09	0.02	Suelo desnudo, cuerpos de agua

Nota: La tabla muestra la distribución de la cobertura vegetal en la cuenca del río Chonta.

Figura 23

Factor C de la cuenca del río Chonta



Nota: La figura muestra el mapa de cobertura vegetal en la cuenca del río Chonta, además del área que abarca cada tipo de vegetación.

Los resultados muestran que los valores de la cobertura vegetal (factor C) de la cuenca en estudio oscila entre 0.0825 y 0.7791, de donde mayor superficie 68.42 km², cuenta con cultivos anuales herbáceos y convencionales, mientras que, contrariamente en una menor proporción, se tienen cuerpos de agua, específicamente lagunas que se encuentran en cabecera de cuenca, suelo desnudo y cubierta vegetal inapreciable.

Condori (2018) mencionó que el factor C representa el potencial de la vegetación para minimizar la erosión del suelo, además de considerar la cantidad y tipo de vegetación presente en el área de estudio, así como su altura y densidad.

El mismo autor mencionó que valores del factor C cercanos a cero corresponden a zonas con vegetación densa, la cual proporciona una cubierta protectora del suelo, reduciendo la cantidad de precipitación que impacta directamente sobre el suelo, disminuyendo así la erosión.

Además de esto, las raíces de las plantas contribuyen a mantener el suelo en su lugar y aumentan su capacidad de retención de agua. Por otro lado, valores del factor C cercanos a uno, corresponden a suelos desnudos o con escasa cubierta vegetal lo que favorece la generación de escorrentía superficial, además de la pérdida de materia orgánica y fertilidad de los suelos.

4.5. Determinación del coeficiente de prácticas de conservación de suelos (factor P)

Jaramillo (2015) mencionó que el factor P es un índice relacionado con procedimientos y técnicas para la restauración de suelos con el fin de desarrollar una agricultura sostenible. Este factor considera el efecto de prácticas tales como siembra convencional, rotación de cultivos, ubicación de terrazas o alguna otra técnica que ayude a evitar el proceso de la erosión de suelos.

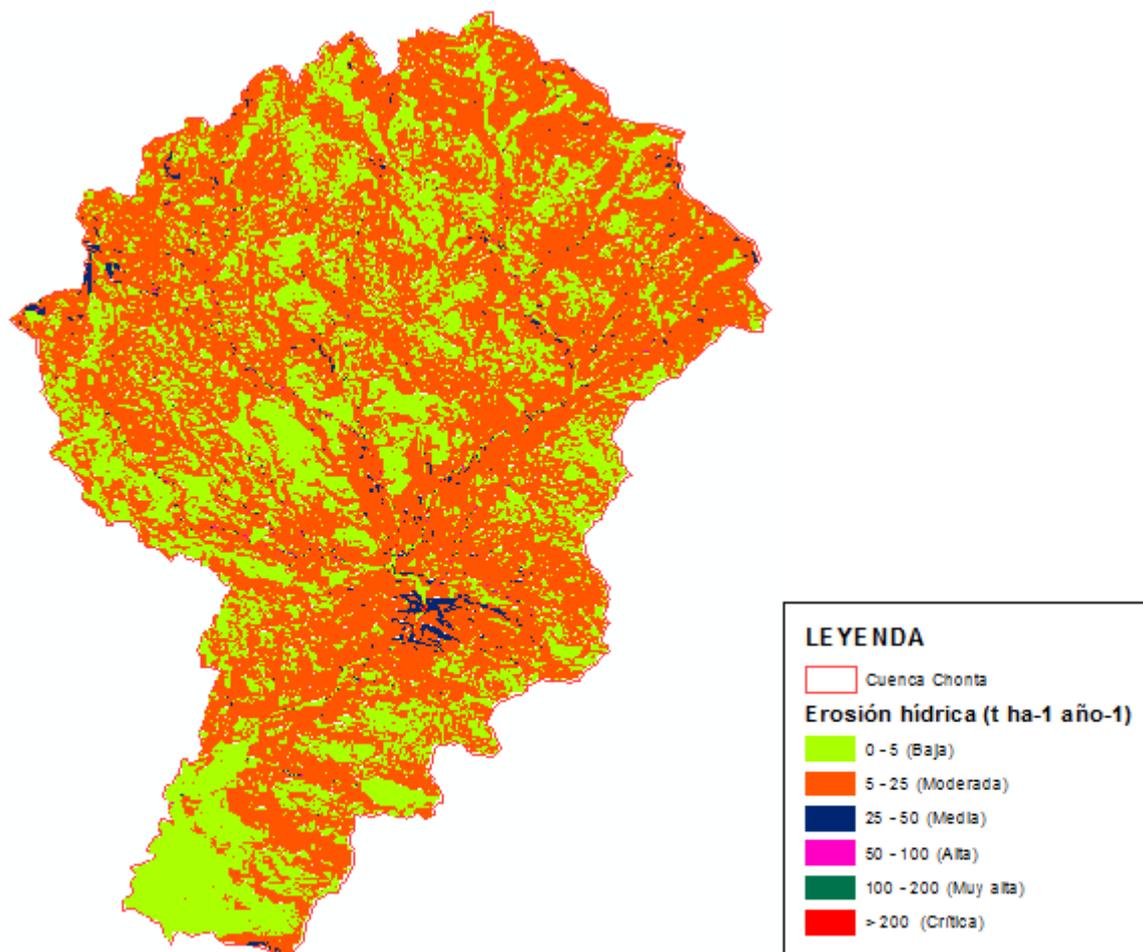
A la fecha de la elaboración del presente trabajo de investigación, no se identificaron prácticas de conservación de suelos en desarrollo en la cuenca del río Chonta, en tal sentido, el valor del factor P ha sido considerado 1.

4.6. Determinación de la erosión hídrica

Para la determinación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Chonta se utilizaron herramientas GIS, además de los parámetros de erosividad, erodabilidad, longitud y grado de pendiente y de cobertura vegetal calculados previamente. La elaboración de mapa de erosión hídrica se llevó a cabo usando la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelos Revisada (RUSLE), la cual consiste en obtener el producto de los factores involucrados para posteriormente realizar la clasificación de los grados de erosión y de esta manera facilitar la identificación de zonas con alto riesgo de erosión.

Figura 24

Erosión Hídrica en la cuenca del río Chonta



Nota: La figura muestra el mapa de erosión hídrica de la cuenca del río Chonta, clasificada en seis categorías desde erosión baja hasta crítica.

A partir del mapa de erosión se puede obtener la clasificación y superficie comprometida en cada uno de los rangos erosivos según la clasificación propuesta por la FAO.

Tabla 24

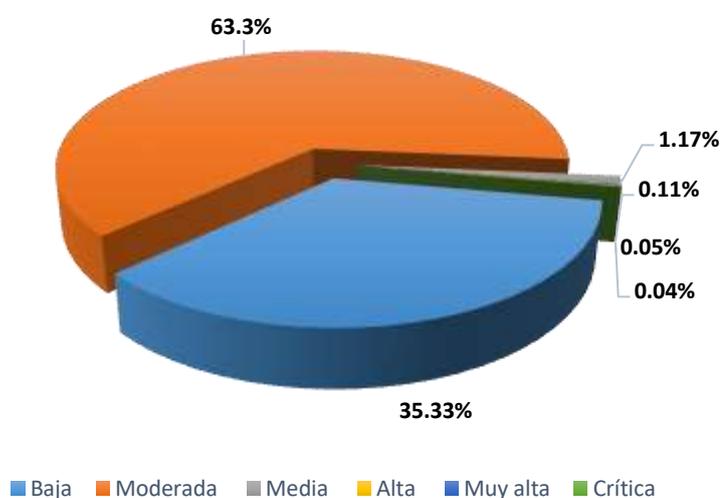
Rangos de erosión hídrica en la cuenca del río Chonta

Rango	Erosión Hídrica	Área (km ²)	Área (ha)	Área (%)
< 5	Baja	122.49	12249	35.33
5 - 25	Moderada	219.45	21945	63.30
25 - 50	Media	4.07	407	1.17
50 - 100	Alta	0.39	39	0.11
100 - 200	Muy alta	0.17	17	0.05
>200	Crítica	0.12	12	0.04
TOTAL		346.69	34669	100

Nota: La tabla muestra el porcentaje de superficie de la cuenca en estudio afectada por los distintos rangos de pérdida de suelo.

Figura 25

Porcentajes de superficie según los rangos de erosión hídrica



Nota: La figura muestra, el porcentaje de superficie de la cuenca en estudio afectada por los distintos rangos de pérdida de suelo.

Los resultados obtenidos muestran que el 63.3% (21945 ha) de la superficie en estudio tiene una erosión hídrica moderada perdiendo anualmente entre 5 y 25 toneladas de suelo por hectárea ($t\ ha^{-1}\ año^{-1}$), mientras que un 0.04% (12 ha) de la superficie posee una erosión clasificada como crítica perdiendo anualmente mas de 200 toneladas de suelo por hectárea, provocando el desplazamiento de las capas de suelo y poniendo al descubierto el estrato rocoso, perdiendo de esta manera la fertilidad, biodiversidad y la retención de agua de estas zonas.

Es imprescindible prevenir y controlar la erosión hídrica en áreas clasificadas como moderada pues es posible que a mediano y largo plazo, con el aumento de los cambios de cobertura vegetal, sobrepastoreo y deforestación, la tasa de erosión puede aumentar progresivamente trayendo consigo consecuencias ambientales y económicas irreparables.

Tal y como afirmó Jaramillo (2015) las áreas donde se identifican erosión entre los rangos moderada, alta, muy alta y crítica, están ubicadas en zonas con mayores pendientes y con precipitaciones más intensas.

En áreas con altitudes altas y medias se observan pendientes desde ligeras a fuertes, los mismos que por efecto de la gravedad, presencia de precipitaciones intensas, saturación de suelos y generación de escorrentía superficial, transportan las partículas de suelo desde los horizontes superficiales hacia las zonas bajas, ocasionando la pérdida de estratos fértiles, en muchos casos hasta alcanzar el afloramiento rocoso (Condori, 2018). Este tipo de fenómeno ocasionan la pérdida de áreas productivas, la capacidad de retención e infiltración de agua, la alteración de lechos de cauces naturales, entre otros efectos perjudiciales para la biodiversidad de la cuenca.

Así también Rengifo et al., (2022) mencionaron que el modelo de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelos Revisada (RUSLE) en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) es la metodología mas aceptada a nivel mundial. Tal método permitió analizar e identificar de manera general el proceso de erosión de suelos y determinar la pérdida de suelos en la cuenca del río Chonta. Es preciso ejecutar acciones inmediatas como la reforestación con especies endémicas y propias del entorno que logren disminuir progresivamente la degradación de suelos, pues a largo plazo tal fenómeno traerá efectos irreversibles, tomando en cuenta que la cuenca del río Chonta es el principal afluente del río Cajamarquino y fuente de las más importantes zonas agrícolas del departamento de Cajamarca.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

1. Se determinaron los valores del factor R de erosividad utilizando la metodología del Índice Modificado de Fournier en base al registro de precipitaciones mensuales del periodo 2001-2021, obteniendo valores que oscilan entre 87.47 y 176.89 MJ mm ha⁻¹h⁻¹. El valor de R máximo, con una clasificación de erosividad muy alta, pertenece a la estación meteorológica Granja Porcón, ubicado a una altitud de 3149 msnm. Mientras que, el menor valor de R, con una clasificación de erosividad baja, pertenece a la estación meteorológica Augusto Weberbauer ubicado a una altitud de 2673 msnm.
2. Se determinaron los valores del factor K de erodabilidad mediante la metodología del nomograma en base al muestreo de suelos, obteniendo valores que difieren entre 0.02113 y 0.07806 t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹. Los menores valores del factor K corresponden a suelos arcillosos y francos presentando una alta resistencia al desprendimiento de las partículas de suelo. Mientras que, por el contrario, los valores más altos corresponden a suelos francos arenosos los cuales poseen una baja resistencia a la erosión.
3. Se elaboró el mapa del índice de vegetación de diferencia normalizada promedio de la cuenca en estudio del periodo 2001-2021 utilizando imágenes de los satélites Landsat 5, 7 y 8, además de técnicas y herramientas de teledetección. Los índices de vegetación obtenidos oscilan entre -0.558 y 0.835, cuyos valores mínimos representan a cuerpos de agua y suelos desnudos, mientras que los más máximos, a zonas con abundante vegetación.
4. Se elaboró el mapa del factor C de cobertura vegetal usando la metodología propuesta por Carvalho a partir de los valores de los índices de vegetación de diferencia normalizada promedio, obteniendo valores que oscilan entre 0.0825 y 0.7791. El mayor porcentaje del área total en estudio, 19.74% equivalente a 6842 hectáreas, posee una cobertura vegetal de cultivos anuales herbáceos con un valor C de entre 0.2573 - 0.2929 mientras que, el menor

porcentaje, 0.02% equiparable a 9 hectáreas, cuenta con un valor C de entre 0.5988 - 0.7791 correspondiente a suelos desnudos.

5. Se determinó la cantidad de suelo perdido por acción de la erosión hídrica en la cuenca del río Chonta, mediante la metodología de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada para el periodo 2001-2021, concluyendo que, de la superficie total en estudio: el 35.33% (12249 ha) tiene una pérdida de suelo menor a 5 t ha⁻¹año⁻¹, categorizada como erosión baja; el 63.30% (21945 ha) tiene una pérdida de suelo de entre 5 y 25 t ha⁻¹año⁻¹, categorizada como erosión moderada; el 1.17% (407 ha) tiene una pérdida de suelo de entre 25 y 50 t ha⁻¹año⁻¹, categorizada como erosión media; el 0.11% (39 ha) tiene una pérdida de suelo de entre 50 y 100 t ha⁻¹año⁻¹, categorizada como erosión alta; el 0.05% (17 ha) tiene una pérdida de suelo de entre 100 y 200 t ha⁻¹año⁻¹, categorizada como erosión muy alta y un 0.04% (12 ha) tiene una pérdida de suelo mayor a 200 t ha⁻¹año⁻¹, categorizada como erosión crítica.

RECOMENDACIONES

- Elaborar planes de restauración y conservación de la cobertura vegetal en zonas con altos valores de erosividad mediante la reforestación con especies endémicas de rápido crecimiento.
- Llevar a cabo la ubicación de terrazas de formación lenta en áreas con altos valores de erodabilidad.
- Incentivar a la práctica de la siembra en contorno en lugares con una superficie irregular para evitar el desplazamiento de masas de suelo.
- Llevar a cabo la mitigación de la erosión de suelos en áreas críticas mediante la instalación de barreras físicas tales como vallas, geotextiles o mantas orgánicas.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, H., Mora, R., & Vargas, C. (2010). Metodología para la Corrección Atmosférica de Imágenes Aster, Rapideye, Spot 2 y Landsat 8 con el Módulo FLAASH del Software Envi. *Revista Geográfica de Amperica Central*, 39 - 59.
- Alcántara, G. (2010). *La Desertificación en la Región Cajamarca, Zonificación Económica y Ordenamiento Territorial*. Cajamarca, Perú: Gobierno Regional de Cajamarca.
- Aliaga, V., & De Piérola, N. (1978). *Análisis de Consistencia de Series Hidrometeorológicas*. Lima - Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Alvarado, V. (2021). Factores que Inciden en la Erosión Hídrica. *Ciencia y Práctica*, 57-68.
- Alvarez, A. (2020). Estimación de la Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica Mediante la Aplicación de Metodología USLE en la Subcuenc del Río Ichu. *Tayacaja*, 7 - 21.
- ANA. (2010). *Estudio de Afianzamiento Hídrico de las Subcuencas Paccha, Azufre y Grande de Chonta*. Cajamarca: Autoridad Nacional del Agua.
- Andrades , M., Moliner , A., & Masaguer, A. (2015). *Prácticas de Edafología*. España: Universidad de La Rioja.
- Arias, P., Saz, M., & Escolano , S. (2023). Estimación de la Erosión de Suelo Mediante el Modelo RUSLE. Caso de Estudio: Cuenca Media Alta del Río Mira en los Andes del Ecuador. *Investigaciones Geográficas*, 207 - 230.
- Bada, A. (2023). *Evaluación de la Erosión Hídrica, Mediante Parcelas con Clavos de Erosión, en Función de la Pendiente, la Cobertura Vegetal y Precipitación, en Lluñibamba, Jesús, Cajamarca*. Cajamarca, Perú: EPG - Universidad Nacional de Cajamarca.
- Barrera, S., Cabellos, R., Calderón , F., Chalán, E., Sánchez, E., Silva, M., & Zapata, A. (2007). *Inventario Participativo de Agua Superficial de la Cuenca del Río Chonta*. Cajamarca, Perú: Instituto Nacional de Recursos Naturales.

- Bastidas, J. (2015). *Generación de Descargas en la Cuenca del Río Mantaro Mediante el Uso de Modelos Estocásticos de Series Sintpeticas*. Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Cabrejos, M. (2016). *Modelamiento Geoespacial en la Determinacion del Riesgo, Vulnerabilidad y de la Cuantificación de la Erosión Hídrica en la Microcuenca del Río Atuen-Amazonas*. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Casanova, G., Delgado, D., & Panchana, R. (2023). Estimación de Volúmenes de sedimentos por Erosión Hídrica Empleando el Modelo RUSLE en las Cuencas de la Provincia de Manabí, Ecuador. *Revista de Teledetección*, 1 - 21.
- Castro , I. (2013). Estimación de Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica en Microcuenca de Presa Madín, México. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 3-16.
- Cayo, L. (2001). *Modelamiento Ambiental para Análisis de Susceptibilidad Erosiva en la cuenca media y alta del Rio Cañete y determinación del Mapa De Erosión*. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Ccama, U. (2012). *Estimación de la Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Ilave Utilizando Técnicas de Teledetección y SIG*. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Chuvieco, E. (2008). *Teledetección Ambiental*. España: Ariel S.A.
- Colque, A. (2021). *Determinación de la Pérdida de Suelo y Nutrientes por Erosión Hídrica Mediante Parcelas de Escorrentía y Microparcels de Varillas de Erosión*. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Condori, F., Pino, E., & Tacora, P. (2022). Pérdida de Suelos por Erosión Hídrica en Laderas Semiáridas en la Subcuenca Cairani - Camilaca, Perú. *Idesia*, 7 - 15.
- Condori, V. (2018). *Pérdida del Suelo por Erosión Hídrica en la Comunidad de San Francisco de Chañajari Moho – Puno*. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano.

- Derpsch, R., Roth, C., Sidiras, N., Kopke, U., Krause, R., & Blanken, J. (1991). *Controle da Erosao no Paraná, Brasil: Sistemas de Cobertura do Solo, Plantio Directo e Preparo Conservacionista do Solo*. Brasil: Eschborn, Germany: GTZ.
- DIGESA. (2007). *Río Chonta y Tributarios*. Cajamarca: Ministerio de Salud.
- Durigon, V., Carvalho, D., Antunes, M., Oliveira, P., & Fernandes, M. (2014). NDVI Time Series for Monitoring RUSLE Cover Management Factor in a Tropical Watershed. *International Journal of Remote Sensing*, 441-453.
- Escobar, M. (2019). *Mitigación de la Erosión Hídrica para ña Conservación del Suelo en la Subcuenca del Río Ichu, Huancavelica*. Lima - Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- FAO. (1980). *Metodología provisional para la Evaluación y Representación Cartográfica de la Desertización*. Roma.
- FAO. (2015). *Boletín del Año Internacional de los Suelos de América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile.
- Flores, A. (2015). *Aproximación de Riesgo por Erosión Hídrica Aplicando un Sistema de Información Geográfica en la Subcuenca Shambillo, Distrito de Padre Abad*. Tingo María, Perú: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Gandía, S., & Meliá, J. (1993). *La Teledetección en el Seguimiento de los Fenómenos Naturales*. España: Climatología y Desertificación.
- García, A. (2015). *Landsat. Sistemas de Comunicación Vía Satélite*.
- Gaspari, F., Rodríguez, A., & Montealegre, F. (2019). *Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Buenos Aires, Argentina: Universidad de la Plata.
- González, A. (2018). *Desarrollo de una Aplicación para Reparación de Huecos (GAPFILLING) de Imágenes Satelitales LANDSAT 7 ETM+*. Jalisco - México: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente.

- Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2024). *Manual para el Análisis de Suelos Agrícolas y Agua para Riego*. Lima, Perú: Inia - Equipo técnico de ediciones y publicaciones.
- Jaramillo, J. (2015). *Estudio del Riesgo por Erosión Hídrica del Suelo Utilizando el Modelo U.S.L.E, Mediante Herramientas S.I.G, Aplicado en la Subcuenca Río Portoviejo, Provincia de Manabí*. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Jumbo, D. (2018). *Estimación Cualitativa y Cuantitativa de la Erosión Hídrica Vinculada al Cambio de Uso del Suelo en la Subcuenca Catamayo, Ecuador*. Lima - Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Machaca, J. (2011). *Estudio y Evaluación de la Susceptibilidad de los Suelos a la Erosión Hídrica a Nivel de Microcuenca en el Municipio de Acoraimes*. La Paz, Bolivia: Universidad Nacional Mayor de San Andrés.
- Manchego, M. (2017). *Variabilidad Espacio - Temporal de la Vegetación en la Cuenca Quilca - Chili Durante el Periodo 2005 - 2015*. Arequipa, Perú: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.
- Mancilla, G. (2008). *Uso y Conservación de Suelos*. Chile: Universidad de Chile.
- Mármol, L., Díaz, J., Larreal, M., & Jiménez, L. (2007). Evaluación de la erosión hídrica en la microcuenca de las quebradas Roja y Colorada en el municipio Valmore Rodríguez, estado Zulia. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 183-202.
- Mejía, A. (2012). *Hidrología Aplicada*. Lima, Perú: Fondo Editorial UNALM.
- Merg, C., Petri, D., Bodoira, F., Nini, M., Fernández, M., Schmidt, F., . . . Selzer, F. (2011). Mapas Regionales de Lluviasn, Índice Estandarizado de Preciptación e Índice Verde. *Revista Pilquen* , 1 - 11.
- Moreira, A., Mirandola, P., Pinto, A., Salinas, E., & Oliveira, J. (2020). Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas: Posibilidades y Avances en los Análisis de Uso y Cobertura de la Tierra. *Cuadernos de Geografía*, 72.

- Nakaya, D. (2018). *Estimación de la Pérdida de Suelo Media Anual Mediante el Modelo RUSLE, en la Cuenca del Río Tingo - Cajamarca*. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Perales, A. (2019). *Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica Aplicando el Modelo RUSLE en la Cuenca del Río Supte Grande, Provincia de Leoncio Prado - Huánuco*. Tingo María, Perú: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Poma, W., & Alcántara, G. (2010 - 2011). *Estudio de Suelos y Capacidad de Uso Mayor del Departamento de Cajamarca*. Cajamarca - Perú: Gobierno Regional de Cajamarca.
- PRONAMACHCS. (2004). *Gestión Participativa de los Recursos Naturales para el Desarrollo Rural Sostenible*. Lima, Perú: Programa Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos.
- Quispe, T. (2018). *Influencia de la Cobertura Vegetal en la Erosión Hídrica del Suelo en la Comunidad de San Mateo, Perú*. Lima - Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Ramirez, F., Hincapié, E., Sadeguián, S., & Pérez, U. (2007). *Erosividad de las Lluvias en la Zona Cafetera Central y Occidental del Departamento de Caldas*. Caldas, Colombia: 14 pp.
- Ramírez, L. (2010). *Estimación de la Pérdida de Suelos por Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Juramento-Salta*. Argentina: Universidad Nacional de Salta.
- Renard, K., Foster, G., Weesies, G., McCool, D., & Yoder, D. (1997). *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. United States: Agriculture Research Service.
- Rengifo, I., Muños, F., & Toro, O. (2022). *Modelo USLE para Estimar la Erosión Hidrica en Siete Municipios de la Zona Andina Colombiana*. Colombia: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial.

- Rodríguez, E. (2003). *Estudio Hidrológico en la Cuenca del Río Piura Durante el Proceso de El Niño 2002-2003*. Piura, Perú: UNALM.
- Rosales, O. (2020). *Aplicación del Modelo RUSLE para Estimar Pérdidas de Suelo por Erosión Hídrica - Caso de Estudio de la Cuenca del Río Chota, Ecuador*. Ecuador: UNIGIS.
- Sabino, E., Felipe, O., & Lavado, W. (2017). *Atlas de Erosión de Suelos por Regiones Hidrológicas del Perú*. Lima, Perú: SENAMHI.
- Sillero, J., Martínez, J., & Ruíz, J. (2021). Incremento de la erosividad de la lluvia y sus efectos en la estimación de pérdida de suelo: comparación entre dos cuencas del sur de España. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*.
- Solano, R. (2016). *Estimación de la Pérdida de Suelos por Erosión Hídrica en la Subcuenca del Río Shullcas 2000 - 2013, Huancayo*. Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Suarez, J. (2001). *Control de la Erosión en Zonas Tropicales*. Bucaramanga, Colombia: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos — Ingeniería de Suelos Ltda.
- Taco, M. (2021). *Uso del Sistema de Información Geográfica para la Cuantificación de la Erosión Hídrica Potencial en la Cuenca Chamacha - Lima*. Lima - Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Thomas, J., Joseph, S., & Thrivikramji, K. (2018). Assessment of Soil Erosion in a Tropical Mountain River Basin of the Southern Western Ghats, India Using RUSLE and GIS. *Geoscience Frontiers*, 894 - 905.
- Tribak, A., Baena, R., Guerrero, I., Amhani, Z., Abahrour, M., El Garouani, A., & Arari, K. (2021). Evaluación de los Usos de Suelo y la Erosión Hídrica en la Subcuenca

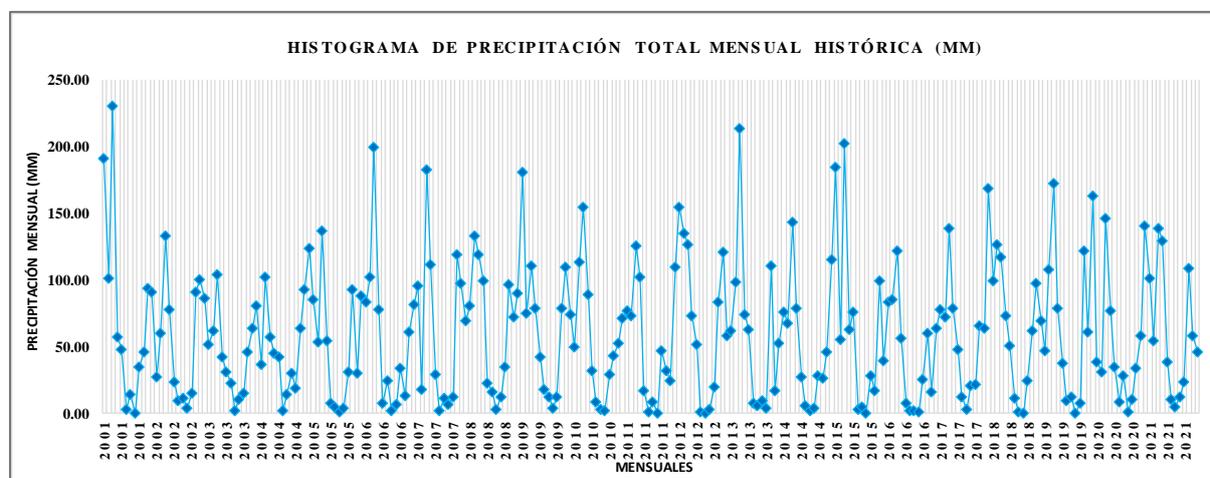
- Hidrográfica Montañosa del Oued Ourtza (Pre-Rif Oriental, Marruecos). *Investigaciones Geográficas*, 309 - 326.
- Valdez, E. (2014). *Análisis de la Pérdida de Suelos por Erosión Hídrica en la Subcuenca Condurri Mediante la Metodología RUSLE, 1980-2014*. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Velásquez, S. (2008). *Erosión de suelos utilizando la EUPSR (RUSLE)*. Cantón de Coronado, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Wischmeier, W., & Smith, D. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation*. Maryland, EE UU: Department of Agriculture.
- Zaragoza, E. (2021). *Análisis Multitemporal de la Cobertura del Terreno y su Asociación con las Tasas de Erosión Hídrica en Acapulco, Puebla*. Ensenada, Baja California, México: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.
- Zuñiga, J. (2017). *Determinación de la Pérdida de Suelos en la Cuenca Aportante del Embalse Aguada Blanca - Arequipa, Aplicando USLE y Técnicas Geoespaciales*. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.

CAPÍTULO VII

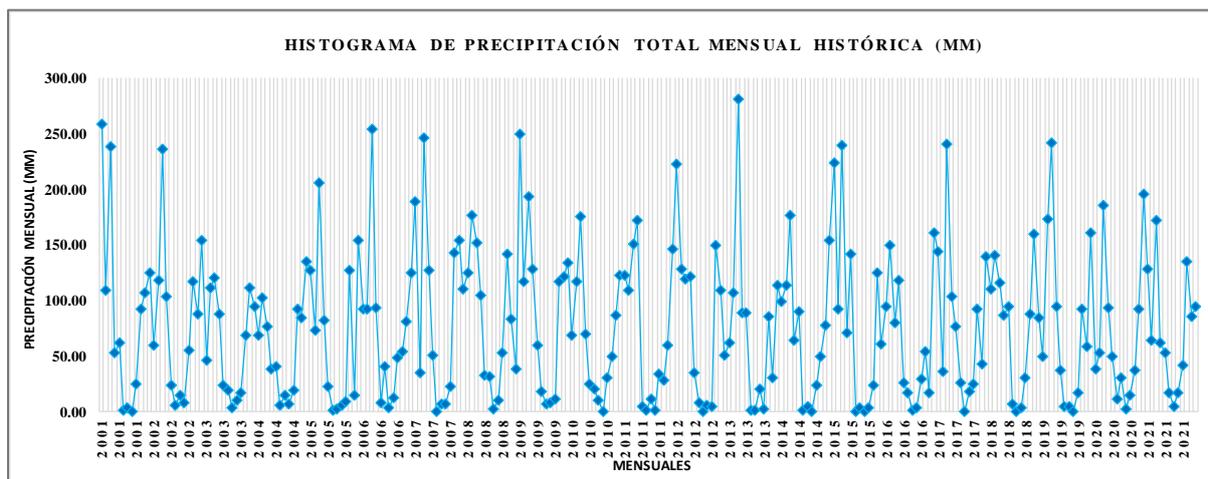
ANEXOS

A. DATOS DE PRECIPITACIONES MENSUALES 2001-2021

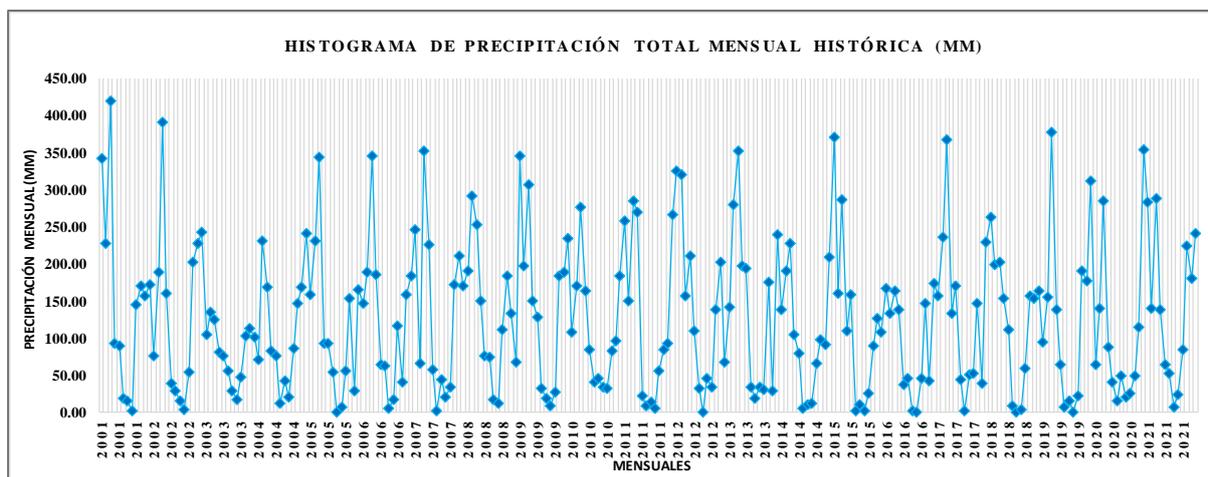
AUGUSTO WEBERBAUER												
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2001	191.2	100.8	230.2	57.2	48.1	2.3	13.9	0	34.4	46.2	93.4	90.9
2002	27	60	133.1	77.2	23	8.8	10.7	3.4	14.6	90.3	99.9	86.1
2003	51.1	61.4	103.5	42.1	30.7	22.3	1.8	10.6	14.8	46	63.8	80.7
2004	36.1	102	56.9	44.5	42.4	2.1	13.8	29.4	19	63.4	92.6	123.7
2005	84.9	53.7	136.6	54	7.2	4.5	0.6	3.5	31.2	92.3	30	87.8
2006	83.2	101.6	199.3	77.6	7.7	23.9	1.8	6.1	33.6	12.7	60.4	81.7
2007	95.4	17.5	182.4	111.5	29	1.4	10.7	6.4	11.6	118.9	97.6	68.8
2008	80.2	133.3	118.4	99.1	22.7	15.4	2.3	11.7	34.7	96.5	72.2	89.4
2009	180.7	74.6	110.5	78.8	42.2	17.9	12.3	3.9	11.8	78.5	109.4	74.2
2010	49.5	112.9	154	88.4	31.6	8.6	2.6	1.3	28.9	43.4	52.5	70.8
2011	76.6	73.3	125.2	102	16.7	0.4	8.3	0	47.1	31.5	24.4	109.7
2012	154.2	134.7	126.4	72.8	51.5	0.8	0	2.5	19.1	83.3	120.3	58.3
2013	61.5	98	213.6	73.8	62.6	7.5	5.7	8.9	3.7	110.7	17	51.9
2014	75.7	67.3	143.2	78.8	26.9	5	2	3.9	27.7	26.5	45.7	114.9
2015	184.7	55.4	202.2	63	75.8	3	4.4	0.1	27.8	16.8	99.6	39.5
2016	82.9	85.3	121.3	56.2	7	1.6	2.1	1.1	25.1	60	16.1	63.1
2017	77.5	72.3	138.9	78.6	47.2	12	2.3	20.9	21.2	65.3	63.2	168.1
2018	99	126.4	117.3	73.3	50.1	10.8	0.5	0	24.4	61.8	97.4	69.4
2019	46.9	107.3	172.7	78.1	37.4	9.1	11.8	0	7.6	121.8	60.4	162.7
2020	38.2	31.2	146.2	76.8	34.9	8.4	27.6	0.7	10.6	33.2	58.3	140.4
2021	100.8	54.3	138.6	129.5	38.2	10.5	4.5	12.3	23.7	108.8	58.3	45.7



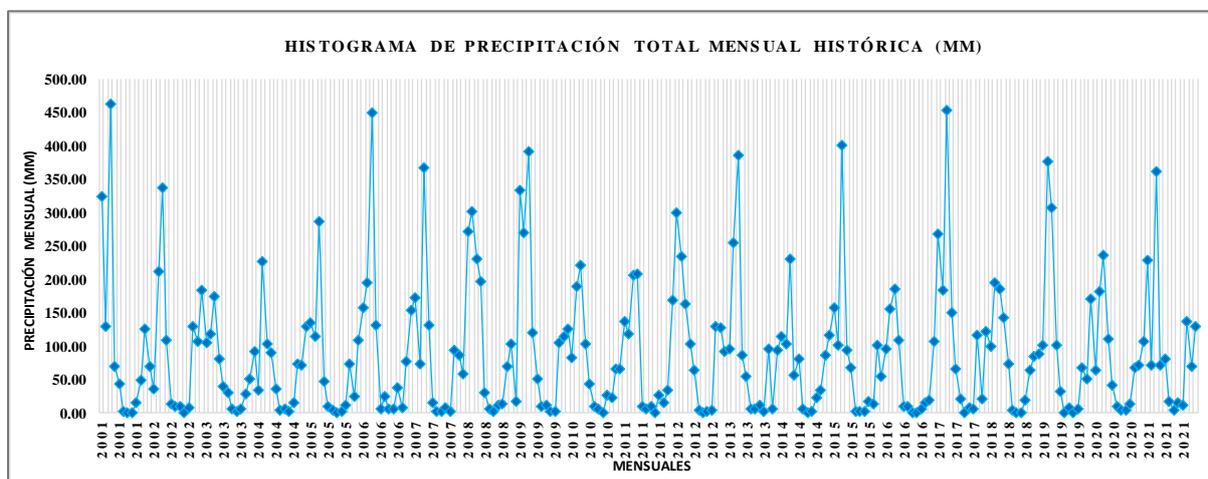
NAMORA												
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2001	258.3	109.3	238.5	52.9	61.7	0.4	2.9	0	24.6	91.8	106.5	125
2002	59	118.1	235.4	102.9	23.3	5.8	13.9	7	55.1	116.2	87.9	153.7
2003	46.2	110.5	119.8	87.3	23.5	19.1	3.1	10.1	16.3	67.9	111.4	93.6
2004	68.3	102	75.7	37.8	40.4	5.1	14.1	6.2	18.8	91.5	83.9	134.2
2005	126.9	73.1	205.8	81.3	22.1	1	1.4	5.6	9.2	126.3	13.9	153.5
2006	91.6	92.1	253.6	93.1	8	40.7	2.9	11.5	47.9	53.4	80.4	124.2
2007	188.1	34.2	246.5	127	50.4	0	6.4	6.9	22.2	142.4	153.3	109.5
2008	124.5	176	151.9	104.2	32.3	31.1	1.9	9.5	52.3	141.3	83	38.4
2009	249.5	117	192.8	127.9	59.5	17.9	6.9	7.8	10.8	116.2	121.5	133.8
2010	68.6	116.7	175.5	68.9	24.2	20.2	9.9	0	30.2	49.1	86.8	122.4
2011	122.3	108.9	150.5	171.4	4.6	0.3	10.4	1.3	33.8	28	59	146.2
2012	222.7	127.7	118.7	121.1	34.3	7.7	0	5	4.6	149.3	109	50.8
2013	61.3	106.9	280.5	89	88.2	0.4	0.7	19.9	1.9	85.1	29.9	113.5
2014	98.3	112.8	176.6	63.3	89.2	1.3	4.3	0	22.9	49.7	76.8	153.8
2015	223.3	92.3	239.7	70.7	141.7	0.2	3.5	0.2	2.9	23.3	124	60.5
2016	94.7	149.6	79.9	117.6	25.4	16.6	0.8	3.5	28.9	53.1	16.7	160.3
2017	143.7	35.3	240.7	103.4	75.7	25.5	0	18.2	24.8	91.6	42.5	139.6
2018	110.2	140	115.8	86.6	94.7	6.8	0	2.8	29.5	87	159.3	84.2
2019	49.4	172.3	240.9	94.3	36.3	4.5	4.3	0	16.9	91.5	58.2	160.5
2020	37.8	52.6	185.5	93.1	49.4	11.1	29.6	1.7	14.7	37.3	91.8	195.7
2021	127.5	63.7	171.4	61	52	16.6	4.6	16.2	41	134.4	84.6	94.5



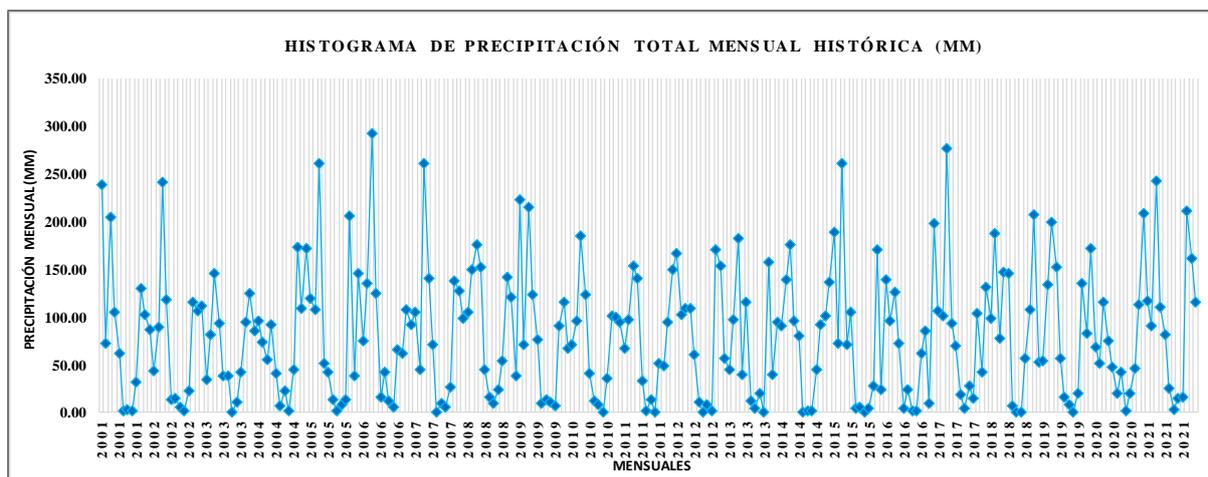
GRANJA PORCÓN												
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2001	341.1	227.7	419.2	92.6	88.7	17.6	15.2	0.4	145.2	169.5	156.1	171.8
2002	76.2	188.8	390.1	159	38.1	27.8	15.2	2.6	53.3	202.1	226.5	243
2003	103.8	134.4	124.3	81.2	76	54.4	28.9	15.6	47.2	101.8	112.6	100
2004	70.3	230.4	168.2	82.4	75.4	11.7	41	19.1	84.8	147	168	240.9
2005	157.8	231.2	343.3	93.1	91.6	53.7	0	7.1	54.4	152.8	28.6	164.8
2006	145.5	188.1	345.7	184.7	62.8	62	5.1	15.7	116.6	39.8	158.5	183.6
2007	246.6	64.5	352.3	226.3	57.7	1.1	42.6	20.1	32.8	171.8	211.1	170.4
2008	190.6	291.2	252.4	150.3	76	73.3	16	11	110.9	182.6	133.2	66.4
2009	344.8	197.5	307.3	149.6	127.4	31.3	18.1	8	27	184	187.9	234.8
2010	108	169.7	275.7	163.5	83.1	39.4	44.3	33.6	31.2	82.7	96.5	182.6
2011	257	148.9	284.6	269.4	21.2	8.5	13.7	4.8	55.4	84.5	93	265.4
2012	325.9	320	155.7	210.7	109.6	32.4	0	45.8	33.7	137.7	202.5	67.6
2013	141	279.9	352.4	196.2	193.4	32.8	17.7	33.8	30.4	174.5	28	238.5
2014	137.4	189.9	228	103.4	79.3	5.1	9.6	10.5	65.8	97.4	91.4	209.3
2015	370.6	159.6	286.4	108.9	158.4	1.7	9.7	0.4	24.6	88.4	126.3	107.8
2016	166.5	133.4	163.5	137.1	36.8	44.9	1.1	0	45.7	146.9	41.4	172.9
2017	156	235.8	367	133.3	170.7	43.9	1.2	49.9	51.7	146.8	37.7	228.9
2018	262.5	198.3	201.7	153	111.3	8.2	0	2.5	59	157.1	152.9	162.3
2019	93.6	154.3	378.2	137.3	62.8	5.8	14.1	0	21.6	190.2	176.5	311.7
2020	62.9	140	284.2	87.8	40.2	15.5	48	19	25.3	48.2	114.2	354.4
2021	282.3	139.4	288.6	137.7	63.7	52.6	5.9	22.6	83.2	224.4	179.3	241.5



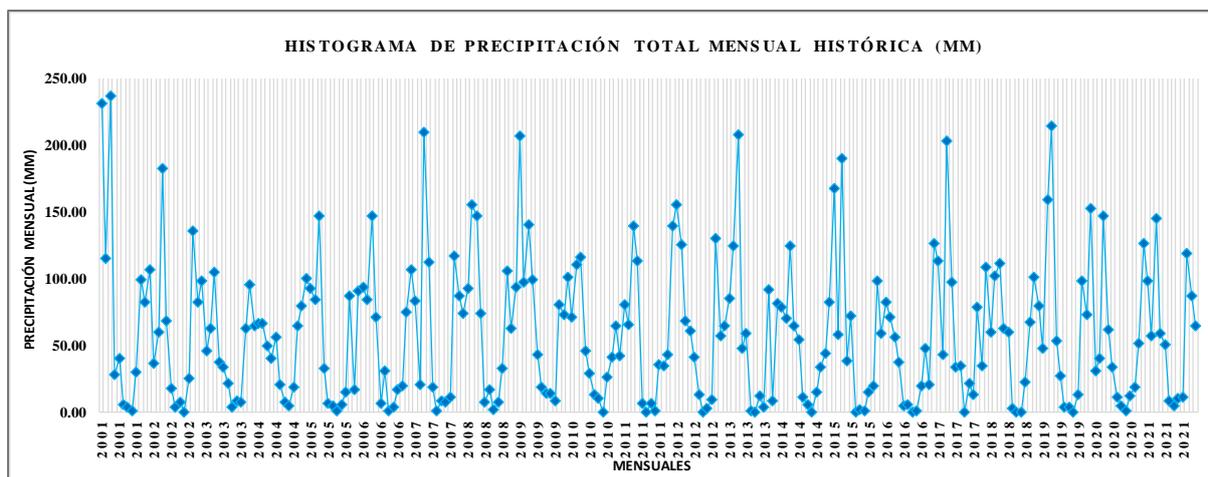
SAN JUAN												
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2001	323.3	128.9	461.8	68.1	42.8	0.6	0	0	14	48.1	125.5	68.9
2002	34.4	211	337.3	108	13.1	8.6	9.7	0	7.4	128	106.6	182.8
2003	104.5	118.4	173.1	80.1	37.9	30.2	5	1.6	4.6	28	49.3	90.4
2004	33.9	226.5	102.5	89.5	35.8	2.5	6	1	13.7	73.5	71.6	128.8
2005	135.1	114.1	285.5	46.1	9.1	4	0	1.5	10.6	72.2	24.3	109.1
2006	156.6	195	448.6	131.3	5.4	23.9	4.5	5.8	37.6	6.6	76.7	153.8
2007	171	72.3	366.8	130.8	13.9	1.5	1.5	6.2	1.6	93.9	86.4	57.4
2008	271	301.5	229.4	195.5	30	5.2	0.6	10.6	12.2	69.4	101.9	16.1
2009	333.2	268.7	391.8	118.7	50.7	9.6	10.7	2	2	103.6	114.4	124.5
2010	81.1	188.3	220.4	101.9	42.2	9.6	5.2	0	25.8	21.7	64.3	65.7
2011	136.3	117.6	204.7	207.9	8.3	5.5	9.2	0	26	13.7	34	168.7
2012	298.6	234.4	161.6	102.5	63.3	3.2	0	2.2	3.8	128.5	127.6	90.6
2013	95.4	254.5	386.2	85	53.7	4.7	4.2	10	0.7	95.4	4.7	93.2
2014	113.5	103.4	230	55.3	79.8	5.5	0	1.6	22.6	32.4	85.1	116.6
2015	157.2	101.5	401.1	92.7	66.2	0.9	0.5	1.6	16.2	11.9	100.7	53.8
2016	95.4	155.9	185.2	107.3	8.6	8.9	0	0	5.4	15.1	17.7	106.3
2017	268.2	182.9	453.1	149.2	65.6	19.3	0.3	6.2	5.1	116.6	19.4	121.5
2018	99.6	195	185.9	141.6	72	2.5	0	0	18.8	63.4	83.3	88.3
2019	101.1	376.5	307.2	100.5	31.7	0	6.7	0	5.9	67.2	50.4	170.7
2020	62.8	180.8	235.1	109.2	40.5	8.1	3.4	3.3	12.2	66.3	70.7	106.8
2021	227.7	70.1	361.5	71.5	79.9	16.1	2.9	15.1	10.3	137.2	69.4	129.3



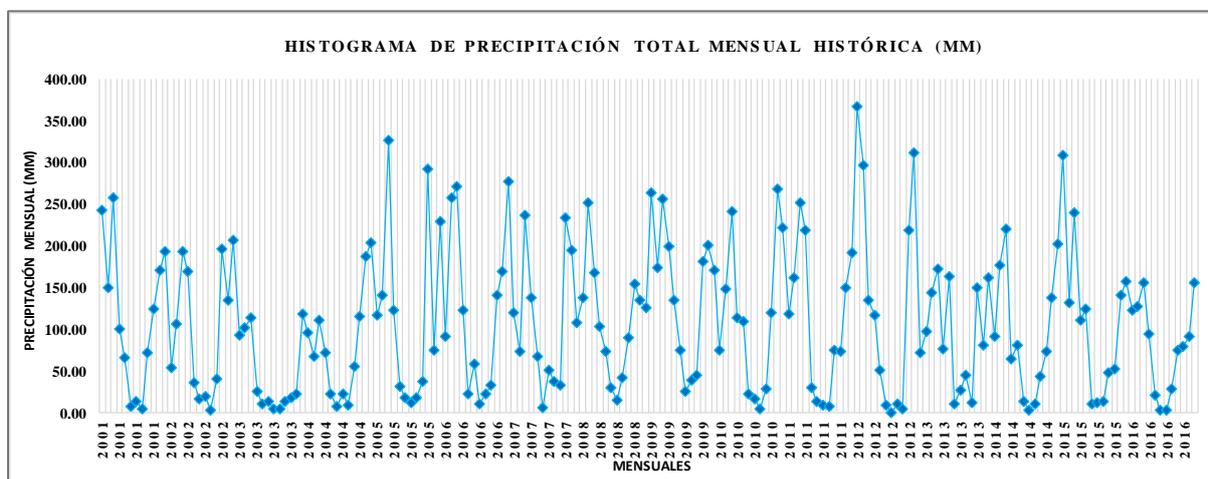
LA ENCAÑADA												
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2001	238	72.4	203.8	105.1	60.7	0.5	2.7	0.8	30.9	129.3	101.8	86.4
2002	42.9	89.4	241.1	117.7	12.6	14.1	4.4	1.1	22.3	115.6	105.5	110.5
2003	33.1	80.6	145.5	93	37.8	38.3	0	9.9	41.9	93.8	124.4	85
2004	95.4	72.5	54.6	91.1	39.8	5.8	21.7	0.5	44.2	173.2	108.5	171.2
2005	119.6	107.1	260.8	51.2	42	12.4	1.2	7	13.4	205.5	38.2	145.4
2006	74.6	134.7	292.1	124.5	14.8	41.8	11.4	4.9	65.4	61.2	106.9	91.7
2007	105.2	44.8	260.4	140.5	70.9	0	9.4	5.3	26.4	138	127.5	98.1
2008	104.1	149	175.9	151.5	44	15.2	9.2	22.6	53.7	140.9	119.7	37.7
2009	222.7	70.9	215.2	122.8	75.2	9.3	12.5	10.5	6.8	90	115.3	66.6
2010	70	94.8	184.3	123	39.8	11.8	7.7	0	35.7	100	98.9	94
2011	66.4	96.8	153.6	139.6	32.9	0.4	13.1	0	51.2	47.9	93.8	149.5
2012	166.1	101.5	108	108.3	59.7	10.6	0	7.7	1.5	169.6	153	56
2013	44.5	96.9	181.5	39.4	114.7	11.2	3.6	19.1	0	157	39.5	94.5
2014	90.3	138.9	175.4	95.3	79.8	0	0.3	0.6	44.1	91.9	100.1	135.9
2015	188.3	71.4	260.7	70.4	104.1	3.3	5.3	0	3	27.8	170.5	23.2
2016	138.7	95.2	125.2	72.3	3.2	23.1	0.8	0.6	61.7	85.1	8.2	197.1
2017	105.9	101.1	276.2	93.2	69.6	18.4	3.2	27.7	13.8	103.3	41.6	130.8
2018	98.3	187	76.8	146.1	144.9	6.3	0	0	56.3	107.5	207.2	52.6
2019	53.1	133.5	199.4	152.1	56.2	15.4	7.2	0	19	134.9	82.2	171.5
2020	67.6	50.6	114.7	74.5	47.5	19.8	41.1	1	19.3	45.1	112.3	207.8
2021	116.5	89.7	242.4	110.4	80.9	24.1	2.1	14.3	16	210.7	160.6	114.5



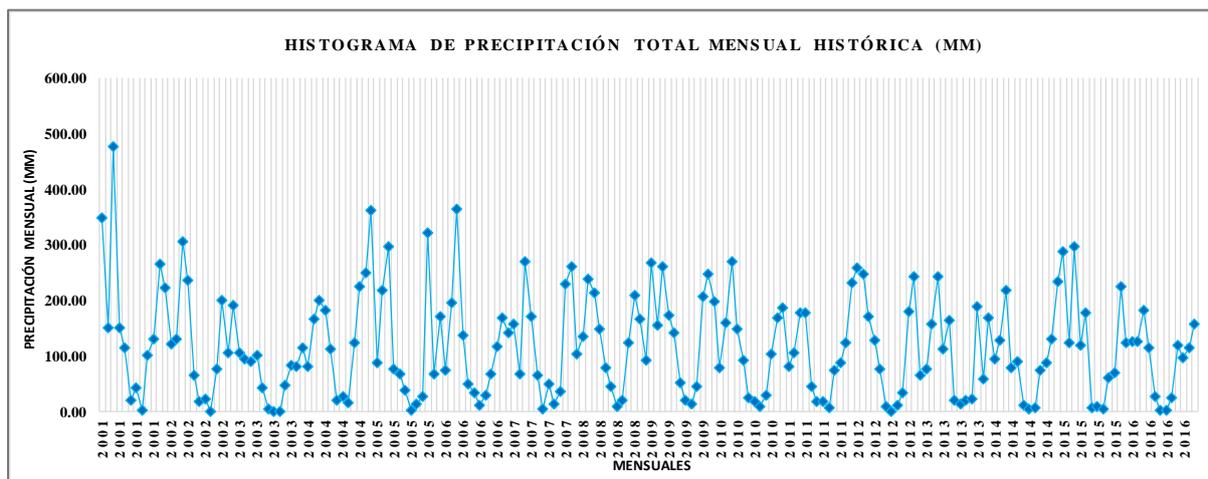
JESÚS												
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2001	231.5	115	236.8	27.5	40.3	5.4	3.7	0.3	29.9	99.3	81.9	106.8
2002	36.7	59.6	182.5	68.1	17.7	3.8	7.6	0	25	135.2	82.3	97.8
2003	46.1	62.1	104.5	36.9	33.2	21.3	3.1	8.4	7.4	62.7	95	64.3
2004	66.4	66.7	49.8	39.7	56.4	20.7	7.5	4.7	18.4	64.2	79	100.1
2005	92.2	84.2	147	33	6	4.7	0.3	5.4	15	87.1	16.2	90.9
2006	93.8	84.2	147	71.4	6.4	30.6	1.1	3.9	17	19.2	74.9	106.5
2007	83.4	20.3	209.9	112.4	18.3	0.4	7.9	7.6	10.9	116.8	86.8	73.4
2008	92.9	154.9	147.3	73.8	7	16.2	1.9	6.8	32.1	105.4	62.8	93.3
2009	206.8	97.6	140.4	99.5	43.2	18.6	14.1	13.9	7.9	80.4	72.9	101.1
2010	70.9	110.4	116.2	45.8	28.4	12.4	10	0.2	25.8	41.2	64	42.1
2011	80.3	65	138.9	113	6	0	6.7	0.8	35.5	34.2	43.3	139.4
2012	154.9	125.4	68.3	60.6	40.7	13.1	0	2.7	8.8	130.1	57.2	64.2
2013	85.2	124.2	207.5	47.6	58.4	0.4	0	11.6	3.2	91.8	7.9	81
2014	78.9	69.8	124.2	64	54.5	10.8	5.8	0	14.6	33.7	43.6	81.8
2015	167.3	57.9	190.4	38.5	71.9	0	2	0.5	14.5	19.5	97.9	58.9
2016	81.9	71	55.8	37.4	4	5.6	0.1	0.4	19.8	47.5	20.7	126.3
2017	113.4	43.2	203	96.8	33.6	34.5	0	21.1	13.3	78.6	34.2	108
2018	59.9	101.6	110.8	62.2	60.1	2.6	0	0	22.6	67	100.7	79.4
2019	47.2	158.9	214.2	52.9	27.3	3.2	3.8	0	12.6	97.8	73.2	152.6
2020	31	40.4	147	62	33.2	10.6	4	0.9	12	18.6	50.9	126.6
2021	98.1	56.5	144.9	58.7	49.9	8.2	4.8	10.5	11	118.3	86.8	64.7



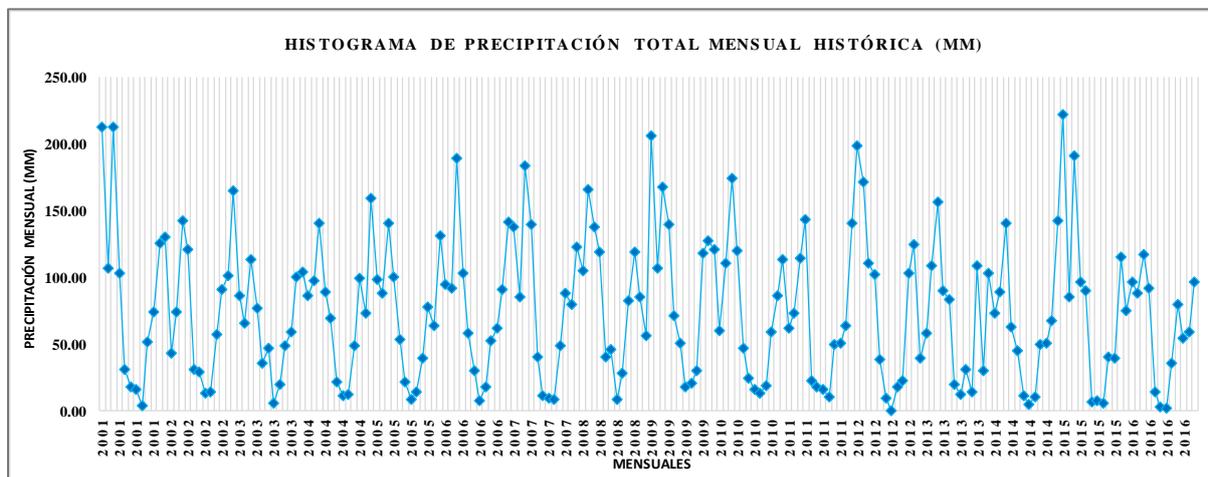
MAQUI MAQUI												
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2001	243.2	148.8	257.4	99.6	65.4	6.8	12.8	3.4	72	124.6	170.4	193.60
2002	53	106.6	193	168.6	35.2	15.8	18.4	3.3	40.8	195.6	134	207.20
2003	92.4	101.6	113.8	25.6	9.4	13.2	4.4	4.4	13.4	18	22.4	118.70
2004	95.7	67.1	110	71.5	21.6	7.4	22.1	8.7	55.6	115.6	187	203.00
2005	116.3	140.2	325.7	122.9	30.5	17.5	11.4	17.8	36.8	292.4	73.9	229.40
2006	91.4	257.3	270.8	122.4	21.6	58.7	9.7	22.6	33	140	168.9	276.60
2007	120.1	72.4	236.2	137.4	67.3	6.3	51	37.1	33.2	234	194.8	108.20
2008	138.2	250.9	167.9	102.9	73.1	29	14	41.1	90.2	154.2	134.6	124.90
2009	263.7	173.7	256.3	198.4	134.6	74.4	24.9	38.3	44.9	181.6	200.4	170.10
2010	74.7	147.6	241.3	113.3	109.7	22.1	16.8	4.8	27.7	119.6	267.7	221.70
2011	118.6	161	251	218.9	28.9	13.2	8.9	6.6	74.6	73.1	149.3	191.80
2012	367.5	295.9	134.4	116.8	50.8	7.9	0	10.7	3.8	217.9	311.4	71.60
2013	96.8	144	172.7	76.5	162.6	9.9	26.7	43.9	12.2	149.1	80	161.00
2014	90.4	177	219.7	63.8	80.8	13	3.3	9.7	42.6	73.2	137.8	202.20
2015	308.5	131.1	239	110	124.5	9.9	11.1	12.9	47	52.3	140.7	157.40
2016	122.27	126.37	155.37	93.4	19.94	2.17	1.9	28.58	74.78	78.45	91.64	155.65
2017												
2018												
2019												
2020												
2021												



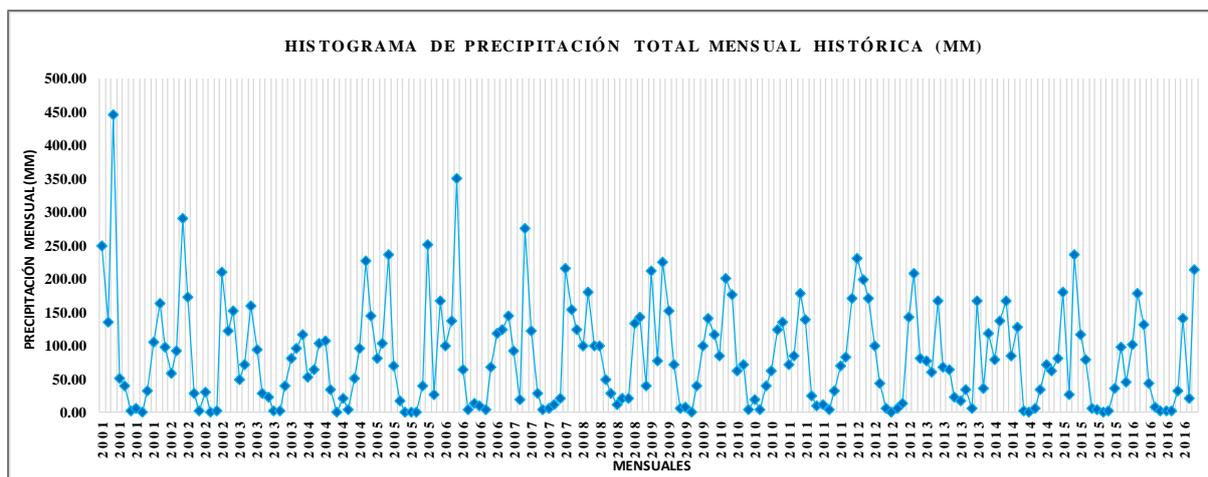
LA QUINUA												
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2001	348.2	149.6	476.7	149.1	113	20.3	41.9	1.1	100.6	129	265.2	222.3
2002	120.4	130.6	305	235.5	63.5	16.3	20.8	0	75.7	199.7	104.7	189.5
2003	105.4	93.7	89.4	100.6	41.9	3.6	0	0	46	81.9	79.8	113.8
2004	79.8	166.9	199.9	180.6	112.3	19.3	25.7	14	122.2	224.3	248.7	360.9
2005	87.9	217.1	296.2	76.4	66.8	37.1	0.8	13.7	26.4	321.8	66.8	169.4
2006	73.4	194.6	363	136.7	47.8	32.5	9.9	29.2	66.8	116.3	168.9	141
2007	156.7	66.5	269.7	170.7	63.5	3.6	49.3	12.7	35.8	229.1	259.8	103.6
2008	135.41	237.75	213.13	147.6	78.1	44.91	9.27	18.64	122.22	207.79	165.76	92.39
2009	267.98	153.64	259.46	173.31	140.36	50.41	18.83	13.75	44.99	205.4	247.87	197.92
2010	77.58	158.58	270.12	148.65	92.14	23.64	16.42	8.3	28.04	102.54	166.93	185.24
2011	79.81	104.76	176.99	177.61	43.42	17.29	16.36	6.82	74.3	87.55	123.16	230.15
2012	257.72	246.42	170.57	126.52	76	8.68	0.17	11.63	32.86	179.25	242.65	64.48
2013	75.09	155.71	242.55	111.63	163.38	19.45	12.32	20.28	20.83	189.23	58.36	168.32
2014	94.35	126.87	216.72	77.94	88.86	10.47	4.26	6.38	74.29	87.85	130.47	233.18
2015	287.59	122.56	295.93	119.25	177.72	6.5	8.14	3.64	59.53	68.32	224.02	123.12
2016	125.59	126.43	181.17	114.3	26.99	2.38	1.79	23.4	117.85	95.03	114.1	157.46
2017												
2018												
2019												
2020												
2021												



LA LLICA												
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2001	212	106.3	212.6	102.9	30.3	17.2	15.8	3.6	51.6	73.8	125.5	130.4
2002	42.7	74	142	120.3	31	28.6	12.9	13.4	56.9	90.8	100.5	164.4
2003	85.7	64.9	113.5	76.4	35.1	46.6	5	19.7	48.2	58.4	99.9	104.1
2004	86.1	97.4	140.5	89	69.5	21.1	11	11.8	48	98.6	72.4	158.6
2005	98.2	87.8	140.2	99.7	53.6	21.1	8.6	13.4	39.2	77.7	63.7	131
2006	94.5	91.6	188.7	102.7	58.2	30	7.1	17.6	52.1	61.3	91	140.8
2007	137.6	85.3	183.2	139.4	39.7	11.4	8.7	8.3	48.1	87.6	79.4	122.1
2008	104.27	165.53	137.53	118.64	39.62	45.23	8.63	28.03	81.98	119.2	84.89	56.21
2009	206.36	106.97	167.43	139.3	71.21	50.76	17.53	20.67	30.18	117.83	126.94	120.42
2010	59.74	110.41	174.31	119.48	46.74	23.8	15.29	12.47	18.81	58.82	85.49	112.71
2011	61.46	72.94	114.21	142.76	22.03	17.41	15.23	10.26	49.84	50.22	63.08	140.03
2012	198.45	171.56	110.07	101.69	38.55	8.74	0.16	17.49	22.04	102.83	124.27	39.23
2013	57.82	108.41	156.52	89.72	82.88	19.58	11.47	30.48	13.97	108.55	29.89	102.41
2014	72.65	88.33	139.85	62.64	45.08	10.54	3.97	9.59	49.83	50.4	66.82	141.88
2015	221.45	85.33	190.96	95.85	90.16	6.54	7.58	5.47	39.93	39.19	114.73	74.91
2016	96.71	88.03	116.91	91.87	13.69	2.4	1.67	35.17	79.05	54.52	58.43	95.8
2017												
2018												
2019												
2020												
2021												

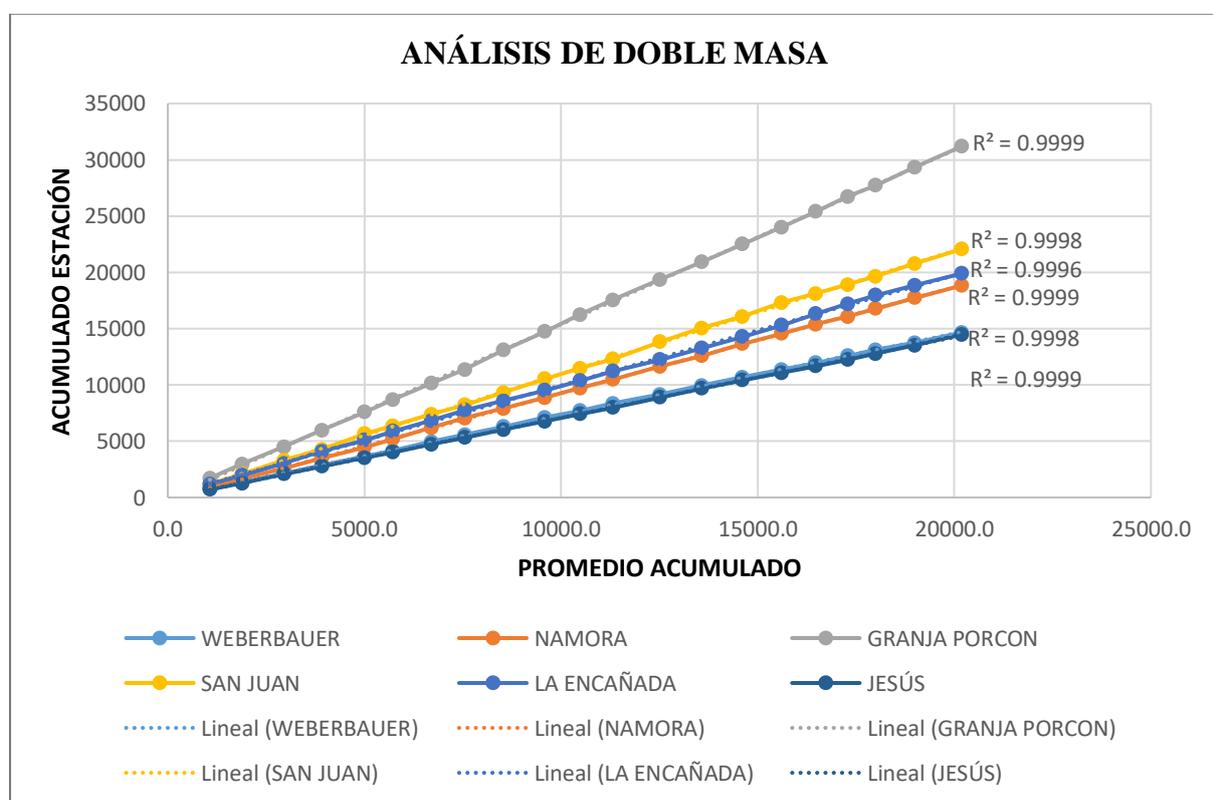


CELENDIN												
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2001	249.5	134.9	445	50.6	39.6	1.3	5.4	0	32.2	104.3	162.2	97
2002	57.9	90.5	289.1	172.6	27.9	1.9	29.3	0	2	208.6	122	151.8
2003	48.7	71.1	158.6	92.7	27.3	21.2	1.7	0.9	39.5	80.9	95.8	116.4
2004	51.3	63.5	101.7	106.6	32.9	0	20.5	2.5	50.3	94.4	225.4	143.2
2005	79.3	103.4	236.5	69.3	16.5	0	0	0	39	250.3	26.6	166.7
2006	98.5	136.1	349.8	62.4	3.4	11.8	9.1	3.9	66.3	118.3	123.1	144.6
2007	91.6	17.6	275.8	122.2	27.6	3	6	9.9	20	215.3	152.9	123.2
2008	98.5	180.2	98.8	98.7	48.5	28	11	21	21	132	142.5	38.8
2009	212.1	75.9	223.5	150.9	71.4	5.8	6.1	0	38.2	98.7	139.5	116
2010	84.7	200.4	176.3	61.8	69.9	2.8	18.7	3.9	39	60.4	123	135.1
2011	71.11	84.43	176.94	137.55	24.22	8.59	11.14	2.88	30.42	69.08	81.39	170.22
2012	229.63	198.61	170.52	97.98	42.38	4.31	0.12	4.9	13.45	141.45	208.1	79.7
2013	76.6	58.9	167.1	66.7	63	21.1	16.5	33.2	4.7	166.5	35.3	116.8
2014	78.1	136.7	166.6	84	126.8	1.3	0.3	4.4	33.2	70	62.2	79.2
2015	179.2	25.2	235.6	114.8	77.3	5.5	3.1	0	0.6	35.7	96.9	44.3
2016	100.3	178.3	131.5	42.9	6.7	2.1	1.8	2	30.6	140.5	19.4	213.6
2017												
2018												
2019												
2020												
2021												

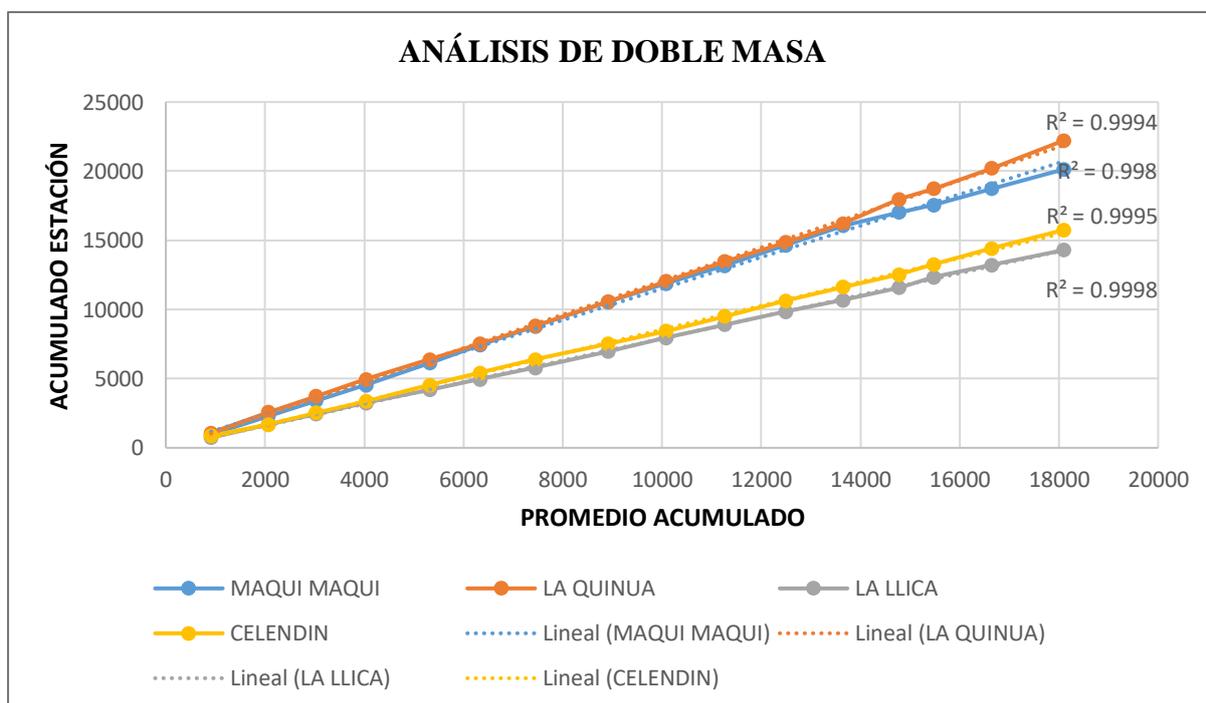


B. ANÁLISIS DE DOBLE MASA Y CONSISTENCIA

AÑO	PRECIPITACIONES ANUALES ACUMULADAS						PROM
	WEBERBAUER	NAMORA	G. PORCÓN	SAN JUAN	ENCAÑADA	JESÚS	
2001	14650.8	18822	31178.3	22055.2	19883.7	14476.9	20177.8
2002	13742.2	17750.1	29333.2	20773.2	18851.3	13498.5	18991.4
2003	13108.1	16771.8	27710.5	19626.3	17974.1	12782.2	17995.5
2004	12579.3	16063	26730.3	18903.2	17190.8	12237.2	17284.0
2005	11953.4	15385	25391.1	18117.9	16312.3	11663.6	16470.6
2006	11367.1	14564.9	24012.7	17306.3	15308.5	11081.6	15606.9
2007	10677.5	13665.5	22504.6	16060.5	14284.5	10425.6	14603.0
2008	9926.3	12578.6	20907.3	15057.2	13258	9677.5	13567.5
2009	9150.4	11632.2	19353.4	13813.8	12234.5	8883.1	12511.2
2010	8355.6	10470.6	17535.7	12283.9	11216.7	7986.7	11308.2
2011	7711.1	9698.1	16225.4	11457.7	10356.7	7419.3	10478.1
2012	7095.9	8861.4	14719	10525.8	9511.5	6756.2	9578.3
2013	6272	7910.5	13077.4	9309.5	8569.5	6030.2	8528.2
2014	5557.1	7033.2	11358.8	8221.8	7767.6	5311.4	7541.7
2015	4939.5	6184.2	10131.7	7376	6815	4729.7	6696.0
2016	4167.2	5201.9	8688.9	6371.7	5887	4010.4	5721.2
2017	3645.4	4454.8	7598.7	5665.9	5075.8	3539.9	4996.8
2018	2877.9	3513.8	5975.8	4258.5	4091	2760.2	3912.9
2019	2147.5	2596.9	4507	3308.1	3008	2093.3	2943.5
2020	1331.7	1667.8	2960.9	2090.2	1983.5	1249.6	1880.6
2021	725.2	867.5	1721.2	1191	1182.2	712.4	1066.6



AÑO	PRECIPITACIONES ANUALES ACUMULADAS				
	MAQUI MAQUI	LA QUINUA	LA LLICA	CELENDÍN	PROM
2001	20135.62	22222.74	14299.21	15752.02	18102.40
2002	18737.62	20205.74	13217.21	14430.02	16647.65
2003	17566.12	18744.04	12339.71	13276.42	15481.57
2004	17028.82	17987.94	11582.21	12521.62	14780.15
2005	16063.52	16233.34	10678.21	11629.32	13651.10
2006	14648.72	14852.94	9844.01	10641.72	12496.85
2007	13175.72	13472.84	8908.41	9514.42	11267.85
2008	11877.72	12051.84	7957.61	8449.32	10084.12
2009	10556.72	10578.87	6967.85	7530.32	8908.44
2010	8795.42	8804.95	5792.25	6392.22	7446.21
2011	7428.42	7526.77	4954.18	5416.22	6331.40
2012	6132.52	6388.55	4194.71	4548.25	5316.01
2013	4543.82	4971.60	3259.63	3357.10	4033.04
2014	3408.42	3734.45	2447.93	2530.70	3030.38
2015	2294.92	2582.81	1706.35	1687.90	2068.00
2016	950.52	1086.49	734.25	869.70	910.24



ANÁLISIS DE SALTOS ESTACIÓN A. WEBERBAUER					
PERIODO DUDOSO			PERIODO CONFIABLE		
Periodo Muestral			Periodo Muestral		
ENTRE	2001	2012	ENTRE	2013	2021
Tamaño de la muestra (n1)	144		Tamaño de la muestra (n2)	108	
Media de la muestra (X1)	58.19		Media de la muestra (X2)	58.07	
Desviación estándar (S1)	48.91		Desviación estándar (S2)	51.04	
Grados de libertad (GL1)	143		Grados de libertad (GL2)	107	
RESULTADOS					
PRUEBA "T" DE STUDENT					
Desviación estándar ponderada			49.83		
Desviación de las diferencias de los promedios			6.34		
Cálculo del T, calculado (Tc)			0.02		
Cálculo del valor critico de t, tabular Tt:			1.97		
Grados de libertad			250.00		
Conclusión:					
Itcl	0.02	<	Tt	1.97	
MUESTRA CONSISTENTE					
PRUEBA "F" DE FISHER					
Cálculo de F calculado (Fc) según:			1.09		
GLN			107		
GLD			143		
Cálculo del F tabular (Ft)			1.34		
Conclusión:					
Fc	1.09	<	Ft	1.34	
MUESTRA CONSISTENTE					
ANÁLISIS DE TENDENCIAS					
MEDIA			VARIANZA		
$\overline{(t \times T_m)}$	7350.36		\bar{t}	11	
\bar{t}	126.50		St	6.2	
$\overline{(T_m)}$	58.14		$\overline{(Sp)}$	50.14	
$\bar{t} \times \overline{(T_m)}$	7354.47		Ssp	10.13	
St	72.89		$\overline{(t \times Sp)}$	556.72	
STm	49.73				
Parámetros			Parámetros		
R	0.001		R	0.083	
Am	58.0403		As	48.6495	
Bm	0.0008		Bs	0.1353	
Prueba de T para R			Prueba de T para R		
n:	252		n:	21	
GDL:	250		GDL:	19	
Tc:	0.02		Tc:	0.36	
Tt:	1.97		Tt:	2.09	
Conclusión:					
Tc	<	Tt	Tc	<	Tt
SIN TENDENCIA			SIN TENDENCIA		

ANÁLISIS DE SALTOS ESTACIÓN NAMORA					
PERIODO DUDOSO			PERIODO CONFIABLE		
Periodo Muestral			Periodo Muestral		
ENTRE	2001	2005	ENTRE	2006	2021
Tamaño de la muestra (n1)	60		Tamaño de la muestra (n2)	192	
Media de la muestra (X1)	70.95		Media de la muestra (X2)	75.86	
Desviación estándar (S1)	63.81		Desviación estándar (S2)	65.94	
Grados de libertad (GL1)	59		Grados de libertad (GL2)	191	
RESULTADOS					
PRUEBA "T" DE STUDENT					
Desviación estándar ponderada			65.44		
Desviación de las diferencias de los promedios			9.68		
Cálculo del T, calculado (Tc)			0.51		
Cálculo del valor critico de t, tabular Tt:			1.97		
Grados de libertad			250.00		
Conclusión:					
Itcl	0.51	<	Tt	1.97	
MUESTRA CONSISTENTE					
PRUEBA "F" DE FISHER					
Cálculo de F calculado (Fc) según:			1.07		
GLN			191		
GLD			59		
Cálculo del F tabular (Ft)			1.44		
Conclusión:					
Fc	1.07	<	Ft	1.44	
MUESTRA CONSISTENTE					
ANÁLISIS DE TENDENCIAS					
MEDIA			VARIANZA		
$\overline{(t \times T_m)}$	9327.25		\bar{t}	11	
\bar{t}	126.50		St	6.2	
$\overline{(T_m)}$	74.69		$\overline{(Sp)}$	66.14	
$\bar{t} \times \overline{(T_m)}$	9448.35		Ssp	12.81	
St	72.89		$\overline{(t \times Sp)}$	724.42	
STm	65.34				
Parámetros			Parámetros		
R	0.025		R	0.039	
Am	71.8072		As	65.2539	
Bm	0.0228		Bs	0.0803	
Prueba de T para R			Prueba de T para R		
n:	252		n:	21	
GDL:	250		GDL:	19	
Tc:	0.40		Tc:	0.17	
Tt:	1.97		Tt:	2.09	
Conclusión:					
Tc	<	Tt	Tc	<	Tt
SIN TENDENCIA			SIN TENDENCIA		

ANÁLISIS DE SALTOS ESTACIÓN GRANJA PORCÓN					
PERIODO DUDOSO			PERIODO CONFIABLE		
Periodo Muestral			Periodo Muestral		
ENTRE	2001	2013	ENTRE	2014	2021
Tamaño de la muestra (n1)	156		Tamaño de la muestra (n2)	96	
Media de la muestra (X1)	127.05		Media de la muestra (X2)	118.32	
Desviación estándar (S1)	99.54		Desviación estándar (S2)	97.26	
Grados de libertad (GL1)	155		Grados de libertad (GL2)	95	
RESULTADOS					
PRUEBA "T" DE STUDENT					
Desviación estándar ponderada			98.68		
Desviación de las diferencias de los promedios			12.80		
Cálculo del T, calculado (Tc)			0.68		
Cálculo del valor crítico de t, tabular Tt:			1.97		
Grados de libertad			250.00		
Conclusión:					
Tc	0.68	<	Tt	1.97	
MUESTRA CONSISTENTE					
PRUEBA "F" DE FISHER					
Cálculo de F calculado (Fc) según:			1.05		
GLN			155		
GLD			95		
Cálculo del F tabular (Ft)			1.36		
Conclusión:					
Fc	1.05	<	Ft	1.36	
MUESTRA CONSISTENTE					
ANÁLISIS DE TENDENCIAS					
MEDIA			VARIANZA		
$\overline{(t \times T_m)}$	15495.59		\bar{t}	11	
\bar{t}	126.50		St	6.2	
$\overline{(T_m)}$	123.72		$\overline{(Sp)}$	98.62	
$\bar{t} \times \overline{(T_m)}$	15651.01		$\frac{Ssp}{(t \times Sp)}$	21.94	
St	72.89			1097.25	
STm	98.57				
Parámetros			Parámetros		
R	0.022		R	0.092	
Am	120.0229		As	95.0559	
Bm	0.0293		Bs	0.3238	
Prueba de T para R			Prueba de T para R		
n:	252		n:	21	
GDL:	250		GDL:	19	
Tc:	0.34		Tc:	0.40	
Tt:	1.97		Tt:	2.09	
Conclusión:					
Tc	<	Tt	Tc	<	Tt
SIN TENDENCIA			SIN TENDENCIA		

ANÁLISIS DE SALTOS ESTACIÓN SAN JUAN					
PERIODO DUDOSO			PERIODO CONFIABLE		
Periodo Muestral			Periodo Muestral		
ENTRE	2001	2013	ENTRE	2014	2021
Tamaño de la muestra (n1)	156		Tamaño de la muestra (n2)	96	
Media de la muestra (X1)	88.68		Media de la muestra (X2)	85.64	
Desviación estándar (S1)	101.55		Desviación estándar (S2)	95.76	
Grados de libertad (GL1)	155		Grados de libertad (GL2)	95	
RESULTADOS					
PRUEBA "T" DE STUDENT					
Desviación estándar ponderada			99.39		
Desviación de las diferencias de los promedios			12.89		
Cálculo del T, calculado (Tc)			0.24		
Cálculo del valor crítico de t, tabular Tt:			1.97		
Grados de libertad			250.00		
Conclusión:					
Tc	0.24	<	Tt	1.97	
MUESTRA CONSISTENTE					
PRUEBA "F" DE FISHER					
Cálculo de F calculado (Fc) según:			1.12		
GLN			155		
GLD			95		
Cálculo del F tabular (Ft)			1.36		
Conclusión:					
Fc	1.12	<	Ft	1.36	
MUESTRA CONSISTENTE					
ANÁLISIS DE TENDENCIAS					
MEDIA			VARIANZA		
$\overline{(t \times Tm)}$	10971.71		\bar{t}	11	
\bar{t}	126.50		St	6.2	
$\overline{(Tm)}$	87.52		$\overline{(Sp)}$	97.94	
$\bar{t} \times \overline{(Tm)}$	11071.36		Ssp	27.38	
St	72.89		$\overline{(t \times Sp)}$	1066.94	
STm	99.20				
Parámetros			Parámetros		
R	0.014		R	0.062	
Am	85.1479		As	94.9555	
Bm	0.0188		Bs	0.2717	
Prueba de T para R			Prueba de T para R		
n:	252		n:	21	
GDL:	250		GDL:	19	
Tc:	0.22		Tc:	0.27	
Tt:	1.97		Tt:	2.09	
Conclusión:			Conclusión:		
Tc	<	Tt	Tc	<	Tt
SIN TENDENCIA			SIN TENDENCIA		

ANÁLISIS DE SALTOS ESTACIÓN LA ENCAÑADA					
PERIODO DUDOSO			PERIODO CONFIABLE		
Periodo Muestral			Periodo Muestral		
ENTRE	2001	2015	ENTRE	2016	2021
Tamaño de la muestra (n1)	180		Tamaño de la muestra (n2)	72	
Media de la muestra (X1)	77.76		Media de la muestra (X2)	81.76	
Desviación estándar (S1)	65.82		Desviación estándar (S2)	67.90	
Grados de libertad (GL1)	179		Grados de libertad (GL2)	71	
RESULTADOS					
PRUEBA "T" DE STUDENT					
Desviación estándar ponderada			66.42		
Desviación de las diferencias de los promedios			9.26		
Cálculo del T, calculado (Tc)			0.43		
Cálculo del valor crítico de t, tabular Tt:			1.97		
Grados de libertad			250.00		
Conclusión:					
Tc	0.43	<	Tt	1.97	
MUESTRA CONSISTENTE					
PRUEBA "F" DE FISHER					
Cálculo de F calculado (Fc) según:			1.06		
GLN			71		
GLD			179		
Cálculo del F tabular (Ft)			1.37		
Conclusión:					
Fc	1.06	<	Ft	1.37	
MUESTRA CONSISTENTE					
ANÁLISIS DE TENDENCIAS					
MEDIA			VARIANZA		
$\overline{(t \times T_m)}$	10038.97		\bar{t}	11	
\bar{t}	126.50		St	6.2	
$\overline{(T_m)}$	78.90		$\overline{(Sp)}$	67.68	
$\bar{t} \times \overline{(T_m)}$	9981.30		Ssp	10.96	
St	72.89		$\overline{(t \times Sp)}$	747.30	
STm	66.31				
Parámetros			Parámetros		
R	0.012		R	0.042	
Am	77.5305		As	66.8705	
Bm	0.0109		Bs	0.0735	
Prueba de T para R			Prueba de T para R		
n:	252		n:	21	
GDL:	250		GDL:	19	
Tc:	0.19		Tc:	0.18	
Tt:	1.97		Tt:	2.09	
Conclusión:			Conclusión:		
Tc	<	Tt	Tc	<	Tt
SIN TENDENCIA			SIN TENDENCIA		

ANÁLISIS DE SALTOS ESTACIÓN JESÚS					
PERIODO DUDOSO			PERIODO CONFIABLE		
Periodo Muestral			Periodo Muestral		
ENTRE	2001	2007	ENTRE	2008	2021
Tamaño de la muestra (n1)	84		Tamaño de la muestra (n2)	168	
Media de la muestra (X1)	57.14		Media de la muestra (X2)	57.60	
Desviación estándar (S1)	53.76		Desviación estándar (S2)	51.47	
Grados de libertad (GL1)	83		Grados de libertad (GL2)	167	
RESULTADOS					
PRUEBA "T" DE STUDENT					
Desviación estándar ponderada			52.24		
Desviación de las diferencias de los promedios			6.98		
Cálculo del T, calculado (Tc)			0.07		
Cálculo del valor crítico de t, tabular Tt:			1.97		
Grados de libertad			250.00		
Conclusión:					
Itcl	0.07	<	Tt	1.97	
MUESTRA CONSISTENTE					
PRUEBA "F" DE FISHER					
Cálculo de F calculado (Fc) según:			1.09		
GLN			83		
GLD			167		
Cálculo del F tabular (Ft)			1.36		
Conclusión:					
Fc	1.09	<	Ft	1.36	
MUESTRA CONSISTENTE					
ANÁLISIS DE TENDENCIAS					
MEDIA			VARIANZA		
$\overline{(t \times T_m)}$	7132.07		\bar{t}	11	
\bar{t}	126.50		St	6.2	
$\overline{(T_m)}$	57.45		$\overline{(Sp)}$	51.70	
$\bar{t} \times \overline{(T_m)}$	7267.17		Ssp	13.12	
St	72.89		$\overline{(t \times Sp)}$	564.28	
STm	52.14				
Parámetros			Parámetros		
R	0.036		R	0.055	
Am	54.2313		As	50.4262	
Bm	0.0254		Bs	0.1161	
Prueba de T para R			Prueba de T para R		
n:	252		n:	21	
GDL:	250		GDL:	19	
Tc:	0.56		Tc:	0.24	
Tt:	1.97		Tt:	2.09	
Conclusión:					
Tc	<	Tt	Tc	<	Tt
SIN TENDENCIA			SIN TENDENCIA		

ANÁLISIS DE SALTOS ESTACIÓN MAQUI MAQUI					
PERIODO DUDOSO			PERIODO CONFIABLE		
Periodo Muestral			Periodo Muestral		
ENTRE	2001	2005	ENTRE	2006	2016
Tamaño de la muestra (n1)	60		Tamaño de la muestra (n2)	132	
Media de la muestra (X1)	91.45		Media de la muestra (X2)	110.98	
Desviación estándar (S1)	82.68		Desviación estándar (S2)	85.27	
Grados de libertad (GL1)	59		Grados de libertad (GL2)	131	
RESULTADOS					
PRUEBA "T" DE STUDENT					
Desviación estándar ponderada			84.48		
Desviación de las diferencias de los promedios			13.15		
Cálculo del T, calculado (Tc)			1.48		
Cálculo del valor crítico de t, tabular Tt:			1.97		
Grados de libertad			190.00		
Conclusión:					
Tc	1.48	<	Tt	1.97	
MUESTRA CONSISTENTE					
PRUEBA "F" DE FISHER					
Cálculo de F calculado (Fc) según:			1.06		
GLN			131		
GLD			59		
Cálculo del F tabular (Ft)			1.47		
Conclusión:					
Fc	1.06	<	Ft	1.47	
MUESTRA CONSISTENTE					
ANÁLISIS DE TENDENCIAS					
MEDIA			VARIANZA		
$\overline{(t \times T_m)}$	10226.52		\bar{t}	8.5	
\bar{t}	96.50		St	4.76	
$\overline{(T_m)}$	104.87		$\overline{(Sp)}$	82.31	
$\bar{t} \times \overline{(T_m)}$	10120.25		Ssp	21.67	
St	55.57		$\overline{(t \times Sp)}$	703.63	
STm	84.74				
Parámetros			Parámetros		
R	0.023		R	0.039	
Am	101.5519		As	80.7956	
Bm	0.0344		Bs	0.1777	
Prueba de T para R			Prueba de T para R		
n:	192		n:	16	
GDL:	190		GDL:	14	
Tc:	0.31		Tc:	0.15	
Tt:	1.97		Tt:	2.14	
Conclusión:					
Tc	<	Tt	Tc	<	Tt
SIN TENDENCIA			SIN TENDENCIA		

ANÁLISIS DE SALTOS ESTACIÓN LA QUINUA					
PERIODO DUDOSO			PERIODO CONFIABLE		
Periodo Muestral			Periodo Muestral		
ENTRE	2001	2006	ENTRE	2007	2016
Tamaño de la muestra (n1)	72		Tamaño de la muestra (n2)	120	
Media de la muestra (X1)	121.53		Media de la muestra (X2)	112.27	
Desviación estándar (S1)	104.18		Desviación estándar (S2)	83.09	
Grados de libertad (GL1)	71		Grados de libertad (GL2)	119	
RESULTADOS					
PRUEBA "T" DE STUDENT					
Desviación estándar ponderada			91.54		
Desviación de las diferencias de los promedios			13.65		
Cálculo del T, calculado (Tc)			0.68		
Cálculo del valor crítico de t, tabular Tt:			1.97		
Grados de libertad			190.00		
Conclusión:					
Tc	0.68	<	Tt	1.97	
MUESTRA CONSISTENTE					
PRUEBA "F" DE FISHER					
Cálculo de F calculado (Fc) según:			1.57		
GLN			71		
GLD			119		
Cálculo del F tabular (Ft)			1.41		
Conclusión:					
Fc	1.57	<	Ft	1.41	
CORREGIR					
ANÁLISIS DE TENDENCIAS					
MEDIA			VARIANZA		
$\overline{(t \times Tm)}$	10667.06		\bar{t}	8.5	
\bar{t}	96.50		St	4.76	
$\overline{(Tm)}$	115.74		$\overline{(Sp)}$	89.21	
$\bar{t} \times \overline{(Tm)}$	11169.24		$\frac{Ssp}{(t \times Sp)}$	22.42	
St	55.57			720.96	
STm	91.41				
Parámetros			Parámetros		
R	0.099		R	0.350	
Am	100.0503		As	75.2039	
Bm	0.1626		Bs	1.6479	
Prueba de T para R			Prueba de T para R		
n:	192		n:	16	
GDL:	190		GDL:	14	
Tc:	1.37		Tc:	1.40	
Tt:	1.97		Tt:	2.14	
Conclusión:					
Tc	<	Tt	Tc	<	Tt
SIN TENDENCIA			SIN TENDENCIA		

ANÁLISIS DE SALTOS ESTACIÓN LA LLICA					
PERIODO DUDOSO			PERIODO CONFIABLE		
Periodo Muestral			Periodo Muestral		
ENTRE	2014	2016	ENTRE	2001	2013
Tamaño de la muestra (n1)	36		Tamaño de la muestra (n2)	156	
Media de la muestra (X1)	68.00		Media de la muestra (X2)	75.97	
Desviación estándar (S1)	52.53		Desviación estándar (S2)	51.84	
Grados de libertad (GL1)	35		Grados de libertad (GL2)	155	
RESULTADOS					
PRUEBA "T" DE STUDENT					
Desviación estándar ponderada			51.97		
Desviación de las diferencias de los promedios			9.61		
Cálculo del T, calculado (Tc)			0.83		
Cálculo del valor critico de t, tabular Tt:			1.97		
Grados de libertad			190.00		
Conclusión:					
Itcl	0.83	<	Tt	1.97	
MUESTRA CONSISTENTE					
PRUEBA "F" DE FISHER					
Cálculo de F calculado (Fc) según:			1.03		
GLN			35		
GLD			155		
Cálculo del F tabular (Ft)			1.5		
Conclusión:					
Fc	1.03	<	Ft	1.5	
MUESTRA CONSISTENTE					
ANÁLISIS DE TENDENCIAS					
MEDIA			VARIANZA		
$\overline{(t \times Tm)}$	6976.94		\bar{t}	8.5	
\bar{t}	96.50		St	4.76	
$\overline{(Tm)}$	74.48		$\overline{(Sp)}$	52.05	
$\bar{t} \times \overline{(Tm)}$	7186.84		Ssp	10.58	
St	55.57		$\overline{(t \times Sp)}$	442.75	
STm	51.92				
Parámetros			Parámetros		
R	0.073		R	0.006	
Am	67.9156		As	51.9343	
Bm	0.0680		Bs	0.0138	
Prueba de T para R			Prueba de T para R		
n:	192		n:	16	
GDL:	190		GDL:	14	
Tc:	1.01		Tc:	0.02	
Tt:	1.97		Tt:	2.14	
Conclusión:					
Tc	<	Tt	Tc	<	Tt
SIN TENDENCIA			SIN TENDENCIA		

ANÁLISIS DE SALTOS ESTACIÓN CELENDIN					
PERIODO DUDOSO			PERIODO CONFIABLE		
Periodo Muestral			Periodo Muestral		
ENTRE	2001	2007	ENTRE	2008	2016
Tamaño de la muestra (n1)	84		Tamaño de la muestra (n2)	108	
Media de la muestra (X1)	86.94		Media de la muestra (X2)	78.23	
Desviación estándar (S1)	88.83		Desviación estándar (S2)	66.95	
Grados de libertad (GL1)	83		Grados de libertad (GL2)	107	
RESULTADOS					
PRUEBA "T" DE STUDENT					
Desviación estándar ponderada			77.28		
Desviación de las diferencias de los promedios			11.24		
Cálculo del T, calculado (Tc)			0.77		
Cálculo del valor critico de t, tabular Tt:			1.97		
Grados de libertad			190.00		
Conclusión:					
Itcl	0.77	<	Tt	1.97	
MUESTRA CONSISTENTE					
PRUEBA "F" DE FISHER					
Cálculo de F calculado (Fc) según:			1.76		
GLN			83		
GLD			107		
Cálculo del F tabular (Ft)			1.4		
Conclusión:					
Fc	1.76	<	Ft	1.4	
CORREGIR					
ANÁLISIS DE TENDENCIAS					
MEDIA			VARIANZA		
$\overline{(t \times T_m)}$	7543.57		\bar{t}	8.5	
\bar{t}	96.50		St	4.76	
$\overline{(T_m)}$	82.04		$\overline{(Sp)}$	76.54	
$\bar{t} \times \overline{(T_m)}$	7917.03		Ssp	21.13	
St	55.57		$\overline{(t \times Sp)}$	610.14	
STm	77.20				
Parámetros			Parámetros		
R	0.087		R	0.402	
Am	70.3712		As	61.3638	
Bm	0.1209		Bs	1.7854	
Prueba de T para R			Prueba de T para R		
n:	192		n:	16	
GDL:	190		GDL:	14	
Tc:	1.20		Tc:	1.64	
Tt:	1.97		Tt:	2.14	
Conclusión:					
Tc	<	Tt	Tc	<	Tt
SIN TENDENCIA			SIN TENDENCIA		

C. ESTACIONES CORREGIDAS Y COMPLETADAS

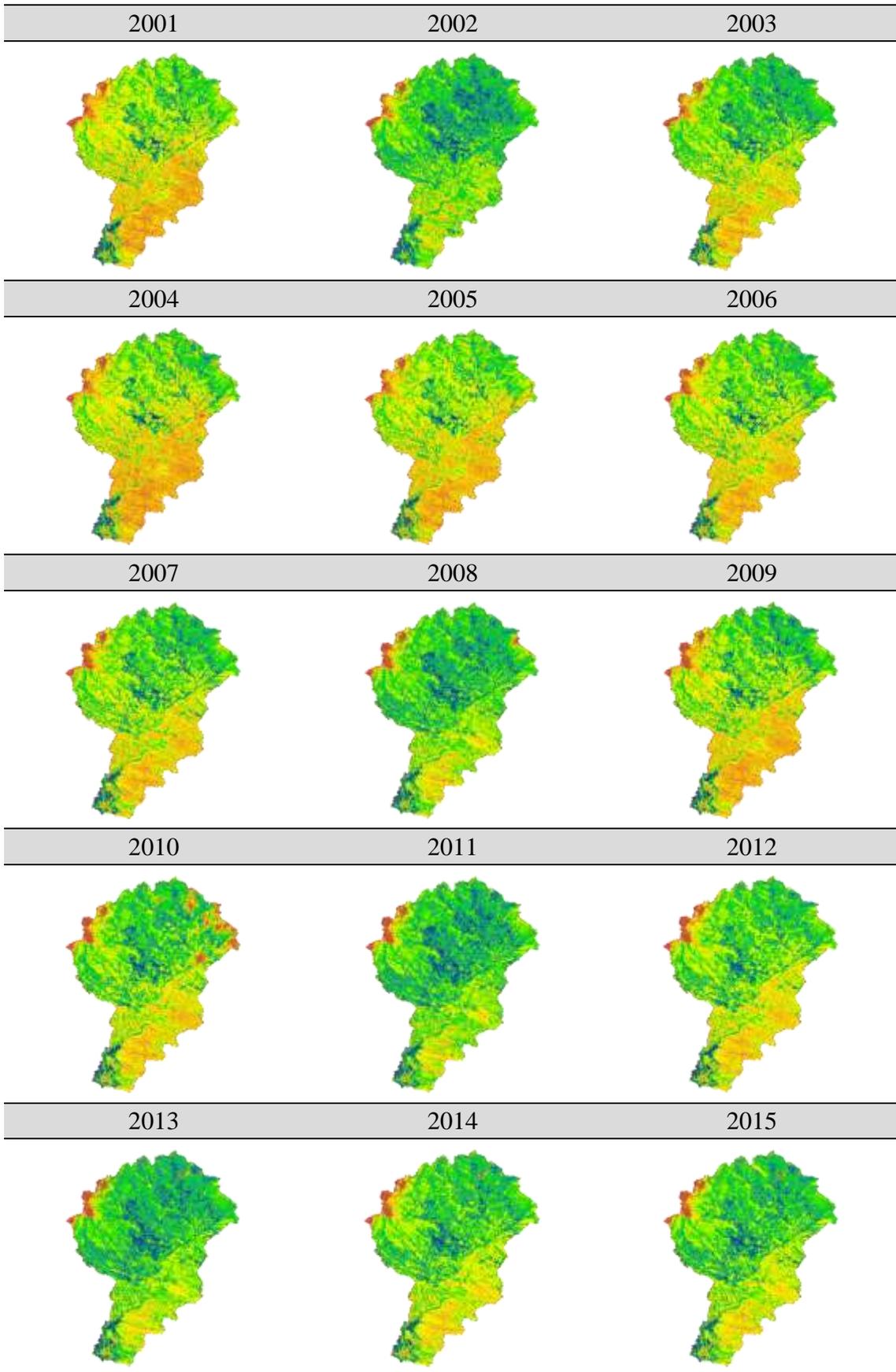
MAQUI MAQUI												
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2001	243.2	148.8	257.4	99.6	65.4	6.8	12.8	3.4	72	124.6	170.4	193.60
2002	53	106.6	193	168.6	35.2	15.8	18.4	3.3	40.8	195.6	134	207.20
2003	92.4	101.6	113.8	25.6	9.4	13.2	4.4	4.4	13.4	18	22.4	118.70
2004	95.7	67.1	110	71.5	21.6	7.4	22.1	8.7	55.6	115.6	187	203.00
2005	116.3	140.2	325.7	122.9	30.5	17.5	11.4	17.8	36.8	292.4	73.9	229.40
2006	91.4	257.3	270.8	122.4	21.6	58.7	9.7	22.6	33	140	168.9	276.60
2007	120.1	72.4	236.2	137.4	67.3	6.3	51	37.1	33.2	234	194.8	108.20
2008	138.2	250.9	167.9	102.9	73.1	29	14	41.1	90.2	154.2	134.6	124.90
2009	263.7	173.7	256.3	198.4	134.6	74.4	24.9	38.3	44.9	181.6	200.4	170.10
2010	74.7	147.6	241.3	113.3	109.7	22.1	16.8	4.8	27.7	119.6	267.7	221.70
2011	118.6	161	251	218.9	28.9	13.2	8.9	6.6	74.6	73.1	149.3	191.80
2012	367.5	295.9	134.4	116.8	50.8	7.9	0	10.7	3.8	217.9	311.4	71.60
2013	96.8	144	172.7	76.5	162.6	9.9	26.7	43.9	12.2	149.1	80	161.00
2014	90.4	177	219.7	63.8	80.8	13	3.3	9.7	42.6	73.2	137.8	202.20
2015	308.5	131.1	239	110	124.5	9.9	11.1	12.9	47	52.3	140.7	157.40
2016	122.27	126.37	155.37	93.4	19.94	2.17	1.9	28.58	74.78	78.45	91.64	155.65
2017	102.17	129.31	132.09	105.23	44.48	49.35	41.30	58.53	37.17	30.02	86.02	207.86
2018	129.58	113.91	209.92	59.10	46.13	18.97	7.82	7.58	16.88	165.86	79.73	223.07
2019	144.39	201.41	145.29	67.29	143.11	8.87	4.08	10.66	79.03	98.15	165.03	202.33
2020	195.07	106.37	188.36	44.31	27.86	22.23	4.78	57.70	50.84	207.45	89.90	181.85
2021	131.99	109.06	224.14	138.52	9.62	11.23	23.26	25.20	71.94	246.49	199.39	214.34
MEDIA	147.43	150.55	202.11	107.45	62.24	19.9	15.17	21.6	45.64	141.32	146.9	182.02

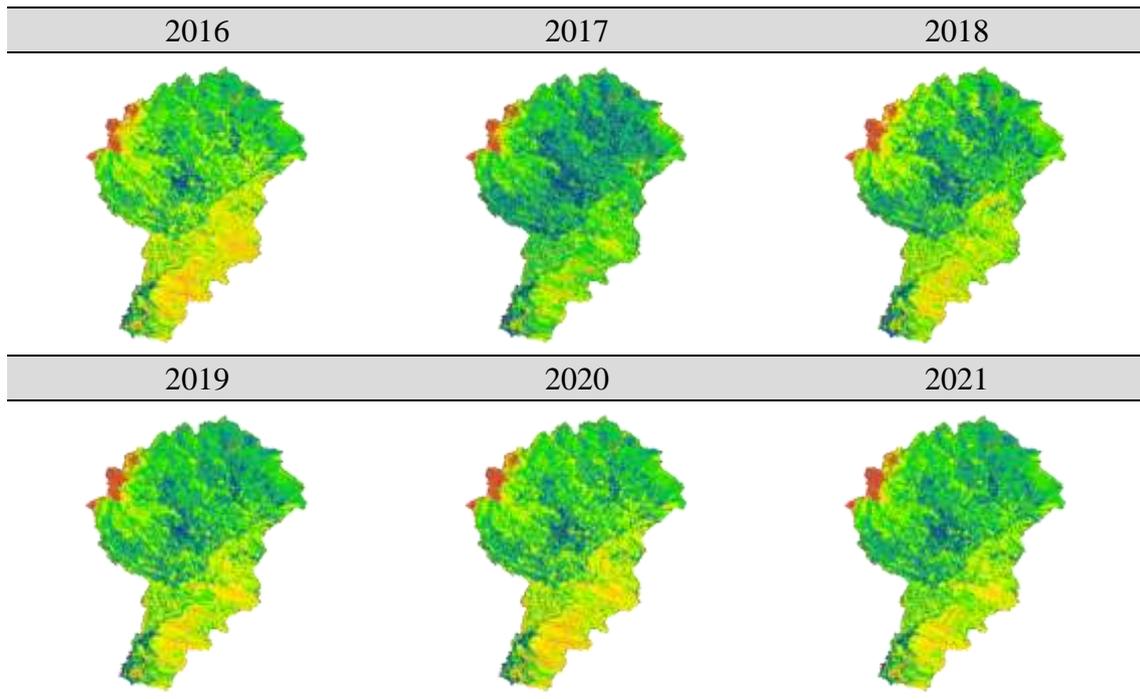
LA QUINUA												
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2001	293.06	134.66	395.54	134.26	105.47	31.54	48.77	16.23	95.58	118.23	226.86	192.65
2002	111.38	119.51	258.6	203.17	65.99	28.35	31.94	15.35	75.73	174.62	98.85	166.49
2003	99.41	90.08	86.65	95.58	48.77	18.22	15.35	15.35	52.04	80.67	78.99	106.11
2004	78.99	148.46	174.78	159.39	104.92	30.74	35.85	26.52	112.81	194.24	213.7	303.18
2005	85.46	188.5	251.58	76.28	68.63	44.94	15.99	26.28	36.41	272	68.63	150.46
2006	73.89	170.55	304.86	124.38	53.47	41.27	23.25	38.64	68.63	108.11	150.06	127.8
2007	156.7	66.5	269.7	170.7	63.5	3.6	49.3	12.7	35.8	229.1	259.8	103.6
2008	135.41	237.75	213.13	147.6	78.1	44.91	9.27	18.64	122.22	207.79	165.76	92.39
2009	267.98	153.64	259.46	173.31	140.36	50.41	18.83	13.75	44.99	205.4	247.87	197.92
2010	77.58	158.58	270.12	148.65	92.14	23.64	16.42	8.3	28.04	102.54	166.93	185.24
2011	79.81	104.76	176.99	177.61	43.42	17.29	16.36	6.82	74.3	87.55	123.16	230.15
2012	257.72	246.42	170.57	126.52	76	8.68	0.17	11.63	32.86	179.25	242.65	64.48
2013	75.09	155.71	242.55	111.63	163.38	19.45	12.32	20.28	20.83	189.23	58.36	168.32
2014	94.35	126.87	216.72	77.94	88.86	10.47	4.26	6.38	74.29	87.85	130.47	233.18
2015	287.59	122.56	295.93	119.25	177.72	6.5	8.14	3.64	59.53	68.32	224.02	123.12
2016	125.59	126.43	181.17	114.3	26.99	2.38	1.79	23.4	117.85	95.03	114.1	157.46
2017	263.72	116.30	201.62	116.36	45.82	16.60	12.56	8.73	105.85	182.66	99.46	116.27
2018	186.57	123.80	195.91	184.68	32.13	23.22	13.47	17.93	32.78	139.59	237.90	172.88
2019	109.17	109.02	159.34	126.11	46.12	31.97	48.12	23.91	80.88	99.08	95.25	138.93
2020	105.68	187.78	264.02	105.54	65.75	18.20	25.33	11.92	81.33	182.77	118.55	139.88
2021	78.17	135.72	231.10	142.72	48.85	22.26	10.61	20.32	33.21	288.88	133.01	196.03
MEDIA	144.92	143.98	229.54	135.05	77.92	23.55	19.91	16.51	66	156.8	154.97	160.31

LA LLICA												
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2001	212	106.3	212.6	102.9	30.3	17.2	15.8	3.6	51.6	73.8	125.5	130.4
2002	42.7	74	142	120.3	31	28.6	12.9	13.4	56.9	90.8	100.5	164.4
2003	85.7	64.9	113.5	76.4	35.1	46.6	5	19.7	48.2	58.4	99.9	104.1
2004	86.1	97.4	140.5	89	69.5	21.1	11	11.8	48	98.6	72.4	158.6
2005	98.2	87.8	140.2	99.7	53.6	21.1	8.6	13.4	39.2	77.7	63.7	131
2006	94.5	91.6	188.7	102.7	58.2	30	7.1	17.6	52.1	61.3	91	140.8
2007	137.6	85.3	183.2	139.4	39.7	11.4	8.7	8.3	48.1	87.6	79.4	122.1
2008	104.27	165.53	137.53	118.64	39.62	45.23	8.63	28.03	81.98	119.2	84.89	56.21
2009	206.36	106.97	167.43	139.3	71.21	50.76	17.53	20.67	30.18	117.83	126.94	120.42
2010	59.74	110.41	174.31	119.48	46.74	23.8	15.29	12.47	18.81	58.82	85.49	112.71
2011	61.46	72.94	114.21	142.76	22.03	17.41	15.23	10.26	49.84	50.22	63.08	140.03
2012	198.45	171.56	110.07	101.69	38.55	8.74	0.16	17.49	22.04	102.83	124.27	39.23
2013	57.82	108.41	156.52	89.72	82.88	19.58	11.47	30.48	13.97	108.55	29.89	102.41
2014	72.65	88.33	139.85	62.64	45.08	10.54	3.97	9.59	49.83	50.4	66.82	141.88
2015	221.45	85.33	190.96	95.85	90.16	6.54	7.58	5.47	39.93	39.19	114.73	74.91
2016	96.71	88.03	116.91	91.87	13.69	2.4	1.67	35.17	79.05	54.52	58.43	95.8
2017	100.44	165.38	152.12	86.92	28.08	25.66	6.67	20.16	59.13	95.67	79.92	158.22
2018	109.37	100.16	114.22	100.06	60.90	8.91	13.89	26.63	46.95	90.44	45.56	94.23
2019	71.39	82.53	167.67	80.33	40.05	55.70	10.80	13.10	41.51	41.40	107.35	151.27
2020	163.41	73.91	223.23	143.37	60.13	20.53	12.61	17.53	60.94	93.47	106.98	83.72
2021	49.67	98.17	139.14	146.89	50.59	42.13	15.04	8.88	28.73	74.48	114.37	131.46
MEDIA	110.95	101.19	153.56	107.14	47.96	24.47	9.98	16.37	46.05	78.34	87.67	116.85

CELENDIN												
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2001	200.76	114.38	348.1	50.85	42.56	13.69	16.78	12.71	36.98	91.32	134.96	85.82
2002	56.35	80.92	230.6	142.8	33.74	14.14	34.79	12.71	14.22	169.93	104.66	127.12
2003	49.42	66.3	132.25	82.58	33.29	28.69	13.99	13.39	42.48	73.68	84.91	100.44
2004	51.38	60.57	89.36	93.05	37.51	12.71	28.16	14.6	50.62	83.86	182.59	120.64
2005	72.48	90.64	190.96	64.94	25.15	12.71	12.71	12.71	42.11	201.36	32.76	138.35
2006	86.95	115.29	276.35	59.74	15.27	21.61	19.57	15.65	62.68	101.87	105.49	121.69
2007	81.75	25.98	220.58	104.81	33.51	14.97	17.23	20.17	27.79	174.98	127.95	105.57
2008	98.5	180.2	98.8	98.7	48.5	28	11	21	21	132	142.5	38.8
2009	212.1	75.9	223.5	150.9	71.4	5.8	6.1	0	38.2	98.7	139.5	116
2010	84.7	200.4	176.3	61.8	69.9	2.8	18.7	3.9	39	60.4	123	135.1
2011	71.11	84.43	176.94	137.55	24.22	8.59	11.14	2.88	30.42	69.08	81.39	170.22
2012	229.63	198.61	170.52	97.98	42.38	4.31	0.12	4.9	13.45	141.45	208.1	79.7
2013	76.6	58.9	167.1	66.7	63	21.1	16.5	33.2	4.7	166.5	35.3	116.8
2014	78.1	136.7	166.6	84	126.8	1.3	0.3	4.4	33.2	70	62.2	79.2
2015	179.2	25.2	235.6	114.8	77.3	5.5	3.1	0	0.6	35.7	96.9	44.3
2016	100.3	178.3	131.5	42.9	6.7	2.1	1.8	2	30.6	140.5	19.4	213.6
2017	157.79	45.33	114.01	99.90	66.14	14.58	22.62	9.53	28.12	111.21	117.97	126.05
2018	83.46	95.38	99.32	181.15	15.17	11.63	23.93	19.36	28.36	94.97	118.02	109.29
2019	79.59	92.29	94.51	57.60	43.35	25.86	21.68	8.25	29.04	82.29	163.50	178.97
2020	60.89	240.24	217.54	170.09	25.55	5.30	21.25	9.82	22.98	130.88	148.95	87.15
2021	69.16	174.39	325.82	68.37	96.43	17.94	9.82	5.06	31.70	131.14	74.23	77.75
MEDIA	103.82	111.45	185.06	96.72	47.52	13.02	14.82	10.77	29.92	112.47	109.73	112.98

D. NDVI DEL PERIODO DE ESTUDIO (2001-2021)





E. REGISTRO VISUAL DE MUESTREO

Figura 26
Toma de muestras de suelo (1)



Figura 27
Toma de muestras de suelo (2)



Figura 28
Toma de muestras de suelo (3)



Figura 29

Toma de muestras de suelo en el distrito de Los Baños del Inca



Figura 30

Secado de muestras de suelo



Figura 31
Homogenización y cuarteo de muestras de suelo



Figura 32
Etiquetado y clasificación de muestras de suelo para laboratorio



F. RESULTADOS DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : ANGEL RICARDO GOICOCHEA CUEVA
 PROCEDENCIA : CAJAMARCA/ CAJAMARCA/ LOS BAÑOS DEL INCA
 REFERENCIA : H.R. 79159
 BOLETA : 5851
 FECHA : 28/03/2023

Lab	Número Muestra Claves	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural	M.O. %
1808	MSH-01	47	17	36	Ar.A.	0.80
1809	MSH-06	67	20	13	Fr.A.	3.88
1810	MSH-07	21	23	56	Ar.	0.74
1811	MSH-08	33	17	50	Ar.	0.94
1812	MSH-09	33	31	36	Fr.Ar.	2.81
1813	MSH-10	71	11	18	Fr.A.	1.27

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



Constantino Calderón Mendoza
 Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
 Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
 Celular: 946-505-254
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : ANGEL RICARDO GO/COCHEA CUEVA
PROCEDENCIA : CAJAMARCA/ CAJAMARCA/ LA ENCAÑADA
REFERENCIA : H.R. 79160
BOLETA : 5851
FECHA : 28/03/2023

Número Muestra		Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural	M.O. %
Lab	Claves					
1814	MSH-02	83	11	6	A.Fr.	2.67
1815	MSH-03	61	23	16	Fr.A.	4.61
1816	MSH-04	45	35	20	Fr.	4.08
1817	MSH-05	21	37	42	Ar.	1.14

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



Constantino Calderón Mendoza
Jefe del Laboratorio

G. DOCUMENTACIÓN DE INFORMACIÓN METEOROLÓGICA



Universidad Nacional de Cajamarca
TRAYECTORIA Y AVANCE DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA 1960 - 2019 - SINGULARIDAD
Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERÚ



Cajamarca, 10 de octubre del 2022

MSc. Ing. Felipe Huamán Solís
Director Zonal 3 – SENAMHI

Estimado Ingeniero:

En nombre de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, le hago llegar mis más cordiales saludos, y al mismo tiempo aprovechar la ocasión para solicitar las facilidades y el apoyo al maestrante Angel Ricardo Goicochea Cueva, en el desarrollo de la investigación “**DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO CHONTA**”, quien precisa tener que disponer de información de **precipitaciones mensuales** desde el año **1968 al 2021** de las estaciones **Negritos, Namora, Weberbauer, Granja Porcón, Choten/San Juan, La Encañada, Matara, La Ilica y Jesús**. Por lo que agradeceré pueda usted facilitar dicha información que contribuirá en el proceso de investigación y, por ende, en su formación profesional.

Sin otro motivo, manifiesto las muestras de mis sinceras deferencias.

Atte.

MSc. Ing. JIMY OBLITAS CRUZ
Director de Unidad



Angel Ricardo Goicochea Cueva <angelgoicochea10@gmail.com>

REMITE INFORMACION METEOROLOGICA

2 mensajes

Lorena Valencia López (DZ3) <lvalencia@senamhi.gob.pe>
Para: Angel Ricardo Goicochea Cueva <angelgoicochea10@gmail.com>
CC: "Felipe Huaman Solis (DZ3)" <fhuaman@senamhi.gob.pe>

27 de octubre de 2022, 11:59

Buenas tardes señor Angel Ricardo Goicochea Cueva
Se remite la información meteorológica solicitada, para elaboración de tesis.
Favor confirmar recepción.

Atte.



Lorena Valencia López
ESPECIALISTA ADMINISTRATIVO CONTABLE
DIRECCION ZONAL 3
SENAMHI - PERU

D: Pje. Jaén 121-Urb. Ramón Castilla-
Cajamarca
T: 076-364500
C: 576661616
E: lvalencia@senamhi.gob.pe
W: www.senamhi.gob.pe

De: Angel Ricardo Goicochea Cueva <angelgoicochea10@gmail.com>
Enviado: lunes, 10 de octubre de 2022 14:02
Para: Lorena Valencia López (DZ3) <lvalencia@senamhi.gob.pe>
Cc: Felipe Huaman Solis (DZ3) <fhuaman@senamhi.gob.pe>
Asunto: Solicitud de Información

Buenas tardes, adjunto requisitos para solicitar información para elaboración de tesis

ANGELRICARDOGOICOCHACUEVA-Infomacion.xlsx
61K

Angel Ricardo Goicochea Cueva <angelgoicochea10@gmail.com>
Para: "Lorena Valencia López (DZ3)" <lvalencia@senamhi.gob.pe>
CC: "Felipe Huaman Solis (DZ3)" <fhuaman@senamhi.gob.pe>

27 de octubre de 2022, 13:47

RECIBIDO CONFORME.
(Texto creado automáticamente)