

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando
la metodología USLE en la cuenca Chacco - Ayacucho, 2023”**

Tesis para obtener el título profesional de:
Ingeniera Agrícola

Presentado por:
Bach. Mayumi Katty Nuñez Cuadros

Asesora:
Ph. D. Sandra Del Águila Ríos

Ayacucho - Perú

2024

DEDICATORIA

A Dios por ser mi fortaleza en los momentos de angustia, por darme vida, salud y sabiduría y culminar exitosamente esta investigación.

A mi abuela Isabel por cuidarme desde el cielo y a mi madre Mariluz quien con su amor, paciencia y esfuerzo me ha apoyado incondicionalmente para lograr mis metas, este logro las quiero dedicar a ustedes que las amo y significan mucho en mi vida.

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

Finalmente quiero dedicar esta tesis a mis amigos, esas personas que llegaron a mi vida para marcarla y hacerla más feliz, con quienes he compartido y disfrutado de la vida, por motivarme a perseguir mis sueños, por extenderme su mano en los momentos más difíciles, mil gracias porque de alguna manera forman parte de lo que ahora soy.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por su infinito amor, por ser mi luz en mi camino y por darme la sabiduría, fortaleza para alcanzar mis objetivos.

A mi alma mater, la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por darme la oportunidad de pertenecer a ella, a la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola y a todos mis valiosos docentes por sus consejos y enseñanzas impartidas durante mi formación universitaria.

Agradezco a mi asesora de tesis Ph. D. Sandra Del Águila Ríos por su constante apoyo incondicional en el asesoramiento de la presente tesis.

A los miembros del jurado de tesis al Ing. Orlando Fidel Sulca Castilla y Mtro. Rodolfo Alca Mendoza y al presidente de la Comisión presidida por el Ing. Efraín Chuchón Prado por los comentarios y sugerencias a la presente investigación.

A los amigos de la infancia y la juventud, por permitirme aprender más de la vida con su compañía, esto es posible gracias a ustedes.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	16
CAPITULO I.....	19
MARCO TEORICO	19
1.1 ANTECEDENTES	19
1.2. Cambio climático	23
1.3. Ciclo hidrológico	23
1.4. Precipitación	24
1.5. Clasificación de precipitación	24
1.5.1 Precipitación de convención	24
1.5.2 Precipitación ciclónica.	24
1.6. Cuenca hidrológica	24
1.7. Subcuenca	25
1.8. Parámetros de una cuenca	25
1.9. Erosión hídrica.	32
1.10. Los agentes de la erosión	35
1.11 Formas de la erosión	35
1.11.1 Erosión por salpicaduras	35
1.11.2 Erosión laminar	35
1.11.3 Erosión en surcos.	36

1.11.4 Erosión en cárcavas	37
1.12 Factores que afectan la erosión	38
1.12.1 Clima.....	38
1.12.2 Uso de suelo.....	39
1.12.3 Topografía.....	39
1.12.4 Tipos de suelos	39
1.12.5 Cobertura vegetal.....	39
1.13. Cálculo de la erosión	40
1.13.1 Ecuación universal de pérdida de suelos USLE	40
1.14. Erosión potencial	56
1.15. Erosión actual	56
1.16. Análisis de homogeneidad y consistencia	56
1.17. Pruebas de tendencias	57
1.17.1 Test de Mann-Kendall No Paramétrica	57
1.17.2 SPEARMAN'S RHO No Paramétrica.....	58
1.17.3 Regresión linear Paramétrica	58
1.18. Pruebas de quiebres de medias/ medianas	59
1.18.1 Cusum.....	59
1.18.2 Desviación acumulada	60
1.19. Pruebas de diferencias de medias/ medianas	61
1.19.1 Suma de Rangos	61

1.19.2 Prueba t de Student	62
1.20. Programa ArcGIS	62
1.21. Programa QGIS	63
1.22. Programa TREND	63
1.23. Programa Hec-04	63
CAPITULO II	64
METODOLOGÍA.....	64
2.1 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	64
2.1.1. Ubicación política de la cuenca Chacco	64
2.1.2. Ubicación geográfica de la cuenca Chacco	64
2.1.3. Ubicación hidrográfica de la cuenca Chacco	64
2.1.4. Punto de aforo.....	65
2.1.5. Red hídrica de la cuenca Chacco	65
2.2. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	67
2.2.1. Población	67
2.2.2. Acceso a la cuenca Chacco	68
2.2.3. Variables climáticas	69
2.2.4. Fisiografía	70
2.3. MATERIALES Y EQUIPOS	73
2.3.1. Materiales	73
2.3.2. Equipos	73

2.4. PROBLEMA GENERAL.....	74
2.5. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	74
2.6. METODOLOGÍA.....	74
2.6.1. Fase preliminar	74
2.6.2. Fase de campo.....	77
2.6.3. Fase gabinete	77
CAPITULO III.....	98
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	98
3.1 Cálculo de los factores de la erosión hídrica R, K, LS, P de la cuenca Chacco aplicando el método USLE.....	98
3.1.1. Delimitación y parámetros geomorfológicos de la cuenca Chacco ..	98
3.1.2. Análisis de consistencia	100
3.1.3. Factor “R” (Erosividad).....	118
3.1.3. Factor “K” (Erodabilidad)	119
3.1.4. Factor “LS” Topográfico	121
3.1.5. Factor “P” (Prácticas de conservación)	122
3.2 Cálculo del factor (C) cobertura vegetal con el satélite (Sentinel 2A) para la cuenca Chacco.	122
3.2.1. Factor “C” Cobertura Vegetal	122
3.3 Cálculo de la erosión potencial y actual para la cuenca Chacco	124
3.3.1. Erosión potencial	124
3.3.2. Erosión actual	126

CONCLUSIONES	129
RECOMENDACIONES	130
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ciclo hidrológico	23
Figura 2 Equivalente cuenca en un rectángulo	27
Figura 3 Longitudes parciales del rectángulo equivalente	28
Figura 4 Curva hipsométrica	29
Figura 5 Significancia de una curva hipsométrica	29
Figura 6 A y B representan erosión por salpicaduras (lluvia);C y D representan la erosión por escorrentía.	33
Figura 7 Proceso de erosión. La erosión o desagregación es la primera fase, luego el transporte de los materiales desgastados y finalmente la acumulación o sedimentación.	34
Figura 8 Modelo de escorrentía y zonas de erosión en una ladera, representada por la mitad del perfil de la pendiente de un valle.	38
Figura 9 Mapa de ubicación de la cuenca Chacco – Ayacucho.....	66
Figura 10 Mapa de los distritos que abarca la cuenca Chacco	68
Figura 11 Mapa climática de la cuenca Chacco	70
Figura 12 Mapa fisiográfica de la cuenca Chacco.....	72
Figura 13 Registro del inicio de sesión en EARTHDATA.....	75
Figura 14 Periodo de selección del satélite de ALOS PALSAR	75
Figura 15 Descarga del formato DEM del satélite ALOS PALSAR.....	76
Figura 16 Registro de datos de precipitación desde los periodos 1995-2022...	80
Figura 17 Plataforma Copernicus Open Access Hub - registro de datos y acceso con cuenta.	90

Figura 18 Selección del periodo de las imágenes satelitales Sentinel 2A	90
Figura 19 Se muestra el enfoque de intervención de la zona de estudios en dos cuadrantes.....	91
Figura 20 Imágenes satelitales Sentinel 2A con mínima presencia de nubes ...	91
Figura 21 Se descargó el satélite Sentinel 2ª de 10 m que contiene las bandas espectrales 2, 3, 4 y 8 para determinar la cobertura vegetal.	92
Figura 22 Histograma de RGB – Sentinel 2A.....	93
Figura 23 Obtención del Raster de NDVI – Sentinel 2A	94
Figura 24 Mapa de la delimitación de la cuenca Chacco	98
Figura 25 Histograma de precipitación mensual estación Tambillo	100
Figura 26 Histograma de precipitación mensual estación San Pedro de Quicato	100
Figura 27 Histograma de precipitación mensual estación Huanta	101
Figura 28 Histograma de precipitación mensual estación Quinua	101
Figura 29 Histograma de precipitación mensual estación Wayllapampa.....	101
Figura 30 Histograma de precipitación mensual estación Pampa Cangallo..	102
Figura 31 Histograma de precipitación mensual estación INIA-Huamanga ..	102
Figura 32 Histograma de precipitación mensual estación Chiara.....	102
Figura 33 Curva doble acumulada de la precipitación	104
Figura 34 Histograma de las precipitaciones históricas.	105
Figura 35 Diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica con estación promedio de la estación San Pedro de Quicato.	105
Figura 36 Diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica con estación promedio de la Huanta	106

Figura 37 Diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica con estación promedio de la estación Quinua.	106
Figura 38 Diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica con estación promedio de la estación Wayllapampa.	107
Figura 39 Diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica con estación promedio de la estación Pampa Cangallo.	107
Figura 40 Diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica con estación promedio de la estación INIA-Huamanga.....	108
Figura 41 Diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica con estación promedio de la estación Tambillo.	108
Figura 42 Diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica con estación promedio de la estación Chiara.	109
Figura 43 Histograma de la precipitación de la estación Tambillo de la cuenca Chacco-programa TREND.....	110
Figura 44 Histograma de la precipitación de la estación San Pedro de Quicato de la cuenca Chacco-programa TREND.....	111
Figura 45 Histograma de la precipitación de la estación Huanta de la cuenca Chacco-programa TREND.....	112
Figura 46 Histograma de la precipitación de la estación Quinua de la cuenca Chacco-programa TREND.....	113
Figura 47 Histograma de la precipitación de la estación Wayllapampa de la cuenca Chacco-programa TREND.....	114
Figura 48 Histograma de la precipitación de la estación Pampa Cangallo de la cuenca Chacco-programa TREND.....	115

Figura 49 Histograma de la precipitación de la estación INIA - Canaan de la cuenca Chacco-programa TREND.....	116
Figura 50 Histograma de la precipitación de la estación Chiara de la cuenca Chacco-programa TREND.....	117
Figura 51 Mapa del factor de erosividad (R) - cuenca Chacco	119
Figura 52 Mapa del factor de erodabilidad (K) - cuenca Chacco	120
Figura 53 Mapa del factor de topográfico (LS) - cuenca Chacco	122
Figura 54 Mapa del factor de cobertura vegetal C - cuenca Chacco	124
Figura 55 Mapa de erosión potencial - cuenca Chacco	126
Figura 56 Mapa de erosión actual - cuenca Chacco	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación del IMF para Latinoamérica	43
Tabla 2 Códigos USLE de estructura de suelo	44
Tabla 3 Códigos USLE de permeabilidad de suelos	45
Tabla 4 Niveles de la erodabilidad del suelo definidos por el USDA (1962). Entre menor es el valor de K, el suelo es menos erodable.	46
Tabla 5 Factor L.S según grupos de pendientes	50
Tabla 6 Valores de NDVI	55
Tabla 7 Clasificación de erosión según (FAO, 1980).....	56
Tabla 8 Clasificación a nivel de significancia	61
Tabla 9 Punto de aforo de la cuenca Chacco	65
Tabla 10 Población que intervienen a la cuenca Chacco	67
Tabla 11 Accesibilidad a la cuenca Chacco	68
Tabla 12 Clasificación climática de la cuenca Chacco	69
Tabla 13 Clasificación fisiográfica de la cuenca Chacco.....	71
Tabla 14 Estaciones hidrometeorológicas circunscritas de la cuenca Chacco .	81
Tabla 15 Promedio de precipitaciones mensuales según estación	83
Tabla 16 Cálculo del IMF para determinar del factor de erosividad.....	84
Tabla 17 Cálculo del factor de erosividad R para la cuenca Chacco	85
Tabla 18 Resultados del análisis físico del suelo de la cuenca Chacco	86
Tabla 19 Cálculo del factor de erodabilidad K para la cuenca Chacco	87
Tabla 20 Clasificación de las bandas dl satélite Sentinel 2A	93

Tabla 21 Resumen de resultados de los parámetros geomorfológicos de la cuenca Chacco.....	99
Tabla 22 Pruebas estadísticas de la estación Tambillo de la cuenca Chacco-programa TREND.....	110
Tabla 23 Pruebas estadísticas de la estación San Pedro de Quicato de la cuenca Chacco-programa TREND.....	111
Tabla 24 Pruebas estadísticas de la estación Huanta de la cuenca Chacco-programa TREND.....	112
Tabla 25 Pruebas estadísticas de la estación Quinoa de la cuenca Chacco-programa TREND.....	113
Tabla 26 Pruebas estadísticas de la estación Wayllapampa de la cuenca Chacco-programa TREND.....	114
Tabla 27 Pruebas estadísticas de la estación Pampa Cangallo de la cuenca Chacco-programa TREND.....	115
Tabla 28 Pruebas estadísticas de la estación INIA - Canaan de la cuenca Chacco-programa TREND.....	116
Tabla 29 Pruebas estadísticas de la estación Chiara de la cuenca Chacco-programa TREND.....	117
Tabla 30 Resultados del factor de erosividad (R) para la cuenca Chacco	118
Tabla 31 Resultados del factor de erodabilidad (K) para la cuenca Chacco ..	120
Tabla 32 Resultados del factor de topografía (LS) para la cuenca Chacco	121
Tabla 33 Resultados del factor de cobertura vegetal C para la cuenca Chacco	123
Tabla 34 Resultados de la erosión potencial para la cuenca Chacco	125
Tabla 35 Resultado de la erosión actual para la cuenca Chacco.....	127

RESUMEN

Al concretar el estudio, se logró comprender la importancia de los procesos de erosión, tanto actuales como potenciales. Con el propósito de evaluar la pérdida de suelo causada por la erosión hídrica en la cuenca Chacco de la región Ayacucho, se realizó un estudio utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE). El cálculo se llevó a cabo utilizando los programas (Arc Map y Qgis) e imágenes satelitales del Sentinel 2A. Se han estimado los principales factores que contribuyen a la erosión hídrica, los cuales son: el factor de erosividad (R), el factor de erodabilidad (k), el factor topográfico (LS), el factor de cobertura vegetal (C) y el factor de prácticas de conservación (P). La cuenca Chacco se ubica en el Centro Sur del Perú a una altitud de 2499-4465m.s.n.m. y tiene un área aproximada de 1112.04 km²; se determinó el factor de erosividad (R) (precipitación promedio) con valores que oscilan entre 139.73 a 193.67 MJ.mm/ha.h.año; el factor de erodabilidad (K) con valor de 0.017 Ton.ha.h/MJ.ha.mm se clasifica como suelos débilmente erosionable, y los valores varían desde 0.021 a 0.029 Ton.ha.h/ha.MJ.mm suelos medianamente erodable, el factor de topografía (LS) oscila entre los valores de 0.30 a 3.40 (adimensional) y finalmente se determinó el factor de cobertura vegetal (C) valores entre 0.17-0.20 (bosques, cultivos y pastizales), 0.20 a 0.29 (pastizales), 0.30 a 0.40 (Cultivos y pastizales), 0.40 a 0.50 (Cultivos y arbustales) y entre 0.50 a 0.59 (vegetación escasa). Se determinó que la pendiente tiene una influencia directa en la cuenta más que la forma. Resultó 70.15 t.ha⁻¹.año en un (0.02% del área total), lo cual indica tasas de erosión potencial muy severa y con 33.30 t.ha⁻¹.año, en un (0.351% del área total), indica tasas de erosión actual severa, con lo cual, se concluye que la cuenca Chacco no es altamente erosionable.

INTRODUCCIÓN

El cálculo de la pérdida de suelo por erosión hídrica es un tema crucial en la gestión sostenible de los recursos naturales y la planificación territorial. La metodología Universal Soil Loss Equation (USLE) ha demostrado ser una herramienta efectiva para estimar la erosión del suelo causada por la acción del agua en diferentes paisajes. En este contexto, el presente estudio se enfoca en la aplicación de la metodología USLE en la cuenca Chacco, ubicada en Ayacucho, durante el año 2023 (Mejía et al. 2010).

La cuenca Chacco, al ser objeto de análisis, ofrece un escenario representativo para comprender la dinámica de la erosión hídrica y sus posibles impactos en la calidad del suelo. La investigación se centra en evaluar factores clave, como la pendiente del terreno, la cobertura vegetal, el tipo de suelo y la erosividad de la lluvia, para calcular la tasa de pérdida de suelo en la cuenca (Villanueva & Osinaga, 2004)

El estudio no solo busca cuantificar la erosión del suelo, sino también proporcionar información valiosa para la toma de decisiones en términos de conservación del suelo y gestión de recursos hídricos. Además, se espera que los resultados obtenidos contribuyan al diseño de estrategias efectivas de manejo del suelo y la implementación de medidas de conservación que puedan mitigar los efectos adversos de la erosión hídrica en la cuenca Chacco.

La presión medioambiental ha aumentado en relación al suelo, una presión más amplia provocada por la actividad humana ligada a usos forestales, mineros, agroecológicos y forestales, y los cuales no todo aplican las medidas de conservación adecuadas. Además, recurriendo a la mayor producción de residuos, el sector turismo y las actividades industriales relacionadas con el movimiento de suelos y la ocupación de espacios naturales que tienen un impacto significativo a causa de la contaminación, respaldan otro aspecto negativo del problema. Además, la creciente

urbanización implica importantes modificaciones en el uso del suelo. Sosteniendo completamente la amplia gama de funciones mencionadas anteriormente, todas estas actividades afectan de manera efectiva la capacidad del suelo (Pizarro, 2009).

La percepción remota está estrechamente vinculada con lo Sistema de Información Geográfica SIG; esta ciencia trabaja para generar información temática, atributiva y con ubicación espacial, por ello en esta investigación se trabajó con el satélite Sentinel 2A de alta resolución que permitió determinar la cobertura vegetal y usos de suelo.

La gestión sostenible de los recursos naturales es un imperativo ineludible en la actualidad, y el suelo, como componente vital de nuestro entorno, no escapa a esta necesidad. En este contexto, el cálculo de la pérdida de suelo por erosión hídrica emerge como un tema central de estudio, adquiriendo especial relevancia en regiones específicas como la cuenca Chacco en Ayacucho. La aplicación de la metodología USLE (Universal Soil Loss Equation) se presenta como una herramienta invaluable para comprender y cuantificar los procesos erosivos, permitiendo así desarrollar estrategias efectivas de conservación del suelo. En esta investigación, exploraremos la magnitud de la erosión hídrica en la mencionada cuenca, analizando sus implicaciones ambientales, económicas y sociales. Con un enfoque hacia la sostenibilidad, este estudio busca proporcionar conocimientos fundamentales que contribuyan a la preservación y manejo responsable de los recursos naturales en una región crucial como la cuenca Chacco.

La presente investigación tuvo como principal objetivo mostrar cómo es posible el estudio y análisis de los problemas ambientales utilizando el ArcGIS 10.3 que es necesario para determinar la erosión hídrica en el área de influencia en la cuenca Chacco mediante la aplicación del método USLE Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, estimar los niveles de erosión hídrica potencial y actual.

Objetivo general

Estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando la metodología USLE en la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023.

Objetivos específicos

1. Estimar los factores de la erosión hídrica R, K, LS, P en la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023.
2. Estimar el factor C cobertura vegetal a partir del satélite Sentinel 2A en la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023.
3. Determinar la erosión potencial y actual de la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023.

CAPITULO I

MARCO TEORICO

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1. Internacional

Gaitán et al. (2017) en su estudio “Investigación en la Cálculo de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la Republica de Argentina, en el Instituto de suelos”, tuvo como objetivo principal, estimar el riesgo de erosión hídrica, a escala nacional, con la finalidad de contribuir al ordenamiento y manejo sustentable de los suelos; Se debe mencionar que algunas de estas zonas, como la Selva Misionera y la Selva de Yungas, tienen alta cobertura vegetal y bajos valores de factor C. Estos valores con valores superiores de R (700-1000 en Selva Misionera y 1000-1500 en Selva Misionera), LS (mayores a 20 en Yungas y 5 a 10 en Selva Misionera), y valores de K (que van de 0.30 a 0.40 en Selva Misionera y LS). Estos niveles de cobertura deben ser conservados, ya que podrían instigar procesos graves de erosión hídrica que están afectados por el factor C. La comparación de los mapas de erosión actual y potencial permite visualizar esto, donde se observa que estas regiones presentan principalmente bajos valores de erosión actual ($< 2 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}$) y muy altos valores de erosión potencial ($> 500 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}$). Sin embargo, los valores más altos del factor C se encuentran en las áreas más áridas y semiáridas del país, particularmente en las ecorregiones de Estepa Patagónica, Puna, Monte de llanuras y mesetas, Monte de sierras y bolsones, donde la vegetación no cubre completamente el suelo debido a la falta de agua.

Zaragoza (2021) en su estudio “Análisis multitemporal de la cobertura del terreno y su relación con las tasas de erosión hídrica en Acoculco, Puebla”, teniendo como objetivo principal, Analizar la pérdida de suelo y los cambios en la cobertura del terreno causados por la erosión hídrica en una zona de exploración geotérmica, Teniendo en cuenta la comparación de dos microcuencas hidrográficas, se determinarán las áreas más vulnerables a la erosión: En la microcuenca C1, del 2000 al 2018, el área que incluye cobertura forestal experimentó una restauración del 7% del área. Esto, junto con prácticas adecuadas de manejo y conservación del suelo, condujo a una disminución de la tasa anual general de pérdida de suelo debido al agua, de 11 toneladas por año estimadas en 2000 a 9,8 toneladas por año en 2018. La tasa más alta de pérdida anual de suelo en C1 se produjo en 2000. La tasa anual de pérdida de suelo en la microcuenca C2 es similar al comportamiento de la cobertura agrícola. Al igual que con C1, la tasa más alta de pérdida de suelo se observó en 2000 con $8,3 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}$, y en 2018 había disminuido a $7,6 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}$. Es interesante notar que en ambas microcuencas, las áreas con cobertura agrícola fueron menos vulnerables al proceso de pérdida de suelo por erosión hídrica, con pérdidas que oscilaron entre $0.003\text{-}0.05 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}$, que se encuentra en las zonas más planas de las microcuencas, lo que parece deberse a las prácticas adecuadas de manejo de conservación de suelos ejidatarios.

Sierra (2019) en su trabajo de investigación “La influencia de las características morfométricas en la erosión de la cuenca del río Tamulasco y su impacto en la aportación de sedimentos al Embalse Cerrón Grande, en el Salvador”, teniendo como objetivo principal evaluar el impacto de las características morfométricas de la cuenca en la erosión hídrica actual y la contribución de sedimentos de la cuenca al embalse Cerrón Grande, La fuerte pendiente y longitud de las laderas, así como la compactación del suelo por prácticas agrícolas y sobrepastoreo en

algunas áreas de la cuenca central, limitan la capacidad de infiltración del suelo y promueven el transporte de sedimentos de escorrentía, según los resultados del modelo USLE . en la cuenca del río Tamulasco; Por otro lado, la ingeniería nuclear de Cs encontró que las áreas de estudio presentan procesos de pérdida de suelo de moderada a alta en el 100% de los casos, de 11,61 a 84,76 t.ha⁻¹.año, según los valores sugeridos por la FAO aplicables a la USLE -Modelo.

La carga promedio de sedimentos al nivel de la cuenca alta del municipio de Las Vueltas fue de 2.41×10^5 toneladas/año, lo que equivale a una pérdida anual del 0.0071% del volumen útil del embalse (1297×10^6 m³); Aunque estos valores parecen muy bajos, es importante tener en cuenta que son datos parciales y se limitan a la Cuenca de Tamulasco. Como resultado, esta técnica sería muy útil para establecer un valor de seguridad y utilizarlo como criterio de protección del suelo en las cuencas afluentes del embalse de Cerrón Grande, lo que prolongaría la vida útil del embalse.

1.1.2. Nacional

Agama (2022) en el estudio “Calcular el impacto de la USLE en la microcuenca San Alberto del distrito de Oxapampa”, teniendo como objetivo principal, En la microcuenca San Alberto, el distrito y la provincia de Oxapampa, el cálculo real y potencial de la pérdida de suelo utilizando la Ecuación Universal de Erosión del Suelo USLE para el año 2018; como resultado, el factor (R) promedio para todo el estudio es de 227.85 a 489.48 Mj.mm/ha.h.año, y el factor K es de 0,04035 a 0.04711 Ton.ha.h/MJ.ha.mm., El factor LS, que fue clasificado como fuertemente erosionable, se obtuvo directamente del mapa de pendientes y mostró valores de 0.030 a 255.66 adimensional. Por otro lado, el factor C mostró valores de 0.001 para bosques abiertos altos, 0.003 para bosques fragmentados y plantados, 0.035 para bosques abiertos altos, 0.15 para pastos y 0.25

para cultivos en general. La microcuenca de San Alberto experimentó una erosión potencial de 0,03204 a 3 109.79 T. ha⁻¹ por año y una erosión real de 0,3204 a 176.3826 T. ha⁻¹ por año..

Solano (2016) determinó en el estudio “Calcular la pérdida de suelos debido a la erosión hídrica en la subcuenca del río Shullcas entre 2000 y 2013 en Huancayo”, para optar el título profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental, teniendo como objetivo principal fue estimar la cantidad de suelos que se perdieron debido a la erosión hídrica en la subcuenca del río Shullcas entre 2000 y 2013; Como resultado, la tasa de erosión hídrica promedio en áreas sin vegetación fue de 163.13 toneladas por hectárea al año en 2013, mientras que la tasa más baja fue de 1.69 toneladas por hectárea al año en 2000, El 47.20% de la subcuenca generó una erosión hídrica alto potencial de 50 a 200 ha⁻¹, mientras que solo el 3.51% y el 4.35% generaron erosión hídrica real del mismo nivel en 2000 y 2013.

Perales (2019) en el estudio “En la cuenca del río Supte Grande, provincia Leoncio Prado, Huánuco, se ha utilizado el modelo RUSLE para evaluar la pérdida de suelo causada por la erosión hídrica”, para optar el título profesional de Ingeniero en conservación de suelos y agua, teniendo como objetivo principal utilizando el modelo RUSLE para calcular la pérdida de suelo causada por la erosión hídrica en la cuenca del río Supte grande, provincia Leoncio Prado – Huánuco, el resultado sobre la erosión potencial sin tener en cuenta la cobertura vegetal muestra que el mayor porcentaje de la cuenca, el 61,67%, presenta una pérdida de 50 a 200 t.ha⁻¹.año. En menor medida, el 20,80 % muestra una pérdida de menos de 0,5 t.ha⁻¹ por año. Este contrasta con los valores de la erosión actual, donde el 62.49% más alto registra una pérdida de menos de 0.5 t.ha/año y el menor porcentaje registra una pérdida de entre 15 y 200 t.ha/año. Se observan las siguientes pérdidas en relación a la medición utilizando el método de clavos en las diferentes coberturas: el pasto presenta una pérdida catastrófica de 9718.80 t.ha⁻¹.año, la falta de cobertura resulta en una

pérdida de 194.13 t.ha⁻¹.año, el cultivo de maíz presenta una pérdida de 68.27 t.ha⁻¹.año, el cacao de 47.25 t.ha⁻¹.año y la purma de 14.27 t.ha⁻¹.año. Para reducir el impacto, es necesario ejecutar proyectos de reforestación que incluyan especies forestales.

1.2. Cambio climático

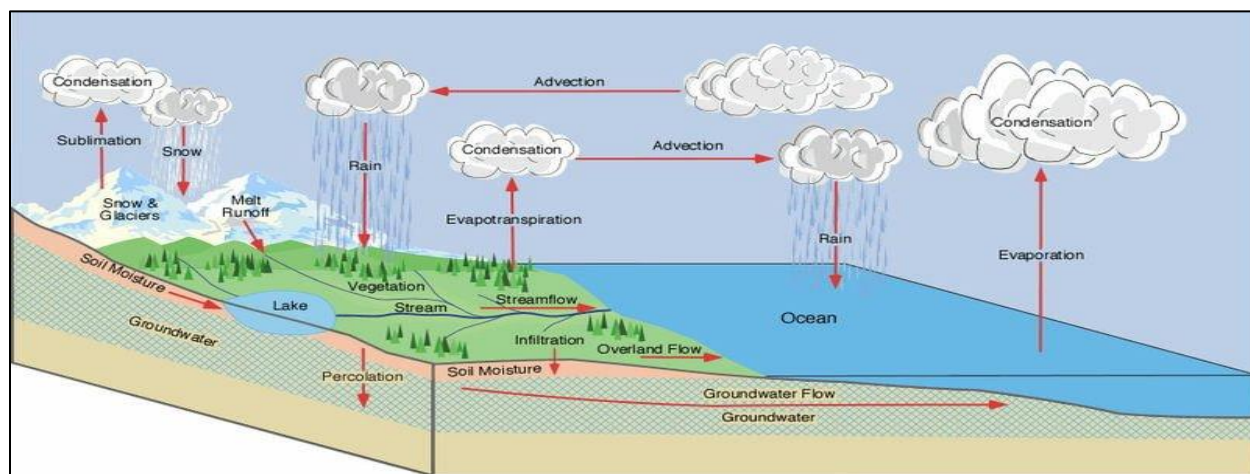
La definición de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático es “Los cambios en los patrones climáticos de la Tierra, que incluyen cambios en la temperatura, la precipitación, los vientos y otros elementos atmosféricos, se conocen como cambio climático. La quema de combustibles fósiles, la deforestación y la emisión de gases de efecto invernadero son las principales causas de estas alteraciones, lo que resulta en un aumento significativo en la concentración de estos gases en la atmósfera” (CMNUCC, 1992,p.3.).

1.3. Ciclo hidrológico

El “ciclo hidrológico consiste en una combinación de cambios que experimentan con agua en su naturaleza, indicando su capacidad como agua superficial o agua subterránea, y como líquido o gaseoso” (Villón, 2002, p. 16.)

Figura 1

Ciclo hidrológico



Fuente. Ordoñez (2011)

1.4. Precipitación

Según Villón (2002), La precipitación es el proceso atmosférico mediante el cual el agua, en forma de gotas líquidas o cristales de hielo, cae desde la atmósfera hacia la superficie terrestre. Este fenómeno es fundamental para el ciclo hidrológico, ya que recarga los cuerpos de agua, proporciona agua a las plantas y contribuye a la formación de ríos. La precipitación puede manifestarse en diversas formas, como lluvia, nieve, granizo o llovizna, y su cantidad y distribución varían según la región geográfica y las condiciones climáticas locales.

En términos de ingeniería hidrológica, la lluvia se considera la principal fuente de agua en la superficie terrestre.

1.5. Clasificación de precipitación

1.5.1 Precipitación de convención

“Durante un período caluroso, la superficie del agua se evapora en forma de grandes masas de vapor de agua. Estas masas de vapor de agua, por su calidad, aumentan un enfriamiento de acuerdo con la adiabática seca o húmeda” (Villón, 2002, p. 71.).

La formación de vapor de agua sobre la superficie de agua ejercitada por el viento hacia las montañas resulta en la producción de nubes que ascienden a largas alturas por las laderas de las montañas, ya como hasta encontrar las condiciones necesarias para la condensación y el próximo precipitado resultante (Villón, 2002, p. 72.).

1.5.2 Precipitación ciclónica.

“Un producto de encuentro entre dos masas de aire, cada una con una humedad de 12%, se genera cuando las nubes más calientes se empujan violentamente en las partes más altas, de acuerdo con la producción de condensación y precipitación” (Villón, 2002, p. 72.).

1.6. Cuenca hidrológica

La zona terrestre donde todas las aguas que cae por precipitación convergen para formar un singular curso de agua, se refiere a la cuenca de drenaje de una corriente (Villón, 2002, p. 21.).

1.7. Subcuenca

Unida de drenaje de menor superficie que una cuenca y que forma parte de esta, constituyendo un tributario de la misma (SENAMHI, 2013,p.19.).

1.8. Parámetros de una cuenca

A. Área de la cuenca. Es el área proyectada en un plano horizontal, de forma irregular, se obtienen después de delimitar la cuenca, el cálculo del área no se puede realizar de formas geométricas debido a que la forma de la cuenca es muy irregular (Villón, 2002). Sin embargo, existe los siguientes métodos para su cálculo:

- Uso de balanza analítica
- Uso de planímetro
- Uso de SIG

B. Índice de compacidad (índice de Gravelius). La relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro equivalente de una circunferencia se define en esta entidad por Gravelius. La influencia del perímetro y el área de una cuenca en la escorrentía se refiere al en cuenta con el índice de compacidad si:

$K = 1$ forma circular

$K > 1$ forma alargada

$$K = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}} \dots \dots \dots Ec. (1)$$

Siendo P y A perímetro y el área de cuenca respectivamente.

C. Radio o relación de elongación (R_e). Es la relación entre el diámetro de un círculo de área igual a la cuenca y la longitud de la cuenca (L).

$$R_e = 1.128 * \frac{\sqrt{A}}{L} \dots \dots \dots Ec. (2)$$

Re = Varía entre 0.6 y 1 se encuentra en relación con fuertes relieves y pendientes fuertes en geología. Una variedad de climas es ampliada.

Re = Si se aproxima a 1. Se refiere a regiones con relieve suave bajo.

D. Factor de forma. Es el cociente entre la superficie de la cuenca y el cuadrado de su longitud.

$$F = \frac{A}{L^2} \dots \dots \dots Ec. (3)$$

Si la cuenca tiene un F mayor que otra, existe mayor posibilidad de tener un atormenta intensa simultánea, sobre toda la extensión de la cuenca.

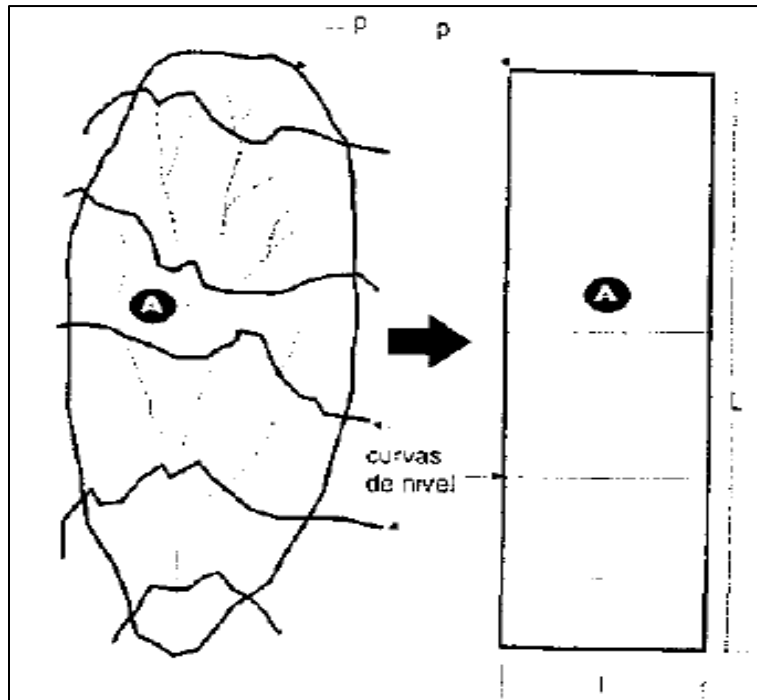
En caso de tener un F menor, tiene menos tendencia a concentrar las intensidades de lluvias, que una cuenca de igual área, pero con un F mayor.

E. Rectángulo equivalente. Esta transformación geométrica permite la representación de la cuenca en forma rectángula, lo cual permite el conocimiento de su complicitad e igual distribución de alturas, curva hipsométrica, y distribución del terreno en función de sus condiciones de cobertura. Además, esta recta tiene el mismo área, perímetro e índice de compacidad. La primera y última curvas de nivel se convierten en retas paralelas al lado menor en el rectángulo presentado en este rectángulo (Villón, 2002).

Para la construcción del rectángulo equivalente y el área de la cuenca. Si los lados mayor y menor del rectángulo son, respectivamente L y l, entonces:

Figura 2

Equivalente cuenca en un rectángulo



Fuente. (Villón, 2002).

Para el lado mayor L , $R_c \geq 1.12$:

$$L = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2} \right) \dots \dots \dots \text{Ec. (4)}$$

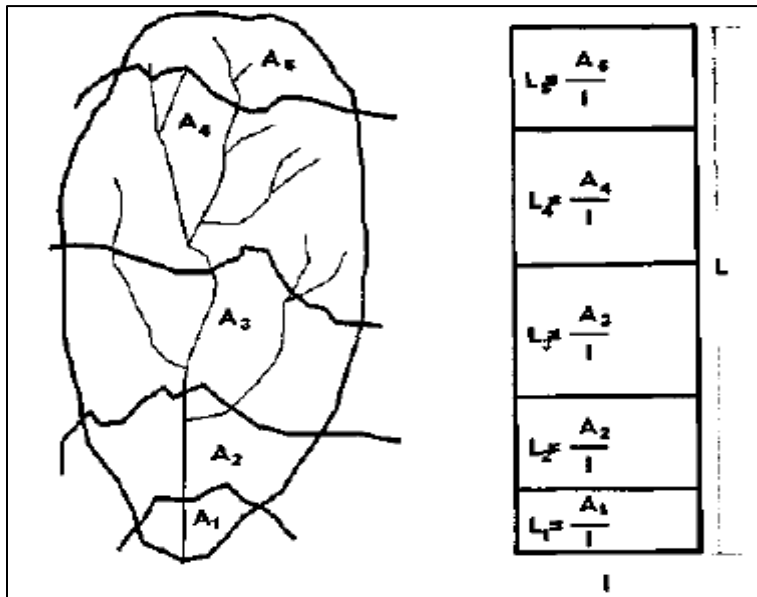
Para el lado menor l , $R_c \geq 1.12$:

$$l = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2} \right) \dots \dots \dots \text{Ec. (5)}$$

se dibuja un rectángulo de base l y de base L , luego se obtiene los cocientes, $L_1 = \frac{A_1}{l}$, $L_2 = \frac{A_2}{l}$, $L_3 = \frac{A_3}{l}$, $L_4 = \frac{A_4}{l}$, $L_5 = \frac{A_5}{l}$, y estas magnitudes se llevan en el lado mayor del rectángulo.

Figura 3

Longitudes parciales del rectángulo equivalente



Fuente. (Villón, 2002).

Donde:

L: longitud mayor del mayor del rectángulo.

L: longitud menor del mayor del rectángulo.

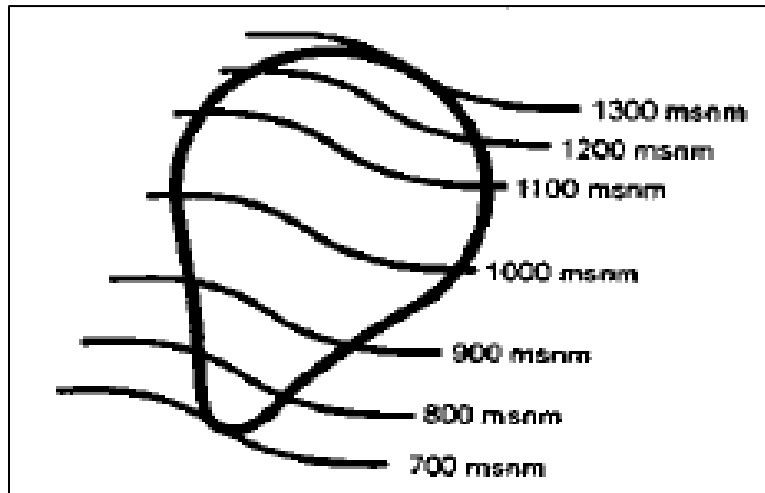
K: índice de Gravelius.

A: área de la cuenca.

F. Curva hipsométrica. “Es la curva que, puesta en coordenadas rectangulares, representa la relación entre la altitud y la superficie de la cuenca que queda sobre esa altitud” (Villón, 2002, p. 34.).

Figura 4

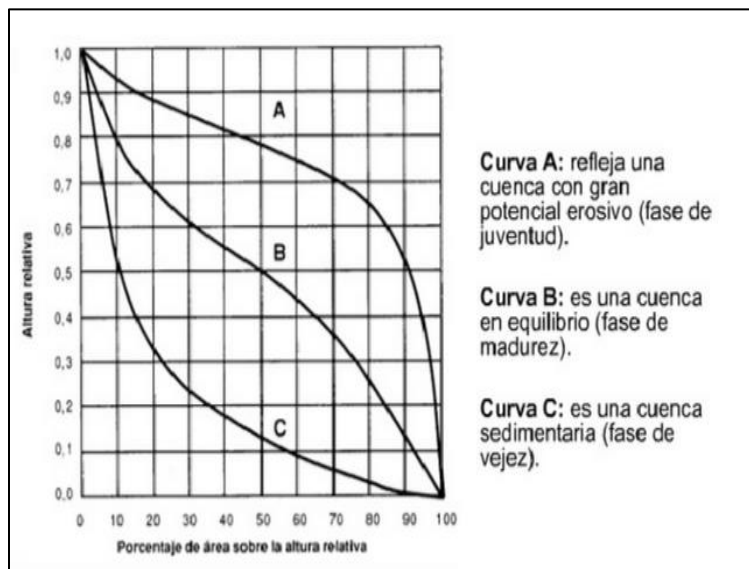
Curva hipsométrica



Fuente. (Villón, 2002).

Figura 5

Significancia de una curva hipsométrica



Fuente. (Rojas, 2015).

1. **Elevación mediana de la cuenca.** La elevación mediana de la cuenca se puede calcular utilizando la curva hipsométrica, que representa el 50% del área de la cuenca. Debido

a que las precipitaciones de las cuencas generalmente se valoran significativamente con la altitud, la altura mediana de la cuenca tiene una gran influencia en el régimen hidrológico.

$$E = \sum \frac{a * e}{A} \dots \dots \dots Ec. (6)$$

Donde:

a: área entre dos curvas de nivel.

E: elevación media entre dos cuevas de nivel.

E: elevación mediana de la cuenca.

ii. Pendiente de la cuenca. El tiempo de escurrimiento y la concentración de lluvia en los canales de drenaje están regulados por la esorrentía superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea a la esorrentía. Estos factores son cruciales para el estudio de toda cuenca porque tienen un impacto directo en la magnitud de las crecidas.

$$S = \frac{D * L}{A} \dots \dots \dots Ec. (7)$$

$$S = \frac{D_1 l_1 + D_2 l_2 + D_3 l_3 + \dots D_{n-1} l_{n-1} + D_n l_n}{A} \dots \dots \dots Ec. (8)$$

Donde:

S: pendiente de la cuenca

D: desnivel constante ente curas de nivel, en Km.

L: longitud total de la curva de nivel dentro de la cuenca, en Km.

A: área de la cuenca, en Km².

iii. Pendiente del cauce principal. En el estudio del comportamiento del recurso hídrico, como para calcular las características óptimas de su aprovechamiento hidroeléctrico, resolver problemas de inundación, entre otras cosas, es un parámetro importante. Entre los métodos que se

pueden mencionar para obtener la pendiente de un cauce son, pendiente uniforme, compensación de áreas, ecuación de Taylor y Schwarz, (Villón, 2002).

$$S = \frac{L}{H} \dots \dots \dots \text{Ec. (9)}$$

Donde:

S: pendiente

H: diferencia de cotas entre los extremos del cauce, en Km.

L: longitud del cauce, en Km.

iv. Red de drenaje. Es la trayectoria o el arreglo que guardan entre sí, los cauces de las corrientes naturales dentro de ella. Es importante en el estudio ya que manifiesta la eficiencia del sistema de drenaje en el escurrimiento resultante, la forma del drenaje proporciona indicios de las condiciones del suelo y de la superficie de la cuenca.

v. Orden de corrientes. Según Villón (2002), es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca. Dependiendo del tipo de escurrimiento, que está relacionado con las características físicas y condiciones climáticas de la cuenca, todas las corrientes pueden clasificarse en tres clases generales:

- ✓ **Corriente efímera.** Corrientes que recuperan agua instantáneamente adquiridas después de su lluvia.
- ✓ **Corriente intermitente.** La mayor parte del tiempo lleva agua, pero principalmente durante las lluvias. Cuando el nivel freático cae por debajo del fondo del cauce, su aporte cesa.
- ✓ **Corriente perenne.** Permanece constantemente con agua, incluso durante períodos de sequía, ya que recibe suministro de agua continentalmente, y el nivel freático siempre se mantiene por encima del fondo del cauce.

vi. Densidad de drenaje. Esta característica ofrece una información más precisa que la anterior, se expresa como la densidad de las corrientes por unidad de área.

$$D_d = \frac{L}{A} \dots \dots \dots \text{Ec. (10)}$$

Donde:

Dd: densidad de drenaje

L: Longitud total de las corrientes perennes o intermitentes en Km.

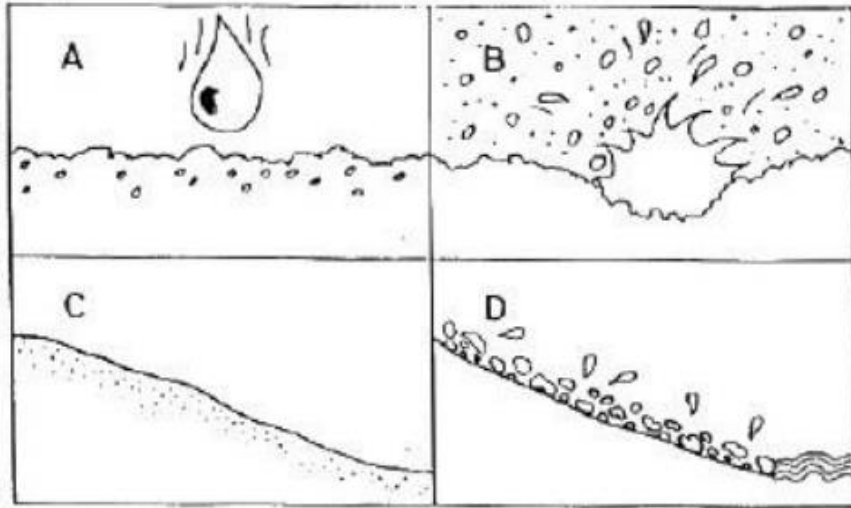
1.9. Erosión hídrica.

La erosión hídrica es un proceso natural o inducido por actividades humanas en el cual el agua desplaza, transporta y remueve partículas del suelo de una ubicación a otra. Ocurre cuando las gotas de lluvia, el flujo de agua de lluvia, ríos u otras fuentes de agua, desgastan y transportan las partículas del suelo. Este fenómeno puede tener consecuencias significativas, ya que puede resultar en la pérdida de capas fértiles del suelo, afectar la calidad del agua y contribuir a la sedimentación en cuerpos de agua. El control y la gestión adecuada de la erosión hídrica son esenciales para mantener la salud de los suelos y preservar la productividad de las tierras.

La evolución de los suelos en su erosión se considera uno de los procesos más rápidos en el ciclo del paisaje. Ambos de su producción y la reducción del nivel de fertilidad, este proceso es culpable de la degradación de los suelos. El proceso de erosión se devocimiento más de lluvias y escurrimientos (Figura N°1). Esta erosión resulta en una irremediable depretación del suelo, un recurso que no se renueva, pero para fines prácticos (SENAMHI, 2017).

Figura 6

A y B representan erosión por salpicaduras (lluvia); C y D representan la erosión por escorrentía.



Fuente. SENAMHI (2017).

- **Procesos de erosión.**

La **erosión**, que es la acción de roer y gastar, que produce un vacío y una disminución del volumen.

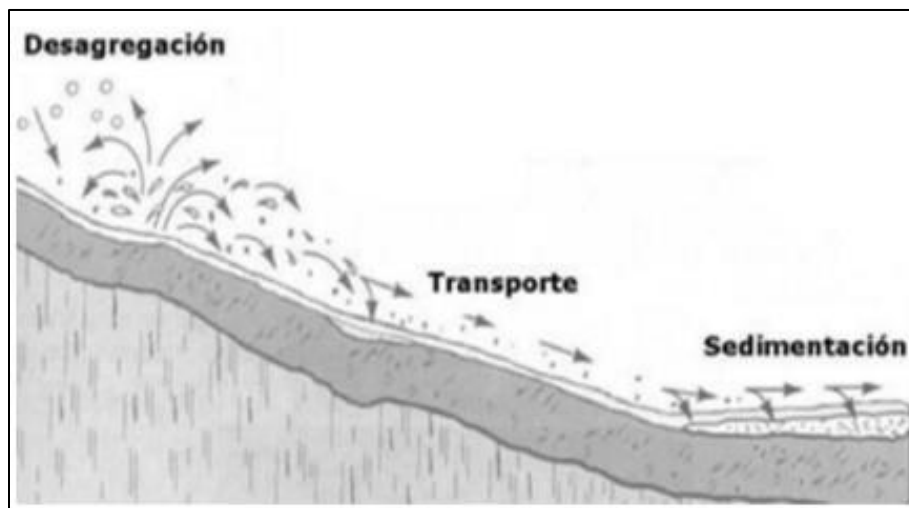
El **transporte**. El transporte desempeña un papel fundamental en el proceso de erosión del suelo, siendo una de las fases clave junto con el desprendimiento y la deposición. La función principal del transporte en la erosión del suelo es llevar las partículas de suelo desprendidas por la acción erosiva (ya sea por agua, viento u otros agentes) desde su lugar original hacia nuevas ubicaciones. Este desplazamiento de partículas puede ocurrir a través de diversos medios, como el arrastre por corrientes de agua, la suspensión en el aire por el viento o el transporte en solución disuelta. El transporte facilita la redistribución de sedimentos, lo que puede tener impactos significativos en el paisaje y los ecosistemas. Además, las partículas transportadas pueden interactuar con otros elementos del entorno, como nutrientes o contaminantes, afectando la calidad

del agua y del suelo en las áreas receptoras. La magnitud y la velocidad del transporte de sedimentos dependen de varios factores, como la intensidad de la fuerza erosiva, la textura del suelo, la cobertura vegetal y la topografía del terreno. Comprender y gestionar el transporte de sedimentos es esencial para mitigar los efectos negativos de la erosión del suelo, ya que puede contribuir a la degradación de la calidad del agua, la pérdida de fertilidad del suelo y la obstrucción de canales y cuerpos de agua.

La **acumulación**. Por otro lado, el transporte eventualmente ocasiona una acumulación. La sedimentación se produce cuando se depositan partículas en el fondo de un lago o un océano; la operación altera las formas del terreno, pero cuando la sedimentación ocurre al aire libre en un abanico aluvial torrencial, duna o escombros, modifica la configuración del paisaje. Se cree que las tres fases de erosión, transporte y acumulación están relacionadas y conectadas de tal manera que se les ha dado el nombre de erosión en su conjunto (SENAMHI, 2017 como se citó en Viers,1974, p.5.).

Figura 7

Proceso de erosión. La erosión o desagregación es la primera fase, luego el transporte de los materiales desgastados y finalmente la acumulación o sedimentación.



Fuente. Cátedra de manejo de tierras, Facultad de Ciencias Agrarias, UNR (2012).

1.10. Los agentes de la erosión

El agua y el viento son los principales factores que contribuyen a la erosión. La erosión se conoce como erosión hídrica cuando el agente causal es agua; cuando el agente causal es viento, se conoce como erosión eólica. La abrasión se refiere al desgaste y la erosión de las superficies terrestres causados por el transporte de partículas sólidas como arena, grava o guijarros que son impulsados por agentes erosivos como el viento o el agua. Este proceso puede dar lugar a la formación de características geológicas tales como cañones, valles y depósitos sedimentarios, y contribuye significativamente a la transformación del paisaje a lo largo del tiempo. La abrasión es una fuerza erosiva importante que actúa tanto en entornos naturales como en áreas afectadas por actividades humanas (SENAMHI, 2017).

1.11 Formas de la erosión

1.11.1 Erosión por salpicaduras

El salto de suelo genera un impacto en términos cinéticos, lo cual resulta en la salpicado de cantidades enormes de suelo, cuando las gotas de lluvia caen directamente sobre las partículas de suelo o superficies de agua muy delgadas. Sin embargo, a menudo la salpicadura no es transportada más allá de las áreas por la propia colisión. La relación entre la erosión y la energía y el impulso de la lluvia está determinada por la masa, el tamaño, la forma, la velocidad y la dirección de las gotas de lluvia (SENAMHI, 2017).

1.11.2 Erosión laminar

Como resultado del flujo laminar superficial que corre en capas delgadas sobre el suelo, la erosión laminar remueve el suelo en estratos delgados de manera uniforme.

La erosión laminar es un tipo de erosión hídrica que implica el desplazamiento uniforme y delgado de una lámina de agua sobre la superficie del suelo. En este proceso, una capa delgada de

agua fluye sobre la tierra, retirando partículas de suelo de manera gradual y uniforme. A diferencia de la erosión en surcos, la erosión laminar no forma canales visibles en la superficie, pero puede resultar en la pérdida progresiva de la capa más superficial del suelo. Este tipo de erosión es comúnmente causado por lluvias intensas, deshielo o irrigación excesiva, y su control es esencial para preservar la calidad y la fertilidad del suelo (SENAMHI, 2017, como se citó en Rivera, 2012,p.8).

1.11.3 Erosión en surcos.

La erosión en surcos es un tipo de erosión hídrica que implica la formación de canales o surcos en la superficie del suelo debido al flujo concentrado de agua. Este proceso ocurre cuando el agua fluye por la pendiente del terreno, concentrándose en ciertos puntos y creando surcos que van profundizando con el tiempo. La erosión en surcos puede ser especialmente problemática en áreas agrícolas, ya que puede resultar en la pérdida de suelo fértil y nutrientes esenciales.

La erosión en los surcos de la tierra se refiere al proceso mediante el cual la acción de agentes erosivos, como el agua, el viento o el hielo, provoca la formación y profundización de surcos en la superficie terrestre. Estos surcos pueden manifestarse como canales pequeños o surcos más grandes, y la erosión en ellos implica el desprendimiento y transporte de partículas de suelo a lo largo de estas vías.

La erosión en los surcos es comúnmente influenciada por factores como la topografía del terreno, la intensidad y frecuencia de las precipitaciones, la cobertura vegetal y la textura del suelo. La presencia de surcos puede afectar negativamente la productividad del suelo, ya que conlleva la pérdida de capas fértiles y puede resultar en la compactación del suelo en las áreas circundantes. Además, la sedimentación resultante de la erosión en los surcos puede afectar negativamente los cuerpos de agua cercanos, comprometiendo la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos. La

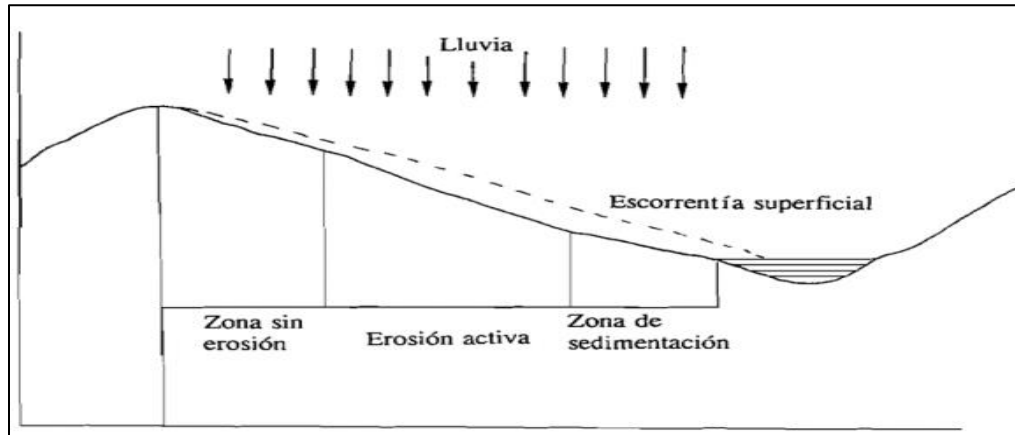
gestión adecuada de la erosión en los surcos implica estrategias de conservación del suelo, como la implementación de prácticas agrícolas sostenibles, la construcción de terrazas y la reforestación, con el objetivo de prevenir o mitigar los efectos erosivos y preservar la salud del suelo y los recursos naturales (SENAMHI, 2017).

1.11.4 Erosión en cárcavas

Este fenómeno se acentúa en áreas donde la escorrentía superficial encuentra terrenos con pendientes pronunciadas, suelos susceptibles a la erosión y una falta de cobertura vegetal adecuada que proteja el suelo. La erosión en cárcavas puede ser especialmente problemática, ya que conduce a la pérdida significativa de suelo fértil, afectando la productividad agrícola y comprometiendo la salud del ecosistema local. La erosión en cárcavas es un proceso degradativo del suelo que implica la formación de profundos y estrechos surcos o canales en la superficie terrestre. Estas cárcavas se desarrollan cuando el agua fluye de manera concentrada a través de surcos preexistentes, erosionando continuamente el suelo y ampliando el tamaño de los canales. Este fenómeno suele ocurrir en áreas con pendientes pronunciadas y suelos propensos a la erosión. Las cárcavas pueden tener impactos significativos, incluyendo la pérdida de suelo fértil, la degradación del paisaje y problemas asociados con la sedimentación en cursos de agua cercanos.

Figura 8

Modelo de escorrentía y zonas de erosión en una ladera, representada por la mitad del perfil de la pendiente de un valle.



Fuente. SENAMHI (2017).

1.12 Factores que afectan la erosión

Cuatro factores principales influyen en la erosión: la cantidad e intensidad de las lluvias, la pendiente y la topografía del terreno, las propiedades físicas y químicas del suelo y la cobertura vegetal. También influyen en la velocidad del flujo y el uso de la tierra. Los factores principales de la erosión se detallarán a continuación (UNESCO, 2010).

1.12.1 Clima

El clima desempeña un papel fundamental en la erosión, ya que influye en los procesos meteorológicos que afectan la dinámica del suelo. Los elementos climáticos como la precipitación, la temperatura, la velocidad del viento y la humedad tienen impactos significativos en la erosión del suelo.

El clima desempeña un papel fundamental en el proceso de erosión, ya que influye directamente en los agentes erosivos como el agua, el viento y el hielo. Las condiciones climáticas

afectan la intensidad y frecuencia de eventos meteorológicos que, a su vez, impactan en la erosión del suelo (UNESCO, 2010).

1.12.2 Uso de suelo

El uso de la tierra se refiere a las actividades realizadas para obtener productos y servicios de los recursos naturales. Existen varios usos en función de los bienes y servicios que se quieran obtener del territorio a través de su gestión específica. Los factores socioeconómicos, el potencial biofísico del entorno y las restricciones que imponen el medio determinan la utilización de la tierra.

La modificación del entorno en vez de las áreas agrícolas y, en ciertos casos, de los ecosistemas naturales, establece una imposición significativa en relación con los costos del suelo como un factor erosivo. Estos factores implican una menor capacidad de nutrientes adicional a la vez de las áreas agrícolas. El desarrollo agropecuario, las actividades forestales, el desarrollo urbano y turístico y las actividades extractivas son los principales factores que contribuyen a esta modificación medioambiental (Gardi et al. 2014).

1.12.3 Topografía

La posición topográfica afecta una parte de la resistencia de los suelos a la erosión. Estos factores, como la posición, dirección y ángulo de la pendiente, tienen un impacto decisivo sobre las tasas de erosión de una región particular (Dumas, 2012).

1.12.4 Tipos de suelos

La clasificación y resistencia al desprendimiento y transporte, lo que se conoce como erosión, son factores fundamentales en relación a las características de un suelo particular, si incluyendo su estructura, tamaño de partículas, permeabilidad y contenido de materia orgánica (Morgan, 2005).

1.12.5 Cobertura vegetal

La presencia o ausencia de una cobertura vegetal saludable en el terreno hace un impacto significativo en relación con los procesos erosivos. En cuestión de la reducción en la capacidad erosiva de las gotas de agua al caer al suelo, la vegetación funciona como una barra contra la lluvia; La cobertura vegetal desempeña un papel fundamental en la prevención y mitigación de la erosión del suelo. Sus efectos positivos son diversos y abarcan aspectos físicos, biológicos y químicos del entorno (UNESCO, 2010).

1.13. Cálculo de la erosión

La erosión puede ser medida en diferentes escalas y niveles de precisión, lo que hace que el cálculo de la pérdida de suelo sea un proceso complejo, especialmente cuando se realiza a nivel de cuenca. El cálculo de la erosión se refiere al proceso de cuantificar la magnitud y la tasa de pérdida de suelo causada por diversos factores, como la acción del agua, el viento o la actividad humana. Este proceso implica el uso de modelos matemáticos, ecuaciones y metodologías específicas diseñadas para estimar la cantidad de suelo erosionado en una determinada área durante un período de tiempo dado. La aplicación de estos cálculos es esencial para comprender la dinámica erosiva, evaluar los riesgos asociados y desarrollar estrategias de conservación del suelo. Métodos como la Universal Soil Loss Equation (USLE) son comúnmente utilizados para calcular la erosión hídrica, tomando en cuenta factores como la topografía, la cobertura vegetal, la intensidad de la lluvia y otras variables clave. Estos cálculos proporcionan información crucial para la gestión sostenible de recursos naturales y la implementación de prácticas que minimicen los impactos negativos de la erosión (Gardi et al.2014).

1.13.1 Ecuación universal de pérdida de suelos USLE

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelos USLE fue creada a fines del año 1950 y se utilizó ampliamente en los planos de conservación de áreas cultivadas en la década de los años 60.

A principios de 1970, la USLE se utilizó para una variedad de otros usos del suelo además de los que se utilizan en áreas cultivadas y para otras aplicaciones que no se incluyen en los planos de conservación del suelo, la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo USLE es quizás la más aceptada entre las personas encargadas de la gestión de cuencas con fines de producción o conservación porque también se utiliza para estimar tasas erosivas a niveles de territorios extensos como cuencas y subcuencas (Dumas, 2012).

$$A = R * K * L * S * C * P \dots \dots \dots Ec. (11)$$

Donde:

A= Promedio de pérdida de suelo por hectárea expresado en (ton · ha⁻¹ · año⁻¹)

R= Factor de erosividad de la lluvia (MJ · mm · ha⁻¹ · h⁻¹ · año⁻¹)

K= Factor de erodabilidad del suelo (ton · ha · h · ha⁻¹ · MJ⁻¹ · mm⁻¹)

L.S= Factor de longitud y grado de la pendiente (adimensional)

C= Factor de uso de suelo (adimensional)

P= Factor de prácticas de conservación en el manejo de la vegetación agrícola (adimensional)

1.13.1.1 Factor de erosividad (R)

El factor R de Erosividad corresponde a la suma de los productos de las energías de todos los eventos de lluvia erosiva anuales con sus respectivas intensidades máximas en 30 minutos, lo que proporciona un indicio de la agresividad con la que la precipitación influye en el proceso de degradación del suelo. Presentaron un índice de erosividad o factor R basado en esta relación directa: la energía cinética (E) y la intensidad de la lluvia (I) (Dumas, 2012).

a) Índice Modificado de Fournier (IMF)

El índice de agresividad de las precipitaciones, también conocido como índice de erosividad, se calcula mediante el método IFM, que mide el impacto de las precipitaciones sobre la superficie del suelo. Este método se calcula con la recepción total anual y la recepción mensual (Arnoldus, 1980)

$$IMF = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P} \dots \dots \dots Ec. (12)$$

Donde:

IMF = Índice de Fournier Modificado (mm)

P_i = Lluvia promedio mensual o de cada mes del año (mm)

P = Lluvia promedio anual (mm)

b) Relación del Modificado de Fournier (IMF9 con el factor R

Se determina el IFM para los meses secos (mayo – septiembre) y meses húmedos (octubre – abril) para el caso de Ayacucho, posterior a ello aplicar las siguientes fórmulas para determinar el factor de erosividad R en relación al IFM para los meses secos y húmedos (Farfán, 2002).

• Meses secos

$$R = (0.513244 + 0.36122 * I + \sqrt{IFM} * 0.795429 + 0.427359 * I)^2 \dots Ec. (13)$$

Donde:

R = Factor de erosividad para los meses secos (MJ.mm/ha.h.año.)

IFM = Índice de Fournier modificado para los meses secos.

I = (Variable indicadora “1”)

• Meses húmedos

$$R = (e^{1.13173 * I}) * (IFM^{(0.944807 - 0.170782 * I)}) \dots \dots \dots Ec. (14)$$

Donde:

R = Factor de erosividad para los meses húmedos (MJ.mm/ha.h.año.)

IFM= Índice de founier modificado para los meses secos.

I = (Variable indicadora “ 1”)

e = 2.7182,(número de euler)

Tabla 1

Clasificación del IMF para Latinoamérica

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

Fuente. Lobo et al. (2006), citado por Ramírez et.al.(2007).

1.13.1.2 Factor del factor K

Es posible obtener el valor del factor de erosionabilidad del suelo de dos maneras: directamente utilizando la ecuación de erosionabilidad o utilizando una representación gráfica.

que requiere la adquisición de características específicas del suelo de ambas formas.

- **Textura:** El propósito del análisis de textura del suelo es determinar los porcentajes de arena, limo, arcilla y arena fina. Según los manuales originales de USLE, la arena muy fina se comporta como la limusina en términos de erosión del suelo.
- **Materia orgánica:** Se analizan las muestras recolectadas en el campo para estimar su proporción porcentual dentro del suelo. De acuerdo con USLE, el porcentaje de

materia orgánica oscila entre 0 y 4 %, con valores enteros. Si el contenido está fuera de este rango, se supone un 4 %.

- **Estructura del suelo:** De acuerdo con la USLE, solo hay cuatro categorías y códigos utilizados para el cálculo, que se realizan observación mediante visual y táctil, y es recomendable utilizar un manual de comparación.

Tabla 2

Códigos USLE de estructura de suelo

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

Fuente. Dumas (2012) como se cito en Mancilla (2008).

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

Tabla 3*Códigos USLE de permeabilidad de suelos*

CÓDIGO USLE	CATEGORÍA DE PERMEABILIDAD
1	Rápida más de 12,7 cm-h ⁻¹
2	Moderada a rápida 6,3 a 12,7 cm-h ⁻¹
3	Moderada entre 2 y 6,3 cm-h ⁻¹
4	Lenta y moderada entre 0,5 y 2 cm-h ⁻¹
5	Lenta entre 0,13 y 0,5 cm-h ⁻¹
6	Muy lenta menor a 0,13 cm-h ⁻¹

Fuente. Dumas (2012) como se cito en Mancilla (2008).

El factor K en el Sistema Internacional de Unidades se expresa en ton.ha.h/MJ.ha.mm, que representa la resistencia del suelo a la escorrentía superficial y la erosión en relación a la energía de la lluvia.

1.13.1.2.1 Método de la Ecuación de regresión de Wischemeier et al.(1990)

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

$$K = 1.313 * \frac{[2.1 * 10^{-4} * (12 - MO) * M^{1.14} + 3.25 * (S - 2) + 2.5 * (P - 3)]}{100} \text{ Ec. (15)}$$

Dónde:

MO: Porcentaje de materia orgánica de las muestras

S: Código de estructura del suelo.

P: Código de permeabilidad.

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

El factor de erodabilidad del suelo (K), también se puede estimar utilizando la función indicada por Williams et al. (1990)

$$K = 0.1317 * f_{\text{Arena}} * f_{\text{Limo-arcilla}} * f_{\text{carbón orgánico}} * f_{\text{Parámetro arena}} \dots \dots \dots \text{Ec. (16)}$$

$$f_{\text{Arena}} = \left[0.2 + 0.3 * e^{-0.0256 * m_s * \left(1 - \frac{m_{\text{silt}}}{100}\right)} \right] \dots \dots \dots \text{Ec. (17)}$$

$$f_{\text{Limo-arcilla}} = \left(\frac{m_{\text{silt}}}{m_c + m_{\text{silt}}} \right)^{0.3} \dots \dots \dots \text{Ec. (18)}$$

$$f_{\text{carbón orgánico}} = \left[1 - \frac{0.25 * C}{C + e^{(3.72 - 2.95 * C)}} \right] \dots \dots \dots \text{Ec. (19)}$$

$$f_{\text{parámetro arena}} = \left[1 - \frac{0.70 * \left(1 - \frac{m_s}{100}\right)}{\left(1 - \frac{m_s}{100}\right) + e^{(-5.51 + 22.9 * \left(1 - \frac{m_s}{100}\right))}} \right] \dots \dots \dots \text{Ec. (20)}$$

Donde:

m_s : % de arena

m_{silt} : % de limo

m_c : % de arcilla

C : % de materia orgánica

Para el factor K finalmente se clasificará según la mediante tabla:

Tabla 4

Niveles de la erodabilidad del suelo definidos por el USDA (1962). Entre menor es el valor de K, el suelo es menos erodable.

Valor de K (Ton.ha.h/MJ.ha.mm)	Clasificación
0.007902	Muy poco erodable
0.0079 – 0.0171	Débilmente erodable
0.0171 – 0.0329	Medianamente erodable
0.0329 – 0.0684	Fuertemente erodable
0.0684 – 0.1027	Extremadamente erodable

Fuente. Zaragoza (2021)

1.13.1.2.2 Muestreo de suelos

II.1 Tipo de muestra

A. Número de muestras y submuestras

- **Muestras simples:** La muestra se obtiene mediante una única extracción de suelo y se utiliza principalmente en investigaciones o cuando se trata de suelos altamente uniformes. Además, son útiles en sistemas agrícolas precisos en los que se requiere un muestreo sistemático y extremadamente intensivo (BPA, 2020).
- **Muestras compuestas:** Las muestras compuestas son aquellas que se crean combinando varias muestras individuales en una muestra representativa más grande. Este enfoque se utiliza comúnmente en la investigación y el muestreo de diversos materiales, como suelos, agua, aire o productos químicos. El proceso de creación de una muestra compuesta implica tomar porciones de múltiples muestras individuales y combinarlas de manera cuidadosa y proporcional, de modo que la muestra compuesta refleje de manera representativa las características del conjunto original. Este método se utiliza cuando se busca obtener una visión más global y precisa de un área o población en lugar de depender únicamente de una muestra individual. En el contexto del muestreo de suelos, por ejemplo, se pueden recoger muestras de diferentes ubicaciones en un área específica y luego combinar pequeñas porciones de cada una de ellas para formar una muestra compuesta. Esto permite obtener una muestra más representativa de las características promedio del suelo en esa área en particular. El uso de muestras compuestas ayuda a reducir la variabilidad inherente a las muestras individuales y proporciona una visión más completa y precisa de las propiedades o características que se están investigando. Este enfoque es especialmente útil cuando se trabaja con grandes extensiones de

terreno o cuando se busca obtener información generalizada sobre una población más amplia. La muestra compuesta se obtiene al extraer en cada área homogénea varias muestras simples (submuestras), tomadas a la misma profundidad y con un volumen de suelo semejante, que posteriormente son reunidas en un recipiente, mezcladas y de la cual se extrae una muestra de 0,5 a 1 kg de suelo, que es la muestra que finalmente se enviará al laboratorio para su análisis (BPA, 2020).

B. Formas de muestreo

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

agricultura, la geología, la ecología y la evaluación ambiental, donde se busca entender y caracterizar patrones espaciales de variables específicas (BPA, 2020).

C. Profundidad de muestreo y condición de humedad

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

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

1.13.1.3 Cálculo del factor L.S.

El factor LS es el producto del factor de longitud L y el factor de pendiente S del terreno, que se calculan mediante las siguientes expresiones algebraicas. Consideremos el siguiente sistema de ecuaciones:

Factor L

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m \dots \dots \dots Ec. (21)$$

Para:

$$m = \frac{F}{1 + F} \dots \dots \dots Ec. (22)$$

Donde:

$$F = \left(\frac{\sin \beta}{0.0896} \right) / (3 * (\sin \beta)^{0.86} + 0.56) \dots \dots \dots Ec. (23)$$

Con el SIG, se aplica la siguiente fórmula:

$$L(i, j) = \frac{(A(i, j) + D^2) - A(i, j)^{m+1}}{x^m * D^{m+2} * (22.13)^m} \dots \dots \dots Ec. (24)$$

Donde:

- β :** Pendiente a nivel de pixel debe estar expresado en radianes, a grados multiplicar 0.01745
- A:** Acumulación de flujo a nivel de pixel
- D:** Lado de pixel
- X:** Coeficiente de formax=1

Factor S

$$S(i, j) = 10.8 * \text{sen } \beta(i, j) + 0.3 \dots \dots \dots Ec. (25) \quad \text{tan} \beta(i, j) < 0.09$$

$$S(i, j) = 10.8 * \text{sen } \beta(i, j) - 0.5 \dots \dots \dots Ec. (26) \quad \text{tan} \beta(i, j) \geq 0.09$$

Además, existe un método de cálculo simple utilizando una tabla que permite asignar directamente el valor del factor LS a una escalera en función de la pendiente. La Facultad de Hidráulica e Hidrología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes utiliza el cálculo (Madrid). Este estudio ha permitido desarrollar esta gráfica que asigna directamente el valor del factor LS a una pendiente en función de su pendiente.

Tabla 5

Factor L.S según grupos de pendientes

Grupo de pendientes en %	Factor LS
0 - 3	0,3
3 - 12	1,5
12 - 18	3,4
18 - 24	5,6
24 - 30	8
30 - 60	14,6

60 - 70	20,2
70 - 100	25,2
>100	28,5

Fuente. DUMAS (2012) como se citó en García (2005)

1.13.1.4 Cálculo del factor C

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

Con el fin de comparar los impactos relativos de las opciones de manejo en los planos de conservación, se utiliza más frecuentemente el factor C, que refiere la eficiencia del cultivo y las prácticas de manejo en las tasas de erosión. El factor C indica el impacto del plan de conservación en su capacidad para afectar medidamente la pérdida anual y la distribución de la pérdida potencial de suelo en el tiempo con ciertos ciclos de manejo, incluyendo rotaciones de cultivo y otros procedimientos (Velasquéz, 2008).

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

1.13.1.4.1 Imágenes multiespectrales Sentinel-2

El procedimiento de teledetección, que lleva a cabo la captura y transferencia de datos desde los sensores satelitales hacia la tierra, es el uso de imágenes satelitales para la observación terrestre. El entorno de los satélites, como una cámara de fotografía, contiene características

fundamentales que permiten la comparación de su funcionamiento. En particular, las resoluciones son una clave estratégica de los satélites. Difundidas de resolución, de cierta esta clase, la resolución espacial significa la distancia adquirida por la segmenta más minúscula de una imagen. En términos generales, esta resolución se midió en metros por píxel. La calidad de la imagen será mejor si un Pixel capturado a una distancia menor. La resolución espectral indica una cantidad de bandas y un ancho que la capacidad del sensor, es decir. Cualquier resolución espectral se indica en un mayor número de bandas. resolución temporal de la frecuencia con que el satélite atraviesa un punto específico de la tierra la frecuencia con la cual el satélite atraviesa un punto específico de la tierra se insinúa en la resolución la resolución temporal. (Pardo, 2020).

Con una órbita polar, Sentinel-2 es la segunda misión europea de constelación de satélites (Sentinel-2A y 2B). Al decir, el satélite navega una vez más en una línea perpendicular a la línea del ecuador. Se ha mencionado que el nombre Sentinel-2 significa la segunda misión del programa espacial Europa, lo cual es crucial evitar desconcreción con la enumeración que contiene las imágenes de esta constelación. Este programa se refiere al satélite A en la sentencia-2A de la segunda misión. Debido a su función de almacenar el sistema de monitoreo global para el seguro y el ambiente (GMES, por sus siglas en inglés), se propuso esta misión. El desfase de 180 grados se aplica a los dos satélites de la constelación, cada uno utilizando un Instrumento Multiespectral (MSI). El MSI mezcla la radiación que atraviesa la atmósfera y que refleja la tierra. Este instrumento permite la captura de 13 bandas espectrales, todas de las que incluyen segmentos del espectro electromagnético visible y cercano al infrarrojo (VNIR o SWIR por sus siglas en inglés). Las bandas se distribuyen así:

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

- ❖ Se presentan dos bandas más anchas que en el segmento SWIR, utilizando los 20 metros de resolución espacial, dos bandas delgadas para el objetivo de caracterizar la vegetación, y 4 bandas delgadas para detectar nieve, hielo, nubes o la humedad de vegetación.
- ❖ Tres bandas de resolución espacial de 60 metros, especialmente usadas para la detección de nubes y correcciones atmosféricas.

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

El recibe un producto Sentinel-2 en función de los metadatos de usuario que generan relevancias y el área de interés seleccionada por el escritor. Este producto está constituido por un grupo de "Granules" o "Tiles" (para productos o rectificadas), que intersecan el área de interés configurada por el usuario. Un gránulo se define como la parte mínima e indivisible de un producto que contiene todas las bandas espectrales posibles. Es decir, un mosaico se refiere a una proyección cartográfica de 100 km x 100 km ortorrectificada utilizando la referencia UTM/WGS84. Según otras palabras, la órbita de los satélites Sentinel-2 no es exactamente perpendicular al Ecuador terrestre. De otras palabras, contiene un grado de inclinación que permite el recorrer de diversas zonas del territorio (Niño & Castro, 2020).

1.13.1.4.1 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NDVI

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

- Valores muy bajos de NDVI, del orden de 0.1, corresponden a áreas rocosas, arenosas o nevadas.
- Valores de 0.2 a 0.3 pueden corresponder a áreas pobres con arbustos o pasturas naturales.

Las operaciones de algebra de mapas para el cálculo del NDVI propuesto por Rouse et al. (1974), se aplicaron funciones diversas aplicaciones adquiridas bandas espectrales del sensor Sentinel. Utilizando las bandas 8 y 4 del satélite Sentinel 2, se obtuvo el NDVI para cada imagen seleccionada (Ruiz & Pacheco, 2020)

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \dots \dots \dots Ec. (27)$$

Donde:

NDVI= Índice normalizado de diferencia de vegetación

NIR= Banda infrarrojo cercano

RED= Banda roja visible

• **Cálculo del Factor C**

El Factor C se calculó con base en el NDVI, usando las ecuaciones 2 y 3, propuestas por (Van der Knijff et al. 1999) y (Carvalho et al. 2014). Como se verificó en términos de campo e interpretación visual de la imagen ráster, se aseguró cuál de estas ecuaciones se ajustó mejormente, según la época del año, por comparar los resultados con la cobertura real en sitios preestablecidos y verificados (Ruiz & Pacheco, 2020).

$$FC_{vk} = \exp \left(-\alpha * \frac{NDVI}{\beta - NDVI} \right) \dots \dots \dots Ec. (28)$$

Donde:

FC_{vk} = Factor C (Van der Knijff et al.1999)

exp =Función exponencial

α= Alfa

β = Beta

NDVI: Índice normalizado de diferencia de vegetación

$$FC_D = \left(\frac{1 - NDVI}{2} \right) \dots \dots \dots Ec. (29)$$

Donde:

FC_{vk} = Factor C (Carvalho et al.2014)

NDVI= Índice normalizado de diferencia de vegetación

Tabla 6

Valores de NDVI

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

Fuente. (Ruiz & Pacheco, 2020)

1.13.1.5 Cálculo del factor P

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

El impacto de mejoras prácticas, cuentos como cultivo en contorno o en bandas, se refiere a este factor. Él podría ser obtenido de tablas y su valor se basa en la pendiente del terreno. Entre 0 y 1 se encuentran los valores de P. Los valores obtenidos en ensayos experimentales son

utilizados para calcular la capacidad de P por consiguiente adición a conservación de suelos (Dumas, 2012 como se cita en INETER, 2005).

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

1.14. Erosión potencial

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

Tabla 7

Clasificación de erosión según (FAO, 1980)

Nivel	Perdida de suelo T.ha-1.año	Tipo de erosión
1	<0.5	Normal
2	0.5 - 5	Ligera
3	May-15	Moderada
4	15 – 50	Severa
5	50 - 200	Muy severa
6	>200	Catastrófica

Fuente. FAO (1980)

1.15. Erosión actual

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

1.16. Análisis de homogeneidad y consistencia

Este proceso enfoque en llevar a cabo un análisis de la información accesoria de criterios físicos y métodos estadísticos, lo cual permite identificar, evaluar y erradicar posibles errores sistemáticos que pueden ocurrir, sea por causas naturales o a cabo de humanos. Los errores

sistemáticos se manifiestan en las maestras en términos de inconsistencia, conformando saltos y tendencias (Cahuana & Yugar, 2009).

En los análisis climatológicos, se lleva a cabo la aplicación de las pruebas estadísticas con el fin de verificar homogeneidad. En los análisis hidrológicos, se lleva a cabo la consistencia de la serie, lo cual se detecta en general mediante la técnica de la curva doble masa (Cahuana & Yugar, 2009).

1.17. Pruebas de tendencias

1.17.1 Test de Mann-Kendall No Paramétrica

Los valores de la serie de tiempo n ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$), son remplazados por rangos relativos ($R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$). El estadístico es:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(R_i - R_{i+1}) \dots \dots \dots \text{Ec. (30)}$$

Donde:

$$\text{sgn}(X) = 1 \text{ for } X > 0$$

$$\text{sgn}(X) = 0 \text{ for } X = 0$$

$$\text{sgn}(X) = -1 \text{ for } X < 0$$

Si la hipótesis nula H_0 es verdadera, S es aproximadamente a la distribución normal con:

$$U = 0 \quad y \quad \sigma = nn - 12n + 5/18$$

Por tanto, el estadístico z es:

$$Z = |S|/\sigma^{0.5}$$

Se pueden obtener valores críticos para diversos niveles de significación en las tablas de probabilidad normales. Un valor positivo de S significa la presencia de una tendencia creciente, y conversamente (Fonseca, 2015).

1.17.2 SPEARMAN'S RHO No Paramétrica

Establece si existe una evaluación significativa entre dos variables; al igual como la prueba de Mann-Kendall, se reemplazan los valores de la serie de tiempo n por sus filas correspondientes. Se optó la misma forma en que se obtuvo el coeficiente de compensación de la muestra habitual, para el propósito de usar filas, debido a la estadística de prueba estadística. Y_i , una variable de interés, y X_i , los dos tiempos (Fonseca, 2015).

$$\rho_s = \frac{S_{xy}}{(S_x S_y)^{0.5}} \dots \dots \dots \text{Ec. (31)}$$

$$S_x = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) \dots \dots \dots \text{Ec. (32)}$$

$$S_y = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}) \dots \dots \dots \text{Ec. (33)}$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \dots \dots \dots \text{Ec. (34)}$$

1.17.3 Regresión lineal Paramétrica

Esta prueba paramétrica establece que los datos se distribuyen de manera normal. Según evaluada la relación entre la variable de interés (y) y el tiempo x , se evalúa la existencia de una tendencia lineal. El gradiente de regresión se calcula por el mismo:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \dots \dots \dots \text{Ec. (35)}$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

La prueba estadística S es:

$$S = b/\sigma$$

Donde:

$$\sigma = \sqrt{\frac{12 \sum_i^n (Y_i - a - bX_i)^2}{nn - 2n^2 - 1}} \dots \dots \dots \text{Ec. (36)}$$

Bajo la hipótesis nula, la prueba estadística S sigue una distribución t de Student con n-2 grados de libertad. Se pueden obtener valores críticos para varios niveles de significación de las tablas estadísticas de Student. La prueba de regresión lineal supone que los datos se distribuyen normalmente y que los errores (desviaciones de la tendencia) son independientes y siguen la misma distribución normal con media cero (Fonseca, 2015).

1.18. Pruebas de quiebres de medias/ medianas

1.18.1 Cusum

Este método verifica si hay una diferencia en el medio entre dos partes de un registro durante un período de tiempo desconocido de cambio; es una prueba no paramétrica de distribución libre. Dado las series de tiempo de datos $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, la prueba estadística se define como:

$$V_k = \sum_{i=1}^k \text{sgn}(X_i - X_{\text{mediana}}) \dots \dots \dots \text{Ec. (37)}$$

$$k = 1, 2, 3, \dots \dots n$$

$$\text{sgn}(X) = 1 \text{ for } X > 0$$

$$\text{sgn}(X) = 0 \text{ for } X = 0$$

$$\text{sgn}(X) = -1 \text{ for } X < 0$$

Donde:

X_{mediana} es el valor de la mediana de X_i

La distribución de V_k sigue la Kolmogórov-Smirnov para dos muestras:

$$k_s = (2/n) \max |V_k|$$

Con los valores críticos de máx. $|V_k|$ dada por:

$\alpha = 0.10$	$1.22n^{0.5}$
$\alpha = 0.05$	$1.36n^{0.5}$
$\alpha = 0.01$	$1.63n^{0.5}$

Un valor V_k negativo indica que la primera parte de la data histórica tiene una mediana más alta que la última parte y viceversa (Fonseca, 2015).

1.18.2 Desviación acumulada

Este procedimiento verifica si las series de tiempo divididas en dos partes son distintas (para un tiempo desconocido de cambio); en es decir, se supone que los datos se distribuyen de manera normal.

$$\begin{aligned} E(X_i) &= \mu \\ i &= 1, 2, 3, \dots, m \\ E(X_i) &= \mu + \Delta \\ i &= m + 1, m + 1, m + 2, \dots, n \end{aligned}$$

Donde:

μ = Es la media antes de la modificación

Δ = Es el cambio en la media

Las desviaciones acumulativas de los medios se calculan como:

$$\begin{aligned} S_0^* &= 0 & S_k^* &= \sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X}) \\ k &= 1, 2, 3, \dots, n \end{aligned}$$

El valor S_k por la desviación estándar se distribuye en unión con las sumas parciales ajustadas a una escala modificativa:

$$S_k^{**} = S_k^* / D_x \dots \dots \dots Ec. (38)$$

$$D_x^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})^2}{n} \dots \dots \dots Ec. (39)$$

Y se calcula para cada año, con el valor más alto indica el punto de cambio.

Valores críticos de $Q/\sqrt{n}$ se dan en la siguiente tabla. Un valor negativo de S_k indica que la última sección del registro tiene un promedio más alto que la primera parte, y viceversa (Fonseca, 2015).

Tabla 8

Clasificación a nivel de significancia

N°	<i>$Q/\sqrt{n}$ al nivel de significancia</i>		
	$\alpha=0.10$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$
10	1.05	1.14	1.29
20	1.1	1.22	1.42
30	1.12	1.24	1.46
40	1.13	1.26	1.5
50	1.14	1.27	1.52
100	1.17	1.29	1.55
α	1.22	1.36	1.63

Fuente. Manual del TREND (2015).

1.19. Pruebas de diferencias de medias/ medianas

1.19.1 Suma de Rangos

para determinar el promedio estadístico de la prueba de rango; Clasifica todos los datos, comenzando desde el valor más pequeño 1 y aumentando hasta el número mayor N. El procedimiento mediante filas será aplicable en lugar de las relaciones (valores iguales en los datos). suma de los rangos de observaciones en el grupo más pequeño (indicado por N para el número de observaciones engrupo más pequeño y m para el número de observaciones engrupo más grande) para obtener el estadístico S. media teórica y desviación estándar de S para toda la muestra (Fonseca, 2015).

$$\mu = n(N + 1)/2 \dots \dots \dots \text{Ec. (40)}$$

$$\delta = [nm(N + 1)/12]^{0.5} \dots \dots \dots \text{Ec. (41)}$$

La forma estandarizada de los Z_{rs} Prueba estadística se calcula como:

$$\begin{aligned} Z_{rs} &= \frac{S - 0.5 - \mu}{\delta} && \text{Si } S > \mu \\ Z_{rs} &= 0 && \text{Si } S = \mu \\ Z_{rs} &= \frac{S + 0.5 - \mu}{\delta} && \text{Si } S < \mu \end{aligned}$$

Z_{rs} sigue una distribución casi normal y los valores de prueba estadísticos críticos para varios niveles de significancia pueden obtenerse utilizando tablas de probabilidad normales.

1.19.2 Prueba t de Student

Este método verifica si hay una diferencia en la media entre dos períodos. La prueba supone que los datos siguen una distribución normal.

Las tablas estadísticas de Student pueden usarse para obtener valores estadísticos de prueba críticos para varios niveles de significación:

$$t = \frac{(\bar{X} - \bar{Y})}{s \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{m}}} \dots \dots \dots \text{Ec. (42)}$$

En este caso, X e Y son las medias de los primero y segundo períodos, respectivamente, m y n son los números de observaciones en los primero y segundo períodos, respectivamente, y S es la desviación estándar de la muestra de todas las observaciones m y n (Fonseca, 2015).

1.20. Programa ArcGIS

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

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

1.21. Programa QGIS

QGIS es un programa de licencia libre, es decir completamente gratuito, es un sistema de información geográfica que nos ayuda a procesar, analizar, predecir, modelar, tomar decisiones y una gran cantidad de datos obtenidos sobre el territorio y sus elementos constitutivos.

1.22. Programa TREND

El programa TREND permite la prueba estadística de tendencias, cambios y aleatoriedades en series de tiempo hidrológicas. TREND consta de 12 pruebas estadísticas, que se derivan de investigaciones realizadas por expertos de la OMM y la UNESCO. Estas pruebas se presentaron en un taller sobre detección de tendencias y cambios en series temporales hidrológicas y posteriormente se publicaron como Recetas Hidrológicas: Estimation Techniques in Australian Hydrology' by Grayson et. El TREND, qué se basa en pruebas estadísticas relativamente robustas y fácil de entender, es un fácil de usar (Fonseca, 2015).

1.23. Programa Hec-04

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

CAPITULO II

METODOLOGÍA

2.1 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La cuenca Chacco se encuentra ubicado en el Centro Sur del Perú, Chacco se encuentra a una altitud entre 2499-4465m.s.n.m; y tiene un área aproximada de 1112.04 km².

2.1.1. Ubicación política de la cuenca Chacco

Departamento : Ayacucho

Provincia : Huamanga

Distritos : Chiara, Socos, Carmen Alto, San Juan Bautista, Acroco, Quinua, Jesús Nazareno, Tambillo, Vinchos, Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, Acos Vinchos y Ayacucho

2.1.2. Ubicación geográfica de la cuenca Chacco

Altitud mínima : 2499 m.s.n.m.

Altitud media : 3707 m.s.n.m.

Altitud máxima : 4465 m.s.n.m.

2.1.3. Ubicación hidrográfica de la cuenca Chacco

Por el Norte : La cuenca del río Ene.

Por el Este : La cuenca del río Apurímac

Por el Oeste : El océano Pacífico

Por el Sur : La cuenca del río Pampas

2.1.4. Punto de aforo

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

Tabla 9

Punto de aforo de la cuenca Chacco

Descripción	Valor	Unidad
Este	585931.27	m
Norte	8551879.51	m
Altura	2472	m.s.n.m.
Zona	18 S	
Datum	WGS_1984_UTM	

Fuente. Elaboración propia

2.1.5. Red hídrica de la cuenca Chacco

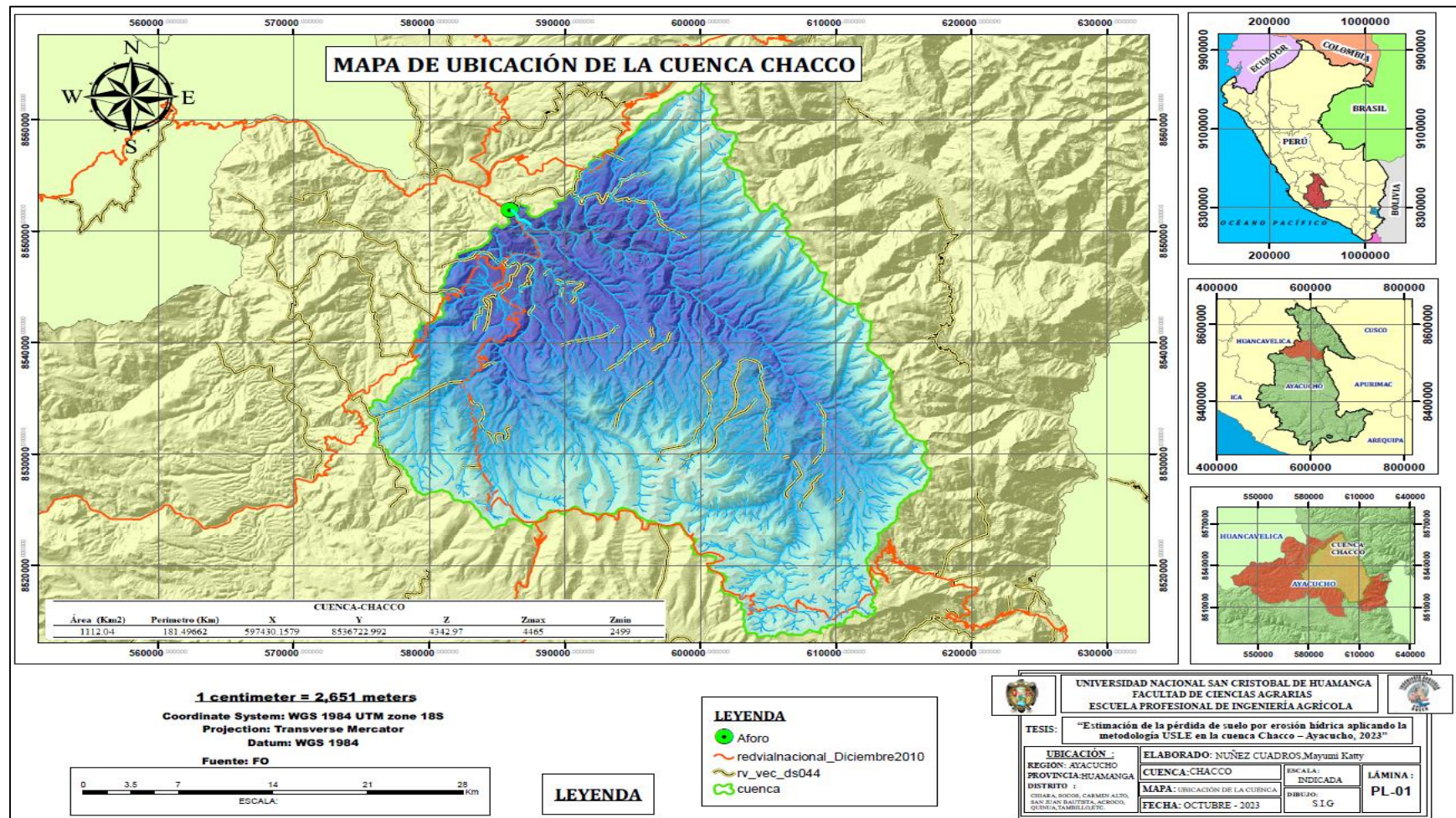
De acuerdo al punto de aforo determinado sobre la red hídrica del río Chacco se considera dos vertientes tales son las siguientes:

1. La cuenca formada por el río Yucaes, esta red hídrica está conformada por las aguas de Tambillo y Acocro, tomando una dirección de oeste a este se unen al Huatatas, considerado como una de las vertientes del río Chacco.
2. La cuenca del Chacco está formada por el río Huatatas y Alameda que se reúne de las aguas de Lambrashuayco y Chilicruz, desembocando en el río Chacco.

La desembocadura de todos estos ríos conforma la red hídrica Chacco y el punto de aforo de interés, aguas abajo conformando el río Pongora y luego el río Cachi.

Figura 9

Mapa de ubicación de la cuenca Chacco – Ayacucho



Fuente. Elaboración propia

2.2. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.2.1. Población

La población de la cuenca Chacco lo integran 12 distritos los cuales se menciona en la siguiente tabla.

Tabla 10

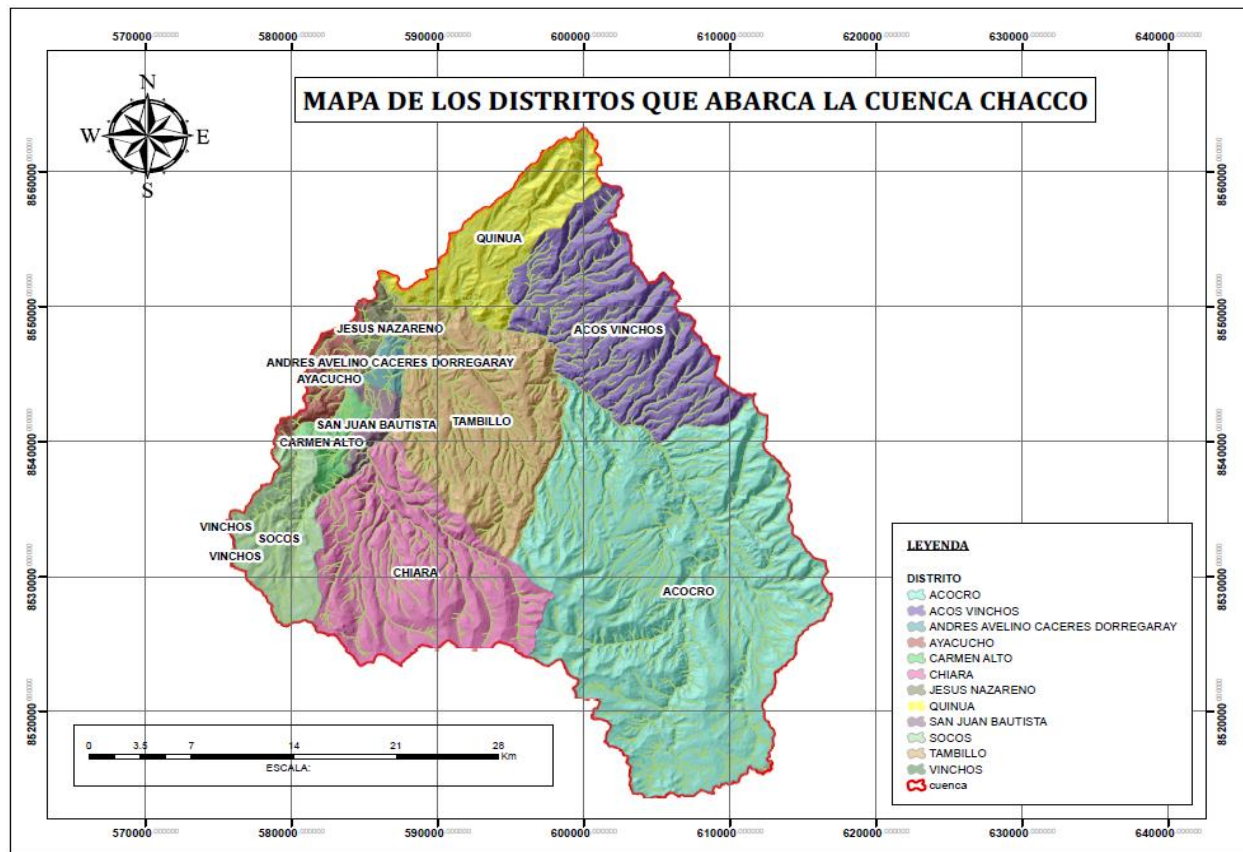
Población que intervienen a la cuenca Chacco

Nº	Distritos	Población Hab.	Altitud (m.s.n.m)	Latitud (Sur)	Longitud (Oeste)	Área (Km ²)
1	Ayacucho	99427	2761	13°9'37"	74°13'33"	23.83
2	Chiara	5698	3511	13°16'23"	74°12'21"	165.23
3	San Juan Bautista	49034	2786	13°9'58"	74°13'25"	14.96
4	Carmen Alto	28252	2921	13°10'33"	74°13'35"	17.26
5	Jesús Nazareno	18492	2817	13°9'17"	74°12'56"	12.45
6	Tambillo	5047	3111	13°11'40"	74°6'39"	150.88
7	Vinchos	13634	3155	13°14'31"	74°21'16"	0.45
8	Acos Vinchos	4359	2874	13°6'45"	74°5'59"	153.94
9	Quinua	5083	3301	13°2'57"	74°8'2"	77.27
10	Acroco	7403	3265	13°13'8.9"	74°2'31"	427.12
11	Andres Avelino Cáceres Dorregaray	28472	2775	13°9'42"	74°12'38"	9.14
12	Socos	5952	3368	13°12'52"	74°17'21"	58.34
TOTAL:		270853				

Fuente. Instituto Nacional de Estadística e Informática Ayacucho (2018).

Figura 10

Mapa de los distritos que abarca la cuenca Chacco



2.2.2. Acceso a la cuenca Chacco

La zona de estudio cuenta con una amplia red de carreteras tomando como centro la ciudad de Ayacucho, tales que son la vía de la localidad de Muyurina con la carretera Norte que entrelaza con ciudad de Ayacucho.

Tabla 11

Accesibilidad a la cuenca Chacco

Desde	A	Tiempo Hora	Distancia (km)	Tipo de Vía
Ayacucho	Puente Chacco	00:35	11.3	Pista asfaltada
Puente Chacco	Punto de aforo	00:10	0.01	Trocha Carrozable

Fuente. Elaboración propia

2.2.3. Variables climáticas

En el área de estudio de la cuenca Chacco, hay zonas con amplias quebradas y zonas planas que generan microclimas, como indica el mapa climático del Perú en el servidor Geo GPS PERÚ. La información se basa en el SENAMHI y su capa de *Shapefile* de clasificación climática del año 2020, que se muestra en la siguiente tabla 12.

Tabla 12

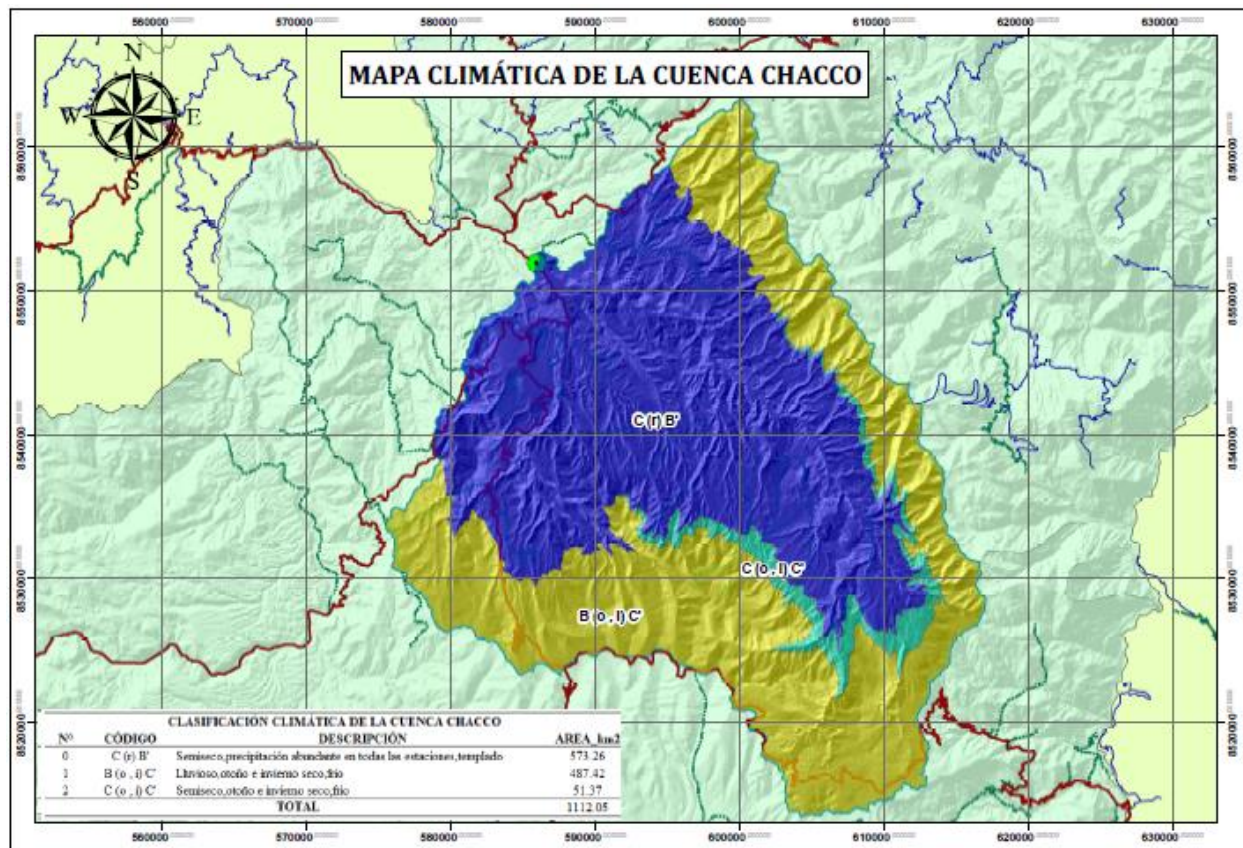
Clasificación climática de la cuenca Chacco

CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE LA CUENCA CHACCO			
Nº	Código	Descripción	Area_km ²
1	C (r) B'	Semiseco, precipitación abundante en todas las estaciones, templado	573.26
2	B (o, i) C'	Lluvioso, otoño e invierno seco, frío	487.42
3	C (o, i) C'	Semiseco, otoño e invierno seco, frío	51.37
TOTAL			1112.04

En la figura 11 mostrada, se puede observar la distribución de las áreas climáticas en la cuenca Chacco. Se ha determinado que esta cuenca tiene una extensión mayor de área de 573.26 km² y se le ha clasificado según el método de Thornthwaite. Este método describe las condiciones climáticas como semisecas, con una distribución de precipitación abundante en todas las estaciones y una temperatura templada.

Figura 11

Mapa climática de la cuenca Chacco



2.2.4. Fisiografía

La cuenca Chacco se caracteriza por tener una amplia diversidad de categorías fisiográficas, tal como se detalla en la tabla 13 adjunta. Cada una de estas categorías presenta paisajes fisiográficos con diferentes formaciones geológicas y litologías, tal y como se indica en el mapa fisiográfico del Perú disponible en el servidor Geo GPS PERÚ. El formato que se proporciona es *shapefile* y proviene de la fuente ONERN.

Tabla 13*Clasificación fisiográfica de la cuenca Chacco*

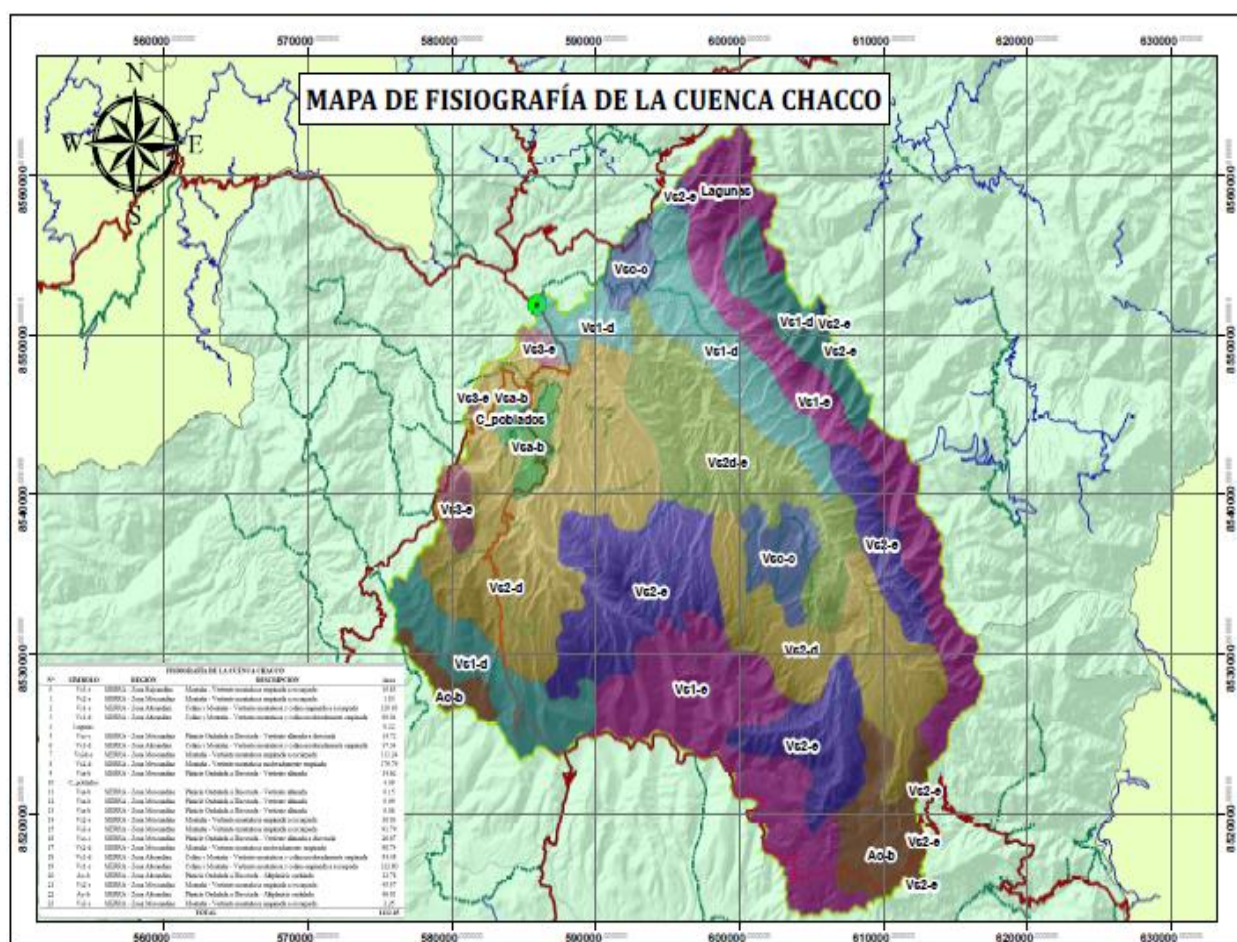
FISIOGRAFÍA DE LA CUENCA CHACCO					
N°	Símbolo	Región	Descripción	Área_km²	Porcentaje
1	Vs3-e	SIERRA - Zona Bajoandina	Montaña - Vertiente montañosa empinada a escarpada	15.83	1.42
2	Vs2-e	SIERRA - Zona Mesoandina	Montaña - Vertiente montañosa empinada a escarpada	1.83	0.16
3	Vs1-e	SIERRA - Zona Altoandina	Colina y Montaña - Vertiente montañosa y colina empinada a escarpada	120.93	10.87
4	Vs1-d	SIERRA - Zona Altoandina	Colina y Montaña - Vertiente montañosa y colina moderadamente empinada	80.04	7.20
5	Lagunas			0.22	0.02
6	Vso-c	SIERRA - Zona Mesoandina	Planicie Ondulada a Disectada - Vertiente allanada a disectada	14.72	1.32
7	Vs1-d	SIERRA - Zona Altoandina	Colina y Montaña - Vertiente montañosa y colina moderadamente empinada	37.34	3.36
8	Vs2d-e	SIERRA - Zona Mesoandina	Montaña - Vertiente montañosa empinada a escarpada	111.24	10.00
9	Vs2-d	SIERRA - Zona Mesoandina	Montaña - Vertiente montañosa moderadamente empinada	179.79	16.17
10	Vsa-b	SIERRA - Zona Mesoandina	Planicie Ondulada a Disectada - Vertiente allanada	14.62	1.31
11	C_poblados			4.09	0.37
12	Vsa-b	SIERRA - Zona Mesoandina	Planicie Ondulada a Disectada - Vertiente allanada	0.15	0.01
13	Vsa-b	SIERRA - Zona Mesoandina	Planicie Ondulada a Disectada - Vertiente allanada	0.09	0.01
14	Vsa-b	SIERRA - Zona Mesoandina	Planicie Ondulada a Disectada - Vertiente allanada	0.06	0.01
15	Vs2-e	SIERRA - Zona Mesoandina	Montaña - Vertiente montañosa empinada a escarpada	30.03	2.70
16	Vs2-e	SIERRA - Zona Mesoandina	Montaña - Vertiente montañosa empinada a escarpada	91.79	8.25
17	Vso-c	SIERRA - Zona Mesoandina	Planicie Ondulada a Disectada - Vertiente allanada a disectada	26.67	2.40
18	Vs2-d	SIERRA - Zona Mesoandina	Montaña - Vertiente montañosa moderadamente empinada	98.74	8.88
19	Vs1-d	SIERRA - Zona Altoandina	Colina y Montaña - Vertiente montañosa y colina moderadamente empinada	54.48	4.90
20	Vs1-e	SIERRA - Zona Altoandina	Colina y Montaña - Vertiente montañosa y colina empinada a escarpada	122.80	11.04
21	Ao-b	SIERRA - Zona Altoandina	Planicie Ondulada a Disectada - Altiplanicie ondulada	12.78	1.15
22	Vs2-e	SIERRA - Zona Mesoandina	Montaña - Vertiente montañosa empinada a escarpada	45.57	4.10

23	Ao-b	SIERRA - Zona Altoandina	Planicie Ondulada a Disectada - Altiplanicie ondulada	46.01	4.14
24	Vs2-e	SIERRA - Zona Mesoandina	Montaña - Vertiente montañosa empinada a escarpada	2.25	0.20
TOTAL				1112.04	100.00

En el gráfico 12 presentado, se puede apreciar la distribución de las áreas fisiográficas en la cuenca Chacco. Se ha determinado que la extensión del área mayor de 179.79 km² con un porcentaje de 16.17% del área total presenta y se ha clasificado como región Sierra - Zona Mesoandina Montaña de Vertiente montañosa moderadamente empinada.

Figura 12

Mapa fisiográfica de la cuenca Chacco



2.3. MATERIALES Y EQUIPOS

2.3.1. Materiales

- ✓ Imágenes satelitales del servidor ALOS PALSAR en formato DEM de 12.5 m de la cuenca Chacco.
- ✓ Imágenes satelitales del Sentinel 2A de la cuenca Chacco.
- ✓ Mapas del servidor GEO GPS PERU en formato *shapefile*.
- ✓ Datos de las estaciones meteorológicas tales como el SENAMHI, ANA y Gobierno Regional de Ayacucho.
- ✓ Materiales de escritorio.

2.3.2. Equipos

- ✓ GPS navegador
- ✓ Cámara
- ✓ Laptop Core i7
- ✓ Programa Arcgis 10.3
- ✓ Programa QGis 3.22.9
- ✓ Programa Hec-04
- ✓ Programa TREND
- ✓ Office 2016 Word, Excel, etc.
- ✓ Programa Google Earth Pro
- ✓ Libreta de campo.
- ✓ Pico
- ✓ Pala y bolsas
- ✓ Notas adhesivas

2.4. PROBLEMA GENERAL

- Estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando la metodología USLE en la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023.

2.5. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cómo se estima los factores de la erosión hídrica R, K, LS, P en la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023?
- ¿Cómo se estima el factor C cobertura vegetal a partir del satélite Sentinel 2A en la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023?
- ¿Cómo se determinar la erosión potencial y actual de la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023?

2.6. METODOLOGÍA

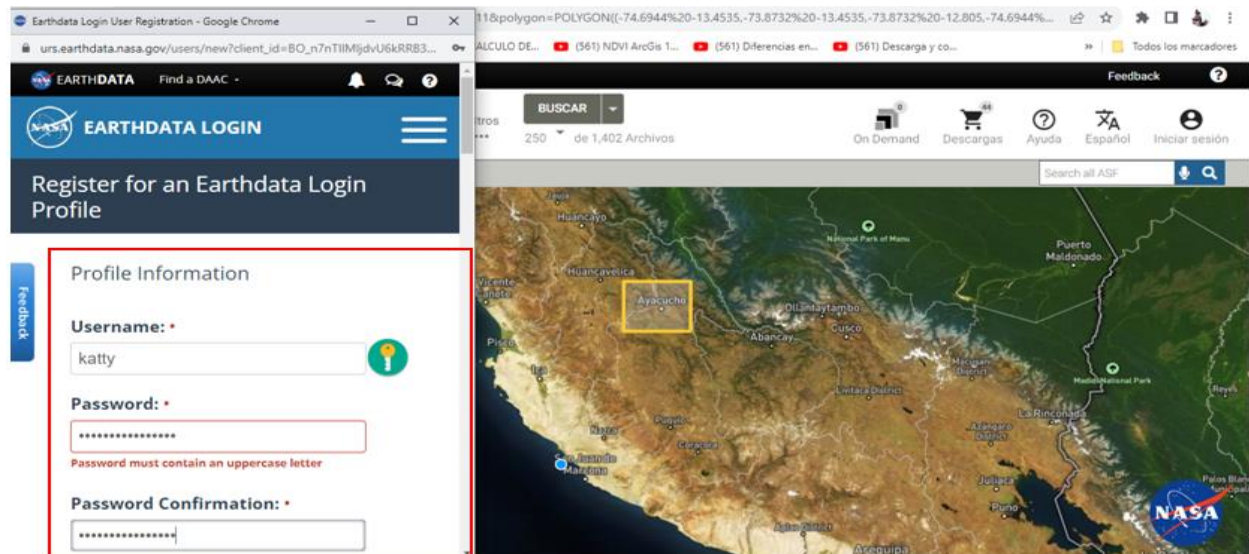
La metodología para este trabajo de investigación se dio en 3 fases para el análisis de la información:

2.6.1. Fase preliminar

1. Se inició sesión en EARTHDATA donde previo registro en la página [web](#), se descargó las imágenes de modelo digital y así recibimos un correo electrónico de confirmación donde activamos al usuario para iniciar sesión.

Figura 13

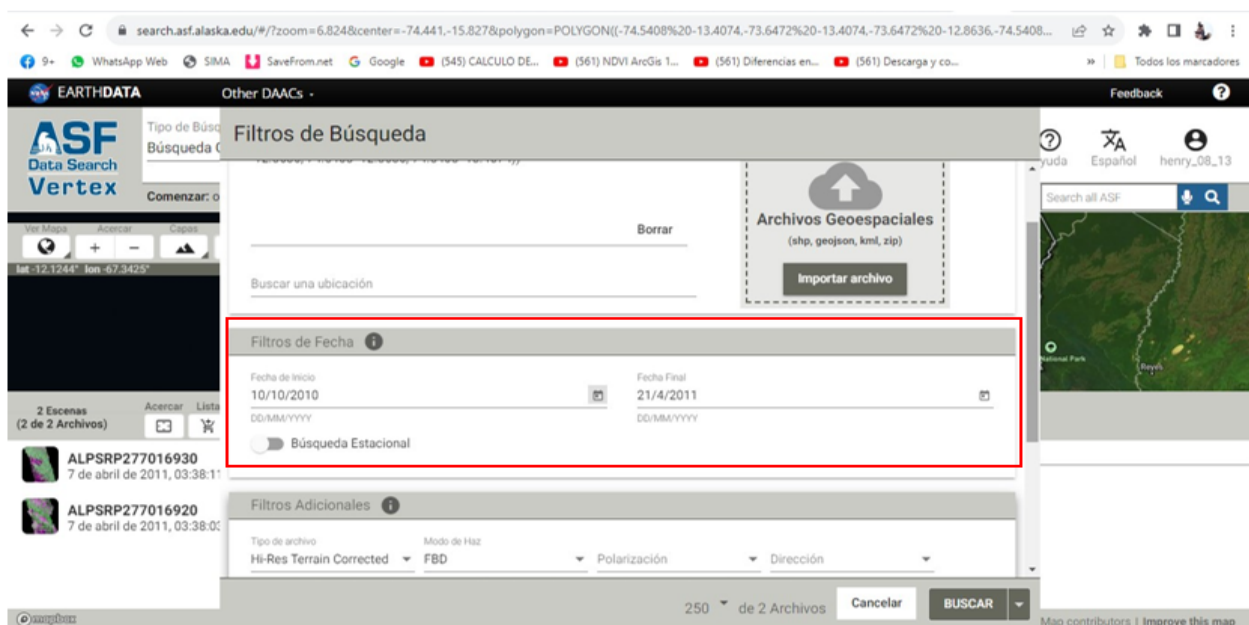
Registro del inicio de sesión en EARTHDATA



2. Posteriormente, se seleccionó el tipo de búsqueda geográfica, conjuntos de datos ALOS PALSAR, filtros adicionales_terreno de alta resolución corregido, modo_FUD, se seleccionó la fecha desde 01/06/2010 al 21/04/2011 para la descarga del DEM.

Figura 14

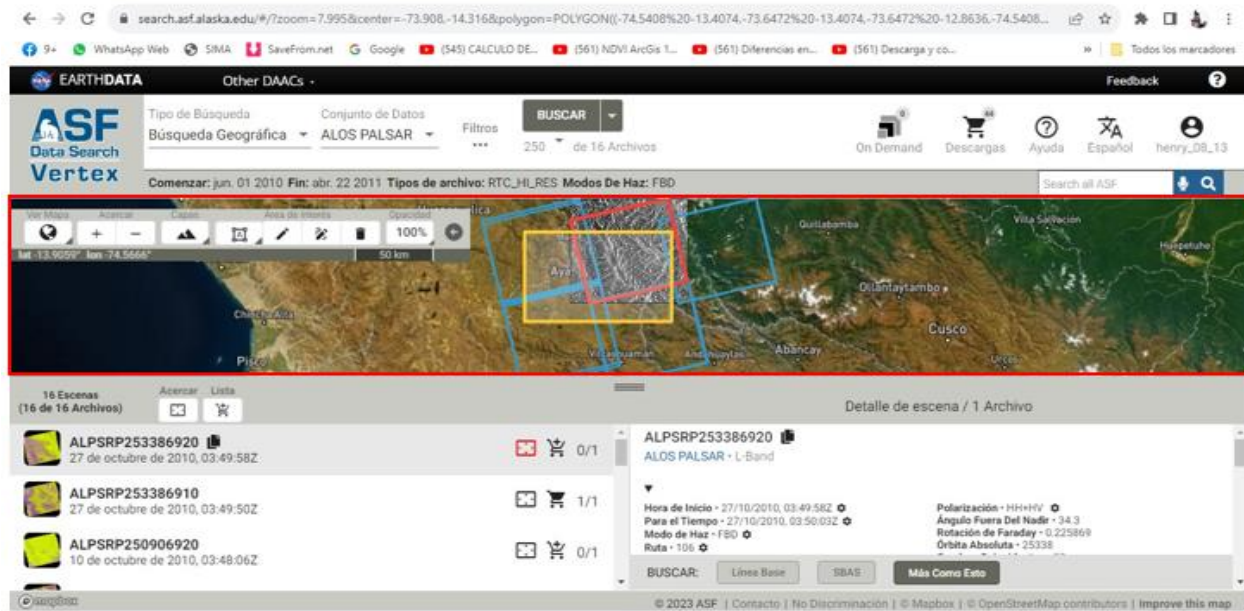
Periodo de selección del satélite de ALOS PALSAR



3. Se descendieron DEM del satélite ALOS PALSAR, seleccionando las capas de interferencia más grande en el área de estudio como ALPSRP253386920 y ALPSRP253386910 del 27 de octubre de 2010 en formato TIFF a resolución 12.5m.

Figura 15

Descarga del formato DEM del satélite ALOS PALSAR



4. Se realizó la recopilación de datos históricos de las precipitaciones mensuales usando los servidores de la página del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), Autoridad Nacional del Agua (ANA) y del Gobierno Regional de Ayacucho.
5. Se realizó la delimitación de la cuenca Chacco para poder contrarrestar con la información preliminar de la ZEE del departamento de Ayacucho.
6. Se seleccionó los 15 puntos de muestreo para la extracción de muestras de suelo, longitudes, pendientes, cobertura vegetal y los usos de suelos que fueron visualizados por el servidor del Google Earth.

2.6.2. Fase de campo

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

2.6.3. Fase gabinete

1. Delimitación de la cuenca y Cálculo de parámetros geomorfológicos de la cuenca Chacco utilizando las fórmulas descritas.
2. Se calculó el Factor R para poder determinar el Raster del Factor R.
3. Se procesó el Raster del factor R para generar el mapa y determinar los niveles de erosividad de la lluvia de acuerdo a la clasificación establecida por el FAO (1980).
4. Las 15 muestras de suelo obtenidas en campo se analizaron en laboratorio de suelos AGROLAB determinándose la textura de suelo y cantidad de materia orgánica.
5. Los resultados obtenidos del laboratorio AGROLAB nos permitieron determinar el Factor K de erodabilidad del suelo de la zona cuenca Chacco.
6. Teniendo el Raster de la cuenca Chacco se determinó la pendiente y longitud elaborando el mapa del Factor LS de la zona de estudio.

7. Se procesó los datos de las imágenes satelital del Sentinel 2A para la Cálculo de la cobertura vegetal clasificándolo a partir del índice (NDVI)y finalmente se elaboró el mapa del Factor C para la cuenca Chacco.
8. Una vez determinado los factores R, K, LS se determinó la erosión potencial de la cuenca Chacco y finalmente se elaboró el mapa de los niveles de erosión potencial.
9. Una vez determinada la erosión potencial se multiplicó por el Factor C y P para determinar la erosión actual de la cuenca Chacco y finalmente se elaboró el mapa de los niveles de erosión actual.
10. Con los resultados obtenidos se realizaron tablas, mapas de los niveles de erosión hídrica de la cuenca Chacco.

2.6.3.1 Delimitación de cuenca y Cálculo de los parámetros geomorfológicos

Los análisis geomorfológicos de la cuenca Chacco para determinar los parámetros de la cuenca fueron a partir de la delimitación con el programa ArcGIS 10.3 considerando el siguiente procedimiento:

Paso 1: Se realizó la ubicación del área de intervención de la cuenca Chacco y se descargó el DEM del satélite ALOS PALSAR en formato TIFF con una resolución de 12.5m para delimitar la cuenca en el programa ArcGIS 10.3.

Paso 2: El DEM descargado del satélite ALOS PALSAR en formato TIF se procesó a formato FILL, para ello se importa a **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Hydrology) y se aplica **FILL**.

Paso 3: Para generar la dirección de flujo se ingresó a **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Hydrology) y se le aplica **Flow Direction**.

Paso 4: Nuevamente generamos la dirección de flujo para ello se ingresó **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Hydrology) y se le aplica **Flow Accumulation**.

Paso 5: Creamos un *Shapefile* del punto de aforo de la cuenca Chacco para ello se ingresa **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Hydrology) y se le aplica **Watershed**.

Paso 6: Finalmente se realizó la delimitación de la cuenca Chacco y lo transformamos al formato *Shapefile* – polígono para ello se ingresa **ARCTOOLBOX** (3D Analyst Tools_Conversion_From RASTER) y se le aplica **Raster to polygon**.

Paso 7: Se determinó los parámetros geomorfológicos de la cuenca Chacco utilizando las fórmulas del marco teórico, tales como:

-  Parámetros de forma.
-  Rectángulo equivalente
-  Parámetros de relieve.
-  Parámetros relacionados con la red hidrográfica.
-  Desnivel total de la cuenca
-  Pendiente de la cuenca

2.6.3.2 Cálculo de los factores R, K, LS y P.

1. Cálculo del FACTOR R (Erosividad)

Paso 1: Análisis de consistencia y estadístico de la precipitación

a) Análisis e interpretación de la información

Para el análisis de la precipitación mensual de las estaciones en estudio se usó el análisis de consistencia tales como curva de doble masa, pruebas estadísticas y los histogramas representativos; por lo cual permitió determinar los valores atípicos y las estaciones no homogéneas.

La concreción y extensión de datos de precipitación faltante de las estaciones en estudio se realizó mediante el programa Hec-04 y el análisis de las pruebas estadísticas fue realizado con el programa TREND es un programa libre que nos permitió realizar el análisis de saltos y tendencias.

b) Elección del periodo de estudio

La información hidrometeorológica de las estaciones se seleccionó entre los periodos de enero de 1995 a diciembre del 2022, en base a este periodo de selección se realizó el análisis exploratorio; en la siguiente figura se observa la información completa color Rosado, incompleta color plomo y vacías color blanco de los datos de las precipitaciones según las estaciones en estudio.

Figura 16

Registro de datos de precipitación desde los periodos 1995-2022

N°	ESTACIONES	PROPIETARIO	ALTITUD m.s.n.m.	REGISTRO DE DATOS																										
				1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	TAMBILLO	GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO	3250.0																											
2	SAN PEDRO DE QUICATO	SENAMHI	3497.0																											
3	HUANTA	SENAMHI	2521.0																											
4	QUINUA	SENAMHI	3316.0																											
5	WAYLLAPAMPA	ANA	2470.0																											
6	PAMPA CANGALLO	SENAMHI	3315.0																											
7	INIA - CANAAN	GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO	2735.0																											
8	BELLAVISTA-CHIARA	GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO	3400.0																											

	REGISTROS COMPLETOS
	REGISTROS INCOMPLETOS
	REGISTROS VACIOS

c) Descripción de la información hidrometeorológica

Las estaciones hidrometeorológicas corresponden a la zona 18S, estos datos extraídos del SENAEMI fueron datos diarios que se convirtieron en datos mensuales; mientras que los datos proporcionados por el ANA y Gobierno Regional de Ayacucho fueron a nivel mensual; donde se trabajó con 8 estaciones en la zona de estudio de la cuenca Chacco.

Tabla 14

Estaciones hidrometeorológicas circunscritas de la cuenca Chacco

RED DE ESTACIONES METEOROLOGICAS								
N°	Estaciones	Tipo	Propietario	Coord. geográficas		Altitud (m.s.n.m.)	Periodo de registro	Récord de años
				Latitud	Longitud			
1	TAMBILLO	PLU	GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO	13°13'6.7" S	74°6'26" W	3250	1995-2022	28
2	SAN PEDRO DE QUICATO	PLU	SENAMHI	13°17'44" S	74°1'33" W	3497	1995-2022	28
3	HUANTA	PLU	SENAMHI	12°54'41" S	74°16'60" W	2521	1995-2022	28
4	QUINUA	PLU	SENAMHI	13°2'2" S	74°8'7" W	3316	1995-2022	28
5	WAYLLAPAMPA	PLU	ANA	13°4'35" S	74°12'59" W	2470	1995-2022	28
6	PAMPA CANGALLO	PLU	SENAMHI	13°33'49" S	74°11'56" W	3315	1995-2022	28
7	INIA - CANAAN	PLU	GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO	13°10'0.1" S	74°12'23" W	2735	1995-2022	28
8	BELLAVISTA- CHIARA	PLU	GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO	13°17'25" S	74°12'20" W	3400	1995-2022	28

Fuente. Elaboración propia

d) Análisis de consistencia

Se determina mediante la evaluación de histogramas y el método de las curvas másicas o curvas acumulativas dobles se puede utilizar para examinar y corregir el efecto de la exposición o el cambio de ubicación en las estadísticas de precipitación de la estación.

e) Concreción y extensión de datos pluviométricas

El programa Hec-04 fue utilizado para completar y extender los datos, tanto mensuales faltantes como datos atípicos, que fueron tratados como datos faltantes. Esto permitió realizar un análisis de tendencias posterior y aumentar la confiabilidad de los datos.

f) Pruebas Estadísticas

En este estudio se llevó a cabo un análisis de los fenómenos de "salto" o "no homogeneidad" utilizando las pruebas estadísticas para determinar los cambios bruscos en los valores medios anuales de una serie de precipitaciones en los procesos de observación. Los cambios conocidos como "saltos" son fáciles de detectar haciendo uso de los test no paramétricos.

Paso 2: Se determinó el promedio de las PP mensuales como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 15

Promedio de precipitaciones mensuales según estación

				PROMEDIO DE PP MENSUALES												
X(ESTE)	Y(NORTE)	COTA	ESTACIONES	ENE	FEB	ABR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
605518.1	8529973.2	3497	SAN PEDRO DE QUICATO	163.0	161.8	115.1	46.2	19.0	8.1	11.7	14.0	28.1	58.7	66.4	118.1	810.21
577755.9	8572560.9	2521	HUANTA	103.5	94.1	78.9	33.6	11.7	4.2	6.2	8.2	13.5	31.2	43.9	98.4	527.34
593762.1	8558957	3316	QUINUA	129.8	149.8	116.8	41.3	20.8	4.2	11.3	13.8	29.8	58.0	68.4	116.2	760.18
584940.1	8554273	2470	WAYLLAPAMPA	111.2	119.9	96.1	31.5	15.0	2.8	9.0	11.8	20.4	31.9	49.8	84.7	584.03
586676.5	8500589.5	3315	PAMPA CANGALLO	149.7	156.4	137.3	51.7	8.7	5.7	7.2	9.3	27.4	38.8	51.0	110.8	754.01
586007.4	8544295.6	2735	INIA - CANAAN	105.6	122.2	93.7	39.4	12.0	5.6	12.5	10.2	23.0	32.9	49.6	88.1	594.79
596831.8	8538526.7	3250	TAMBILLO	134.2	140.5	118.6	43.1	16.1	11.0	11.1	11.3	20.8	44.7	61.5	115.3	728.32
585460.9	8530614.1	3400	BELLAVISTA-CHIARA	144.0	132.2	131.9	47.2	17.6	5.5	12.2	18.6	22.5	45.6	54.7	100.4	732.48

Fuente. Elaboración propia

Paso 3: Una vez determinado el promedio de las precipitaciones de las 8 estaciones se realizó el cálculo del Índice de Fournier

Modificado IFM aplicando la Ec. 12 y teniendo como resultado en la siguiente tabla:

Tabla 16

Cálculo del IMF para determinar del factor de erosividad

CÁLCULO DEL INDICE MODIFICADO DE FOURNIER																
X(ESTE)	Y(NORTE)	COTA	ESTACIONES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL_IMF
605518.1	8529973.2	3497	SAN PEDRO DE QUICATO	32.80	32.31	16.34	2.63	0.45	0.08	0.17	0.24	0.97	4.25	5.44	17.22	112.92
577755.9	8572560.9	2521	HUANTA	20.33	16.80	11.80	2.14	0.26	0.03	0.07	0.13	0.34	1.84	3.66	18.35	75.76
593762.1	8558957	3316	QUINUA	22.17	29.50	17.95	2.25	0.57	0.02	0.17	0.25	1.17	4.43	6.15	17.75	102.38
584940.1	8554273	2470	WAYLLAPAMPA	21.17	24.60	15.81	1.70	0.38	0.01	0.14	0.24	0.71	1.74	4.24	12.29	83.05
586676.5	8500589.5	3315	PAMPA CANGALLO	29.73	32.45	25.00	3.54	0.10	0.04	0.07	0.12	0.99	2.00	3.44	16.29	113.78
586007.4	8544295.6	2735	INIA - CANAAN	18.76	25.10	14.75	2.61	0.24	0.05	0.26	0.18	0.89	1.82	4.14	13.04	81.84
596831.8	8538526.7	3250	TAMBILLO	24.74	27.12	19.31	2.55	0.36	0.17	0.17	0.18	0.60	2.75	5.20	18.24	101.36
585460.9	8530614.1	3400	BELLAVISTA-CHIARA	28.32	23.87	23.76	3.04	0.42	0.04	0.20	0.47	0.69	2.84	4.09	13.75	101.50

Fuente. Elaboración propia

Paso 4: Por consiguiente, se determinó los valores del Factor R para los meses secos Mayo-Septiembre aplicando la **Ec. 13** y meses húmedos Octubre- Abril aplicando la **Ec. 14**; por lo tanto se obtuvo siguiente tabla:

Tabla 17

Cálculo del factor de erosividad R para la cuenca Chacco

				CÁLCULO DE FACTOR R (MJ.mm/ha.h.año)													
X(ESTE)	Y(NORTE)	COTA	ESTACIONES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	FACTOR R	
605518.1	8529973.2	3497	SAN PEDRO DE QUICATO	46.22	45.69	26.95	6.56	2.86	1.49	1.90	2.18	4.33	9.51	11.51	28.07	187.26	
577755.9	8572560.9	2521	HUANTA	31.92	27.53	20.95	5.58	2.23	1.20	1.45	1.73	2.53	4.97	8.46	29.49	138.06	
593762.1	8558957	3316	QUINUA	34.13	42.58	28.98	5.80	3.22	1.12	1.90	2.22	4.82	9.82	12.65	28.74	175.97	
584940.1	8554273	2470	WAYLLAPAMPA	32.94	36.99	26.28	4.68	2.66	1.03	1.76	2.16	3.64	4.76	9.49	21.61	148.02	
586676.5	8500589.5	3315	PAMPA CANGALLO	42.83	45.84	37.46	8.26	1.59	1.27	1.42	1.66	4.38	5.30	8.08	26.89	184.99	
586007.4	8544295.6	2735	INIA - CANAAN	29.99	37.57	24.90	6.52	2.18	1.33	2.26	1.93	4.12	4.92	9.31	22.63	147.65	
596831.8	8538526.7	3250	TAMBILLO	37.15	39.89	30.67	6.40	2.58	1.88	1.90	1.92	3.30	6.78	11.10	29.35	172.93	
585460.9	8530614.1	3400	BELLAVISTA-CHIARA	41.25	36.14	36.00	7.34	2.79	1.26	2.03	2.94	3.58	6.96	9.22	23.58	173.10	

Fuente. Elaboración propia

Paso 5: Se procedió a ejecutar el programa ArcGIS y lo georreferenciamos WGS 184 UTM Zona 18S Coordenadas geográficas UTM.

Paso 6: Por siguiente se seleccionó la herramienta FILE donde se seleccionó **ADD Data** y seleccionamos la base de datos para importar en el ArcGIS con la herramienta AddXY_Data_Tabla R.

Paso 7: Se realizó la interpolación de las precipitaciones seleccionando la ventana del **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_ Interpolation_spline) se trabajó para un pixel de 12.5.

Paso 8: Finalmente se generó el mapa de Isoyetas del FACTOR R.

2. Cálculo del FACTOR K (Erodabilidad)

Paso 1: Se realizó estudios el análisis físico de suelos en el laboratorio, este trabajo se realizó en Insitu los resultados en la siguiente tabla 18.

Tabla 18

Resultados del análisis físico del suelo de la cuenca Chacco

N° Lab.	Código campo	Arena	Limo %	Arcilla	M.O. %	Clase Textural	Coordenadas X	Coordenadas Y	Altitud m.s.n.m.
AS 111823	M-01	68.00	16.00	16.00	1.23	Fr.A..	586428	8533104.9	3445
AS 111824	M-02	66.00	14.00	20.00	4.31	Fr.A..	598523	8525509.6	3971
AS 111825	M-03	60.00	16.00	24.00	2.57	Fr.Ar.A...	608525	8516098.6	4176
AS 111826	M-04	58.00	22.00	20.00	9.03	Fr.A..	609238	8527967.3	3378
AS 111827	M-05	64.00	14.00	22.00	0.67	Fr.Ar.A...	602432	8531752.0	3590
AS 111828	M-06	54.00	20.00	26.00	8.73	Fr.Ar.A...	604022	8538915.0	3227
AS 111829	M-07	58.00	16.00	26.00	9.54	Fr.Ar.A...	596525	8536192.0	3321
AS 111830	M-08	60.00	20.00	20.00	0.78	Fr.A..	584636	8538788.0	3069
AS 111831	M-09	60.00	16.00	24.00	4.89	Fr.Ar.A...	579155	8534437.0	3798
AS 111832	M-10	76.00	14.00	10.00	3.27	Fr.A..	602377	8546462.0	3301
AS 111833	M-11	54.00	18.00	28.00	8.43	Fr.Ar.A...	584268	8546770.0	2793
AS 111834	M-12	48.00	26.00	26.00	10.23	Fr.Ar.A...	582137	8545738.0	3158
AS 111835	M-13	61.00	13.00	26.00	6.70	Fr.Ar.A...	598466	8550260.0	3034
AS 111836	M-14	57.00	19.00	24.00	8.37	Fr.Ar.A...	591811	8555238.0	2028
AS 111837	M-15	81.00	11.00	8.00	0.23	A.Fr....	587622.9	8550546.8	2503

.Fr.A. Franco arenosa .. Fr.Ar.A. Franco arcillo arenosa ... A.Fr. Arenosa franca

Fuente. Elaboración propia

Paso 2: Se aplicó el cálculo del factor K utilizando las fórmulas de Williams los resultados se muestran en la siguiente tabla 19.

Tabla 19

Cálculo del factor de erodabilidad K para la cuenca Chacco

Nº Lab.	Arena %	Limo %	Arcilla %	Carbón orgánico %	F arena	F lim-arc	F car.org	F par. arena	K usle	K
AS 111823	68	16	16	1.23	0.270	0.812	0.868	0.965	0.183	0.024
AS 111825	60	16	24	2.57	0.283	0.760	0.752	0.993	0.160	0.021
AS 111824	66	14	20	4.31	0.270	0.766	0.750	0.976	0.152	0.020
AS 111826	58	22	20	9.03	0.294	0.824	0.750	0.995	0.181	0.024
AS 111827	64	14	22	0.67	0.273	0.753	0.974	0.984	0.197	0.026
AS 111828	54	20	26	8.73	0.299	0.779	0.750	0.998	0.174	0.023
AS 111829	58	16	26	9.54	0.286	0.749	0.750	0.995	0.160	0.021
AS 111830	60	20	20	0.78	0.288	0.812	0.960	0.993	0.223	0.029
AS 111831	60	16	24	4.89	0.283	0.760	0.750	0.993	0.160	0.021
AS 111832	76	14	10	3.27	0.256	0.851	0.750	0.863	0.141	0.017
AS 111833	54	18	28	8.43	0.297	0.755	0.750	0.998	0.168	0.022
AS 111834	48	26	26	10.23	0.321	0.812	0.750	0.999	0.195	0.026
AS 111835	61	13	26	6.7	0.277	0.719	0.750	0.991	0.148	0.020
AS 111836	57	19	24	8.37	0.292	0.783	0.750	0.996	0.171	0.023
AS 111837	81	11	8	0.23	0.247	0.849	0.997	0.736	0.154	0.020

Paso 3: Una vez que se completó los cálculos, se creó una tabla de datos de textura del suelo y se ingresó al ArcGIS 10.3 donde se seleccionó la ventana del **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_ Interpolation_IDW) se trabajó para un pixel de 12.5.

Paso 4: Se realizó el corte de la cuenca donde se seleccionó la ventana **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Extraction_Extract by Mask) y aplicamos ejecutar.

Paso 5: Se obtuvo el producto final del Factor K y se generó el mapa de erodabilidad.

3. Cálculo del FACTOR L.S (Factor topográfico)

a. Cálculo del FACTOR (L)

Paso 1: Ingresamos al ArcGIS 10.3 y ejecutamos la ventana de herramientas **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Surface_Slope_Guardamos como BETA) y aplicamos ejecutar.

Paso 2: Se ejecutó la ventana de herramientas **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Map Algebra_Raster Calculator_Guardamos como Parámetro_F), ingresamos la siguiente fórmula: $(\sin ("BETA" * 0.01745) / 0.0896) / (3 * \text{Power}(\sin ("BETA" * 0.01745), 0.8))$; el valor de 0.01745 se le multiplica para transformarlo a radianes y finalmente aplicamos ejecutar.

Paso 3: Se ejecutó la ventana de herramientas **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Map Algebra_Raster Calculator_Guardamos como Parámetro_M), ingresamos la siguiente fórmula: $"\text{Parámetro}_F" / (1 + "\text{Parámetro}_F")$ y finalmente aplicamos ejecutar.

Paso 4: Se determinó la Dirección del flujo para ello se ejecutó **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Hydrology_Flow Direction_Guardamos como Flow_D) y finalmente aplicamos ejecutar.

Paso 5: Se determinó la Dirección del flujo para ello se ejecutó **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Hydrology_Flow Accumulation _Guardamos como Flow_AC) y finalmente aplicamos ejecutar.

Paso 6: Se aplicó la siguiente fórmula de la **EC. 24** para ello se ejecutó **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Map Algebra_Raster Calculator_Guardamos como FACTOR_L), ingresamos la siguiente fórmula: $(\text{Power}("Flow_AC" + 12.5, 12.5, "\text{Parámetro}_M" + 1) - (\text{Power}$

("Flow_AC", "Parámetro_M" +1)) / (Power_ (12.5, "Parámetro_M" +2). Power (22.13, "Parámetro_M")) y finalmente aplicamos ejecutar.

b. Cálculo del FACTOR (S)

Paso 1: Se ejecutó la ventana de herramientas **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Map Algebra_Raster Calculator_Guardamos como FACTOR_S), ingresamos la siguiente fórmula: $\text{Con} (\tan ("BETA" * 0.01745) < 0.09, 10.8 * \sin ("BETA" * 0.01745) + 0.03, 16.8 * \sin ("BETA" * 0.01745) - 0.5)$ y finalmente aplicamos ejecutar.

c. Cálculo del RASTER (LS)

Paso 1: Para generar el Raster del FACTOR_LS se ejecutó la ventana de **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Map Algebra_Raster Calculator_Guardamos como RASTER_LS), ingresamos la siguiente fórmula: **"FACTOR_L" * "FACTOR_S"** y finalmente aplicamos ejecutar.

Paso 2: Finalmente se obtuvo el producto final del Factor LS y se generó su respectivo mapa.

4. Cálculo del FACTOR (P) Medidas de control

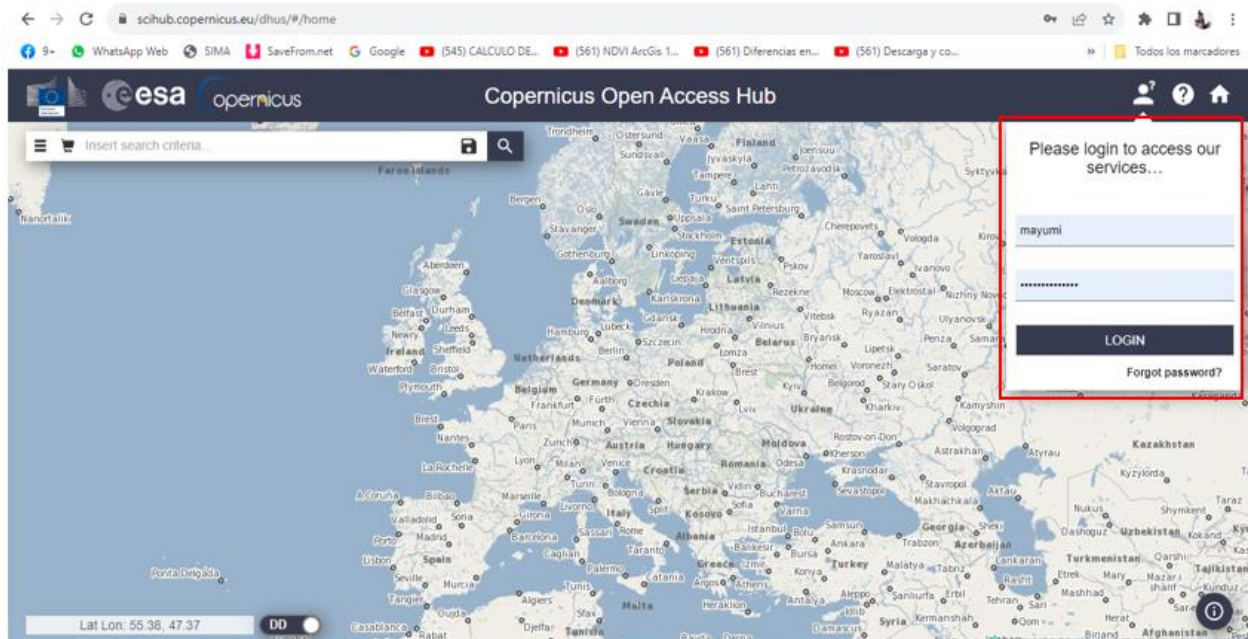
Paso 1: En el transcurso de los trabajos en campo no se visualizó ningún tipo de conservación de suelos que interviene el área de la cuenca Chacco, para la presente investigación no se consideró el valor del factor.

2.6.3.3 Cálculo del Factor C (cobertura vegetal) a partir de la imagen satelital del Sentinel 2A.

Paso 1: La página web utilizada fue <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>. Para realizar la descarga, era necesario contar con una cuenta, tal como se muestra en la figura siguiente.

Figura 17

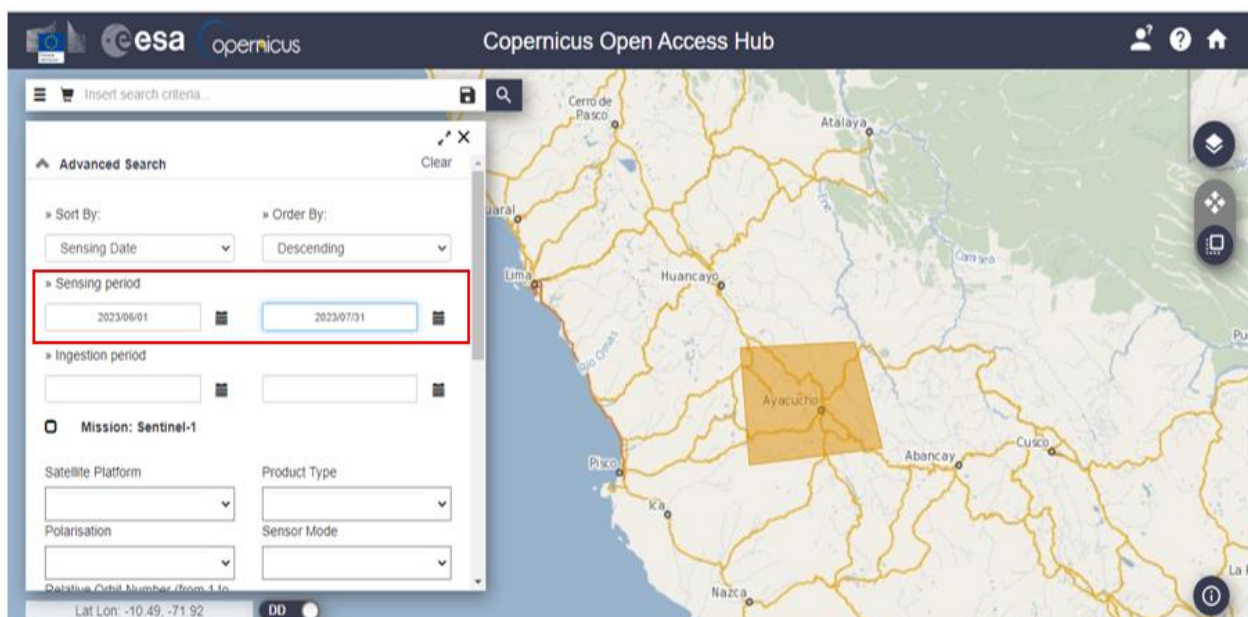
Plataforma Copernicus Open Access Hub - registro de datos y acceso con cuenta.



Paso 2: La selección del área de intervención se llevó a cabo, y se determinó que la fecha de detección sería entre el 01/06/2023 y el 10/08/2023, tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 18

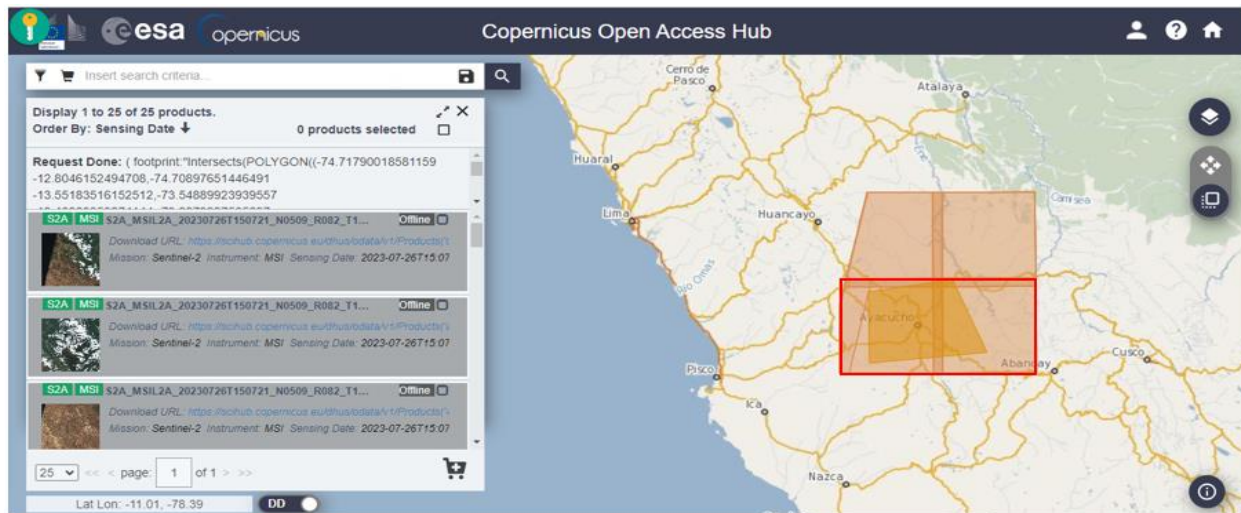
Selección del periodo de las imágenes satelitales Sentinel 2A



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

Figura 19

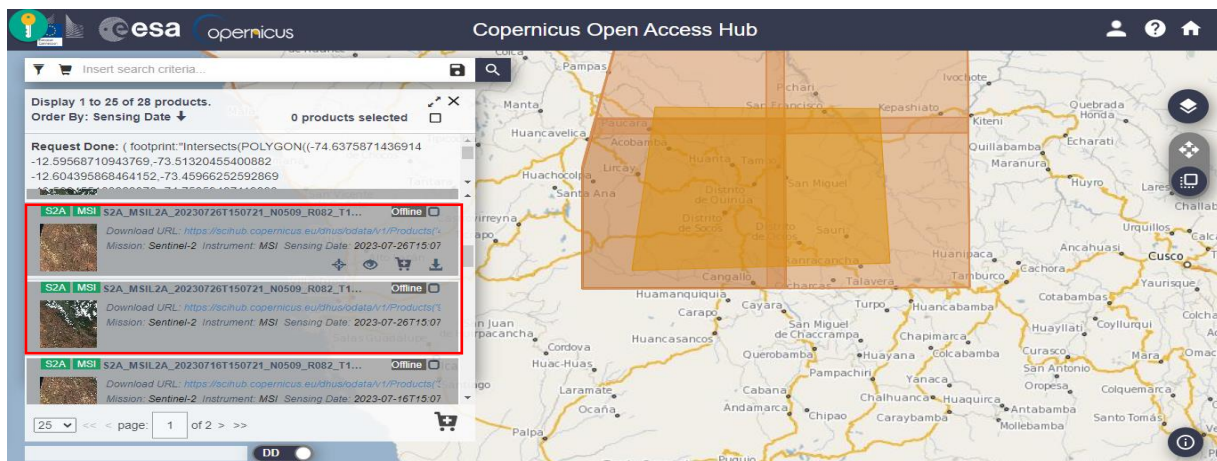
Se muestra el enfoque de intervención de la zona de estudios en dos cuadrantes.



Paso 4: La elección de las imágenes satelitales del Sentinel 2A se basa en la mínima presencia de nubes. Se seleccionaron las imágenes del primer y segundo cuadrante con fecha de detección el 26/07/2023 a las 15:07:21 según se muestra en la imagen adjunta.

Figura 20

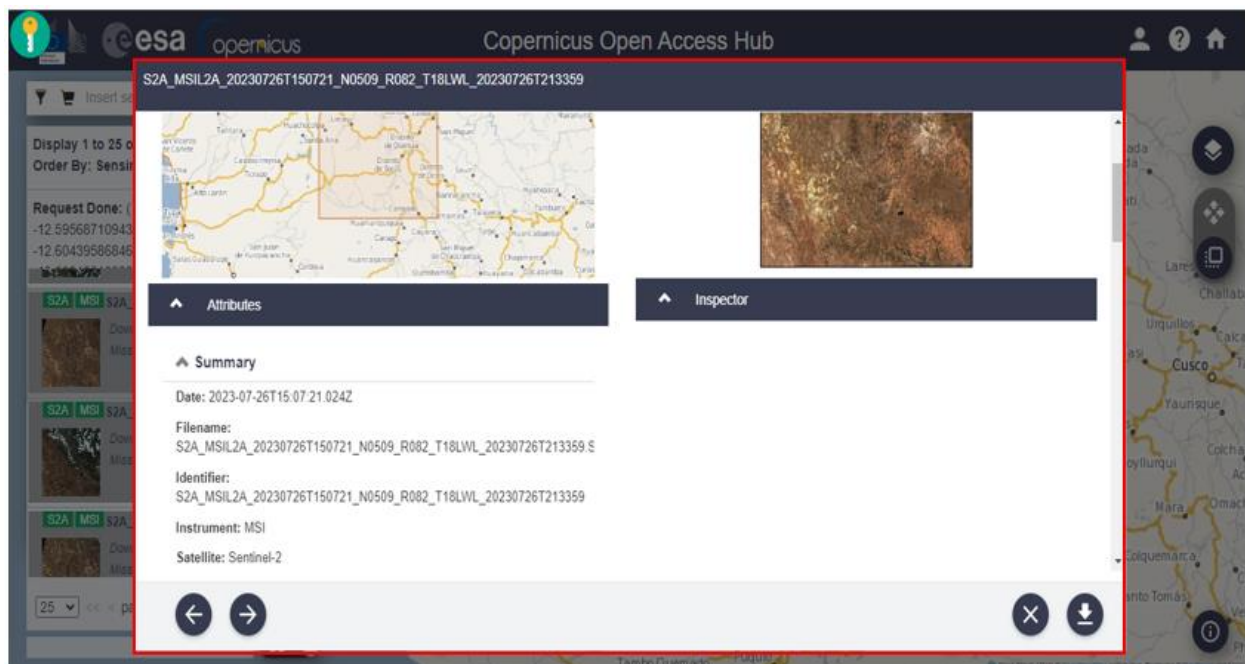
Imágenes satelitales Sentinel 2A con mínima presencia de nubes



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

Figura 21

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



Paso 6: Se procedió a ejecutar el programa QGIS y exportamos las bandas del Sentinel 2A ejecutando la ventana **Data Source Manager** (Raster _selección archivo de las bandas 2,3,4 y 8) y aplicamos ejecutar.

Tabla 20

Clasificación de las bandas dl satélite Sentinel 2A

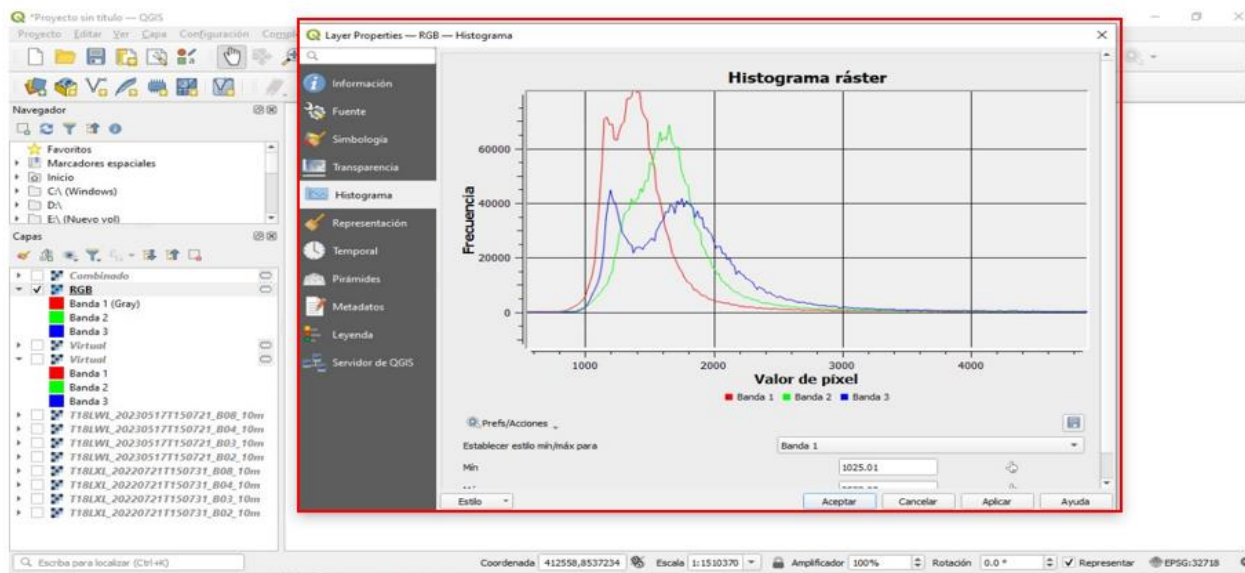
SENTINEL 2A			
Bandas	Resolución m/px	Resultado 1	Resultado 2
Banda 2 - Azul	10	RGB	
Banda 3 - Verde	10	RGB	
Banda 4 - Rojo	10	RGB	NDVI
Banda 8 - Infrarrojo cercano	10		

Paso 7: Se realizó la conversión de las bandas a RGB para ello se ejecutó la ventana RASTER (Micelanea_construir ráster virtual_seleccion de bandas 2,3 y 4) y lo georreferenciamos WGS_1984 UTM Zona 18S y finalmente lo guardamos como un archivo temporal por Nombre RGB y aplicamos ejecutar.

Paso 8: Por consiguiente, se verifica las propiedades de la capa generada mediante el Histograma de bandas (rojo, verde y azul) obteniéndose como se muestra en la siguiente imagen.

Figura 22

Histograma de RGB – Sentinel 2A



Paso 9: Se calculó el NDVI seleccionando la Caja de herramientas de **Procesos_Raster Calculator** donde la expresión será igual a: $NDVI = (Banda\ 8 - Banda\ 4) / (Banda\ 8 + Banda\ 4)$ donde se aplicará la fórmula predefinida de la siguiente manera:

RGB 1

Expresion1: $(T18LWL_20230726T150721_B08@1 - T18LWL_20230726T150721_B04@1) / (T18LWL_20230726T150721_B08@1 + T18LWL_20230726T150721_B04@1)$

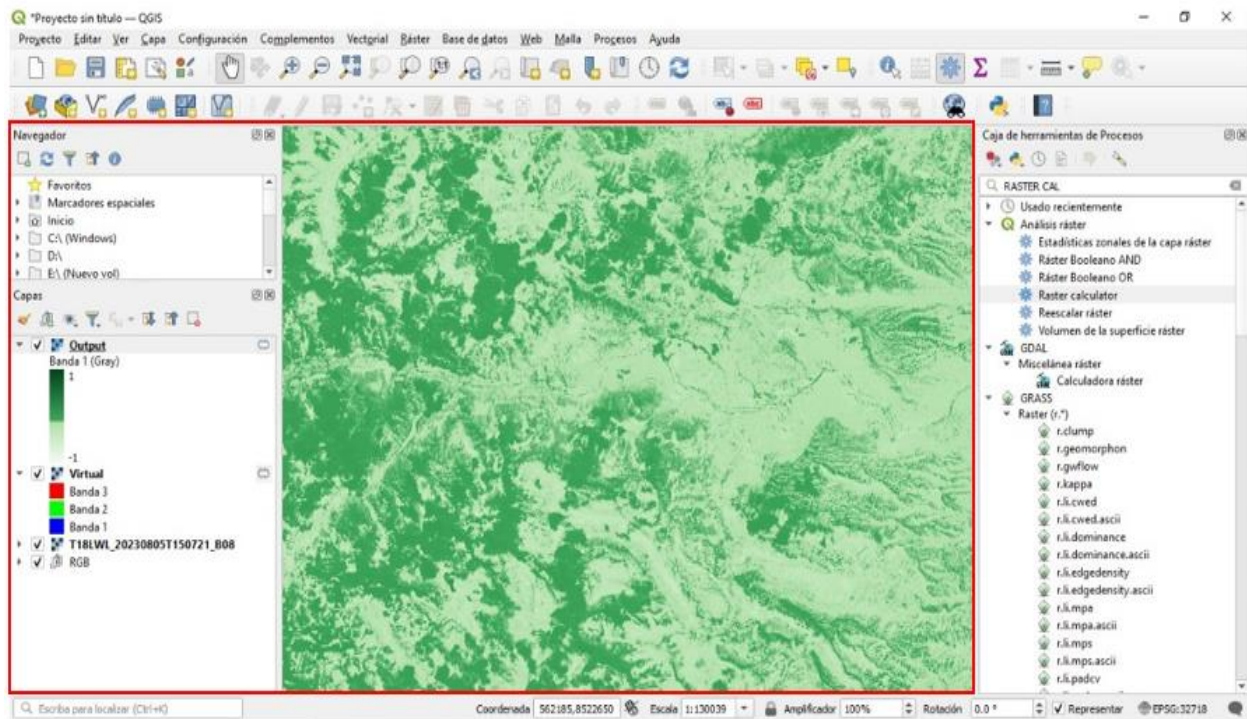
RGB 2

Expresion2: $(T18LXL_20230726T150721_B08@1 - T18LXL_20230726T150721_B04@1) / (T18LXL_20230726T150721_B08@1 + T18LXL_20230726T150721_B04@1)$

Paso 10: Se calculó el algoritmo del Raster Calculator para obtener el NDVI donde su variación se da desde -1 a 1.

Figura 23

Obtención del Raster de NDVI – Sentinel 2A



Paso 11: Por consiguiente, se exportó como capa Raster en formato Geo TIFF denominado NDVI.tiff y georreferenciado WGS 1984_UTM Zona 18S considerando una resolución de la capa 12.5.

Paso 12: Se procedió a ejecutar el programa ArcGIS 10.3 y lo georreferenciamos WGS_1984 UTM Zona 18S Coordenadas geográficas UTM donde exportamos la base de datos denominado NDVI.tiff donde se determinó el Factor C donde aplicamos la siguiente **Ec. (29)** se ingresó a la ventana **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Map Algebra_Raster Calculator) y aplicamos ejecutar.

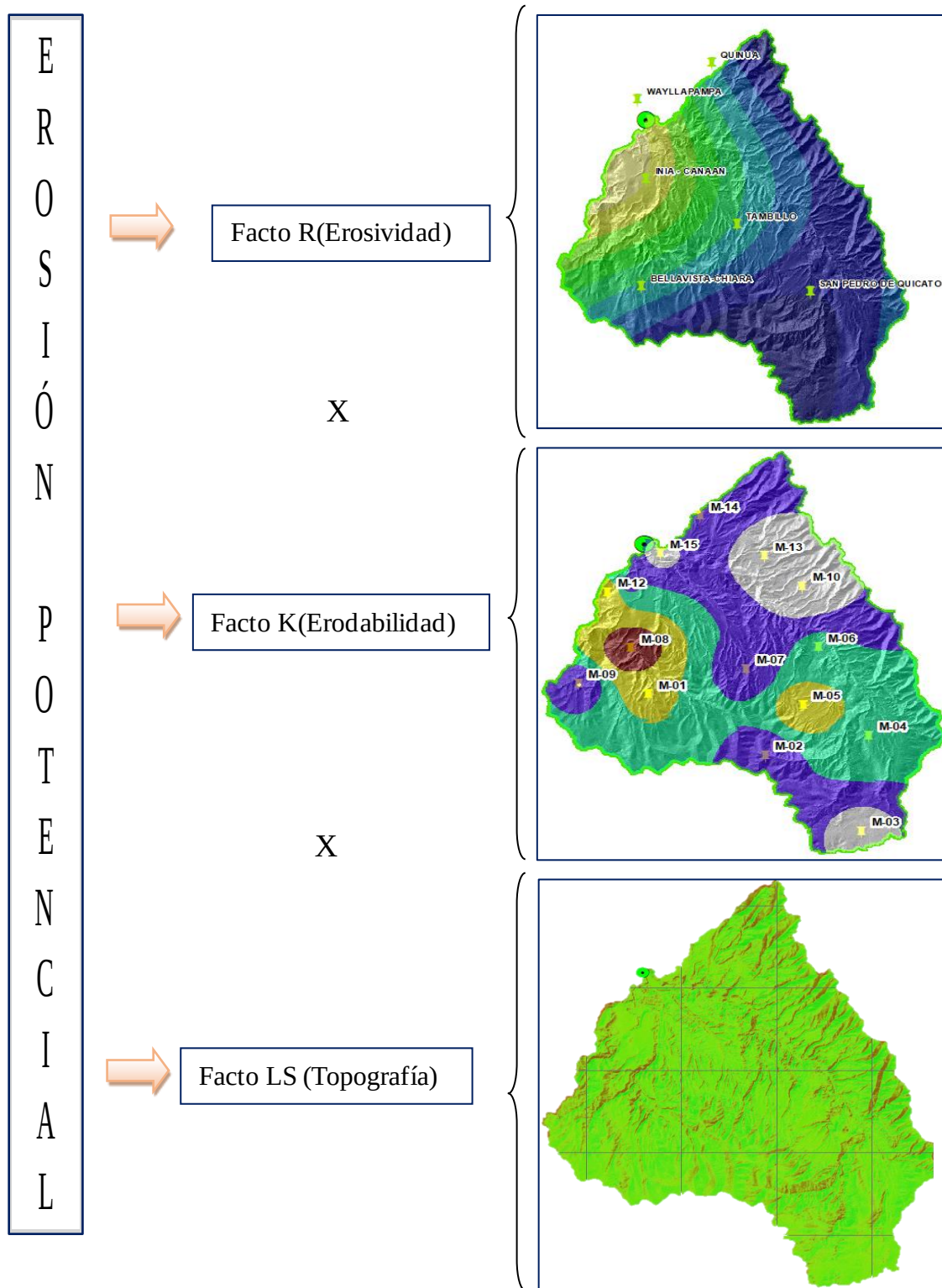
Paso 13: Luego, se realizó el corte de la cuenca donde se seleccionó la ventana **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Extraction_Extract by Mask) y aplicamos ejecutar.

Paso 14: Se obtuvo el producto final del Factor C y se generó el mapa de Cobertura vegetal.

2.6.3.4 Cálculo de la erosión potencial y actual de la cuenca Chacco

a. Erosión potencial

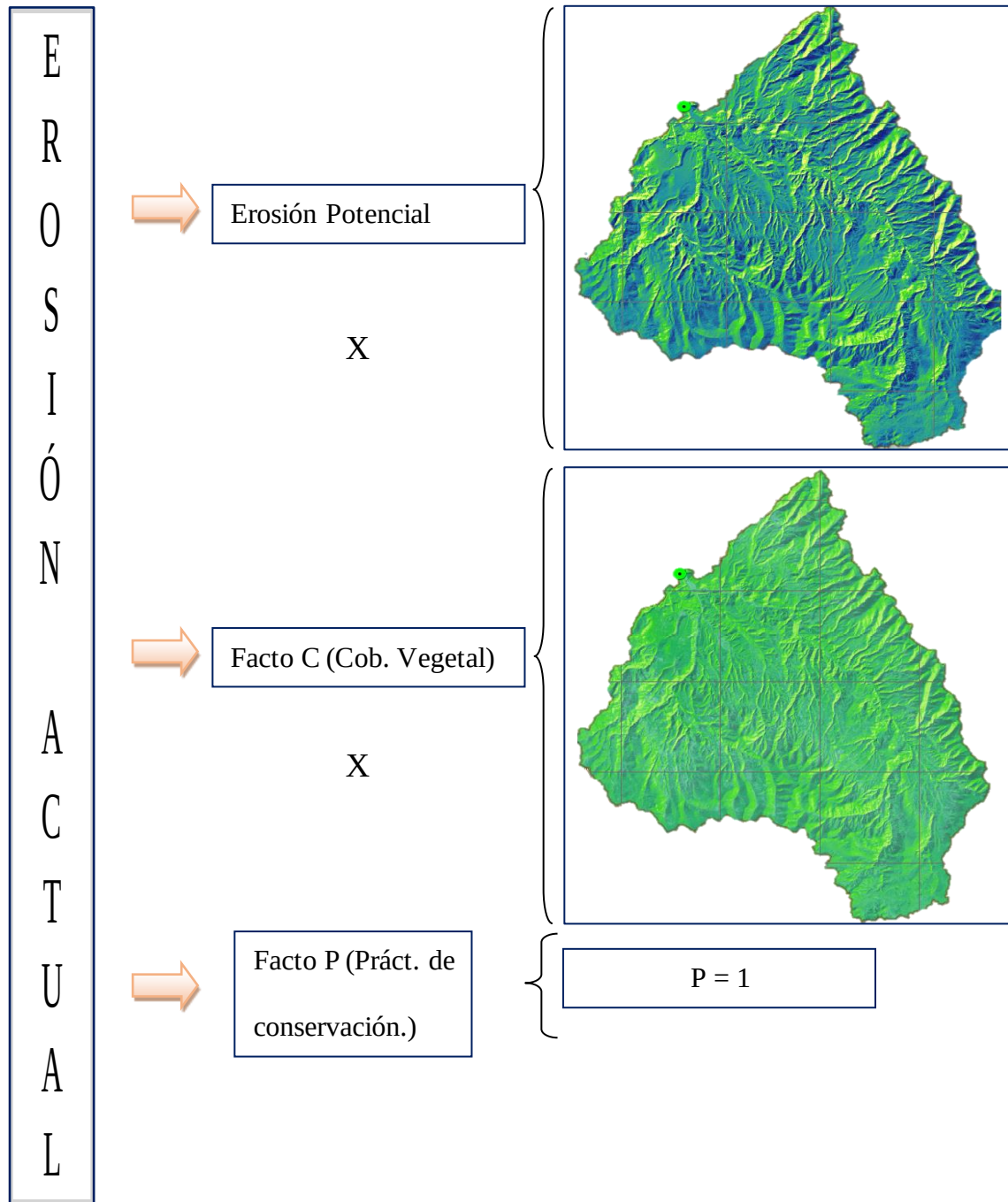
Paso 1: Se determinó la erosión potencial multiplicando los factores R (Erosividad), K (Erodabilidad) y LS (Longitud y topografía).



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

b. Erosión Actual

Paso 1: Se determinó la erosión actual multiplicando la erosión potencial por los factores C (cobertura vegetal) y P (prácticas de conservación).



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

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

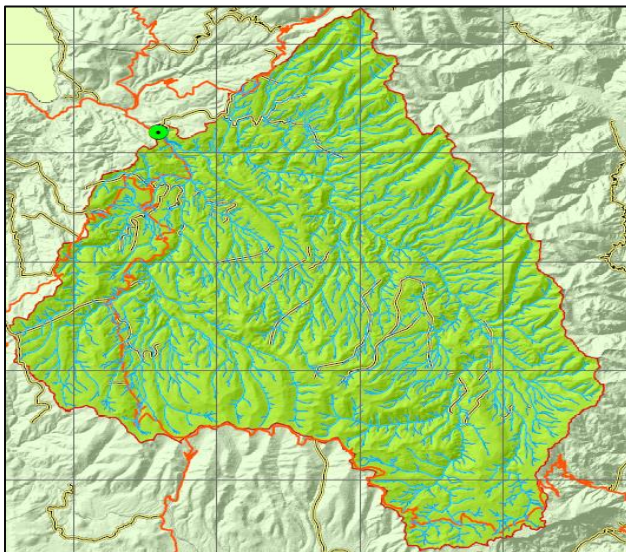
3.1 Cálculo de los factores de la erosión hídrica R, K, LS, P de la cuenca Chacco aplicando el método USLE.

3.1.1. Delimitación y parámetros geomorfológicos de la cuenca Chacco

La cuenca Chacco abarca aproximadamente 12 distritos Chiara, Socos, Carmen Alto, San Juan Bautista, Acrocós, Quinua, Jesús Nazareno, Tambillo, Vinchos, Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, Acos Vinchos y Ayacucho de la provincia de Huamanga. La cuenca en estudio tiene un área de 1112.04 km² y un perímetro de 184.50 km; pertenece a la Unidad Hidrográfica de la cuenca Mantaro y desemboca en el río Ene.

Figura 24

Mapa de la delimitación de la cuenca Chacco



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

Tabla 21

Resumen de resultados de los parámetros geomorfológicos de la cuenca Chacco

Parámetros				Und	Resultado Cuenca
Superficie total de la cuenca				Km ²	1112.04
Perímetro				Km	181.50
Zona de Proyección UTM				s/U	18S
UBICACIÓN	X			m	597430.16
	Y			m	8536722.99
RELACIONES DE FORMA	FACTOR DE CUENCA	Coeficiente de Compacidad Gravelius		s/U	1.54
		FACTOR DE FORMA	Longitud de la cuenca	Km.	76.98
			Ancho Medio de la cuenca	Km.	14.45
			Factor de Forma	s/U	0.19
			Lado Mayor	Km.	76.98
			Lado Menor	Km.	14.45
		RECTANGULO EQUIVALENTE			
		Curva hipsométrica			
		Polígono de frecuencia			
		Altitud media de la cuenca			
PARAMETROS DE RELIEVE	Altitud media ponderada				msnm 3576.74
	Altitud media simple				msnm 3482.00
	Altitud más frecuente				msnm 4465.00
	Densidad de drenaje				Km./Km ² . 1.62
	Longitud del río principal				Km 2.13
PARAMETROS DE LA RED HIDROGRÁFICA	Extensión media de la escorrentía superficial				Km. 0.00
Desnivel total de la cuenca				Km.	1.97
Altura media de la cuenca				m.s.n.m.	3577.00
Pendiente cuenca Met. Rectángulo Equivalente				%	0.03
Tiempo de Concentración Kirpich				min.	463.23

Fuente. Elaboración propia

3.1.2. Análisis de consistencia

3.1.2.1 Evaluación de los histogramas

Las estaciones de la zona de estudio de la cuenca Chacco se muestran consistentes sin la presencia de saltos, por lo tanto, la alta medida de milímetros de precipitación lo presenta la estación de Pampa Cangallo y de menor milímetros de precipitación lo presenta la estación de Wayllapampa; son aceptables a nivel altitudinal y espacial, no presentan inconsistencia.

Figura 25

Histograma de precipitación mensual estación Tambillo

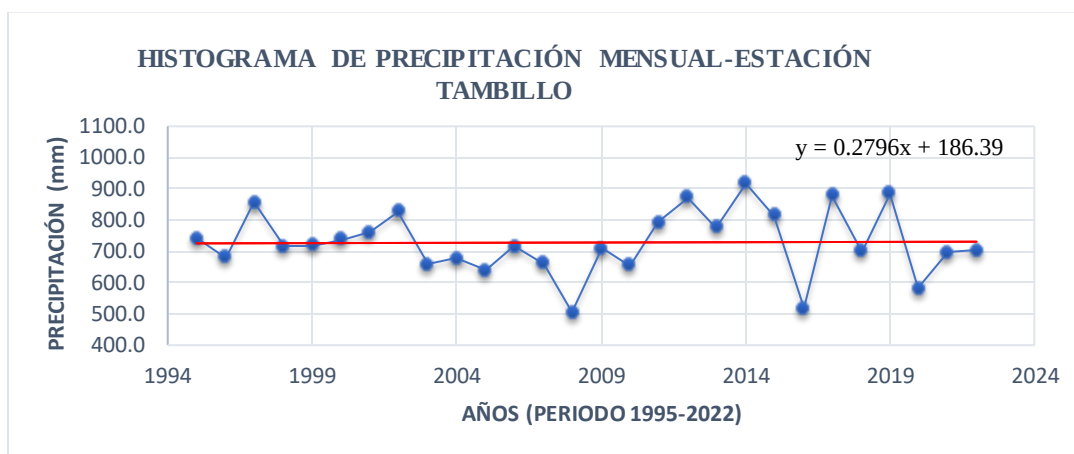


Figura 26

Histograma de precipitación mensual estación San Pedro de Quicato

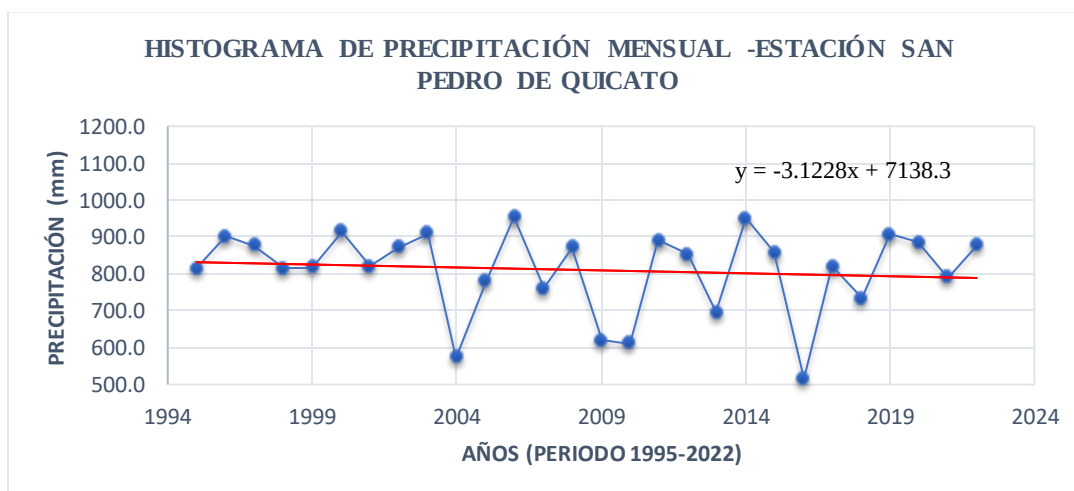


Figura 27

Histograma de precipitación mensual estación Huanta

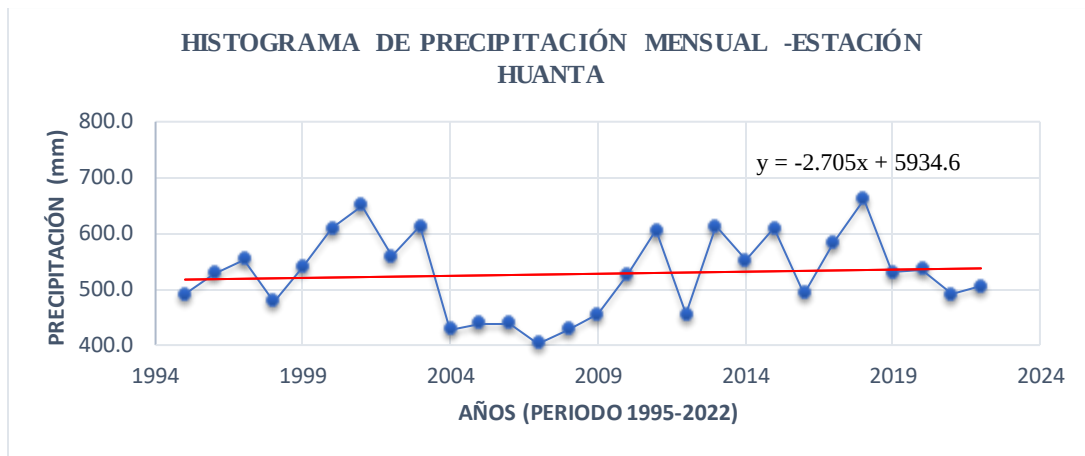


Figura 28

Histograma de precipitación mensual estación Quinua

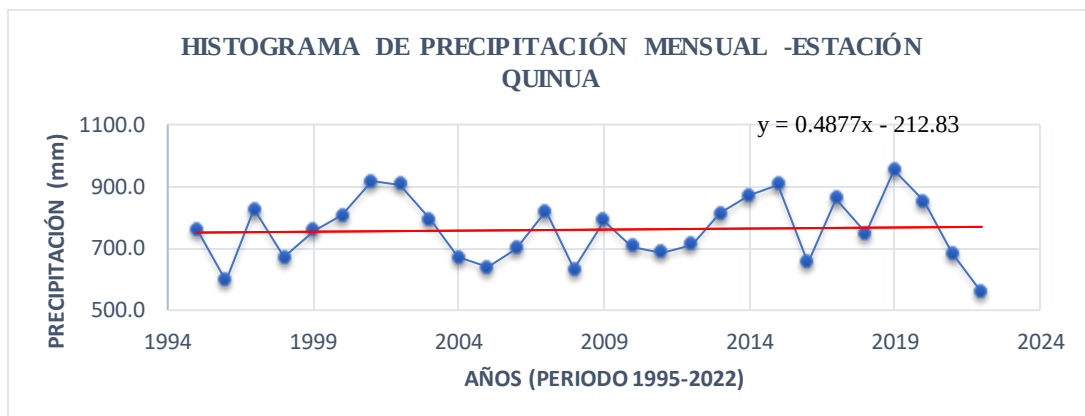


Figura 29

Histograma de precipitación mensual estación Wayllapampa

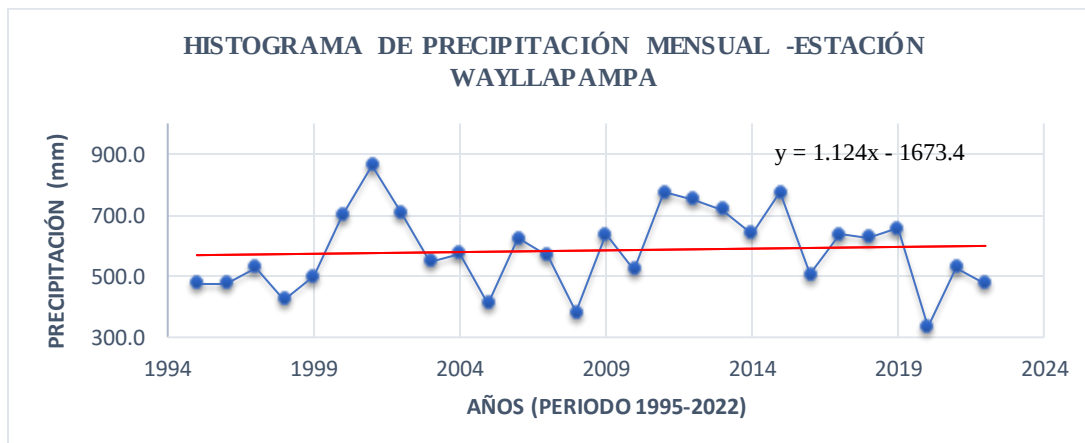


Figura 30

Histograma de precipitación mensual estación Pampa Cangallo

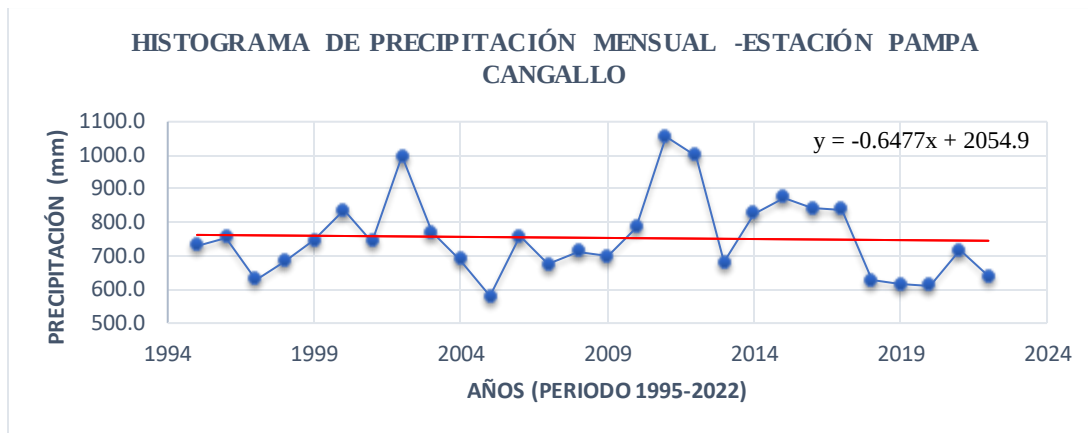


Figura 31

Histograma de precipitación mensual estación INIA-Huamanga

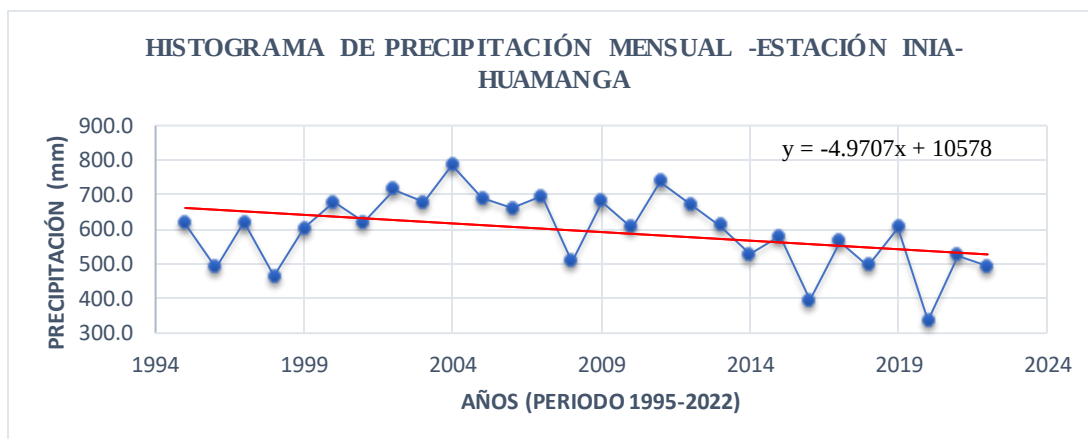
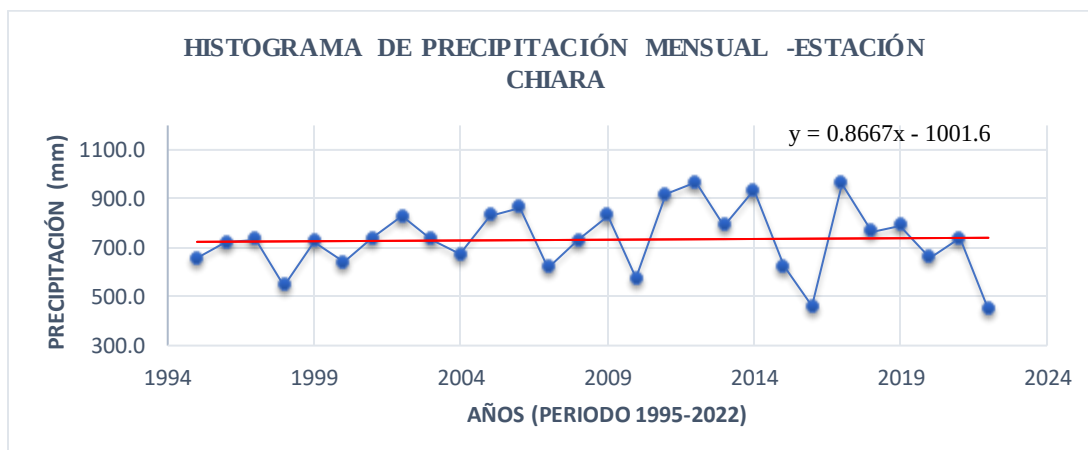


Figura 32

Histograma de precipitación mensual estación Chiara



3.1.2.2 Análisis de doble masa

Consistió en la comparación de las estaciones por correlación es decir se determina una estación ficticia promedio de todas las estaciones en estudio, con la cual se comparó con cada una de las 8 estaciones que se seleccionó para la cuenca Chacco; por lo tanto, los datos son consistentes en el análisis de doble masa, como se aprecia en la siguiente Figura 33.

Figura 33

Curva doble acumulada de la precipitación

CURVA DOBLE ACUMULADA DE LA PRECIPITACION ANUAL ACUMULADA																			
N°	AÑO	SAN PEDRO DE QUICATO		HUANTA		QUINUA		WAYLLAPAMPA		PAMPA CANGALLO		INIA-HUAMANGA		TAMBILLO		CHIARA		PROMEDIO	
		PP	Pacum	PP	Pacum	PP	Pacum	PP	Pacum	PP	Pacum	PP	Pacum	PP	Pacum	PP	Pacum	PP	Pacum
1	1995	814.50	814.50	490.18	490.18	761.90	761.90	476.20	476.20	730.33	730.33	617.80	617.80	739.80	739.80	657.10	657.10	660.98	660.98
2	1996	901.60	1716.10	527.44	1017.62	595.80	1357.70	477.60	953.80	756.30	1486.63	489.10	1106.90	681.10	1420.90	721.30	1378.40	643.78	1304.76
3	1997	876.00	2592.10	552.51	1570.13	826.70	2184.40	528.10	1481.90	629.10	2115.73	619.40	1726.30	857.80	2278.70	734.10	2112.50	702.96	2007.72
4	1998	813.40	3405.50	477.34	2047.47	671.10	2855.50	423.00	1904.90	683.60	2799.33	465.30	2191.60	716.80	2995.50	547.30	2659.80	599.73	2607.45
5	1999	817.23	4222.73	539.84	2587.31	756.20	3611.70	499.70	2404.60	746.64	3545.97	601.40	2793.00	720.10	3715.60	725.45	3385.25	675.82	3283.27
6	2000	914.17	5136.90	608.80	3196.11	806.60	4418.30	698.00	3102.60	834.26	4380.23	676.40	3469.40	736.99	4452.59	638.18	4023.43	739.17	4022.44
7	2001	819.34	5956.24	649.60	3845.71	915.52	5333.82	862.20	3964.80	743.47	5123.70	620.30	4089.70	759.82	5212.41	735.93	4759.36	763.27	4785.72
8	2002	872.12	6828.36	559.10	4404.81	905.16	6238.98	706.40	4671.20	996.56	6120.26	716.40	4806.10	827.84	6040.25	829.65	5589.02	801.65	5587.37
9	2003	910.07	7738.43	611.50	5016.31	791.80	7030.78	548.00	5219.20	771.10	6891.36	676.60	5482.70	656.52	6696.76	732.07	6321.09	712.21	6299.58
10	2004	573.93	8312.36	428.60	5444.91	669.80	7700.58	575.10	5794.30	688.40	7579.76	785.87	6268.57	675.80	7372.56	670.78	6991.86	633.53	6933.11
11	2005	778.66	9091.02	439.40	5884.31	638.30	8338.88	409.20	6203.50	580.70	8160.46	689.87	6958.44	638.80	8011.36	832.73	7824.59	625.96	7559.07
12	2006	953.85	10044.87	438.80	6323.11	698.30	9037.18	624.40	6827.90	758.90	8919.36	661.09	7619.53	716.35	8727.71	862.51	8687.10	714.27	8273.35
13	2007	759.27	10804.14	402.20	6725.31	818.90	9856.08	566.24	7394.14	673.43	9592.79	695.55	8315.08	660.27	9387.98	617.39	9304.49	649.16	8922.50
14	2008	871.41	11675.55	427.68	7152.99	631.40	10487.48	381.70	7775.84	712.60	10305.39	507.04	8822.12	505.59	9893.57	730.68	10035.17	596.01	9518.51
15	2009	620.61	12296.16	454.20	7607.19	790.10	11277.58	636.00	8411.84	697.10	11002.49	680.50	9502.62	709.80	10603.37	833.50	10868.67	677.73	10196.24
16	2010	611.96	12908.12	526.10	8133.29	706.70	11984.28	520.50	8932.34	784.60	11787.09	606.39	10109.01	654.50	11257.87	576.00	11444.67	623.34	10819.58
17	2011	890.90	13799.02	605.10	8738.39	688.07	12672.35	774.60	9706.94	1055.50	12842.59	739.20	10848.21	794.00	12051.87	916.00	12360.67	807.92	11627.51
18	2012	853.80	14652.82	455.20	9193.59	711.70	13384.05	751.89	10458.83	1000.40	13842.99	672.90	11521.11	873.80	12925.67	967.70	13328.37	785.92	12413.43
19	2013	695.10	15347.92	612.90	9806.49	813.50	14197.55	718.90	11177.73	680.30	14523.29	612.10	12133.21	775.50	13701.17	791.90	14120.27	712.53	13125.95
20	2014	950.95	16298.87	550.72	10357.21	871.20	15068.75	639.70	11817.43	827.00	15350.29	528.70	12661.91	916.60	14617.77	935.10	15055.37	777.50	13903.45
21	2015	858.42	17157.29	608.24	10965.45	906.50	15975.25	775.10	12592.53	874.51	16224.80	578.50	13240.41	814.90	15432.67	624.00	15679.37	755.02	14658.47
22	2016	516.40	17673.69	492.90	11458.35	654.00	16629.25	504.20	13096.73	841.29	17066.09	394.10	13634.51	517.32	15949.99	461.40	16140.77	547.70	15206.17
23	2017	819.50	18493.19	584.20	12042.55	862.50	17491.75	637.00	13733.73	837.27	17903.36	564.30	14198.81	879.80	16829.79	963.50	17104.27	768.51	15974.68
24	2018	733.08	19226.27	660.61	12703.16	748.60	18240.35	628.10	14361.83	626.81	18530.17	496.90	14695.71	698.20	17527.99	768.40	17872.67	670.09	16644.77
25	2019	906.45	20132.72	530.59	13233.75	952.66	19193.01	655.00	15016.83	614.30	19144.47	605.40	15301.11	885.20	18413.19	791.20	18663.87	742.60	17387.37
26	2020	885.88	21018.60	536.02	13769.77	850.86	20043.87	333.94	15350.77	612.90	19757.37	336.30	15637.41	581.28	18994.47	661.40	19325.27	599.82	17987.19
27	2021	790.27	21808.87	490.60	14260.37	684.07	20727.94	527.10	15877.87	715.30	20472.67	523.20	16160.61	696.20	19690.67	736.90	20062.17	645.46	18632.65
28	2022	877.09	22685.96	505.06	14765.43	557.00	21284.94	475.00	16352.87	639.60	21112.27	493.50	16654.11	702.40	20393.07	447.20	20509.37	587.11	19219.75
		0.99939		0.99913		0.99959		0.99942		0.99957		0.99687		0.99964		0.99950		1.00000	

Figura 34

Histograma de las precipitaciones históricas.

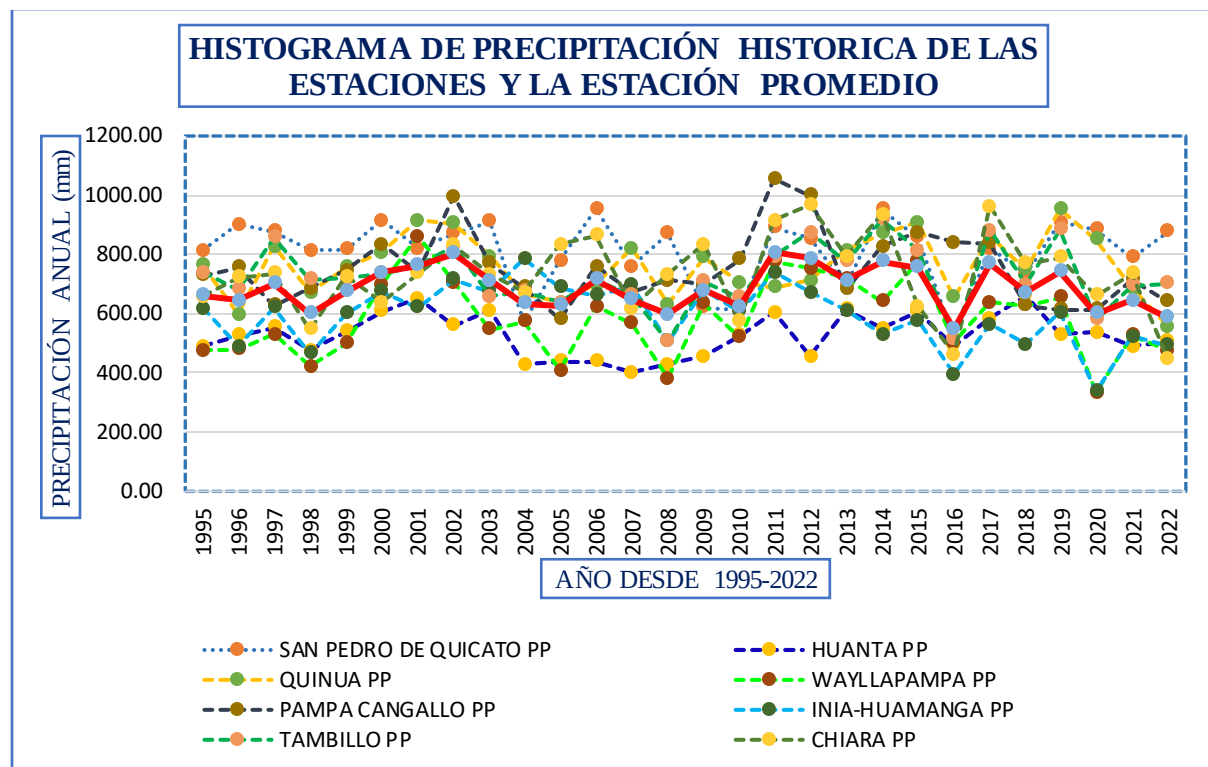


Figura 35

Diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica con estación promedio de la estación San Pedro de Quicato.

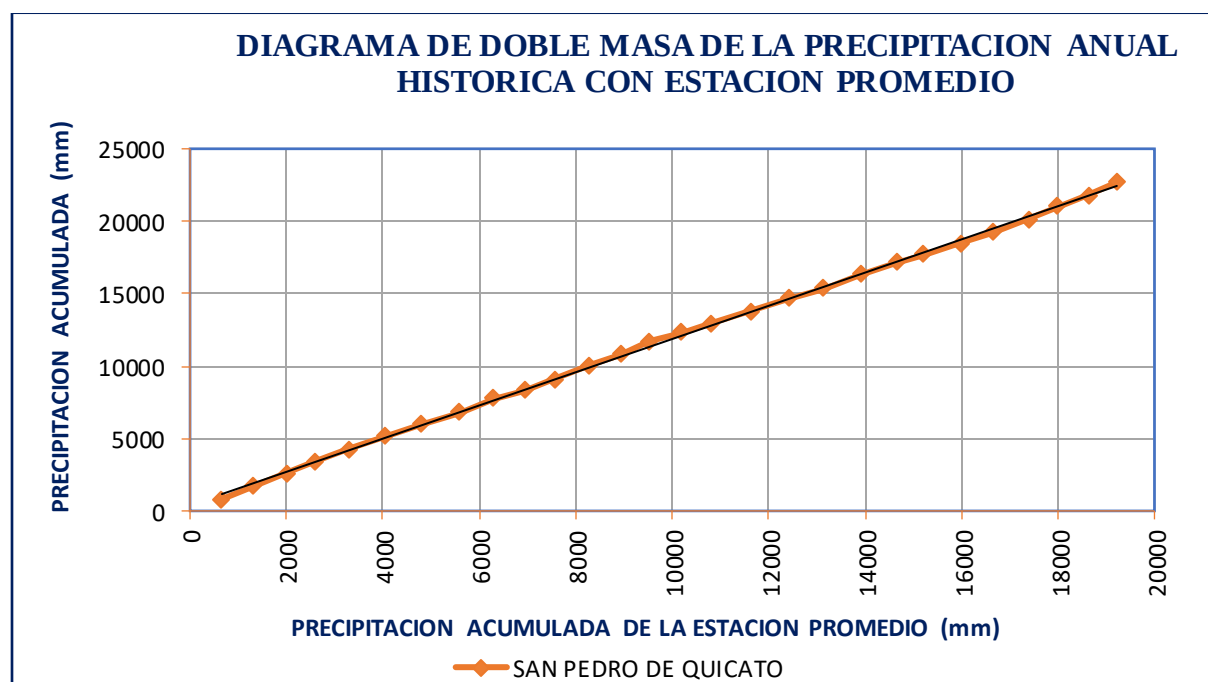


Figura 36

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

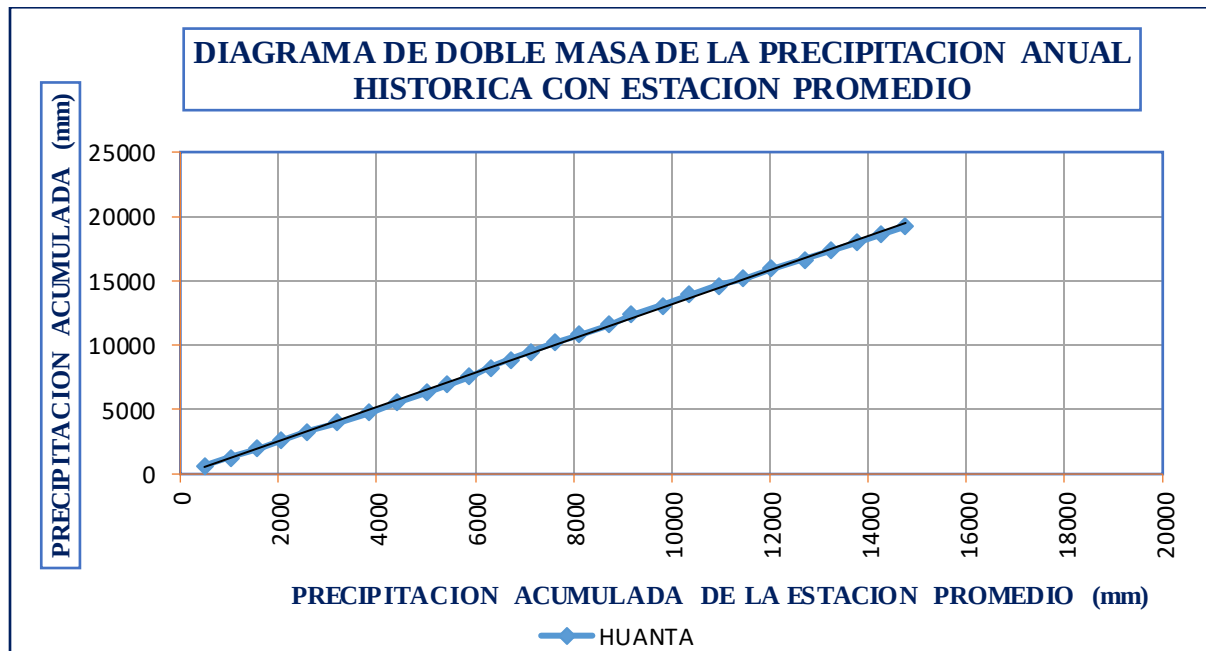


Figura 37

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

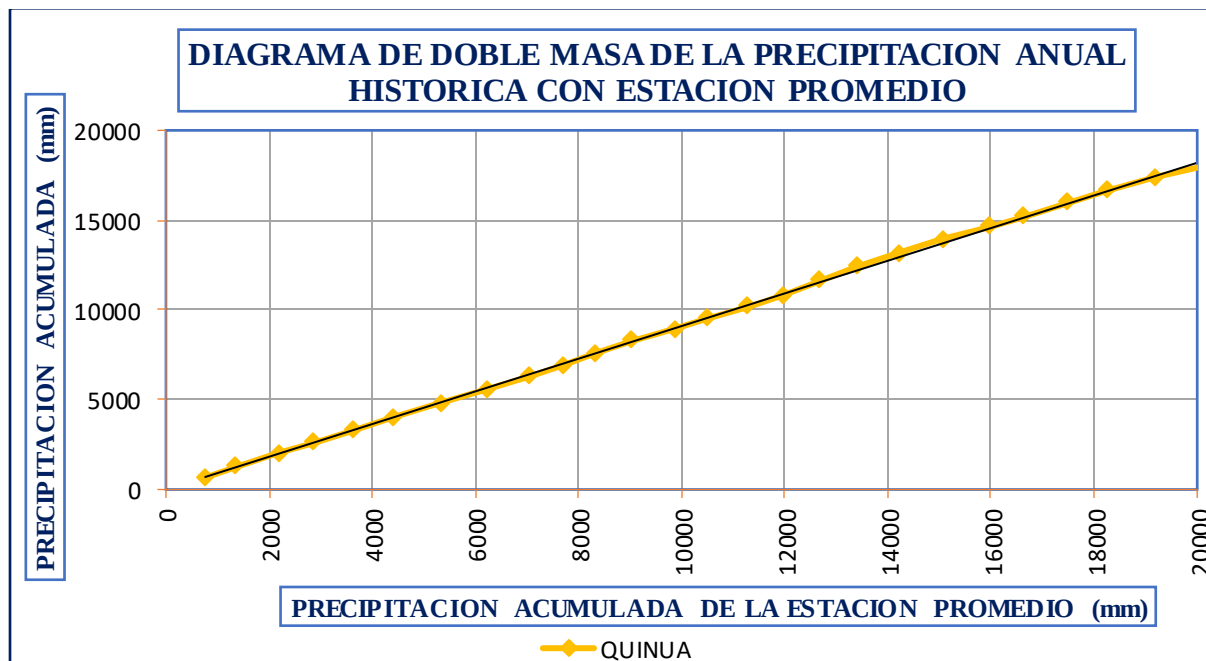


Figura 38

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

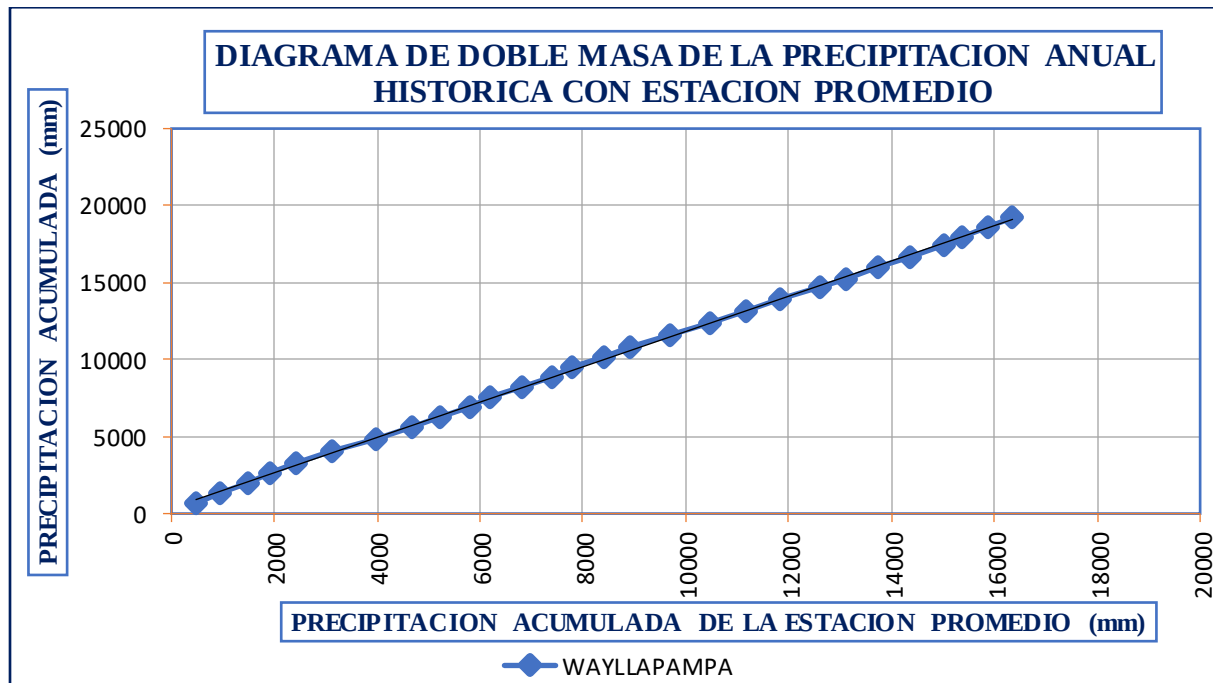


Figura 39

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

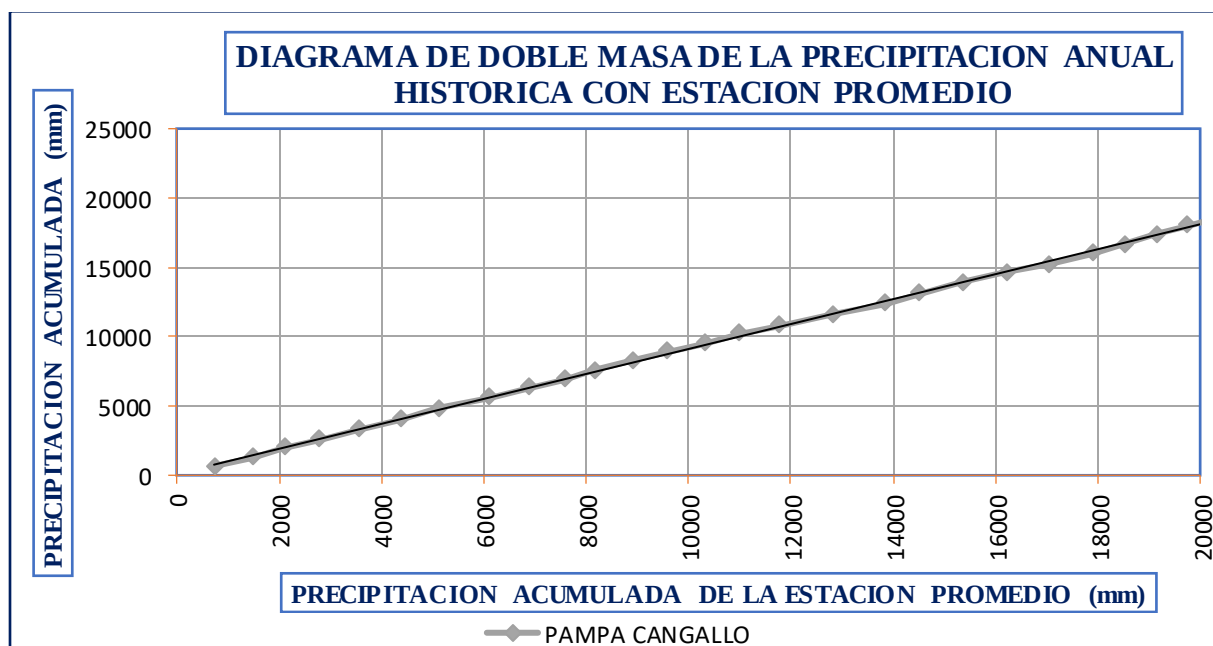


Figura 40

Diagrama de doble masa de la precipitación anual histórica con estación promedio de la estación INIA-Huamanga.

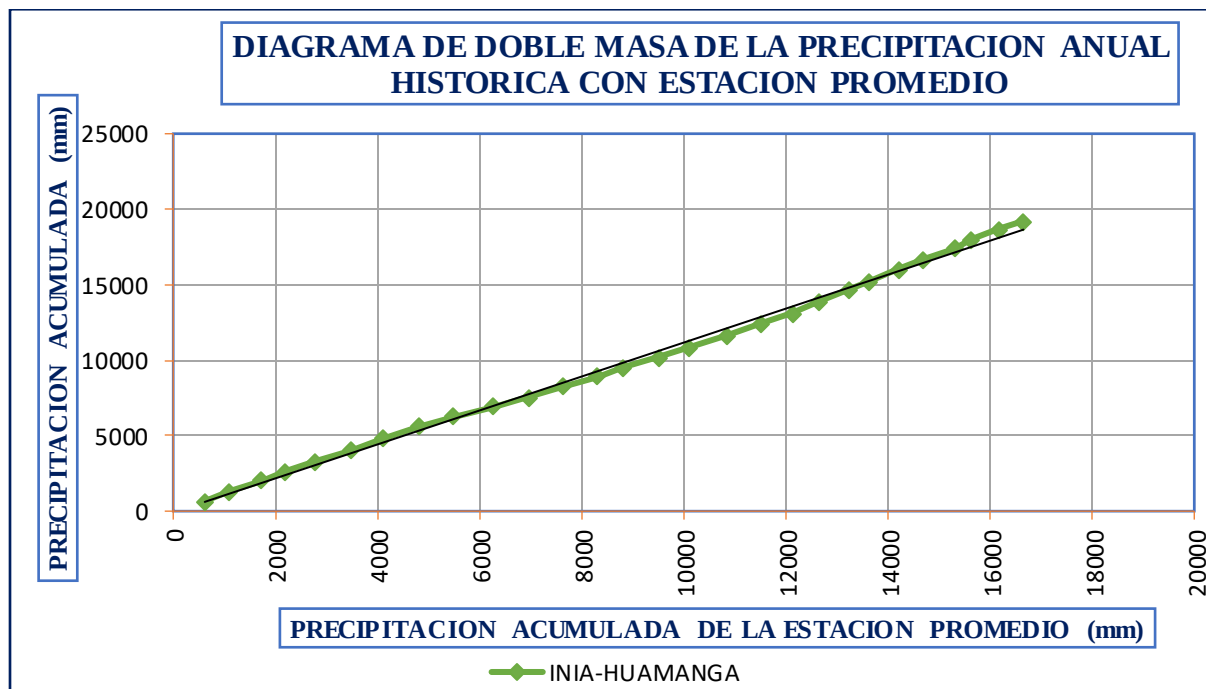


Figura 41

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

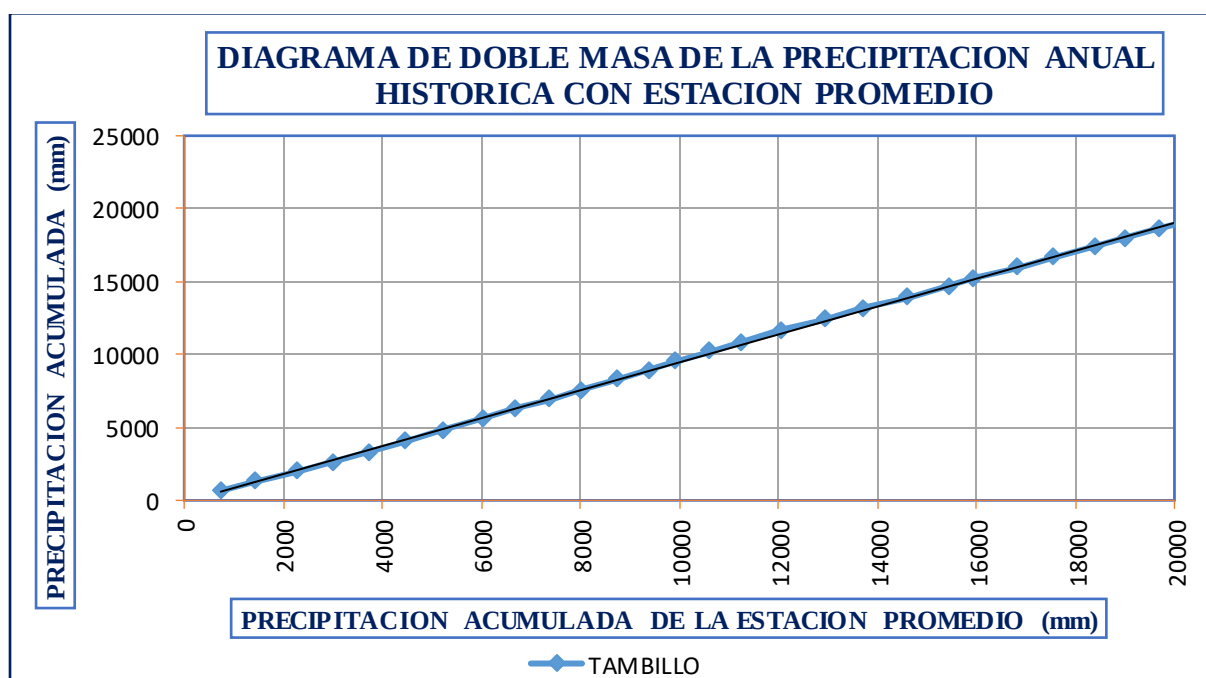
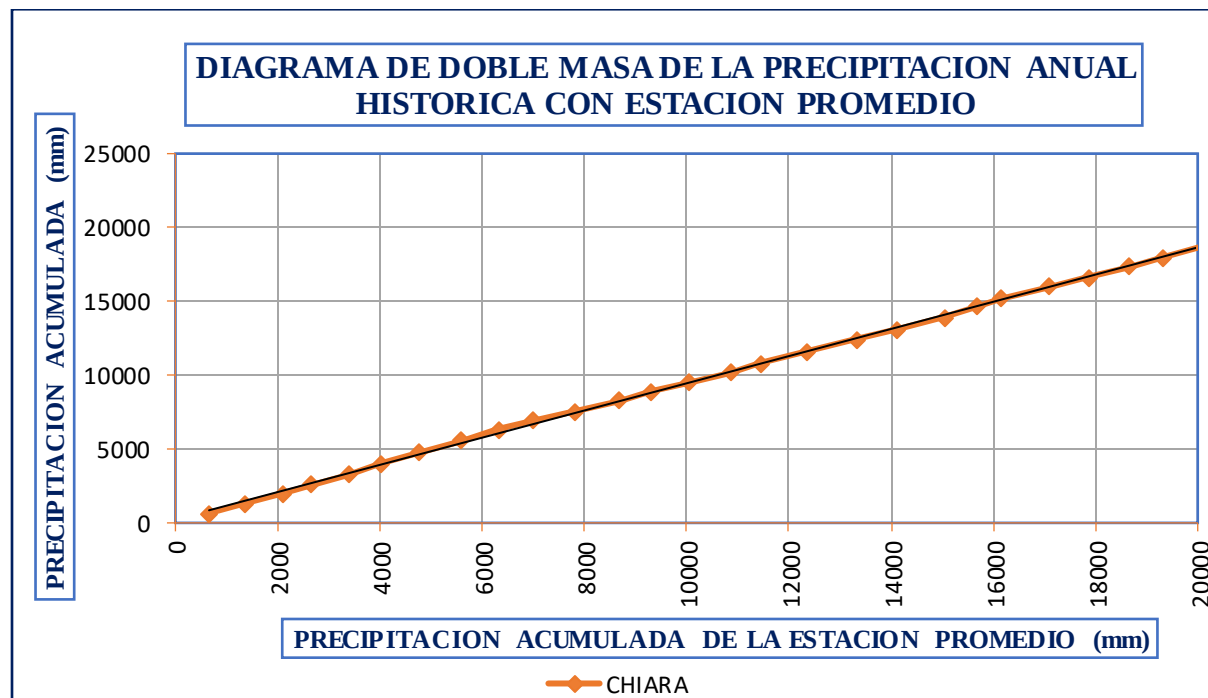


Figura 42

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



3.1.2.3. Pruebas Estadísticas

Se trabajó con el programa TREND donde se evaluó las pruebas como Mann-Kendall, Spearman's Rho, Regresión Linear, Cusum, Desviación Acumulada, Rank Sum, t de student; estas pruebas mencionadas nos sirvió para realizar el análisis de consistencia en la media y en la desviación estándar, donde se pudo observar que, para las estaciones de la cuenca Chacco son datos consistentes y no presenta saltos en la serie histórica; en las siguientes figuras y tablas se presenta el análisis estadístico de las estaciones del área de estudio.

Figura 43

Histograma de la precipitación de la estación Tambillo de la cuenca Chacco-programa TREND.

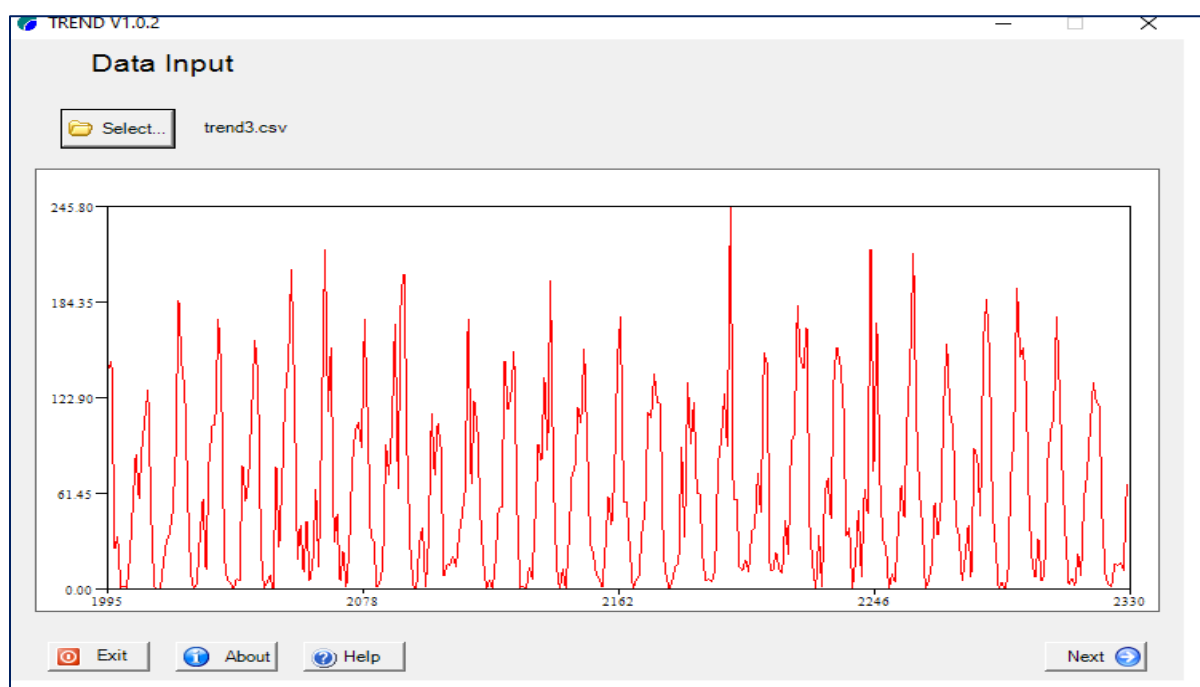


Tabla 22

Pruebas estadísticas de la estación Tambillo de la cuenca Chacco-programa TREND

ESTACIÓN: TAMBILLO							
TABLA DE PRUEBAS ESTADÍSTICAS							
Pruebas Estadíst.	z-statistic	$\alpha=0.1$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$	Result.	Tipo de Prueba	Prueba
Mann-Kendall	-0.25	1.65	1.96	2.58	NS	No Paramétrico	Tendencias
Spearman's Rho	-0.12	1.65	1.96	2.58	NS	No Paramétrico	Tendencias
Linear regression	-0.17	1.66	1.98	2.61	NS	Paramétrico	Tendencias
Cusum	14.00	22.36	24.93	29.88	NS	No Paramétrico	Salto
Cumulative deviation	0.42	1.18	1.31	1.57	NS	Paramétrico	Salto
Rank Sum	-0.44	1.65	1.96	2.58	NS	No Paramétrico	Salto
Student's t	-0.57	1.66	1.98	2.61	NS	Paramétrico	Salto

Fuente. Elaboración propia

Figura 44

Histograma de la precipitación de la estación San Pedro de Quicato de la cuenca Chacco-programa TREND.

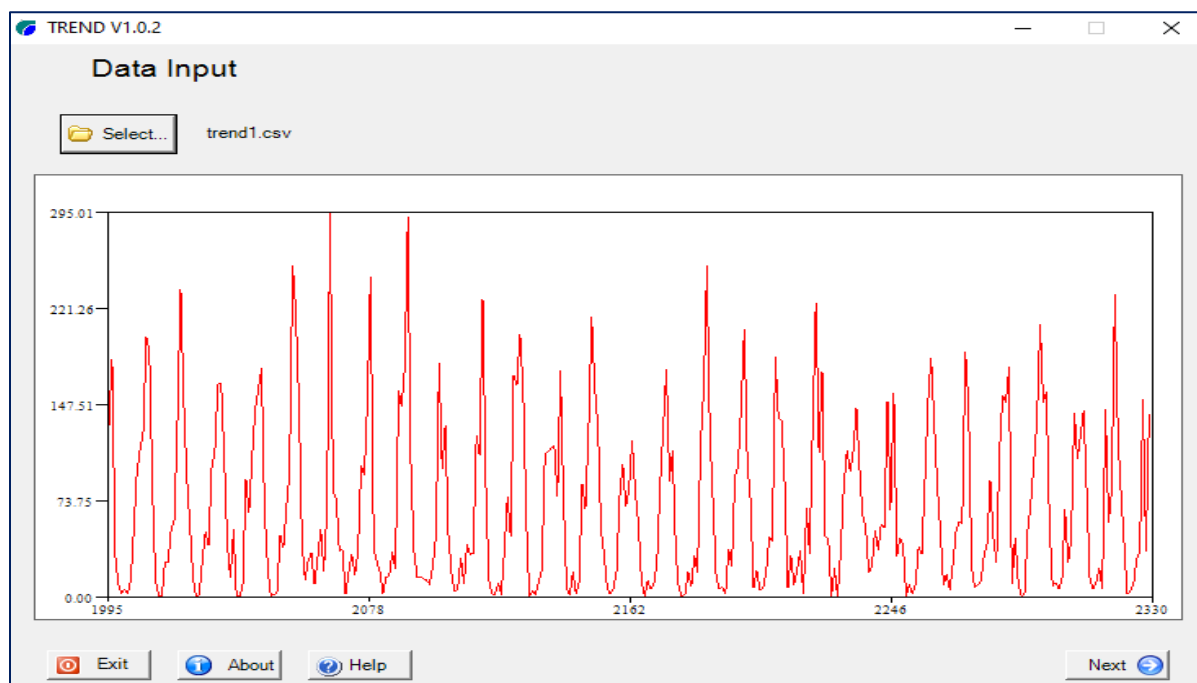


Tabla 23

Pruebas estadísticas de la estación San Pedro de Quicato de la cuenca Chacco-programa TREND

ESTACIÓN: SAN PEDRO DE QUICATO							
TABLA DE PRUEBAS ESTADÍSTICAS							
Pruebas Estadíst.	z-statistic	$\alpha=0.1$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$	Result.	Tipo de Prueba	Prueba
Mann-Kendall	0.04	1.65	1.96	2.58	NS	No Paramétrico	Tendencias
Spearman's Rho	0.03	1.65	1.96	2.58	NS	No Paramétrico	Tendencias
Linear regression	-0.53	1.66	1.98	2.61	NS	Paramétrico	Tendencias
Cusum	11.00	22.36	24.93	29.88	NS	No Paramétrico	Salto
Cumulative deviation	0.60	1.18	1.31	1.57	NS	Paramétrico	Salto
Rank Sum	0.03	1.65	1.96	2.58	NS	No Paramétrico	Salto
Student's t	0.57	1.66	1.98	2.61	NS	Paramétrico	Salto

Fuente. Elaboración propia

Figura 45

Histograma de la precipitación de la estación Huanta de la cuenca Chacco-programa TREND.

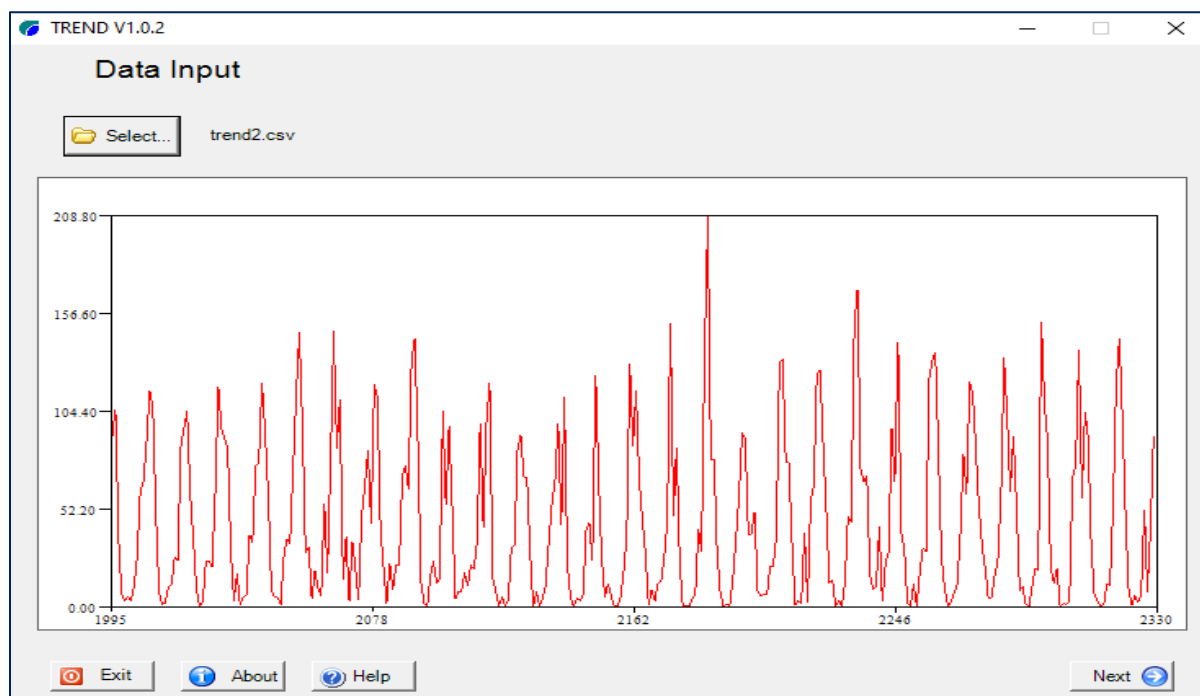


Tabla 24

Pruebas estadísticas de la estación Huanta de la cuenca Chacco-programa TREND

ESTACIÓN: HUANTA							
TABLA DE PRUEBAS ESTADISTICAS							
Pruebas Estadíst.	Z-statistic	$\alpha=0.1$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$	Result.	Tipo de Prueba	Prueba
Mann-Kendall	-0.58	1.65	1.96	2.58	NS	No Paramétrico	Tendencias
Spearman's Rho	-0.54	1.65	1.96	2.58	NS	No Paramétrico	Tendencias
Linear regression	0.04	1.66	1.98	2.61	NS	Paramétrico	Tendencias
Cusum	10.00	22.36	24.93	29.88	NS	No Paramétrico	Salto
Cumulative deviation	0.55	1.18	1.31	1.57	NS	Paramétrico	Salto
Rank Sum	-0.03	1.65	1.96	2.58	NS	No Paramétrico	Salto
Student's t	-0.58	1.66	1.98	2.61	NS	Paramétrico	Salto

Fuente. Elaboración propia

Figura 46

Histograma de la precipitación de la estación Quinua de la cuenca Chacco-programa TREND.

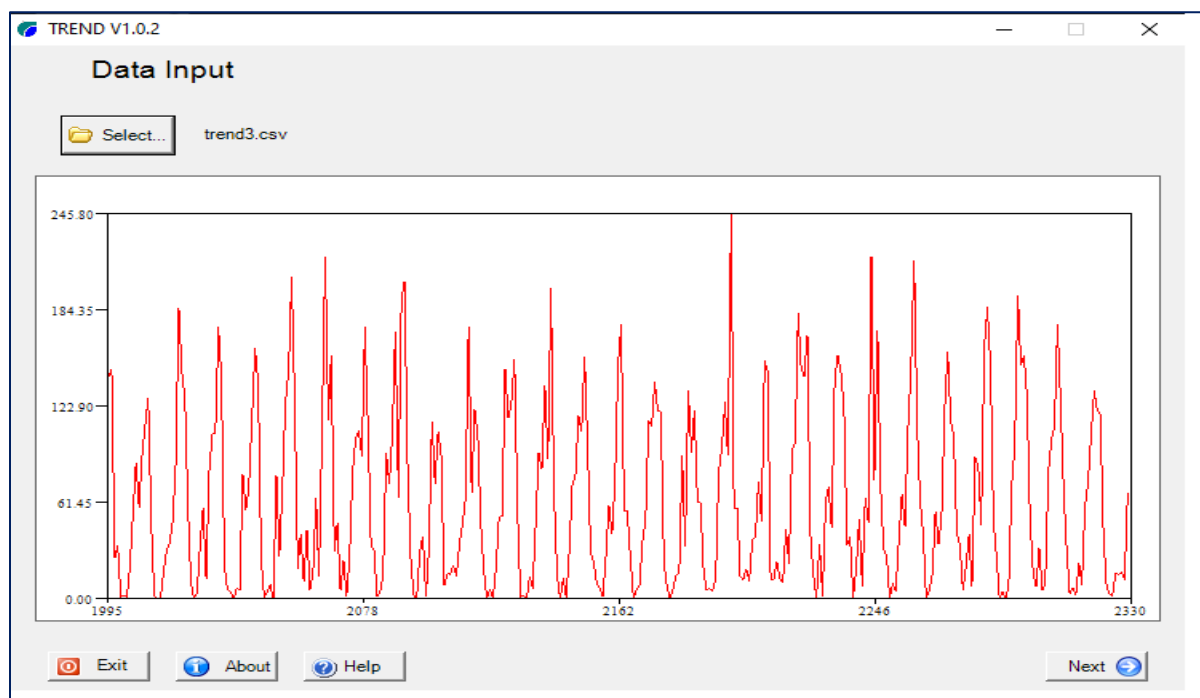


Tabla 25

Pruebas estadísticas de la estación Quinua de la cuenca Chacco-programa TREND

ESTACIÓN: QUINUA							
TABLA DE PRUEBAS ESTADISTICAS							
Pruebas Estadíst.	Z-statistic	$\alpha=0.1$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$	Result.	Tipo de Prueba	Prueba
Mann-Kendall	0.23	1.65	1.96	2.58	NS	No Paramétrico	Tendencias
Spearman's Rho	0.23	1.65	1.96	2.58	NS	No Paramétrico	Tendencias
Linear regression	-0.04	1.66	1.98	2.61	NS	Paramétrico	Tendencias
Cusum	7.00	22.36	24.93	29.88	NS	No Paramétrico	Salto
Cumulative deviation	0.44	1.18	1.31	1.57	NS	Paramétrico	Salto
Rank Sum	-0.50	1.65	1.96	2.58	NS	No Paramétrico	Salto
Student's t	-0.30	1.66	1.98	2.61	NS	Paramétrico	Salto

Fuente. Elaboración propia

Figura 47

Histograma de la precipitación de la estación Wayllapampa de la cuenca Chacco-programa TREND.

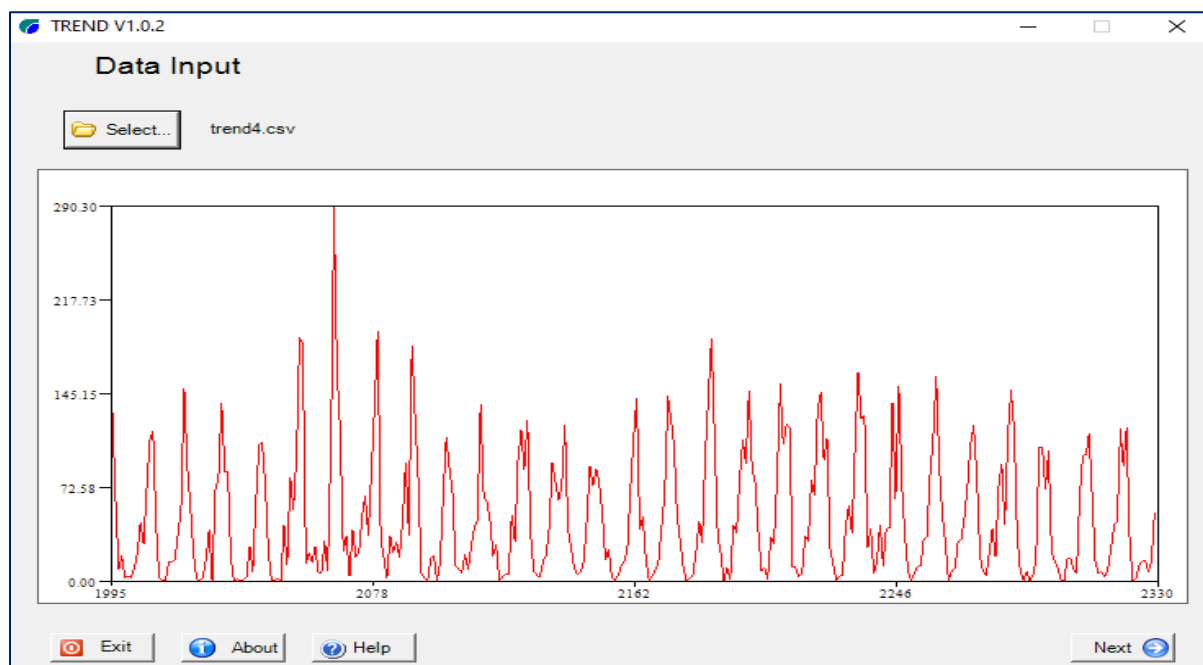


Tabla 26

Pruebas estadísticas de la estación Wayllapampa de la cuenca Chacco-programa TREND

ESTACIÓN: WAYLLAPAMPA							
TABLA DE PRUEBAS ESTADISTICAS							
Pruebas Estadíst.	Z-statistic	$\alpha=0.1$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$	Result.	Tipo de Prueba	Prueba
Mann-Kendall	0.70	1.65	1.96	2.58	NS	No Paramétrico	Tendencias
Spearman's Rho	0.74	1.65	1.96	2.58	NS	No Paramétrico	Tendencias
Linear regression	0.05	1.66	1.98	2.61	NS	Paramétrico	Tendencias
Cusum	14.00	22.36	24.93	29.88	NS	No Paramétrico	Salto
Cumulative deviation	0.65	1.18	1.31	1.57	NS	Paramétrico	Salto
Rank Sum	-1.27	1.65	1.96	2.58	NS	No Paramétrico	Salto
Student's t	-0.91	1.66	1.98	2.61	NS	Paramétrico	Salto

Fuente. Elaboración propia

Figura 48

Histograma de la precipitación de la estación Pampa Cangallo de la cuenca Chacco-programa TREND.

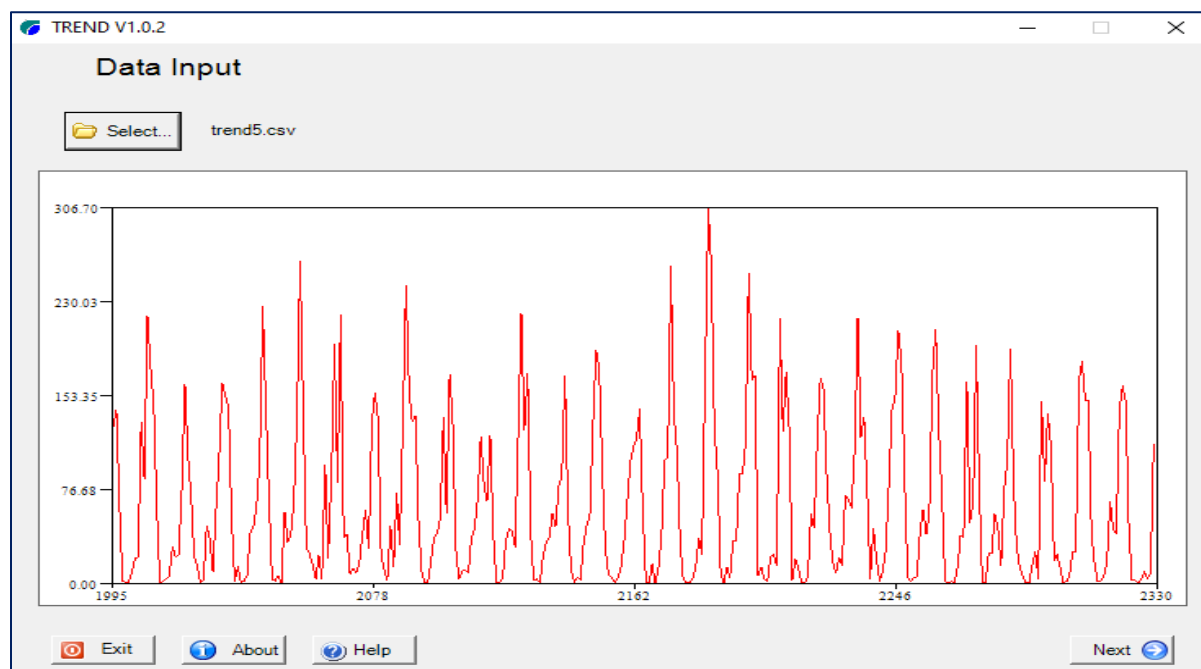


Tabla 27

Pruebas estadísticas de la estación Pampa Cangallo de la cuenca Chacco-programa TREND

ESTACIÓN: PAMPA CANGALLO							
TABLA DE PRUEBAS ESTADISTICAS							
Pruebas Estadíst.	Z-statistic	$\alpha=0.1$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$	Result.	Tipo de Prueba	Prueba
Mann-Kendall	-0.56	1.65	1.96	2.58	NS	No Paramétrico	Tendencias
Spearman's Rho	-0.52	1.65	1.96	2.58	NS	No Paramétrico	Tendencias
Linear regression	-0.38	1.66	1.98	2.61	NS	Paramétrico	Tendencias
Cusum	12.00	22.36	24.93	29.88	NS	No Paramétrico	Salto
Cumulative deviation	0.67	1.18	1.31	1.57	NS	Paramétrico	Salto
Rank Sum	0.16	1.65	1.96	2.58	NS	No Paramétrico	Salto
Student's t	-0.42	1.66	1.98	2.61	NS	Paramétrico	Salto

Fuente. Elaboración propia

Figura 49

Histograma de la precipitación de la estación INIA - Canaan de la cuenca Chacco-programa TREND.

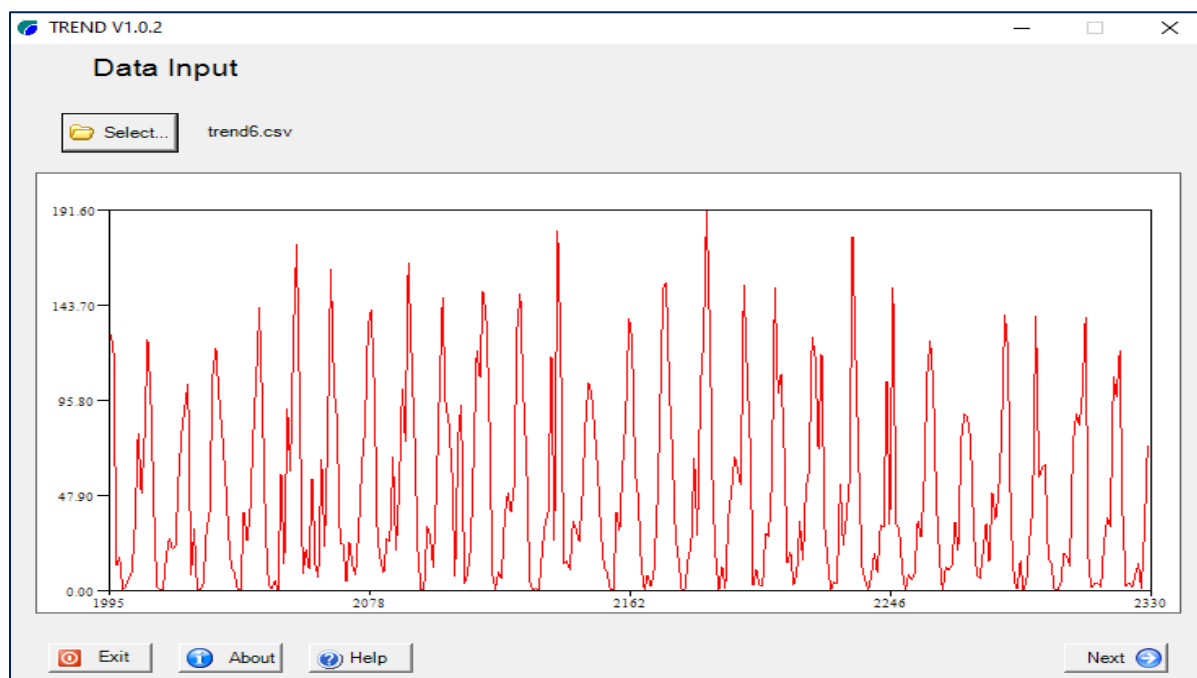


Tabla 28

Pruebas estadísticas de la estación INIA - Canaan de la cuenca Chacco-programa TREND

ESTACIÓN: INIA-CANAAN							
TABLA DE PRUEBAS ESTADISTICAS							
Pruebas Estadíst.	Z-statistic	$\alpha=0.1$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$	Result.	Tipo de Prueba	Prueba
Mann-Kendall	-1.30	1.65	1.96	2.58	NS	No Paramétrico	Tendencias
Spearman's Rho	-1.27	1.65	1.96	2.58	NS	No Paramétrico	Tendencias
Linear regression	-1.54	1.66	1.98	2.61	NS	Paramétrico	Tendencias
Cusum	15.00	22.36	24.93	29.88	NS	No Paramétrico	Salto
Cumulative deviation	1.16	1.18	1.31	1.57	NS	Paramétrico	Salto
Rank Sum	1.09	1.65	1.96	2.58	NS	No Paramétrico	Salto
Student's t	1.15	1.66	1.98	2.61	NS	Paramétrico	Salto

Figura 50

Histograma de la precipitación de la estación Chiara de la cuenca Chacco-programa TREND.

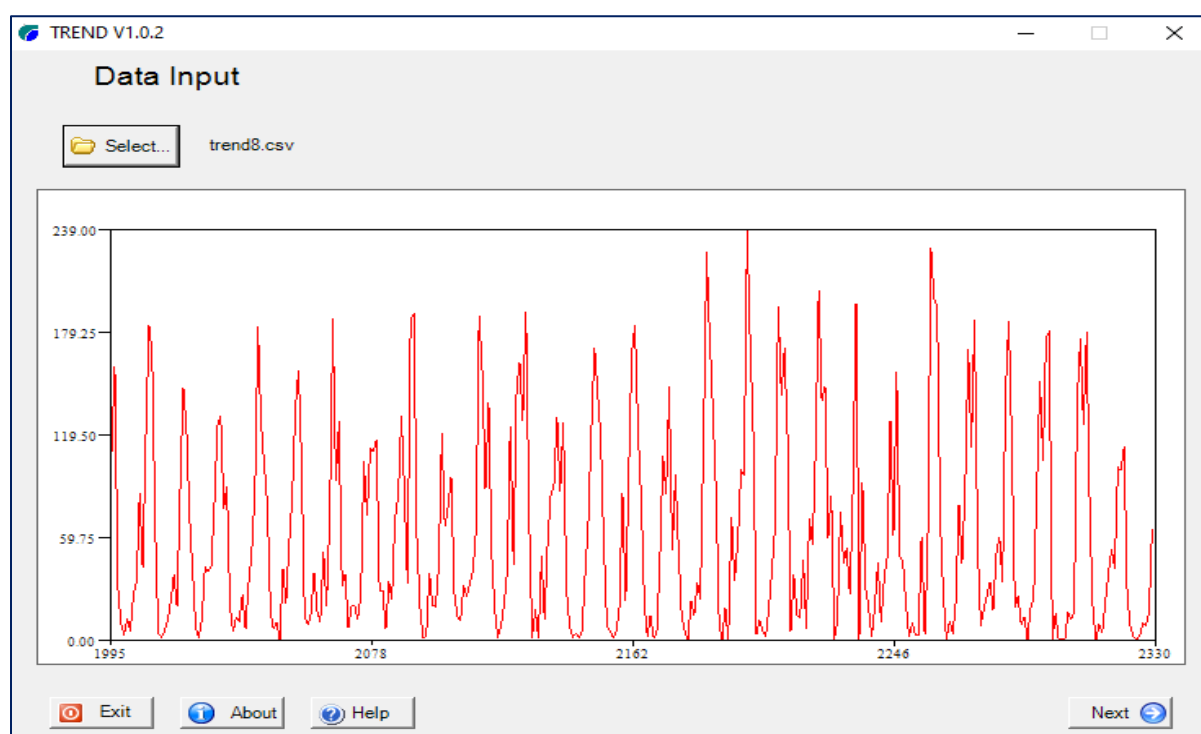


Tabla 29

Pruebas estadísticas de la estación Chiara de la cuenca Chacco-programa TREND

ESTACIÓN: CHIARA							
TABLA DE PRUEBAS ESTADISTICAS							
Pruebas Estadíst.	Z-statistic	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Result.	Tipo de Prueba	Prueba
Mann-Kendall	-0.85	1.65	1.96	2.58	NS	No Paramétrico	Tendencias
Spearman's Rho	-0.90	1.65	1.96	2.58	NS	No Paramétrico	Tendencias
Linear regression	-0.13	1.66	1.98	2.61	NS	Paramétrico	Tendencias
Cusum	14.00	22.36	24.93	29.88	NS	No Paramétrico	Saltos
Cumulative deviation	0.59	1.18	1.31	1.57	NS	Paramétrico	Saltos
Rank Sum	0.42	1.65	1.96	2.58	NS	No Paramétrico	Saltos
Student's t	-0.41	1.66	1.98	2.61	NS	Paramétrico	Saltos

Fuente. Elaboración propia

3.1.3. Factor "R" (Erosividad)

Se determinó el factor "R" mediante el método de Índice de Fournier Modificado o también denominado índice de agresividad de la lluvia y se clasificó según la tabla de IFM para Latinoamérica; por lo tanto, obteniendo valores de 193.67 MJ.mm/ha.h.año con un (0.05% del área total) se clasificó como Muy Alto y con un valor de 139.73 MJ.mm/ha.h.año con un (4.56% del área total) se clasificó como alto.

Tabla 30

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

FACTOR_R (MJ.mm/ha.h.año)	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE (%)	CLASIFICACIÓN
139.73	5065.58	4.56	Alto
148.86	6669.34	6.00	Alto
156.08	8741.56	7.86	Alto
163.09	10323.01	9.28	Muy alto
169.67	12723.84	11.44	Muy alto
176.04	16844.92	15.15	Muy alto
181.78	33919.08	30.50	Muy alto
187.09	16862.31	15.16	Muy alto
193.67	54.36	0.05	Muy alto
TOTAL	111204.01	100.00	

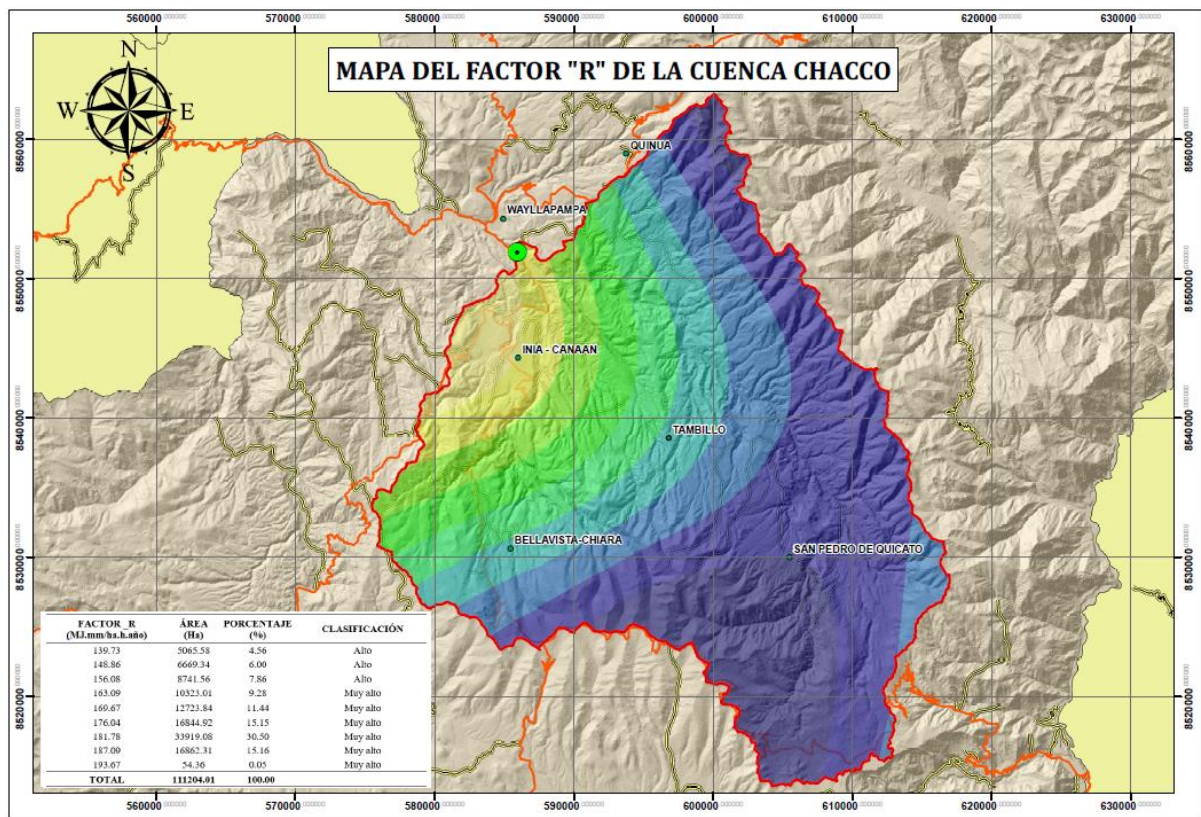
Fuente. Elaboración propia

Análisis:

En la Figura 51 se puede apreciar que la cuenca Chacco tiene un promedio de factor "R" muestran los rangos de erosión por lluvia. La parte más baja de la cuenca tiene una tolerancia de erosionar desde 139.73 a 148.86 MJ.mm/ha.h.año, mientras que en la parte alta se puede tolerar desde 187.09 a 193.67 MJ.mm/ha.h.año el factor erosivo de la lluvia.

Figura 51

Mapa del factor de erosividad (R) - cuenca Chacco



Fuente. Elaboración propia

3.1.3. Factor "K" (Erodabilidad)

Se presenta en la siguiente tabla 31 la clasificación del factor "K" según los grados de erodabilidad USDA 1962; por lo tanto, con un valor de 0.017 Ton.ha.h/ha.MJ.mm con un (14.99% del área total) son suelos débilmente erodable y 0.021 a 0.029 Ton.ha.h/ha.MJ.mm con un (85.01% del área total) son suelos medianamente erodable.

Tabla 31

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

FACTOR_K (Ton.ha.H/MJ.ha.mm)	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)	CLASIFICACIÓN
0.0170	16665.13	14.99	Débilmente erodable
0.0210-0.0225	38256.86	34.40	Medianamente erodable
0.0225-0.0239	41051.22	36.92	Medianamente erodable
0.0239-0.0260	12625.08	11.35	Medianamente erodable
0.0260-0.0293	2605.73	2.34	Medianamente erodable
TOTAL	111204.01	100.00	

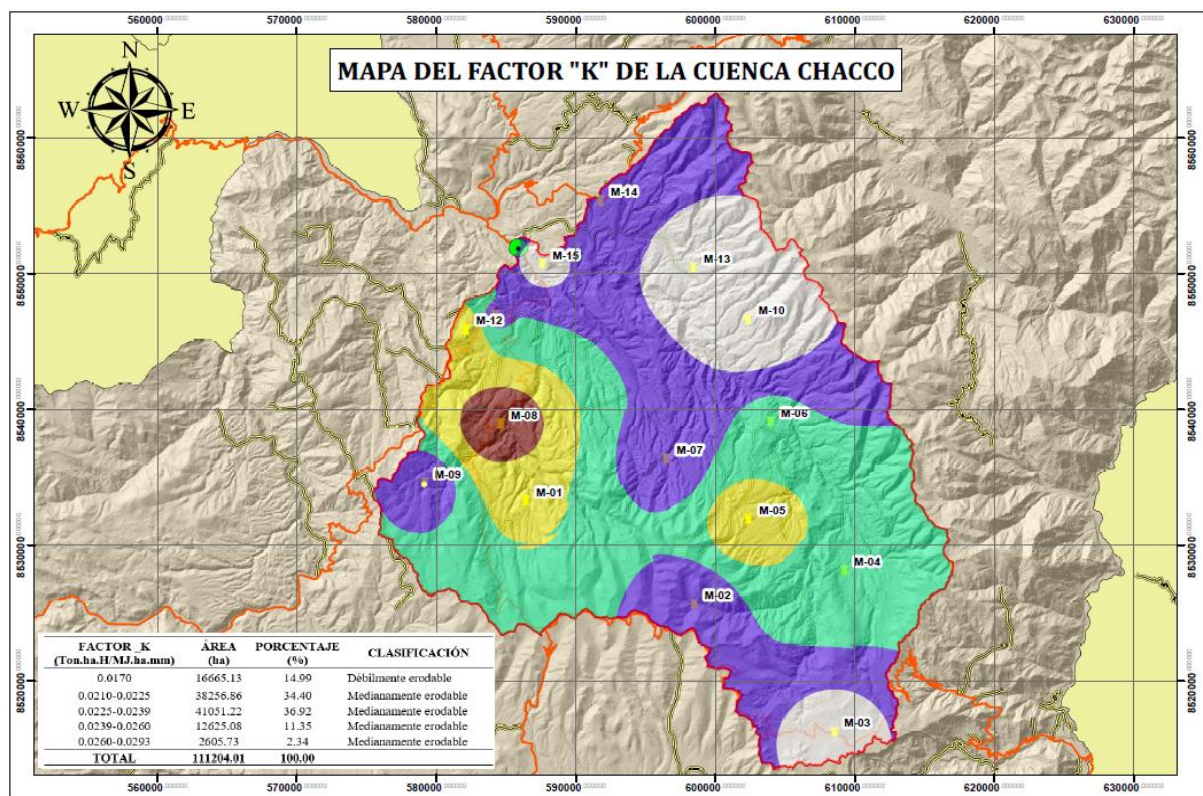
Fuente. Elaboración propia

Análisis:

En la Figura 52 podemos observar que la cuenca Chacco se caracteriza por presentar suelos débilmente erodable donde existen extensiones de terrenos con cobertura vegetal y suelos medianamente erodable en suelos semi desnudos y de alta pendiente.

Figura 52

Mapa del factor de erodabilidad (K) - cuenca Chacco



Fuente. Elaboración propia
3.1.4. Factor “LS” Topográfico

Para la cuenca Chacco el factor “LS” se clasificó según los grupos de pendientes donde se determinó “LS”=0.30 con un (92.28% del área total), “LS”=1.50 con un (7.52% del área total) y con un con valor de “LS”=3.40 con un (0.20% del área total); por lo tanto, los valores altos son de zonas de mayor pendiente y los valores menores de pendientes suaves, en el siguiente tabla 32 de adetallan.

Tabla 32
Resultados del factor de topografía (LS) para la cuenca Chacco

GRUPOS DE PENDIENTE EN %	FACTOR LS	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)
0.5604	0.3	93685.25	84.25
1.7339	0.3	5022.84	4.52
2.8574	0.3	3909.47	3.52
3.9484	1.5	2729.00	2.45
5.0519	1.5	2089.33	1.88
6.2572	1.5	1701.95	1.53
7.6845	1.5	1178.50	1.06
9.576	1.5	663.64	0.60
15.6485	3.4	224.03	0.20
TOTAL		111204.01	100.00

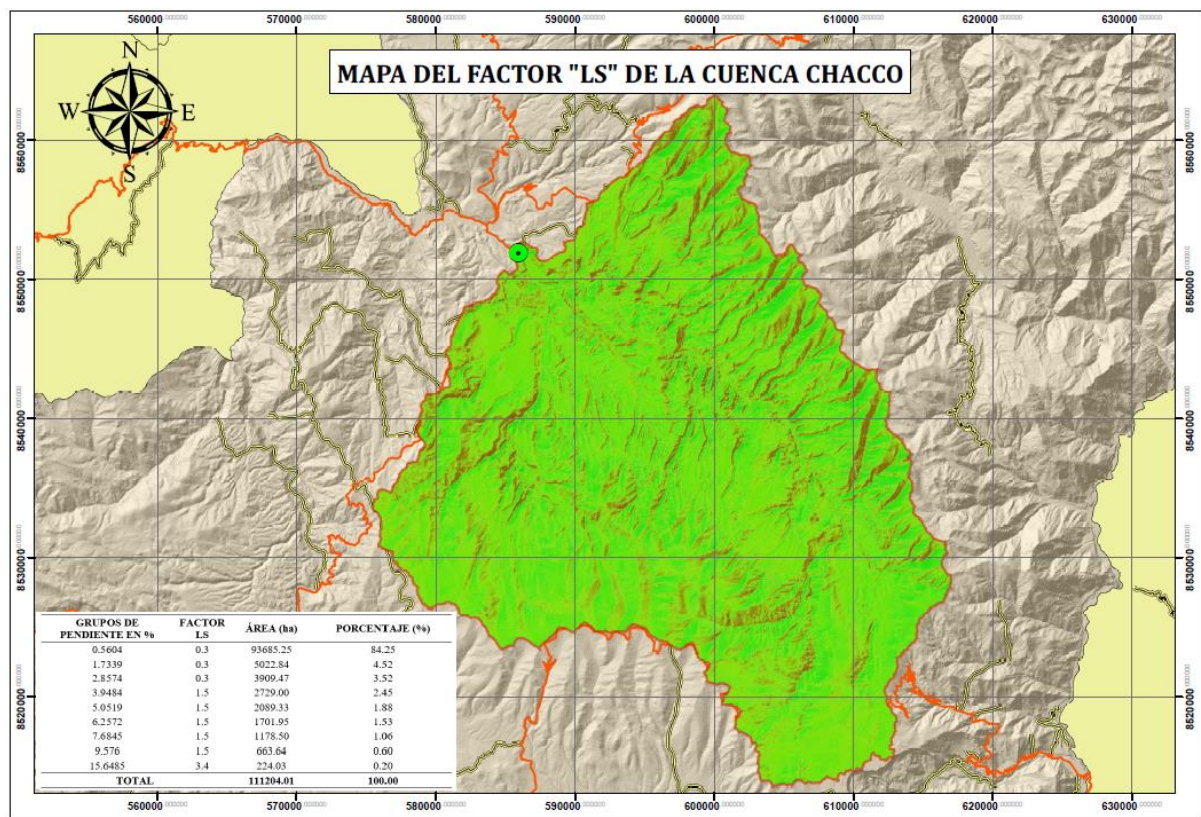
Fuente. Elaboración propia

Análisis:

En la Figura 53 se aprecia una menor susceptibilidad de pendiente 0.56% a 2.86% y de mayor susceptibilidad 15.64% del área a sufrir erosión hídrica en la cuenca Chacco.

Figura 53

Mapa del factor de topográfico (LS) - cuenca Chacco



Fuente. Elaboración propia

3.1.5. Factor “P” (Prácticas de conservación)

Para la presente investigación no se consideró el factor “P” por lo que en las visitas a campo no se observó las prácticas de conservación.

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

3.2.1. Factor “C” Cobertura Vegetal

La Cobertura vegetal fue agrupada según la tabla de valores del NDVI (Revista Técnica de la facultad de ingeniería, Universidad de Zulia, 2020); por lo tanto se determinó que el (0.004% del área total) presenta bosque, cultivos y pastizales; con un (0.62% del área total) presenta pastizales; con un (19.46% del área total) presenta cultivos y pastizales, con un

(79.80% del área total) son de mayor significancia presenta cultivos y arbustales; finalmente con un (0.13% del área total) presenta vegetación escasa.

Tabla 33

Resultados del factor de cobertura vegetal C para la cuenca Chacco

FACTOR "C "	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)	DESCRIPCIÓN
0.173-0.2	4.02	0.00	Bosque, Cultivo y Pastizales
0.2-0.29	683.98	0.62	Pastizales
0.3-0.399	21638.78	19.46	Cultivos y pastizales
0.4-05	88736.11	79.80	Cultivos y arbustales
0.5-0.59	141.12	0.13	Vegetación escasa
TOTAL	111204.01	100.00	

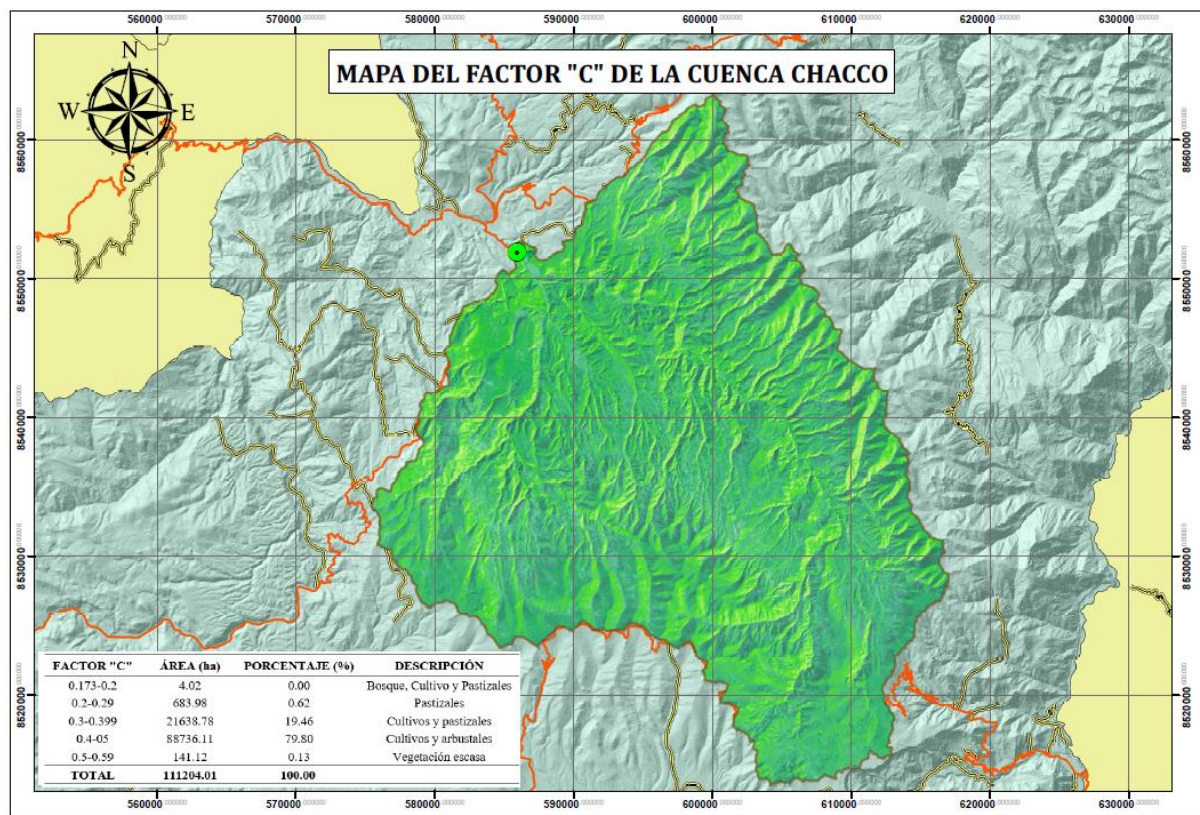
Fuente. Elaboración propia

Análisis:

En la Figura 54 se aprecia el uso de los suelos de la cuenca Chacco, donde se determinó que los cultivos y arbustales son de mayor significancia y que ayudan a que el suelo no erosione, la zona céntrica de la cuenca se observa que hay intervención del hombre y que a los extremos de la cuenca se observa que no han sido intervenidos, las zonas con vegetación escasa son donde existen centros poblados y carreteras.

Figura 54

Mapa del factor de cobertura vegetal C - cuenca Chacco



Fuente. Elaboración propia

3.3 Cálculo de la erosión potencial y actual para la cuenca Chacco

3.3.1. Erosión potencial

La erosión hídrica potencial fue agrupada según las tablas adaptadas de la FAO (1980), se identificó las zonas de mayor y menor susceptibilidad a ser erosionadas por lo que los valores obtenidos solo son influenciados por la longitud y gradiente pendiente de la cuenca, intervención de la lluvia y por el tipo de suelo; por lo tanto se determinó con un valor menor a $0.5 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}$ influye un área de 92059.07 ha con un (82.79% del área total) presenta erosión normal, con un valor $0.5 \text{ a } 5 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}$ influye un área 4450.19 ha con un (4% del área total) presenta una erosión ligera, con un valor $5 \text{ a } 15 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}$ influye un área 8420.72 ha con un (7.57% del área total) presenta una erosión moderada, con un valor $15 \text{ a } 50 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}$ influye

un área 6259.23 ha con un (5.62% del área total) presenta una erosión severa y finalmente con un valor 50 a 70.15 t.ha⁻¹.año influye un área 17.80 ha con un (0.02% del área total) presenta una erosión muy severa.

Tabla 34

Resultados de la erosión potencial para la cuenca Chacco

EROSIÓN POTENCIAL (t.ha⁻¹.año)	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)	ALTITUD (m.s.n.m)	TIPO DE EROSIÓN
<0.5	92059.98	82.78	2499 - 4464	Normal
0.5-5	4450.19	4.00	2500 - 4464	Ligera
5-15	8420.72	7.57	2500 - 4465	Moderada
15-50	6256.23	5.63	2508 - 4463	Severa
50-70.15	17.8	0.02	2686 - 4323	Muy severa
TOTAL	111204.92	100.00		

Fuente. Elaboración propia

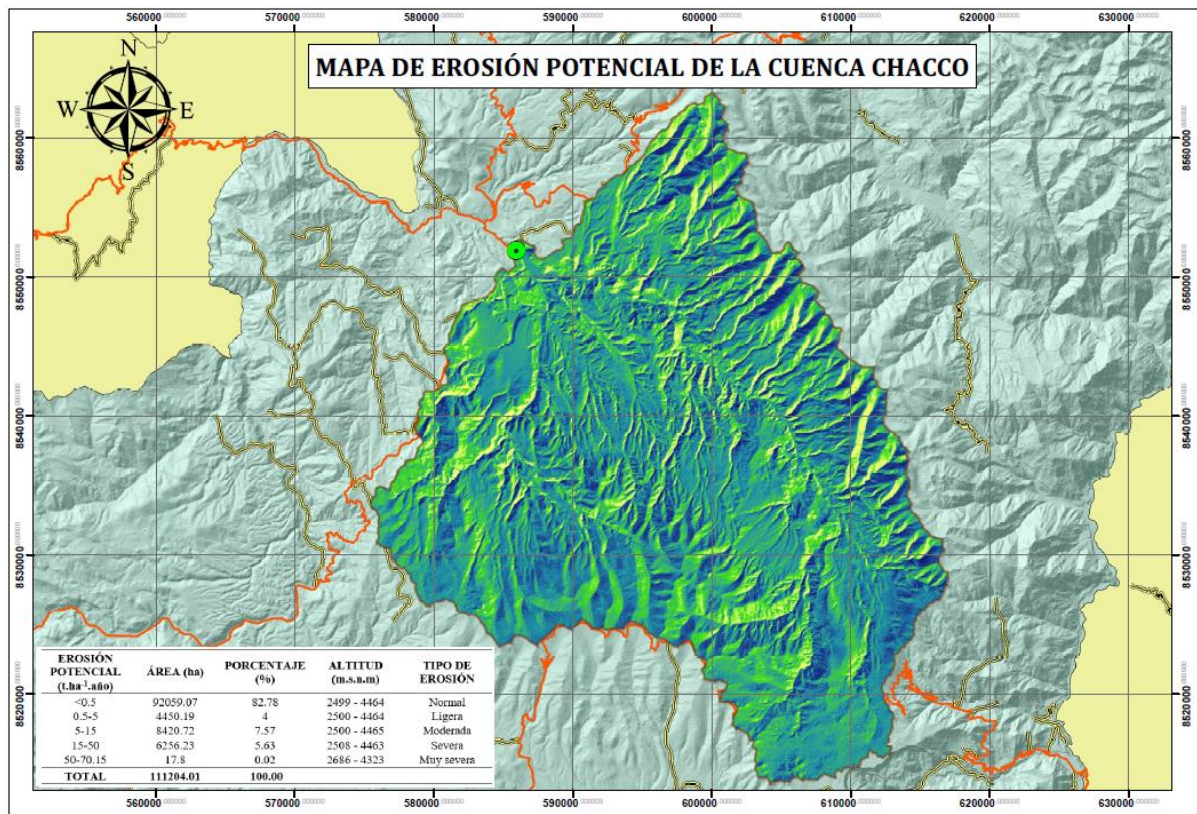
Análisis:

En la Figura 55, se ilustra la distribución de la erosión potencial como un riesgo, el cual es determinado por la capacidad del suelo, el clima y la topografía de la cuenca Chacco causado principalmente por intensas lluvias. Se ha determinado que no hay evidencia de erosión catastrófica. En la parte baja de la cuenca, la erosión es normal y ligera; esto nos indica que los suelos de la cuenca tiene una ligera inclinación u ondulación, y está cubierto en su mayoría (más del 50% pero menos del 75%) por vegetación nativa, es decir, plantas que son propias del ambiente en el que están naturalmente; la erosión moderada, nos referimos a que se ha perdido entre el 40% y el 60% del suelo original, y se puede observar claramente el subsuelo; la erosión severa se da cuando los suelos presentan surcos y cárcavas ocasionalmente, esto significa que entre el 30% y el 60% de la superficie muestra el subsuelo visible en la cuenca en estudio; por último, se muestra una erosión muy severa es decir los suelos no son aptos para el cultivo, ya

que más del 60% de la superficie está destruida y hay presencia de cárcavas con una distancia promedio entre 5 y 10 metros entre ellas.

Figura 55

Mapa de erosión potencial - cuenca Chacco



Fuente. Elaboración propia

3.3.2. Erosión actual

La erosión hídrica actual fue agrupada según las tablas adaptadas de la FAO (1980) mediante esta tabla se identificó las zonas de mayor y menor susceptibilidad a ser erosionadas por lo que los valores obtenidos solo son influenciados por la longitud y gradiente pendiente de la cuenca, intervención de la lluvia, por el tipo de suelo, uso actual de suelos y las prácticas de conservación; por lo tanto se determinó con un valor menor de 0.5 t.ha⁻¹.año influye un área de 92827.30 ha con un (83.48% del área total) presenta erosión normal, con un valor 0.5 a 5 t.ha⁻¹.año influye un área 10029.21 ha con un (9.02% del área total) presenta una erosión ligera,

con un valor 5 a 15 t.ha⁻¹.año influye un área 7957.63 ha con un (7.16% del área total) presenta una erosión moderada y finalmente con un valor 15 a 33.30 t.ha⁻¹.año influye un área 389.98 ha con un (0.35% del área total) presenta una erosión muy severa.

Tabla 35

Resultado de la erosión actual para la cuenca Chacco

EROSIÓN ACTUAL (t.ha⁻¹.año)	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)	ALTITUD (m.s.n.m)	TIPO DE EROSIÓN
<0.5	92827.3	83.47	2499 - 4464	Normal
0.5-5	10029.21	9.02	2500 - 4465	Ligera
5-15	7957.63	7.16	2505 - 4463	Moderada
15-33.30	389.88	0.35	2534 - 4421	Severa
TOTAL	111204.19	100.00		

Análisis:

En la Figura 56 se aprecia la distribución de los niveles de la erosión actual de la cuenca Chacco, donde se determinó que no hay un indicador de la erosión muy severa y catastrófica; por tanto, la gran parte de la cuenca Chacco presenta erosión Normal esto depende a la cobertura existente en la zona de estudio.

Figura 56

Mapa de erosión actual - cuenca Chacco



CONCLUSIONES

1. Se determinó los factores de erosión hídrica para la cuenca Chacco; para el factor de erosividad (R) se aplicó el método del índice modificado de Fournier obteniendo valores entre 139.73 a 193.67 MJ.mm/ha.h.año que indica muy alta erosividad; para el factor de erodabilidad (K) se aplicó el método de extracción de muestras obteniendo valores de 0.017 Ton.ha.h/ha.MJ.mm clasificándose como un tipo de suelo débilmente erodable y valores entre 0.021 a 0.029 Ton.ha.h/ha.MJ.mm de suelo medianamente erodable y finalmente se determinó el factor de longitud y gradiente de la pendiente (LS) obteniendo valores adimensionales de 0.3 a 3.4 con pendientes promedio.
2. Se determinó el factor de cobertura vegetal (C) para la cuenca Chacco a partir del satélite Sentinel 2A que tiene una buena resolución y gran calidad. Siendo un buen estimador de cobertura y fue clasificada por el NDVI lo cual indica con mayor valor entre 0.4 – 0.5 con un (79.80% del área total) son cultivos y arbustales.
3. Se determinó la erosión potencial para la cuenca Chacco aplicando la metodología de USLE y se clasificó según la FAO (1980) de 0.5 t.ha⁻¹.año, el 82.79% del área total presenta erosión normal y de 70.15 t.ha⁻¹.año en (0.02% del área total) es muy severa; por lo tanto, la cuenca no es altamente erosionada; y mediante el método USLE se determinó la erosión actual y se clasificó según la FAO (1980) con 0.5 t.ha⁻¹.año en un (83.48% del área total) siendo erosión normal y con 33.30 t.ha⁻¹.año en un (0.35% del área total) es severa, por lo tanto, se concluye que la cuenca no es altamente erosionada.

RECOMENDACIONES

1. A partir de la presente investigación se recomienda a las autoridades tomar como base para la toma de decisiones, gestionen y planifiquen los diferentes proyectos de prevención y/o conservación de los suelos afectados en la cuenca Chacco.
2. Actualizar los datos hidrometeorológicos a nivel regional y nacional para monitorear las precipitaciones y obtener más información sobre las precipitaciones, sí obtener una información más detallada para determinar la erosión del suelo.
3. Realizar estudios de erosión en cuencas con mayor superficie, considerar incrementar el número de muestras extraídas en la zona de estudio para obtener mayor información de la erodabilidad así plantear prácticas de conservación para prevenir el suelo erosionable y preservar del recurso hídrico.
4. Emplear las imágenes satelitales de Sentinel 2A para determinar la cobertura vegetal porque son de descarga gratuita y contienen información más detallada y la resolución de las imágenes son a 10 metros, lo que nos permite obtener mejores resultados en la Cálculo de la erosión actual.
5. Sensibilizar a la población de la cuenca Chacco sobre el uso sustentable y preventivo de los sistemas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agama, M. (2022). *Cálculo de los factores que influyen en la pérdida de los suelos mediante la USLE en la microcuenca San Alberto del distrito de Oxapampa*.
<http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2457>
- Arias, J. (setiembre de 2020). *Proyecto de tesis guía para la elaboración*.
<http://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/2236>
- Arnoldus, H. (1980). *"Una Aproximación del Factor de Lluvias en la Ecuación Universal de Pérdida de suelo"*.
- BPA. (2020). *Recomendaciones para Muestreo de Suelos*.
<https://doi.org/https://redbpa.org.ar/wp-content/uploads/2021/04/EP-RedBPA-MuestreoDe-Suelos.pdf>
- Cahuana, A., & Yugar, W. (2009). *Materiales de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de Hidrología CIV-233*.
- Carvalho, D., Lucio, V., Homem, M., Sanchez, P., & Sampaio, W. (2014). Predicting soil erosion using Rusle and NDVI time series from TM Landsat 5.
<https://www.scielo.br/j/pab/a/kMN3dwZ7cdyvwXQDjwDFYMs/?lang=en>
- CMNUCC. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. 26.
<https://doi.org/https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Dumas, A. (2012). *Riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica del río Mundo*. Tesis de Máster en Tecnologías de la Información Geográfica. Madrid, España.
<https://doi.org/Universidad Complutense de Madrid>.
- FAO. (1980). *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*.
https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30905/Cartografica_Desertizacion_SP.pdf?sequence=2&isAllowed=y

- Farfán. (2002). *“Cálculo del índice de erosividad pluvial (R) de la ecuación universal de pérdida de suelos, para dos estaciones pluviográficas de la VII región del Maule”*. Chile:Investigación de tesis de ingeniería forestal.
- Fonseca, S. (2015). *Manual del Software Trend pruebas estadísticas de series de tiempo hidrológicas*.
- Gaitán, J., Navarro, M., M., T. L., M., P., & Carfagno, P. (2017). *Cálculo de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la Republica Argentina*. Investigación, desarrollo e innovación.https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/INTADig_3873cf8104bfe6f030f557d5e16d7c38
- Garcia, J. (2005). *Modelos paramétricos Modelos USLE Y Modelos RUSLE*.
- Gardi, C., Angeline, M., Ccomerma, J., & Cruz Gaistardo, C. (2014). *Atlas de suelos de América Latina y el Luxemburgo*. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.
- INETER. (2005). Erosión Hídrica-mapa de amenazas-recomendaciones técnicas para su elaboración. 52.
<https://webserver2.ineter.gob.ni/geofisica/proyectos/metalarn/erosion.pdf>
- Lobo, D., Gabriels, D., Ovalles, F., & Santibañez, F. (2006). *Guía metodológica para la elaboración el mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe*. Obtenido de https://www.cazalac.org/wp-content/uploads/2023/06/Guia_metodologica_Mapa_ZA_ALC.pdf
- Mancilla, G. (2008). *“Uso de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE) en el campo forestal”*. Obtenido de <https://docplayer.es/19450012-Uso-y-conservacion-de-suelos.html>
- Mejia, J., Dal Pozo, F., Montilla, P., & Torres, G. (2010). *"Evaluación cuali-cuantitativa de la erosión hídrica en la microcuenca Aguas Calientes, estado Mérida-Venezuela"*.

Revista Geográfica Venezolana, vol.51., no. 2, pp. 203-223, ISSN 1012-1617, 2244-8853.

Morgan, R. (2005). *Soil erosion and conservation (Vol. Third edition)*. Malden, MA, USA: Blackwell Publishing.

Muñoz, P. (2013). *Apuntes de teledetección: Índice de vegetación*. Centro de Información de Recursos Naturales.

Niño, D., & Castro, H. (2020). *Integrales de imagenes satelitales sentinel - 2 en CDCOL*. Universidad de los Andes.
<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/47e95994-5786-47a6-8e60-a36fa1dfdd5e/content>

Ordoñez, J. (2011). *Ciclo hidrológico*. Obtenido de Construyendo al desarrollo de una cultura del Agua: <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-privada-del-norte/geologia/ordonez-2011-nota-8/9117684>

Pardo, C. (2020). *Metodología para el monitoreo de cultivos a partir de imágenes satelitales con Machine*. Universidad de Los Andes.

Perales, A. (2019). *Perdida de suelo por erosión hídrica aplicando el modelo RUSLE en la cuenca del Río Supte Grande, provincia Leoncio Prado - Huánuco*.
<https://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/1720>

Pizarro, R. e. (2009). *Propuesta de un modelo de Cálculo de erosión hidrica para la región de Coquimbo. PHI(Programa Hidrológico Internacional)-VII, Documento Técnico N°18. Chile*.

Ramírez, F., Hincapié, E., & Sadeghian, S. (2007). *Erosividad de las lluvias en la zona cafetere central y occidental del departamento de Caldas*.
[https://www.cenicafe.org/es/publications/arc058\(01\)040-052.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc058(01)040-052.pdf)

- Rivera, R. (2012). *El proceso lluvia-escorrentamiento-erosión en laderas y microcuencas instrumentadas*.
- Rojas, P. (2015). *Qué es una curva hipsométrica*. Obtenido de Diccionario de hidrología:
<https://ingeciv.com/que-es-una-curva-hipsometrica/>
- Ruiz, A., & Pacheco, H. (2020). *Cálculo del Factor C de la RUSLE en la microcuenca del río Lodana, Ecuador, usando imágenes del satélite Sentinel 2*. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería. <https://doi.org/Universidad de Zulia>
- SENAMHI. (2013). *Balance hídrico superficial - Cuenca del río Chicama*.
<https://doi.org/https://www.senamhi.gob.pe/load/file/docTec-2013-senamhi.pdf>
- SENAMHI. (2017). *Atlas de Erosión de Suelos por Regiones Hidrológicas del Perú*.
https://idesepe.senamhi.gob.pe/portallidesepe/files/tematica/atlas/erosi%C3%B3n_de_suelo/Atlas_Erosion_Suelos_por_Regiones_Hidrologicas_Peru.pdf
- Sierra, J. (2019). *"Influencia de las características morfométricas en la erosión de la cuenca del Río Tamulasco y su efecto en el aporte de sedimentos al Embalse Cerrón Grande, El Salvador"*.<https://repositorio.unan.edu.ni/11009/>
- Solano, R. (2016). *Cálculo de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la subcuenca del río Shullcas 2000 - 2013, Huancayo*.
<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3486>
- UNESCO. (2010). *Procesos de erosión - sedimentación en cauces y cuencas (Vol. 1)*. Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe (PHI-LAC).
- USDA. (1962). *Servicio de conservación de suelos en colaboración con Estación Experimental Agrícola de California*.
<https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/37e63e5a-ca0b-4096-8375-c4d630d1df53/content>

- Van der Knijff, J., Jones, R., & Montanarella, L. (1999). *Soil Erosion Risk Assessment in Italy*. https://esdac.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/serae/GRIMM/italia/eritaly.pdf
- Velasquéz, S. (2008). *Erosión de suelos utilizando la EUPSR (RUSLE)*. Geomática Ambiental: <https://sigagis.blogspot.com/2014/11/erosion-de-suelos-utilizando-la-eupsr.html>
- Villanueva, G., & Osinaga, R. (2004). *Cátedra de Uso sustentable de los suelos*. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta.
- Villón, M. (2002). *Hidrología*. Lima: Villón.
- Williams, J., Dyke, P., Fuschs, w., Benson, V., Rice, O., & Taylor, E. (1990). *EPIC-- Erosion/Productivity Impact Calculator: 2 User manual*. Sharpley, A.N. y J.R. https://doi.org/https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNABL524.pdf
- Wischmeier, w., Smith, R., & Goodrich, D. (1990). *Kinematic Runoff and Erosion Model*.
- Zaragoza, E. (2021). *Análisis multitemporal de la cobertura del terreno y asociación con las tasas de erosión hídrica en Acapulco, Puebla*. <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/3597>

ANEXOS

1.- DATOS DE LAS PRECIPITACIONES DE LAS ESTACIONES UTILIZADAS



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO

GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA

SUB GERENCIA DE OBRAS

RED HIDROMETEOROLOGICA



Estació Estación: : **TAMBILLO**

Parametro: Precipitacion diaria mensual (mm)

Latitud: : 13° 13' 6.65" S

Longitud: : 74° 6' 22.69" W

Altitud: : 3250

Dpto: AYACUCHO

Prov: HUAMANGA

Dist: TAMBILLO

ITEM	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	MEDIA
1	1995	143.2	111.4	148.9	60.8	13.0	1.0	10.3	4.5	19.2	54.7	89.6	83.2	739.8	61.65
2	1996	101.2	100.4	186.5	48.8	13.2	2.1	0.3	19.5	31.3	68.6	26.4	82.8	681.1	56.76
3	1997	180.3	195.6	108.2	53.5	6.2	0.0	3.1	0.0	0.0	51.4	124.1	135.4	857.8	71.48
4	1998	181.9	152.0	98.8	44.3	2.1	18.8	0.0	0.8	19.0	73.8	50.1	75.2	716.8	59.73
5	1999	136.6	165.9	130.5	19.8	0.5	3.7	5.0	0.0	57.2	25.7	79.1	96.1	720.1	60.01
6	2000	137.9	155.5	110.5	16.4	55.4	17.3	49.0	5.1	9.4	65.7	20.8	94.1	737.0	61.42
7	2001	188.4	75.5	123.1	36.4	43.9	5.9	28.3	16.6	15.9	40.2	105.1	80.5	759.8	63.32
8	2002	111.2	187.7	162.1	47.8	17.7	1.8	32.6	12.8	35.5	30.2	72.8	115.6	827.8	68.99
9	2003	94.2	181.2	120.1	60.8	10.7	0.0	0.0	44.3	9.9	5.8	11.7	118.0	656.5	54.71
10	2004	69.8	162.5	65.4	17.0	10.8	9.8	28.8	7.5	29.2	48.8	58.1	168.1	675.8	56.32
11	2005	86.5	75.4	178.2	19.4	0.2	0.0	4.4	1.5	22.1	55.3	44.1	151.7	638.8	53.23
12	2006	121.3	109.2	111.2	40.7	1.5	1.8	0.0	14.9	9.0	66.7	172.0	68.1	716.4	59.70
13	2007	110.2	82.2	141.8	57.5	4.3	0.0	19.0	1.0	25.2	77.7	31.6	109.7	660.3	55.02
14	2008	110.2	148.5	72.8	7.9	10.4	2.0	0.0	1.4	8.1	38.4	31.5	74.5	505.6	42.13
15	2009	133.3	124.3	64.9	67.7	23.8	0.0	9.4	0.2	21.0	26.7	97.7	140.8	709.8	59.15
16	2010	186.9	88.1	96.2	40.2	13.8	0.0	0.0	15.4	12.8	62.3	23.6	115.2	654.5	54.54
17	2011	221.3	132.8	116.3	79.7	17.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	82.3	143.7	794.0	66.17
18	2012	135.1	232.9	123.7	101.7	5.1	18.8	0.9	3.7	0.0	0.0	59.9	192.0	873.8	72.82
19	2013	149.3	123.2	94.3	21.3	22.9	9.0	12.7	35.8	10.2	77.2	66.7	152.9	775.5	64.63
20	2014	194.4	107.9	186.6	40.9	15.8	0.0	17.2	1.7	61.5	92.1	55.2	143.3	916.6	76.38
21	2015	159.3	146.7	108.6	27.8	29.4	7.9	30.1	60.2	9.7	35.4	44.7	155.1	814.9	67.91
22	2016	49.3	156.0	8.3	28.1	17.6	44.7	8.5	6.3	20.3	50.4	60.1	67.7	517.3	43.11
23	2017	156.6	195.6	6.6	71.3	38.9	135.0	13.3	7.7	24.0	64.8	42.5	123.5	879.8	73.32
24	2018	156.6	124.6	121.7	32.7	11.2	10.6	30.6	39.3	13.9	52.9	39.6	64.5	698.2	58.18
25	2019	132.4	195.3	143.2	28.3	9.2	6.4	5.9	0.0	12.5	24.5	122.6	204.9	885.2	73.77
26	2020	60.7	169.3	97.8	10.1	24.0	4.4	0.5	3.2	68.9	14.5	12.4	115.5	581.3	48.44
27	2021	121.0	112.7	154.5	88.4	22.5	3.7	1.9	2.3	13.6	38.3	79.8	57.5	696.2	58.02
28	2022	129.3	122.8	239.3	37.9	10.0	2.3	0.0	10.7	23.7	10.4	18.3	97.7	702.4	58.53
Nº DATOS		28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00
MEDIA		134.23	140.54	118.58	43.11	16.14	10.96	11.14	11.30	20.82	44.73	61.51	115.26	728.32	60.69
DESV. STD		41.00	40.19	49.12	23.45	12.98	25.61	13.12	15.20	16.99	24.57	37.60	38.68	102.36	8.53
C.V.		0.31	0.29	0.41	0.54	0.80	2.34	1.18	1.34	0.82	0.55	0.61	0.34	0.14	0.14
P.MAXIMA		221.30	232.90	239.30	101.70	55.38	135.00	49.01	60.20	68.90	92.10	172.00	204.90	916.60	76.38
P.MINIMA		49.30	75.40	6.60	7.90	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.65	57.50	505.59	42.13
PROMEDIO		134.23	140.54	118.58	43.11	16.14	10.96	11.14	11.30	20.82	44.73	61.51	115.26	728.32	60.69



REGISTRO DE PRECIPITACIONES MENSUAL COMPLETADAS Y EXTENDIDAS

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)



Estación: **SAN PEDRO DE QUICATO**

Latitud: 13° 17' 44" S

Dpto: Ayacucho

Parámetro: Precipitación Mensual (mm)

Longitud: 74° 01' 33" W

Prov: Huamanga

Altitud: 497 msnm

Dist: Acocro

ITEM	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	MEDIA
1	1995	178.1	130.1	182.6	31.9	10.3	2.2	5.2	2.3	11.8	52.2	94.8	113.0	814.5	67.88
2	1996	126.6	199.1	188.4	79.8	11.5	0.5	0.0	26.5	26.5	52.0	58.3	132.4	901.6	75.13
3	1997	235.7	150.3	91.8	55.7	14.6	0.0	1.6	27.0	49.7	39.3	98.3	112.0	876.0	73.00
4	1998	163.4	164.1	109.3	39.8	14.3	51.2	0.0	0.0	9.7	90.2	64.0	107.4	813.4	67.78
5	1999	143.8	159.7	174.9	64.9	20.9	0.7	1.4	3.4	46.9	37.3	68.6	94.7	817.2	68.10
6	2000	254.2	219.2	151.3	41.2	12.8	27.0	33.7	9.2	28.9	51.5	19.1	66.1	914.2	76.18
7	2001	295.0	79.6	74.9	34.9	35.8	1.7	18.7	32.6	16.8	35.1	100.4	93.8	819.3	68.28
8	2002	150.8	245.8	37.0	26.9	19.5	1.8	15.0	16.0	34.4	21.7	157.4	145.9	872.1	72.68
9	2003	176.9	291.2	95.0	34.1	14.5	15.1	13.4	12.4	9.5	23.6	45.6	179.0	910.1	75.84
10	2004	97.7	131.5	47.5	18.4	4.0	5.7	29.8	10.1	40.2	31.9	33.4	123.7	573.9	47.83
11	2005	108.8	228.4	86.1	12.6	1.8	1.8	10.4	1.5	35.2	76.4	46.0	169.7	778.7	64.89
12	2006	162.2	201.3	159.3	59.8	0.6	4.1	1.8	11.2	19.9	108.9	111.2	113.7	953.9	79.49
13	2007	116.5	77.4	173.2	71.5	5.9	1.2	19.2	1.8	10.8	86.7	67.6	127.7	759.3	63.27
14	2008	214.4	161.5	131.1	51.2	32.2	6.4	1.8	6.1	19.1	77.0	101.6	69.0	871.4	72.62
15	2009	82.3	120.0	80.5	55.8	12.7	0.0	11.9	6.0	9.4	27.0	85.4	129.6	620.6	51.72
16	2010	174.7	88.7	112.0	34.6	6.4	0.0	2.1	19.2	8.0	31.7	18.5	116.1	612.0	51.00
17	2011	159.9	253.7	123.9	71.3	14.6	5.8	7.5	2.1	36.5	23.0	92.4	100.2	890.9	74.24
18	2012	144.6	205.3	101.3	73.9	6.7	20.2	5.2	6.4	18.0	45.5	43.0	183.7	853.8	71.15
19	2013	137.3	135.2	86.6	7.0	31.2	9.1	20.8	34.7	2.1	67.4	33.2	130.5	695.1	57.93
20	2014	225.8	110.8	172.9	46.7	44.1	0.0	21.3	0.0	35.7	85.3	112.3	96.0	951.0	79.25
21	2015	111.1	145.3	100.1	61.9	54.0	18.4	23.0	50.7	36.2	55.5	52.5	149.7	858.4	71.54
22	2016	66.6	156.2	30.9	44.9	39.2	0.5	9.2	2.2	8.8	38.1	32.3	87.5	516.4	43.03
23	2017	149.1	183.0	133.3	85.1	49.0	9.2	17.1	5.3	24.7	49.6	58.0	56.1	819.5	68.29
24	2018	188.2	147.7	23.8	6.7	8.8	11.9	32.1	40.4	89.5	44.8	26.2	113.0	733.1	61.09
25	2019	154.3	149.5	175.9	9.7	44.8	10.7	0.4	2.4	51.1	70.8	102.7	134.1	906.5	75.54
26	2020	209.0	148.9	157.2	54.7	8.3	10.5	5.8	12.9	66.6	26.5	44.6	141.0	885.9	73.82
27	2021	105.9	124.2	142.8	78.0	12.5	5.7	10.5	22.1	6.1	143.3	56.8	82.5	790.3	65.86
28	2022	231.9	123.0	78.3	39.8	1.5	4.7	9.4	28.8	34.4	151.1	34.9	139.4	877.1	73.09
Nº DATOS		28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00
MEDIA		163.02	161.81	115.06	46.17	19.02	8.08	11.72	14.04	28.08	58.69	66.40	118.13	810.21	67.52
DESV.STD		53.42	51.87	47.70	22.50	15.40	10.74	9.87	13.54	19.83	33.46	33.69	31.41	112.20	9.35
C.V.		0.33	0.32	0.41	0.49	0.81	1.33	0.84	0.96	0.71	0.57	0.51	0.27	0.14	0.14
P.MAXIMA		295.01	291.15	188.40	85.10	54.00	51.20	33.66	50.70	89.53	151.12	157.38	183.70	953.85	79.49
P.MINIMA		66.60	77.35	23.80	6.70	0.58	0.00	0.00	0.00	2.10	21.71	18.50	56.10	516.40	43.03
PROMEDIO		163.02	161.81	115.06	46.17	19.02	8.08	11.72	14.04	28.08	58.69	66.40	118.13	810.21	67.52



REGISTRO DE PRECIPITACIONES MENSUAL COMPLETADAS Y EXTENDIDAS

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA - SENAMHI

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)



Estación: **HUANTA**
Parámetro: Precipitación Mensual (mm)

Latitud: 12° 54' 40.8" S
Longitud: 74° 16' 59.66" W
Altitud: 2521 msnm

Dpto: Ayacucho
Prov: Huanta
Dist: Huanta

ITEM	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	MEDIA
1	1995	75.0	91.0	105.5	35.3	6.7	3.0	5.2	3.2	11.0	26.4	61.5	66.5	490.2	40.85
2	1996	87.5	115.5	106.6	48.6	7.1	1.3	2.0	10.7	11.6	26.4	24.7	85.5	527.4	43.95
3	1997	95.2	104.2	60.1	36.1	9.5	0.2	2.1	23.8	24.4	21.0	58.6	117.3	552.5	46.04
4	1998	94.7	89.6	84.5	29.8	2.7	17.5	0.8	5.0	5.9	38.1	33.9	75.1	477.3	39.78
5	1999	76.4	119.5	93.2	60.9	8.9	5.3	4.8	1.0	26.7	35.9	33.4	73.8	539.8	44.99
6	2000	114.9	146.2	97.3	28.4	31.9	4.2	18.8	9.9	5.3	54.7	18.1	79.1	608.8	50.73
7	2001	146.7	84.5	110.6	14.3	37.3	2.4	34.9	19.4	3.5	48.9	63.6	83.5	649.6	54.13
8	2002	44.2	118.4	111.7	41.7	20.7	1.6	23.0	8.7	22.3	22.0	69.4	75.4	559.1	46.59
9	2003	62.9	131.5	143.0	88.8	12.6	1.5	0.0	16.3	23.9	12.5	14.3	104.2	611.5	50.96
10	2004	54.4	96.6	54.1	4.0	8.2	7.9	18.1	11.1	22.0	19.9	34.6	97.7	428.6	35.72
11	2005	42.5	98.2	119.8	14.7	8.2	0.0	5.0	0.0	3.6	30.6	33.0	83.8	439.4	36.62
12	2006	91.4	69.2	68.9	29.5	0.0	7.8	0.0	4.5	11.4	34.5	54.3	67.3	438.8	36.57
13	2007	97.7	43.4	111.6	21.7	4.3	0.0	4.3	3.0	6.0	41.0	44.8	24.4	402.2	33.52
14	2008	123.4	66.8	25.0	5.3	12.0	5.7	0.0	0.0	4.7	18.0	37.1	129.7	427.7	35.64
15	2009	86.0	115.1	68.1	46.2	28.8	1.0	8.9	3.0	12.5	13.4	26.1	45.1	454.2	37.85
16	2010	151.4	48.4	84.7	22.1	0.0	0.0	0.0	4.0	7.0	41.2	29.4	137.9	526.1	43.84
17	2011	208.8	78.3	78.3	29.5	7.6	0.2	1.3	0.2	13.9	35.6	58.6	92.8	605.1	50.43
18	2012	89.9	38.6	38.6	50.3	8.3	5.7	6.3	6.2	21.5	21.6	37.3	130.9	455.2	37.93
19	2013	132.1	76.9	76.9	34.7	0.8	3.1	1.3	39.2	2.4	56.7	64.6	124.2	612.9	51.08
20	2014	126.3	86.6	51.0	12.6	14.2	0.0	3.3	0.0	12.7	48.2	45.1	150.7	550.7	45.89
21	2015	169.1	73.6	66.6	69.6	17.4	9.0	11.0	42.2	2.9	23.3	28.6	94.9	608.2	50.69
22	2016	66.3	141.1	40.0	31.3	2.1	0.0	11.7	0.0	18.3	31.3	29.1	121.7	492.9	41.08
23	2017	131.1	136.0	81.1	25.8	9.2	0.0	2.5	6.9	11.7	38.8	81.4	59.7	584.2	48.68
24	2018	119.9	112.6	83.7	51.9	31.8	20.4	4.4	4.7	15.9	23.8	58.9	132.7	660.6	55.05
25	2019	102.8	61.2	90.7	53.7	8.7	10.5	0.8	0.2	10.5	20.4	19.0	152.2	530.6	44.22
26	2020	107.4	88.9	20.7	12.3	20.4	0.0	1.5	1.0	2.5	69.1	75.1	137.2	536.0	44.67
27	2021	58.0	103.6	89.9	32.0	6.0	3.0	0.0	1.0	12.0	11.0	54.0	120.1	490.6	40.88
28	2022	143.2	99.8	47.0	9.0	1.0	5.8	2.0	5.8	51.3	8.0	41.3	91.0	505.1	42.09
Nº DATOS		28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00
MEDIA		103.54	94.11	78.90	33.57	11.65	4.17	6.21	8.25	13.48	31.15	43.92	98.38	527.34	43.94
DESV.STD		38.46	28.13	29.20	19.72	10.09	5.11	8.18	10.80	10.28	14.72	17.97	31.92	70.81	5.90
C.V.		0.37	0.30	0.37	0.59	0.87	1.22	1.32	1.31	0.76	0.47	0.41	0.32	0.13	0.13
P.MAXIMA		208.80	146.20	143.00	88.80	37.30	20.36	34.90	42.20	51.30	69.07	81.40	152.20	660.61	55.05
P.MINIMA		42.50	38.60	20.70	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.40	8.00	14.30	24.40	402.20	33.52
PROMEDIO		103.54	94.11	78.90	33.57	11.65	4.17	6.21	8.25	13.48	31.15	43.92	98.38	527.34	43.94

REGISTRO DE PRECIPITACIONES MENSUAL COMPLETADAS Y EXTENDIDAS

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)



Estación: **QUINUA**
Parámetro: Precipitación Mensual (mm)

Latitud: 13° 02' 02"
Longitud: 74° 08' 07"
Altitud: 3316 msnm

Dpto: Ayacucho
Prov: Huamanga
Dist: Quinua

ITEM	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	MEDIA
1	1995	188.50	142.00	146.60	26.00	34.10	1.30	2.30	1.00	20.60	54.20	86.70	58.60	761.9	63.49
2	1996	91.30	110.60	128.30	47.80	2.30	0.00	0.50	17.00	30.30	35.70	49.40	82.60	595.8	49.65
3	1997	185.70	146.00	128.80	59.90	10.60	0.00	4.00	33.70	58.20	13.10	81.50	105.20	826.7	68.89
4	1998	105.50	173.20	141.40	20.20	6.20	4.70	0.00	6.40	5.80	79.50	57.00	71.20	671.1	55.93
5	1999	114.40	159.60	139.10	25.70	1.20	4.00	9.40	0.00	78.50	27.20	71.40	125.70	756.2	63.02
6	2000	146.10	205.20	126.50	19.60	41.50	11.20	43.70	5.80	16.80	64.10	14.50	111.60	806.6	67.22
7	2001	218.30	114.00	155.40	30.30	48.20	5.30	24.89	1.97	26.35	81.21	102.70	106.90	915.5	76.29
8	2002	91.50	173.20	111.30	33.80	31.40	1.40	4.69	15.70	93.13	73.24	105.40	170.40	905.2	75.43
9	2003	65.10	191.40	202.40	86.60	26.40	2.60	0.30	30.20	39.80	1.60	32.20	113.20	791.8	65.98
10	2004	73.80	106.50	92.50	8.60	16.10	15.60	21.60	14.40	34.80	47.60	64.80	173.50	669.8	55.82
11	2005	67.80	121.00	103.80	48.10	17.50	0.60	6.40	0.60	20.70	52.30	52.80	146.70	638.3	53.19
12	2006	115.20	125.30	152.60	55.50	1.20	2.40	0.00	14.30	6.90	48.80	93.50	82.60	698.3	58.19
13	2007	136.30	89.70	197.90	66.20	15.20	0.00	13.40	1.30	30.90	72.40	78.50	117.10	818.9	68.24
14	2008	106.70	154.60	95.60	29.90	22.80	10.00	7.10	1.40	27.10	59.40	41.60	75.20	631.4	52.62
15	2009	150.50	174.80	56.10	55.90	26.70	0.40	6.10	8.70	36.70	50.60	113.70	109.90	790.1	65.84
16	2010	138.70	120.20	119.30	23.00	8.60	0.00	6.60	15.00	17.30	91.20	33.90	132.90	706.7	58.89
17	2011	93.80	120.08	61.60	61.60	17.30	5.60	6.60	5.20	12.93	81.76	96.40	125.20	688.1	57.34
18	2012	91.60	245.80	57.80	57.80	14.50	12.20	19.20	11.20	37.90	39.50	74.70	49.50	711.7	59.31
19	2013	151.80	145.50	12.50	12.50	24.10	13.20	10.40	44.30	22.50	94.60	100.10	182.00	813.5	67.79
20	2014	147.00	142.20	167.90	42.30	14.80	0.00	35.10	2.10	62.50	71.10	45.40	140.80	871.2	72.60
21	2015	155.30	145.40	122.60	34.30	39.50	1.20	18.10	50.70	8.00	64.20	48.90	218.30	906.5	75.54
22	2016	76.10	171.40	71.10	32.40	27.40	0.40	9.70	4.80	38.40	66.70	46.60	109.00	654.0	54.50
23	2017	147.50	215.60	110.30	63.20	41.00	0.30	5.50	16.00	55.80	34.90	51.90	120.50	862.5	71.88
24	2018	157.60	113.60	103.40	41.80	34.60	5.70	20.70	41.00	8.30	90.50	84.10	47.30	748.6	62.38
25	2019	161.60	186.00	150.33	49.30	27.40	0.40	4.60	0.00	9.20	72.40	98.03	193.40	952.7	79.39
26	2020	149.49	154.98	128.60	50.56	17.40	7.92	32.54	5.62	10.41	81.43	101.52	110.39	850.9	70.91
27	2021	175.06	125.02	69.24	30.75	3.50	7.50	2.20	22.80	9.00	59.00	74.50	105.50	684.1	57.01
28	2022	132.50	120.40	117.60	43.30	9.50	2.90	1.90	16.50	15.60	16.90	12.40	67.50	557.0	46.42
Nº DATOS		28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00
MEDIA		129.81	149.76	116.81	41.32	20.75	4.17	11.34	13.85	29.80	58.04	68.36	116.17	760.18	63.35
DESV.STD		38.97	36.08	42.20	17.94	13.03	4.55	11.34	14.00	22.01	23.97	27.77	42.37	102.94	8.58
C.V.		0.30	0.24	0.36	0.43	0.63	1.09	1.00	1.01	0.74	0.41	0.41	0.36	0.14	0.14
P.MAXIMA		218.30	245.80	202.40	86.60	48.20	15.60	43.70	50.70	93.13	94.60	113.70	218.30	952.66	79.39
P.MINIMA		65.10	89.70	12.50	8.60	1.20	0.00	0.00	0.00	5.80	1.60	12.40	47.30	557.00	46.42
PROMEDIO		129.81	149.76	116.81	41.32	20.75	4.17	11.34	13.85	29.80	58.04	68.36	116.17	760.18	63.35

REGISTRO DE PRECIPITACIONES MENSUAL COMPLETADAS Y EXTENDIDAS



SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ

ESTACIÓN: Wayllapampa
CÓDIGO: 000664

DISTRITO: Pacaycasa
PROVINCIA: Huamanga
REGIÓN: Ayacucho
Altitud: 3316 msnm

ALTITUD: 2518 msnm
LATITUD: 13°4'35.4"
LONGITUD: 74°12'59.4"
Dist: Quinua

ITEM	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	MEDIA
1	1995	141.0	131.3	62.8	8.6	19.4	2.6	3.4	2.7	9.6	21.4	45.0	28.4	476.2	39.68
2	1996	71.4	108.9	116.3	42.3	2.0	0.0	0.0	14.1	14.2	16.2	35.7	56.5	477.6	39.80
3	1997	149.6	88.8	57.7	21.8	1.2	0.0	2.3	16.6	39.5	0.2	70.5	79.9	528.1	44.01
4	1998	137.7	84.5	84.2	16.1	0.0	1.2	0.0	1.2	2.5	26.8	6.4	62.4	423.0	35.25
5	1999	105.0	107.1	74.4	21.4	0.0	0.0	1.8	0.0	43.5	11.9	79.9	54.7	499.7	41.64
6	2000	96.0	188.6	184.1	13.1	21.6	14.6	26.0	6.2	5.9	30.6	7.8	103.5	698.0	58.17
7	2001	290.3	161.8	118.4	23.2	34.4	4.0	39.3	18.4	21.9	49.3	65.8	35.4	862.2	71.85
8	2002	83.9	133.2	193.6	32.3	17.5	2.2	34.8	22.1	30.2	18.5	46.6	91.5	706.4	58.87
9	2003	35.4	182.3	126.4	81.4	5.5	1.9	0.0	17.0	19.5	0.0	13.7	64.9	548.0	45.67
10	2004	111.6	86.6	68.6	11.0	9.2	6.2	20.6	8.9	26.7	41.7	47.3	136.7	575.1	47.93
11	2005	64.3	61.7	47.1	19.4	28.3	0.0	3.1	5.4	5.5	50.7	30.2	93.5	409.2	34.10
12	2006	117.3	86.1	124.8	36.5	7.4	4.4	3.0	15.0	19.6	41.5	91.9	76.9	624.4	52.03
13	2007	62.0	73.6	120.9	40.0	25.7	9.6	4.7	6.9	14.6	45.7	88.9	73.6	566.2	47.19
14	2008	86.9	76.6	51.8	16.2	24.2	2.8	0.3	3.6	11.0	14.4	23.8	70.1	381.7	31.81
15	2009	108.7	141.7	39.8	49.3	15.7	0.4	3.9	8.2	15.3	41.6	68.4	143.0	636.0	53.00
16	2010	126.1	103.3	50.4	30.5	9.8	0.0	2.2	3.5	21.9	46.4	29.1	97.3	520.5	43.38
17	2011	143.4	187.5	109.7	33.6	20.8	0.1	10.2	0.7	43.4	37.4	78.5	109.3	774.6	64.55
18	2012	90.8	147.4	87.0	75.8	38.3	7.6	10.1	1.3	34.0	28.4	78.8	152.4	751.9	62.66
19	2013	105.5	121.8	118.5	10.8	10.3	3.1	6.1	34.9	30.4	78.3	66.8	132.4	718.9	59.91
20	2014	145.9	93.7	110.5	25.6	13.0	0.0	3.6	4.0	42.5	58.1	36.7	106.1	639.7	53.31
21	2015	161.3	125.5	128.7	25.2	40.5	5.9	14.4	43.0	11.6	40.2	41.0	137.8	775.1	64.59
22	2016	63.5	151.1	73.3	34.2	6.8	0.1	5.8	10.9	11.6	31.5	34.0	81.4	504.2	42.02
23	2017	109.7	158.6	87.7	51.0	28.4	0.0	8.1	9.8	30.7	31.9	48.3	72.8	637.0	53.08
24	2018	105.8	120.2	82.9	19.8	7.4	4.4	21.1	40.6	18.9	73.2	90.6	43.2	628.1	52.34
25	2019	115.1	147.7	116.4	33.3	6.8	0.6	7.2	0.0	4.4	16.3	103.6	103.6	655.0	54.58
26	2020	71.0	100.5	21.9	15.0	10.0	0.0	0.0	17.3	17.6	8.8	6.0	65.8	333.9	27.83
27	2021	97.0	97.5	114.0	64.6	15.0	5.6	7.0	2.9	9.0	24.4	43.9	46.2	527.1	43.93
28	2022	117.5	88.7	118.9	31.2	0.0	1.7	11.8	15.0	15.7	7.2	14.7	52.6	475.0	39.58
Nº DATOS		28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00
MEDIA		111.20	119.87	96.10	31.54	14.97	2.82	8.96	11.79	20.40	31.88	49.78	84.71	584.03	48.67
DESV.STD		45.65	35.22	39.48	18.47	11.52	3.47	10.24	11.49	12.07	19.58	28.11	33.37	128.47	10.71
C.V.		0.41	0.29	0.41	0.59	0.77	1.23	1.14	0.97	0.59	0.61	0.56	0.39	0.22	0.22
P.MAXIMA		290.30	188.60	193.60	81.40	40.50	14.60	39.30	43.00	43.50	78.30	103.60	152.40	862.20	71.85
P.MINIMA		35.40	61.70	21.90	8.60	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	0.00	6.00	28.40	333.94	27.83
PROMEDIO		111.20	119.87	96.10	31.54	14.97	2.82	8.96	11.79	20.40	31.88	49.78	84.71	584.03	48.67



REGISTRO DE PRECIPITACIONES MENSUAL COMPLETADAS Y EXTENDIDAS

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA - SENAMHI

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)



Estación: **Pampa Cangallo**
 Parámetro: Precipitación Mensual (mm)

Latitud: 13°33'42.61" S
 Longitud: 74°11'56" W
 Altitud: 3315 msnm

Dpto: Ayacucho
 Prov: Cangallo
 Dist: Los morochucos

ITEM	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	MEDIA
1	1995	129.4	127.4	141.5	63.2	1.6	0.0	0.8	9.1	19.8	20.8	131.9	84.8	730.3	60.86
2	1996	218.8	175.4	146.3	58.6	0.0	1.0	3.8	5.5	29.5	21.4	22.6	73.4	756.3	63.03
3	1997	163.0	104.1	70.6	21.2	13.3	0.0	2.6	46.7	36.7	9.1	59.4	102.4	629.1	52.43
4	1998	163.2	153.1	143.8	51.7	1.2	13.3	0.0	1.5	6.3	40.7	46.0	62.8	683.6	56.97
5	1999	98.0	225.9	144.1	70.0	2.6	1.7	6.2	0.0	58.2	32.9	39.7	67.3	746.6	62.22
6	2000	134.7	263.0	137.4	29.1	24.1	15.1	3.5	22.5	3.5	96.9	20.0	84.6	834.3	69.52
7	2001	195.0	81.8	218.8	37.1	39.8	7.3	11.8	8.1	15.7	39.8	59.8	28.6	743.5	61.96
8	2002	130.8	155.6	134.0	23.8	10.5	2.0	46.5	13.6	73.2	31.1	132.4	243.1	996.6	83.05
9	2003	155.3	131.4	136.8	52.2	9.5	0.0	0.0	18.5	37.4	40.4	53.8	135.8	771.1	64.26
10	2004	56.8	170.5	131.1	27.3	2.8	9.8	10.9	8.4	37.1	44.1	69.7	119.9	688.4	57.37
11	2005	80.9	67.1	120.8	38.6	0.1	0.0	4.1	34.4	43.9	43.0	29.3	118.5	580.7	48.39
12	2006	220.6	124.3	171.5	41.3	2.1	3.3	0.0	22.8	33.0	37.0	57.0	46.0	758.9	63.24
13	2007	78.7	87.7	169.6	57.1	10.5	0.5	4.7	2.4	32.6	46.6	54.7	128.3	673.4	56.12
14	2008	190.6	175.2	92.1	27.8	6.9	4.8	0.0	3.9	13.1	33.5	66.0	98.7	712.6	59.38
15	2009	111.3	118.2	141.7	57.4	0.2	0.0	15.8	0.0	11.3	38.5	100.0	102.7	697.1	58.09
16	2010	258.6	136.5	107.3	31.7	2.9	0.0	0.0	3.3	14.0	36.5	23.6	170.2	784.6	65.38
17	2011	306.7	260.7	124.5	90.1	8.0	0.0	13.3	4.4	34.5	34.5	89.3	89.5	1055.5	87.96
18	2012	114.0	253.5	165.8	169.3	5.7	13.2	3.1	1.2	21.2	23.4	14.2	215.8	1000.4	83.37
19	2013	124.3	172.9	126.9	2.5	19.6	11.6	0.0	0.0	5.6	56.4	44.8	115.7	680.3	56.69
20	2014	167.2	158.2	89.3	42.8	16.6	7.8	20.7	14.8	71.9	68.9	61.5	107.3	827.0	68.92
21	2015	216.1	119.1	135.7	76.3	3.0	44.9	20.3	1.9	8.8	27.2	79.8	141.5	874.5	72.88
22	2016	150.5	206.2	181.4	87.3	5.1	1.6	4.6	4.9	42.0	60.2	39.5	57.9	841.3	70.11
23	2017	171.9	207.6	127.1	74.7	1.5	0.0	1.3	0.1	12.1	39.2	37.2	164.6	837.3	69.77
24	2018	49.4	64.4	193.8	80.0	0.1	0.2	24.1	23.9	56.5	44.1	14.3	76.0	626.8	52.23
25	2019	99.7	191.1	82.0	29.9	13.2	5.9	0.0	0.0	14.8	25.6	3.5	148.6	614.3	51.19
26	2020	82.7	138.7	112.5	18.6	23.3	12.2	0.5	1.1	6.7	25.9	25.2	165.5	612.9	51.08
27	2021	181.2	149.4	149.6	42.0	16.5	1.4	1.9	5.2	17.6	66.0	44.3	40.2	715.3	59.61
28	2022	142.5	161.0	148.5	45.7	2.0	2.5	0.1	3.1	9.2	3.8	7.4	113.8	639.6	53.30
Nº DATOS		28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00
MEDIA		149.71	156.43	137.31	51.69	8.67	5.71	7.17	9.33	27.36	38.83	50.96	110.84	754.01	62.83
DESV. STD		59.52	53.31	32.38	31.38	9.28	8.99	10.32	11.40	19.56	18.44	32.64	49.67	118.81	9.90
C.V.		0.40	0.34	0.24	0.61	1.07	1.57	1.44	1.22	0.71	0.47	0.64	0.45	0.16	0.16
P. MAXIMA		306.70	262.97	218.79	169.30	39.78	44.92	46.54	46.70	73.19	96.85	132.37	243.10	1055.50	87.96
P. MINIMA		49.42	64.40	70.60	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	3.51	3.80	3.50	28.60	580.70	48.39
PROMEDIO		149.71	156.43	137.31	51.69	8.67	5.71	7.17	9.33	27.36	38.83	50.96	110.84	754.01	62.83



REGISTRO DE PRECIPITACIONES MENSUAL COMPLETADAS Y EXTENDID

GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA SUB GERENCIA DE OBRAS



RED HIDROMETEOROLOGICA

Estación: **INIA - CANAAN**
Parametro Precipitacion Diarias

Latitud: : 13° 10' 0.06" S
Longitud: : 74° 12' 22.92" W
Altitud: : 2735

Dpto: AYACUCHO
Prov: HUAMANGA
Dist: AYACUCHO

ITEM	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	MEDIA
1	1995	157.4	128.9	123.3	12.5	16.5	0.0	2.0	5.6	9.7	34.3	79.1	48.5	617.8	51.48
2	1996	75.2	126.6	99.0	43.8	1.4	0.0	0.0	16.7	26.1	20.8	22.3	57.2	489.1	40.76
3	1997	79.8	92.4	104.1	7.9	30.7	0.0	0.0	3.7	29.9	39.5	109.0	122.4	619.4	51.62
4	1998	98.1	79.6	58.6	29.5	11.5	8.8	0.0	0.0	39.1	25.0	37.7	77.4	465.3	38.78
5	1999	107.1	142.3	91.5	29.0	2.6	0.6	4.8	0.0	58.7	13.3	91.2	60.3	601.4	50.12
6	2000	130.2	174.2	91.5	8.0	20.3	10.8	55.8	12.7	6.2	66.0	22.1	78.6	676.4	56.37
7	2001	161.9	101.3	86.5	23.0	23.2	4.4	24.3	12.6	7.7	31.9	62.6	80.9	620.3	51.69
8	2002	133.8	141.4	102.5	26.4	15.1	8.9	25.8	24.4	66.9	20.1	49.7	101.4	716.4	59.70
9	2003	75.0	164.9	116.8	77.5	20.6	0.0	0.0	32.1	27.0	11.6	49.7	101.4	676.6	56.38
10	2004	147.3	92.7	84.9	60.8	6.8	77.2	93.6	3.4	8.0	21.2	69.4	120.6	785.9	65.49
11	2005	107.3	150.6	138.0	93.4	7.9	0.5	8.9	5.9	37.5	48.9	39.3	52.0	689.9	57.49
12	2006	132.8	149.7	97.8	66.1	4.4	0.0	1.1	0.1	18.8	33.2	39.0	118.0	661.1	55.09
13	2007	24.8	181.3	125.0	13.6	14.3	10.1	34.8	30.4	24.2	47.5	84.7	104.7	695.6	57.96
14	2008	98.1	79.6	58.6	29.5	11.5	8.8	0.0	0.0	39.1	30.2	63.6	88.0	507.0	42.25
15	2009	137.2	126.2	60.1	46.4	12.0	0.0	7.6	1.8	8.1	39.9	88.7	152.5	680.5	56.71
16	2010	155.2	101.7	70.6	27.4	15.5	0.0	0.7	15.6	21.9	66.7	27.4	103.7	606.4	50.53
17	2011	124.8	191.6	134.3	46.6	14.1	0.3	12.0	0.9	37.0	49.3	67.3	61.0	739.2	61.60
18	2012	53.1	153.9	110.7	74.3	2.4	10.7	2.4	2.1	28.7	27.2	54.7	152.7	672.9	56.08
19	2013	99.4	108.8	70.6	13.9	19.3	2.8	8.4	34.5	14.9	51.7	60.1	127.7	612.1	51.01
20	2014	117.2	71.0	118.9	31.4	15.2	0.0	4.2	3.1	53.5	22.6	36.7	54.9	528.7	44.06
21	2015	178.2	116.6	62.8	11.7	5.6	0.0	6.6	18.6	8.6	32.6	31.8	105.4	578.5	48.21
22	2016	33.1	152.9	33.3	30.7	9.8	0.0	7.9	5.3	8.4	34.7	26.6	51.4	394.1	32.84
23	2017	109.4	125.5	103.7	44.2	15.8	0.0	11.8	9.8	12.6	34.3	19.8	77.4	564.3	47.03
24	2018	88.8	87.0	75.7	30.3	7.5	6.0	19.1	33.7	14.4	49.4	35.7	49.3	496.9	41.41
25	2019	79.2	138.9	121.0	34.9	4.8	0.5	14.6	0.0	4.7	26.0	42.5	138.3	605.4	50.45
26	2020	56.7	61.4	63.6	15.7	13.5	0.0	0.0	3.0	18.6	16.9	12.2	74.7	336.3	28.03
27	2021	88.8	82.9	98.9	137.7	11.8	1.4	3.4	3.4	1.6	24.3	36.8	32.2	523.2	43.60
28	2022	107.6	97.3	120.5	37.2	1.7	3.8	1.1	7.4	13.3	0.9	29.7	73.0	493.5	41.13
N° DATOS		28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00
MEDIA		105.62	122.19	93.67	39.41	11.99	5.56	12.53	10.24	23.04	32.86	49.62	88.05	594.79	49.57
DESV.STD		37.73	34.67	26.31	28.69	6.99	14.33	19.98	11.08	16.79	15.35	24.31	32.68	103.20	8.60
C.V.		0.36	0.28	0.28	0.73	0.58	2.58	1.59	1.08	0.73	0.47	0.49	0.37	0.17	0.17
P.MAXIMA		178.20	191.60	137.95	137.70	30.70	77.24	93.55	34.50	66.90	66.70	109.00	152.70	785.87	65.49
P.MINIMA		24.80	61.40	33.30	7.90	1.40	0.00	0.00	0.00	1.60	0.90	12.20	32.20	336.30	28.03
PROMEDIO		105.62	122.19	93.67	39.41	11.99	5.56	12.53	10.24	23.04	32.86	49.62	88.05	594.79	49.57



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO
GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA
SUB GERENCIA DE OBRAS
RED HIDROMETEOROLOGICA



Estación: : CHIARA
Parametro: Precipitación
Diaria mensual (mm)

Latitud: : 13° 17' 25.45" S Dpto: AYACUCHO
Longitud: : 74° 12' 39.64" W Prov: HUAMANGA
Altitud: : 3400 Dist: CHIARA

ITEM	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	MEDIA
1	1995	143.0	108.5	159.3	30.0	9.7	2.5	12.2	5.4	26.0	33.4	85.0	42.1	657.1	54.76
2	1996	118.3	183.8	166.6	65.2	3.9	1.3	5.3	10.7	22.2	38.0	19.4	86.6	721.3	60.11
3	1997	147.2	124.8	72.6	41.0	6.5	1.3	11.7	42.7	39.6	42.7	78.8	125.2	734.1	61.18
4	1998	130.7	76.6	89.4	19.3	4.9	12.9	10.6	26.2	6.1	33.1	51.3	86.2	547.3	45.61
5	1999	182.2	126.8	101.6	78.5	16.4	6.0	10.2	0.0	41.5	21.2	56.7	84.4	725.5	60.45
6	2000	135.5	157.0	103.7	12.8	8.8	14.8	38.6	16.9	9.9	51.0	19.5	69.7	638.2	53.18
7	2001	186.9	92.5	127.1	31.2	38.3	6.7	19.6	20.0	12.1	25.4	103.6	72.5	735.9	61.33
8	2002	111.5	109.5	116.7	27.8	29.0	6.1	33.7	23.2	71.2	83.5	130.2	87.3	829.7	69.14
9	2003	32.9	186.8	190.1	59.7	18.6	1.2	2.0	38.5	20.1	19.2	43.0	120.0	732.1	61.01
10	2004	66.2	77.0	94.6	26.9	13.3	10.9	31.4	25.2	32.8	40.1	63.5	188.9	670.8	55.90
11	2005	154.8	87.6	138.7	50.2	16.8	1.2	8.2	20.5	39.6	124.6	44.0	146.5	832.7	69.39
12	2006	161.6	127.8	191.4	70.4	1.2	17.5	1.2	48.4	11.6	57.6	83.7	90.1	862.5	71.88
13	2007	129.9	86.4	126.8	29.2	8.2	1.2	3.7	1.2	4.5	37.5	67.7	121.1	617.4	51.45
14	2008	170.3	144.5	119.2	56.5	7.6	5.2	1.2	4.6	18.5	85.4	22.7	95.1	730.7	60.89
15	2009	167.1	183.2	121.4	82.3	22.1	1.8	14.2	1.1	3.3	45.2	107.1	84.7	833.5	69.46
16	2010	147.2	52.3	95.8	52.6	13.7	5.2	0.0	22.8	13.8	33.5	23.5	115.6	576.0	48.00
17	2011	225.5	176.9	134.0	89.5	10.0	0.0	18.5	0.0	71.5	34.5	56.6	99.0	916.0	76.33
18	2012	96.0	239.0	173.5	118.1	3.0	11.5	5.5	2.0	18.0	41.1	66.0	194.0	967.7	80.64
19	2013	142.5	169.8	119.6	4.5	38.0	14.0	12.5	46.5	6.7	70.8	55.5	111.5	791.9	65.99
20	2014	203.8	139.5	147.8	59.0	84.0	0.0	11.5	74.5	44.5	53.1	26.9	90.5	935.1	77.93
21	2015	196.2	0.0	91.5	30.5	19.0	1.8	19.5	44.8	10.0	35.8	47.4	127.5	624.0	52.00
22	2016	60.4	155.8	48.5	45.5	20.0	2.0	9.5	3.0	2.7	59.8	3.0	51.2	461.4	38.45
23	2017	228.2	198.6	194.2	69.7	25.5	0.0	11.0	3.4	21.5	78.6	44.1	88.7	963.5	80.29
24	2018	169.2	112.5	186.5	53.6	8.4	17.7	26.0	33.7	17.0	50.3	60.0	33.5	768.4	64.03
25	2019	146.0	185.5	111.5	19.0	25.7	8.5	13.5	0.0	18.5	24.3	88.0	150.7	791.2	65.93
26	2020	104.2	176.1	179.8	0.0	15.3	0.0	0.0	0.0	16.0	11.5	16.5	142.0	661.4	55.12
27	2021	175.0	125.1	179.2	72.5	18.0	0.0	9.0	4.0	21.5	38.6	52.5	41.5	736.9	61.41
28	2022	100.5	98.7	112.5	26.5	8.0	2.0	0.0	2.0	9.5	8.0	15.5	64.0	447.2	37.27
Nº DATOS		28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00
MEDIA		144.03	132.24	131.91	47.22	17.64	5.47	12.16	18.62	22.51	45.63	54.70	100.36	732.48	61.04
DESV. STD		46.27	50.71	38.79	27.20	15.92	5.62	10.13	19.36	17.77	24.69	30.50	39.52	133.71	11.14
C.V.		0.32	0.38	0.29	0.58	0.90	1.03	0.83	1.04	0.79	0.54	0.56	0.39	0.18	0.18
P.MAXIMA		228.20	239.00	194.20	118.10	84.00	17.70	38.62	74.50	71.50	124.58	130.20	194.00	967.70	80.64
P.MINIMA		32.93	0.00	48.50	0.00	1.18	0.00	0.00	0.00	2.70	8.00	3.00	33.50	447.20	37.27
PROMEDIO		144.03	132.24	131.91	47.22	17.64	5.47	12.16	18.62	22.51	45.63	54.70	100.36	732.48	61.04

**2.- PANEL
FOTOGRAFICO DE LA
VISITA A CAMPO Y
EXTRACCIÓN DE
MUESTRAS DE LA CUENCA
CHACCO**



Fotografía N°1: Suelo erosionable del Distrito de Chiara



Fotografía N°2: Extracción de muestras del Distrito de Chiara



Fotografía N°3: Erosión de suelos con alta pendiente – zona de Huatatas



Fotografía N°4: Extracción de muestras del Distrito de Acos Vinchos



Fotografía N°5: Vista de Cárcavas producto de la erosión de suelos– zona de Muyurina



Fotografía N°6: Erosión de suelos – zona de Yucaes



Fotografía N°7: Suelo erosionable del Distrito de Acos Vinchos



Fotografía N°8: Áreas de cultivos de la zona de Acos Vinchos



Fotografía N°9: Extracción de muestra de suelos - cuenca Chacco



Fotografía N°10: Extracción de muestras de la zona de Muyurina y Yucaes



Fotografía N°11: Extracción de muestras de suelos de la zona de estudio – Cuenca Chacco

3.- RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO DEL SUELO DE LA CUENCA CHACCO



MULTISERVICIOS AGROLAB

INGENIEROS TRABAJANDO POR UN AGRO SOSTENIBLE

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ASESORÍA Y CAPACITACIÓN EN:

- EVALUACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS. - INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS AGRÍCOLA.
- USO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS. - ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL.
- AGRICULTURA SUSTENTABLE.

ANÁLISIS FÍSICO DE SUELOS

1350823

SOLICITANTE: Mayumi Katty Nuñez Cuadros

PROYECTO: Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando la metodología USLE en la cuenca Chacco - Ayacucho 2023

REGIÓN: Ayacucho

PROVINCIA: Huamanga

DISTRITOS: Chiara, Socos, Carmen Alto, San Juan Bautista, Acrocros, Quinua, Jesús Nazareno, Tambillo y Ayacucho

FECHA DE INGRESO: 24 - 05 - 23

FECHA DE RESULTADO: 29 - 05 - 23

N° Lab.	Código campo	Arena	Limo	Arcilla	M.O.	Clase	Coordenadas		Altitud
		%			%	Textural	X	Y	(m.s.n.m.)
AS 111823	M-01	68	16	16	1.23	Fr.A.*	586428.0	8533104.9	3445
AS 111824	M-02	66	14	20	4.31	Fr.A.*	598523.0	8525509.6	3971
AS 111825	M-03	60	16	24	2.57	Fr.Ar.A.**	608525.0	8516098.6	4176
AS 111826	M-04	58	22	20	9.03	Fr.A.*	609238.0	8527967.3	3378
AS 111827	M-05	64	14	22	0.67	Fr.Ar.A.**	602432.0	8531752.0	3590
AS 111828	M-06	54	20	26	8.73	Fr.Ar.A.**	604022.0	8538915.0	3227
AS 111829	M-07	58	16	26	9.54	Fr.Ar.A.**	596525.0	8536192.0	3321
AS 111830	M-08	60	20	20	0.78	Fr.A.*	584636.0	8538788.0	3069
AS 111831	M-09	60	16	24	4.89	Fr.Ar.A.**	579155.0	8534437.0	3798
AS 111832	M-10	76	14	10	3.27	Fr.A.*	602377.0	8546462.0	3301
AS 111833	M-11	54	18	28	8.43	Fr.Ar.A.**	584268.0	8546770.0	2793
AS 111834	M-12	48	26	26	10.23	Fr.Ar.A.**	582137.0	8545738.0	3158
AS 111835	M-13	61	13	26	6.7	Fr.Ar.A.**	598466.0	8550260.0	3034
AS 111836	M-14	57	19	24	8.37	Fr.Ar.A.**	591811.0	8555238.0	2028
AS 111837	M-15	81	11	8	0.23	A.Fr.***	587622.9	8550546.8	2503

*Fr.A. Franco arenosa

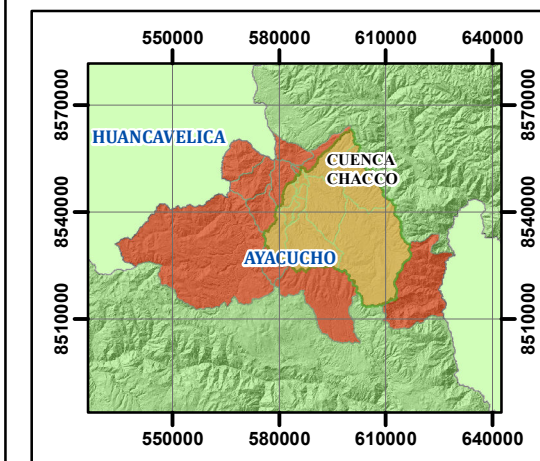
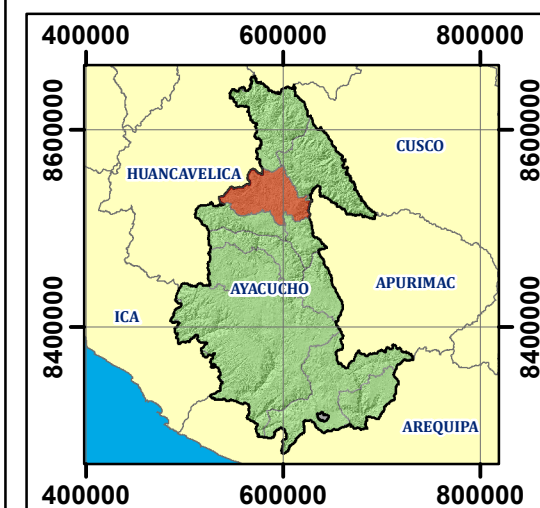
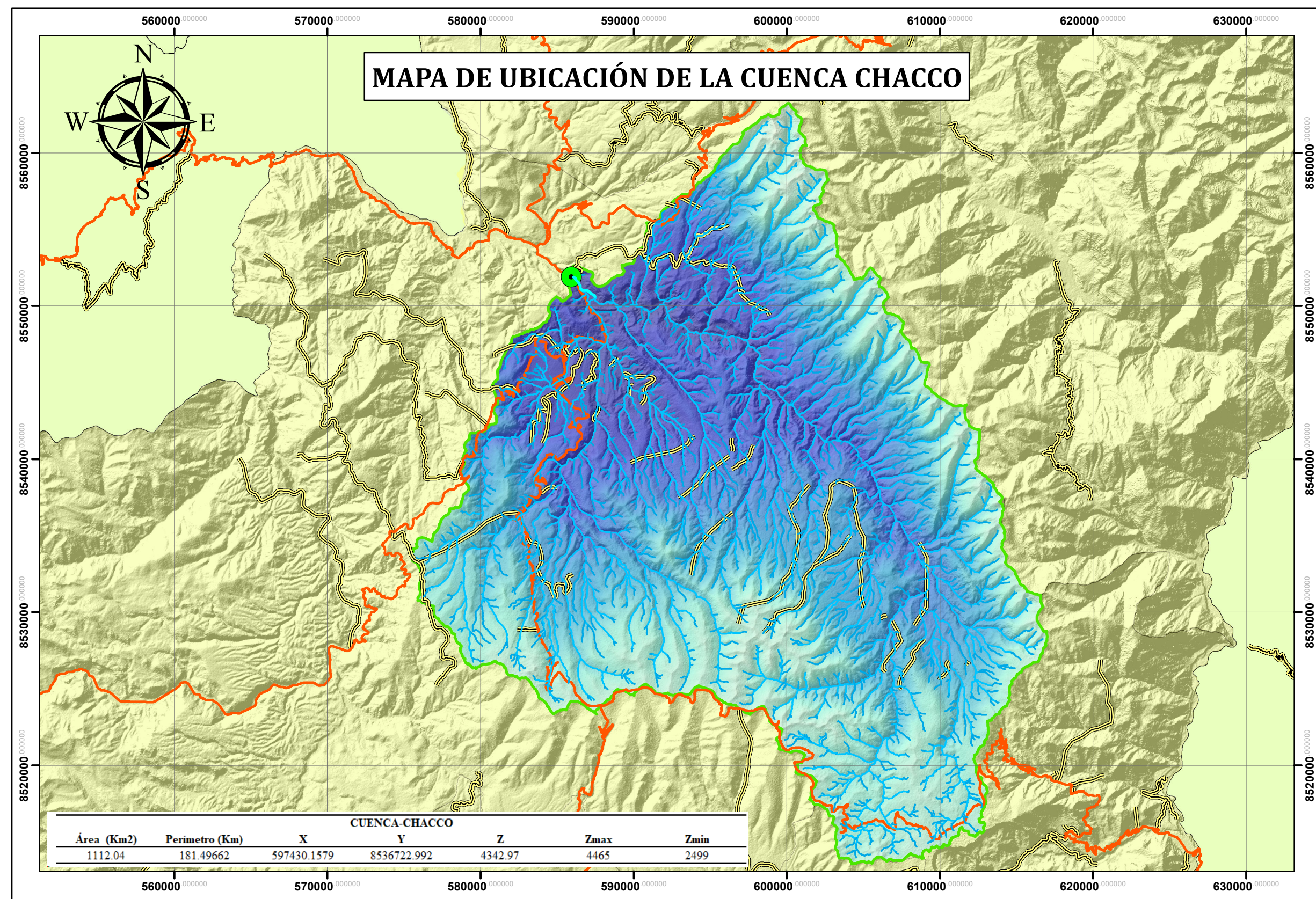
** Fr.Ar.A. Franco arcillo arenosa

*** A.Fr.Arenosa franca



Dr. D. MARINER CORDA GÓMEZ
Responsable de Laboratorio

**4.- MAPAS DE LA
CUENCA CHACCO
PROGRAMA ARCGIS 10.3**



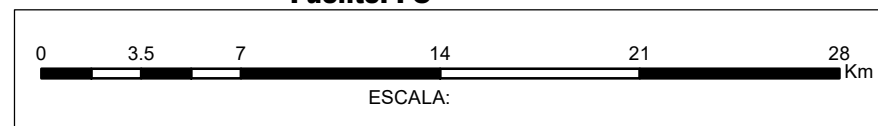
1 centimeter = 2,651 meters

Coordinate System: WGS 1984 UTM zone 18S

Projection: Transverse Mercator

Datum: WGS 1984

Fuente: FO



LEYENDA

LEYENDA

- Aforo
- redvialnacional_Diciembre2010
- rv_vec_ds044
- cuenca

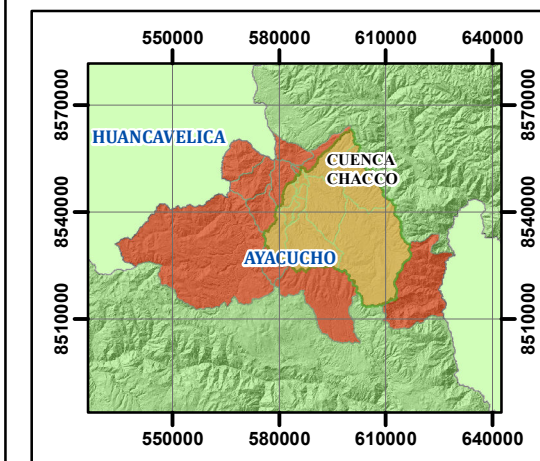
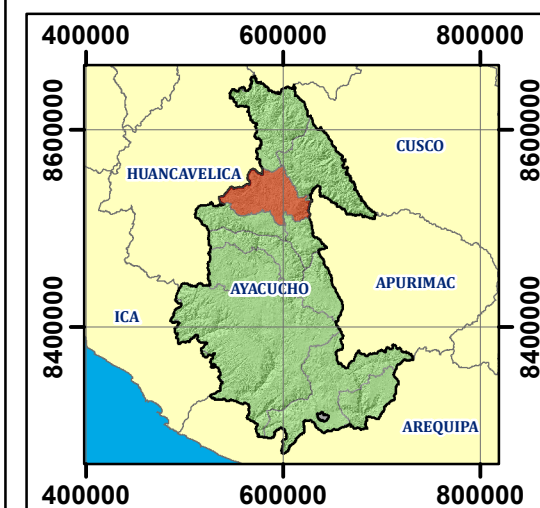
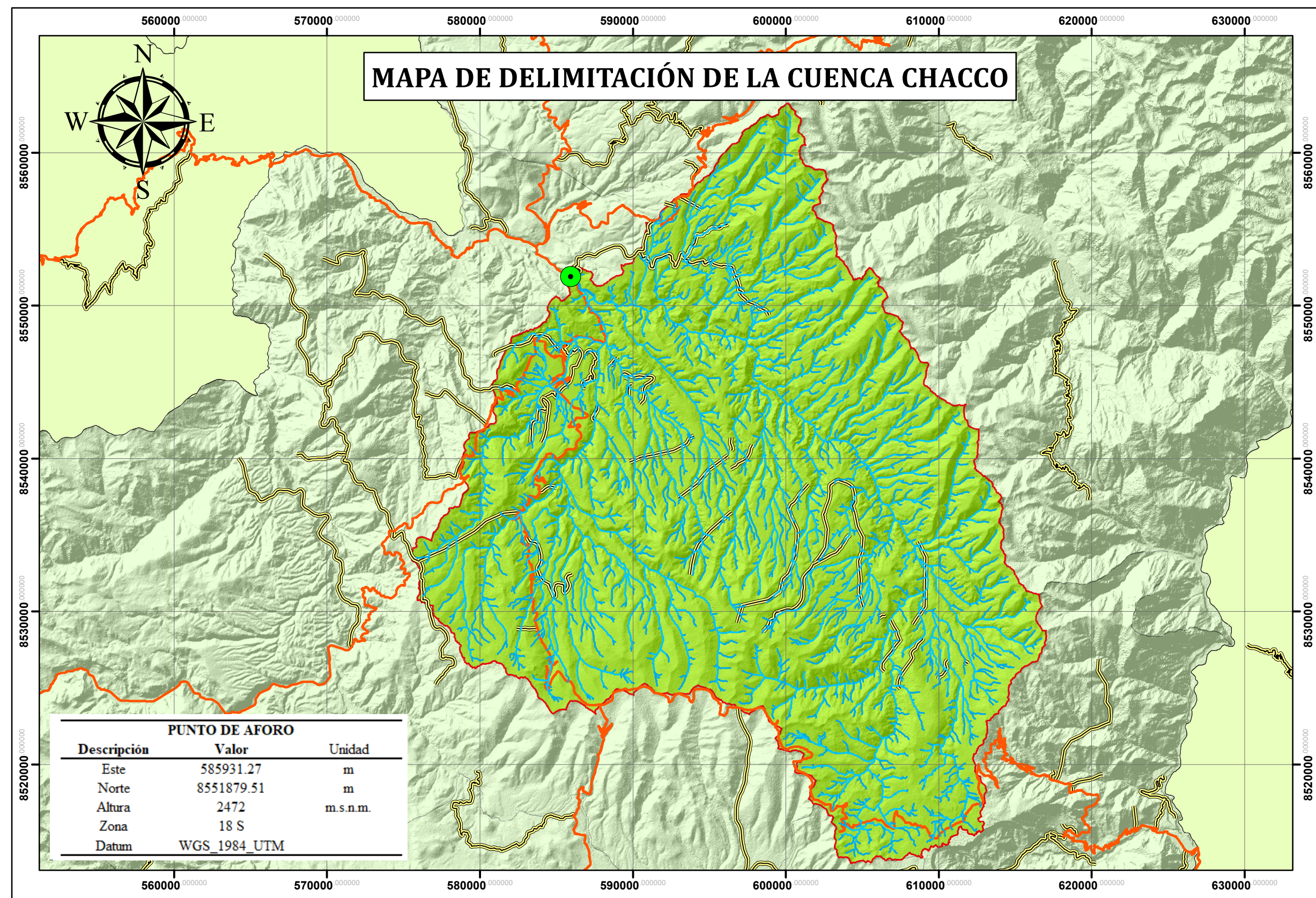


UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS: "Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando la metodología USLE en la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023"

UBICACIÓN : REGIÓN: AYACUCHO PROVINCIA: HUAMANGA DISTRITO : CHIARA, SOCOS, CARMEN ALTO, SAN JUAN BAUTISTA, ACROCO, QUINUA, TAMBILLO, ETC.	ELABORADO: NUÑEZ CUADROS, Mayumi Katty		
	CUENCA: CHACCO	ESCALA: INDICADA	LÁMINA : PL-01
	MAPA: UBICACIÓN DE LA CUENCA	DIBUJO: S.I.G	
	FECHA: OCTUBRE - 2023		



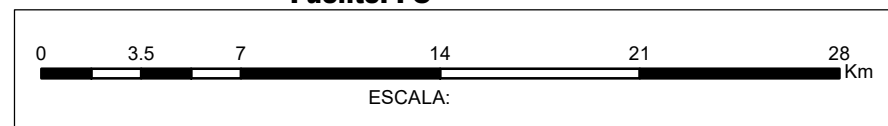
1 centimeter = 2,651 meters

Coordinate System: WGS 1984 UTM zone 18S

Projection: Transverse Mercator

Datum: WGS 1984

Fuente: FO



LEYENDA

LEYENDA

- Aforo
- redvialnacional_Diciembre2010
- rv_vec_ds044
- cuenca



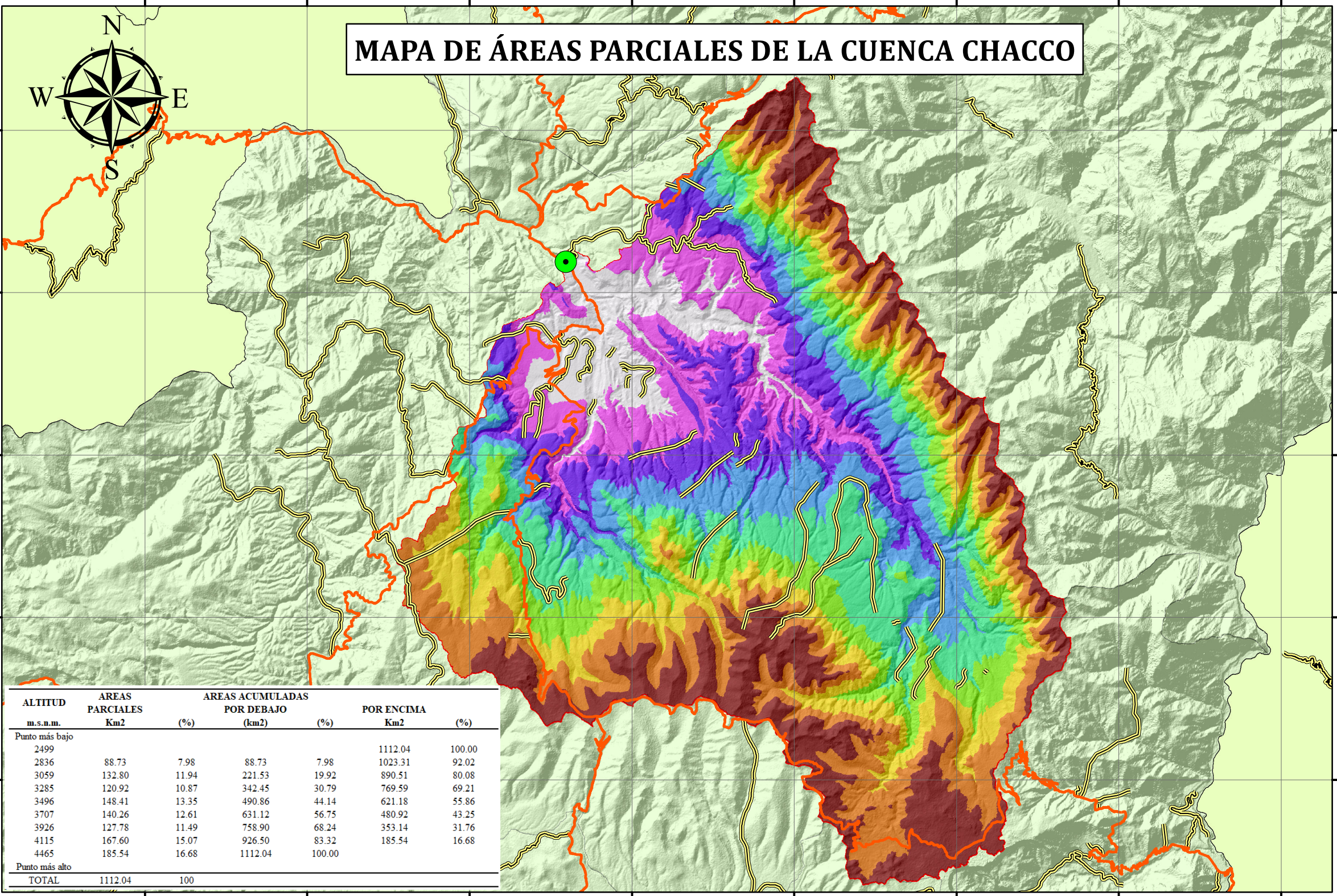
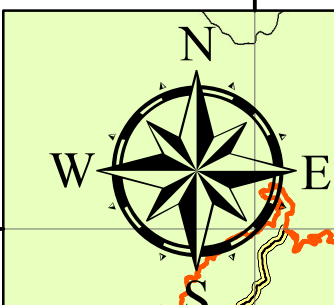
UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



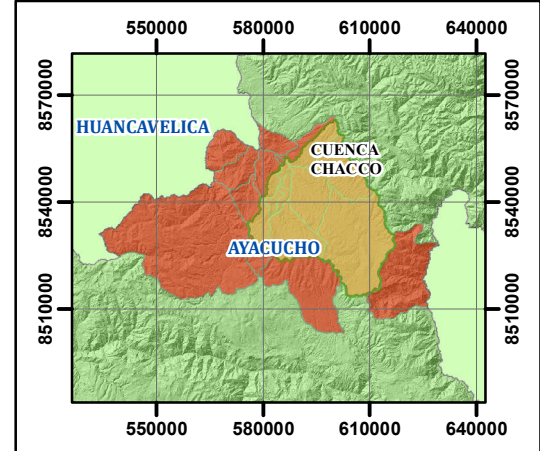
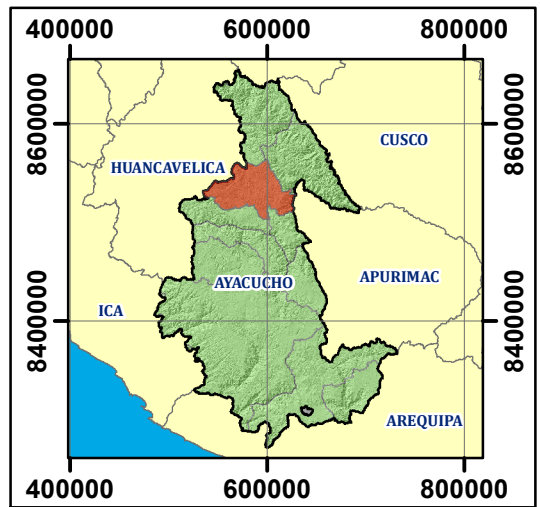
TESIS: "Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando la metodología USLE en la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023"

UBICACIÓN : REGIÓN: AYACUCHO PROVINCIA: HUAMANGA DISTRITO : CHIARA, SOCOS, CARMEN ALTO, SAN JUAN BAUTISTA, ACROCO, QUINUA, TAMBILLO, ETC.	ELABORADO: NUÑEZ CUADROS, Mayumi Katty	
	CUENCA: CHACCO	ESCALA: INDICADA
	MAPA: DELIMITACIÓN DE LA CUENCA	DIBUJO: S.I.G
	FECHA: OCTUBRE - 2023	LÁMINA : PL-02

MAPA DE ÁREAS PARCIALES DE LA CUENCA CHACCO



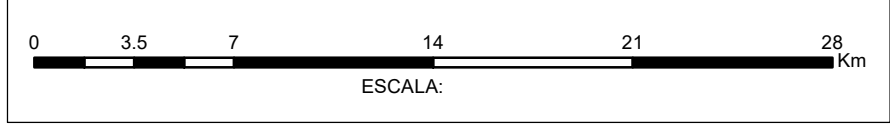
ALTITUD m.s.n.m.	AREAS PARCIALES Km2	AREAS ACUMULADAS POR DEBAJO (km2)	(%)	POR ENCIMA Km2	(%)
Punto más bajo					
2499				1112.04	100.00
2836	88.73	7.98	88.73	7.98	1023.31
3059	132.80	11.94	221.53	19.92	890.51
3285	120.92	10.87	342.45	30.79	769.59
3496	148.41	13.35	490.86	44.14	621.18
3707	140.26	12.61	631.12	56.75	480.92
3926	127.78	11.49	758.90	68.24	353.14
4115	167.60	15.07	926.50	83.32	185.54
4465	185.54	16.68	1112.04	100.00	
Punto más alto					
TOTAL	1112.04	100			



1 centimeter = 2,651 meters

Coordinate System: WGS 1984 UTM zone 18S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

Fuente: FO



LEYENDA

Value

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9

LEYENDA

- Aforo
- redvialnacional_Diciembre2010
- rv_vec_ds044
- cuenca



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS: "Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando la metodología USLE en la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023"

UBICACIÓN : REGIÓN: AYACUCHO PROVINCIA: HUAMANGA DISTRITO : CHIARA, SOCOS, CARMEN ALTO, SAN JUAN BAUTISTA, ACROCO, QUINUA, TAMBILLO, ETC.	ELABORADO: NUÑEZ CUADROS, Mayumi Katty CUENCA: CHACCO MAPA: ÁREAS PARCIALES FECHA: OCTUBRE - 2023	ESCALA: INDICADA DIBUJO: S.I.G	LÁMINA : PL-03
---	--	---	-------------------

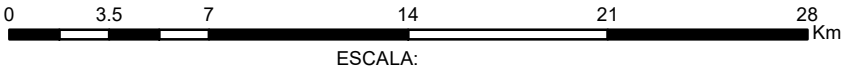
MAPA DE RED HÍDRICA DE LA CUENCA CHACCO



ORDEN DE LA RED	LONGITUD (Km)
1	802.91
2	540.99
3	264.01
4	0.58
5	43.45
6	38.09
7	2.13
TOTAL	1692.16

1 centimeter = 2,651 meters
Coordinate System: WGS 1984 UTM zone 18S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

Fuente: FO



LEYENDA

- Red Hidrica
red
Orden de río
1
2
3
4
5
6
7

LEYENDA

- Aforo
cuenca
redvialnacional_Diciembre2010
rv_vec_ds044

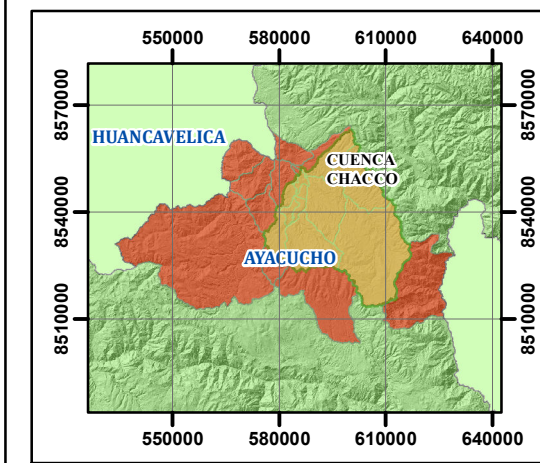
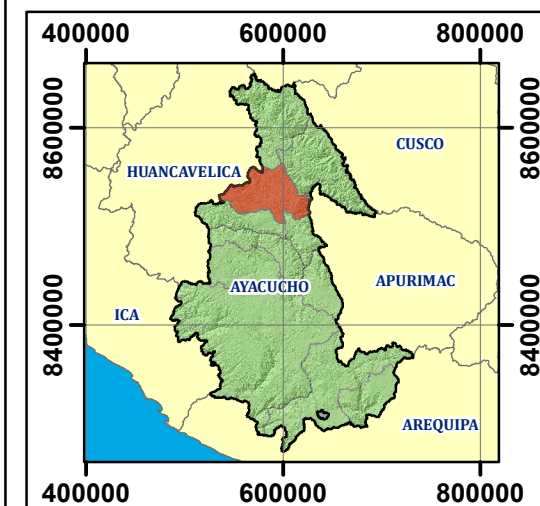
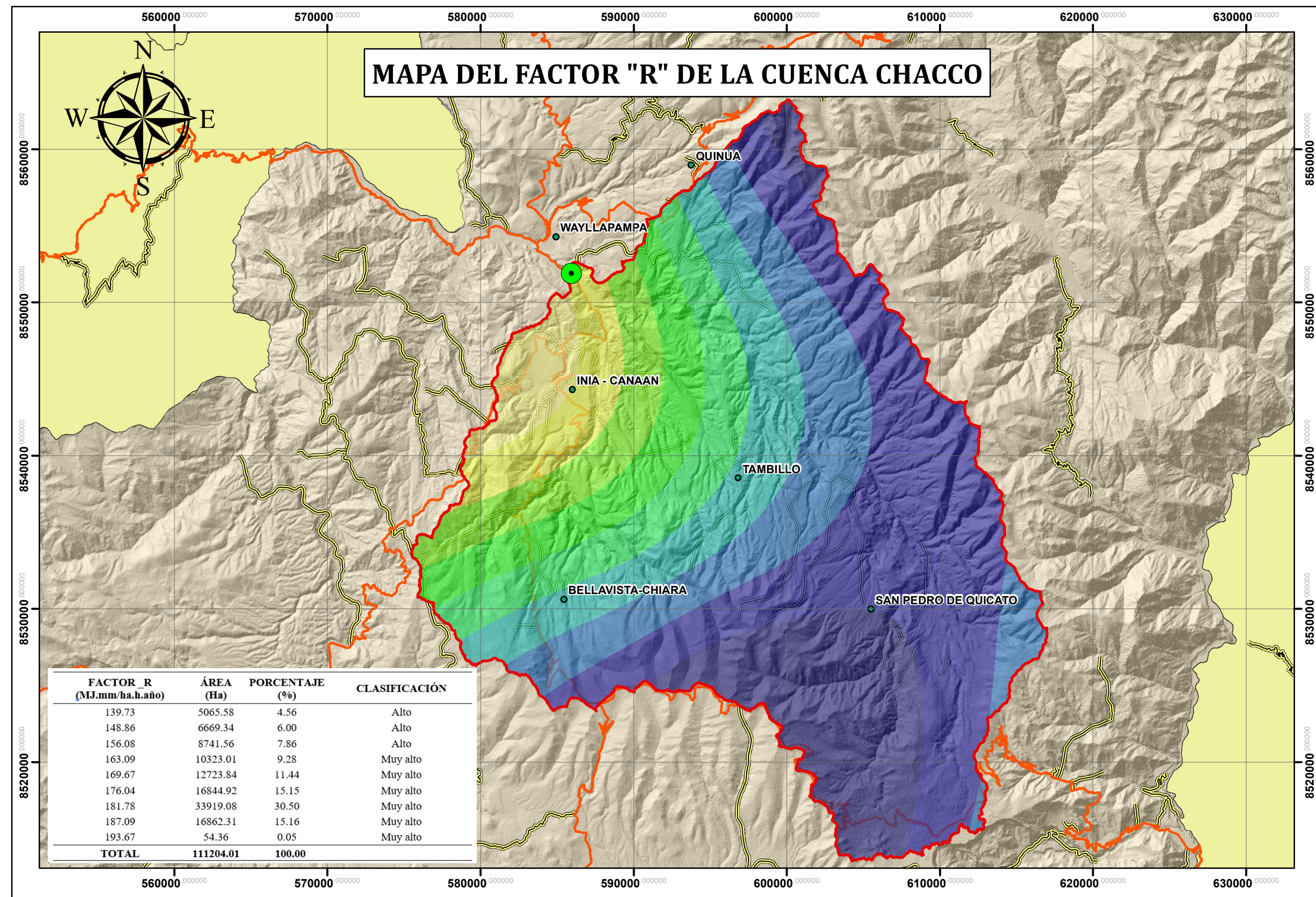


UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS: "Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando la metodología USLE en la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023"

UBICACIÓN : REGIÓN: AYACUCHO PROVINCIA: HUAMANGA DISTRITO : CHIARA, SOCOS, CARMEN ALTO, SAN JUAN BAUTISTA, ACROCO, QUINUA, TAMBILLO, ETC.	ELABORADO: NUÑEZ CUADROS, Mayumi Katty CUENCA: CHACCO MAPA: RED HÍDRICA FECHA: OCTUBRE - 2023	ESCALA: INDICADA DIBUJO: S.I.G	LÁMINA : PL-04
---	--	---	-------------------



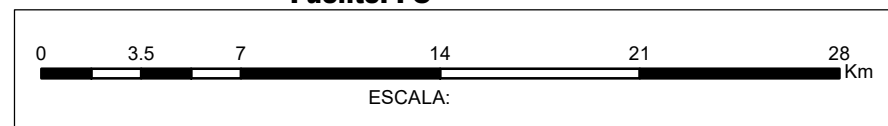
1 centimeter = 2,651 meters

Coordinate System: WGS 1984 UTM zone 18S

Projection: Transverse Mercator

Datum: WGS 1984

Fuente: FO



LEYENDA

factor_r

Rango

- 139.72 - 147.37
- 147.37 - 153.74
- 153.74 - 159.90
- 159.90 - 165.84
- 165.84 - 171.58
- 171.58 - 177.31
- 177.31 - 182.41
- 182.41 - 187.29
- 187.29 - 193.67

LEYENDA

- Estaciones.txt Events
- Aforo
- cuenca
- redvialnacional_Diciembre2010
- rv_vec_ds044



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS:

“Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando la metodología USLE en la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023”

UBICACIÓN :

REGIÓN: AYACUCHO

PROVINCIA: HUAMANGA

DISTRITO :

CHIARA, SOCOS, CARMEN ALTO,
SAN JUAN BAUTISTA, ACROCO,
QUINUA, TAMBILLO, ETC.

ELABORADO: NUÑEZ CUADROS, Mayumi Katty

CUENCA: CHACCO

MAPA: FACTOR "R"

FECHA: OCTUBRE - 2023

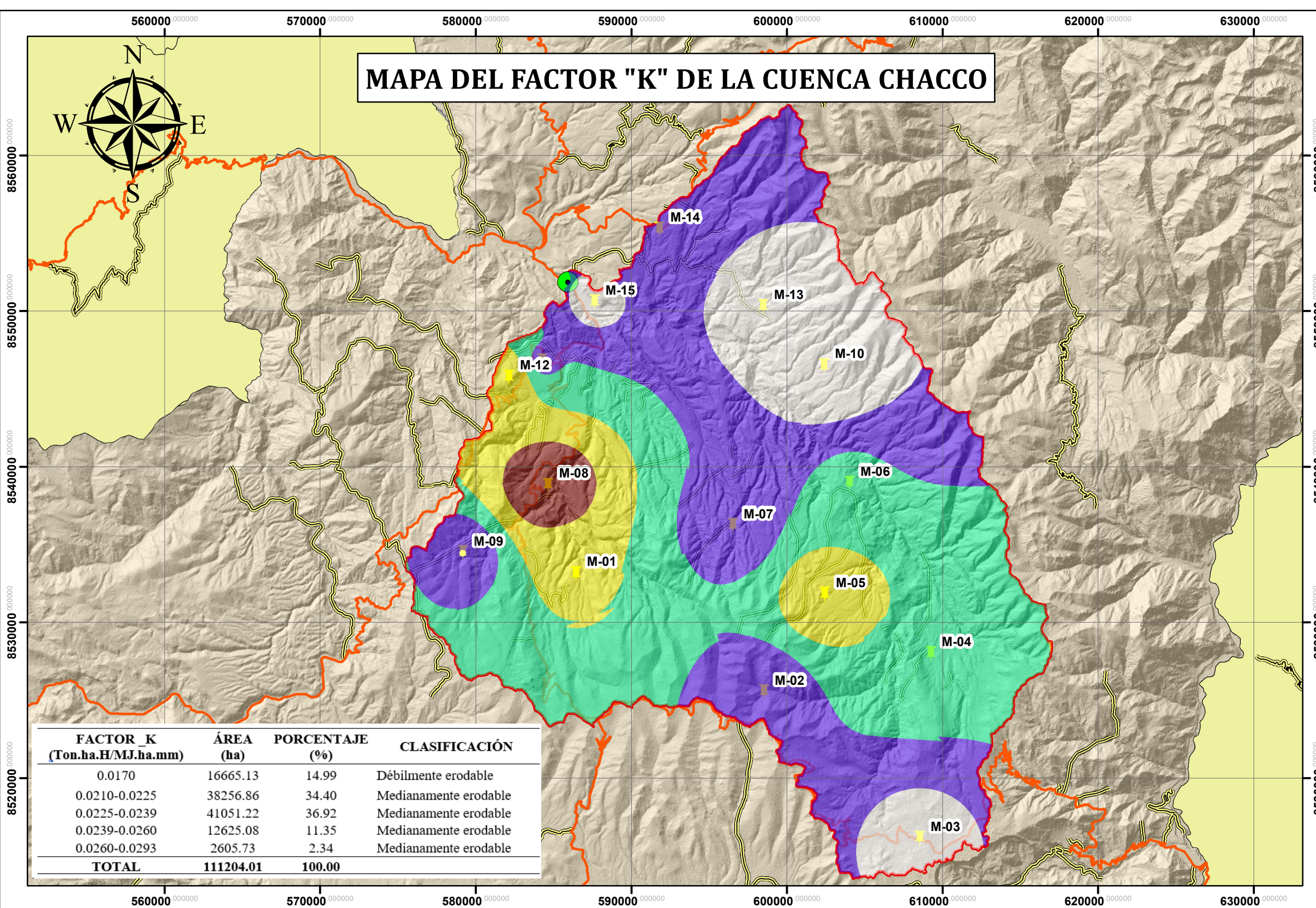
ESCALA:
INDICADA

DIBUJO:
S.I.G

LÁMINA :

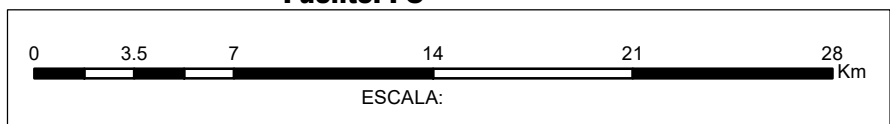
PL-05

MAPA DEL FACTOR "K" DE LA CUENCA CHACCO



FACTOR_K (Ton.ha.H/MJ.ha.mm)	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)	CLASIFICACIÓN
0.0170	16665.13	14.99	Débilmente erodable
0.0210-0.0225	38256.86	34.40	Medianamente erodable
0.0225-0.0239	41051.22	36.92	Medianamente erodable
0.0239-0.0260	12625.08	11.35	Medianamente erodable
0.0260-0.0293	2605.73	2.34	Medianamente erodable
TOTAL	111204.01	100.00	

1 centimeter = 2,651 meters
Coordinate System: WGS 1984 UTM zone 18S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
Fuente: FO



LEYENDA

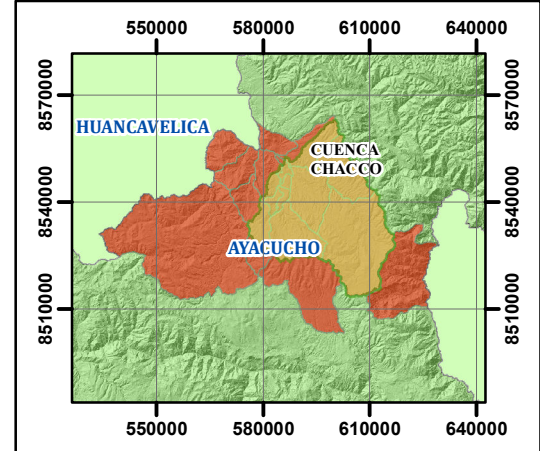
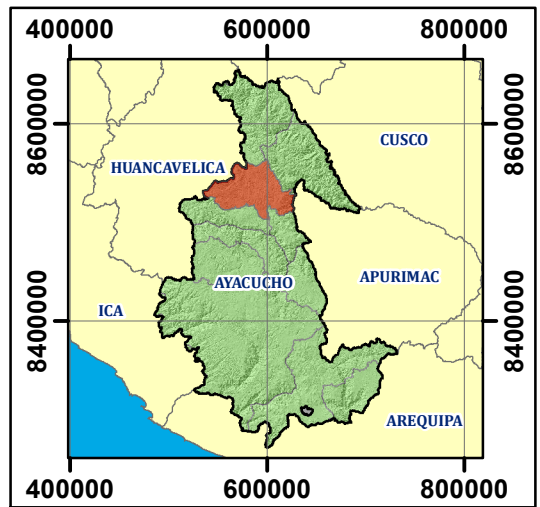
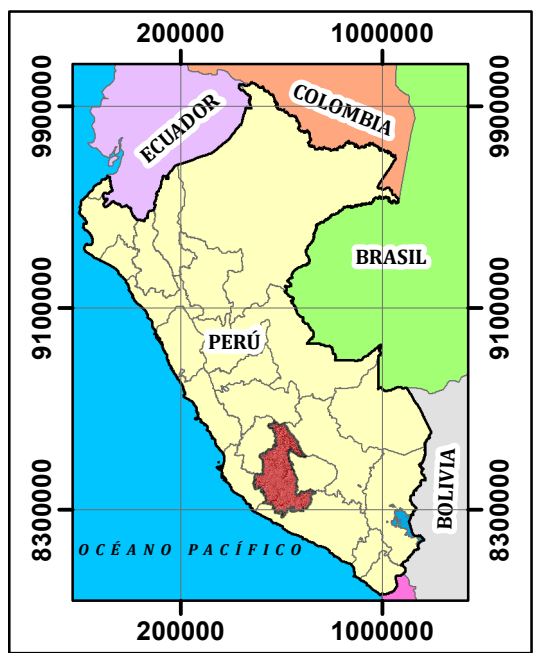
FACTOR_K

Rango

- 0.0170
- 0.0210 - 0.0225
- 0.0225 - 0.0239
- 0.0239 - 0.0260
- 0.0260 - 0.0293

LEYENDA

- Aforo
- cuenca
- redvialnacional_Diciembre2010
- rv_vec_ds044





UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS:

“Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando la metodología USLE en la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023”

UBICACIÓN :

REGIÓN: AYACUCHO
PROVINCIA: HUAMANGA
DISTRITO :

CHIARA, SOCOS, CARMEN ALTO,
SAN JUAN BAUTISTA, ACROCO,
QUINUA, TAMBILLO, ETC.

ELABORADO: NUÑEZ CUADROS, Mayumi Katty

CUENCA: CHACCO

MAPA: FACTOR "K"

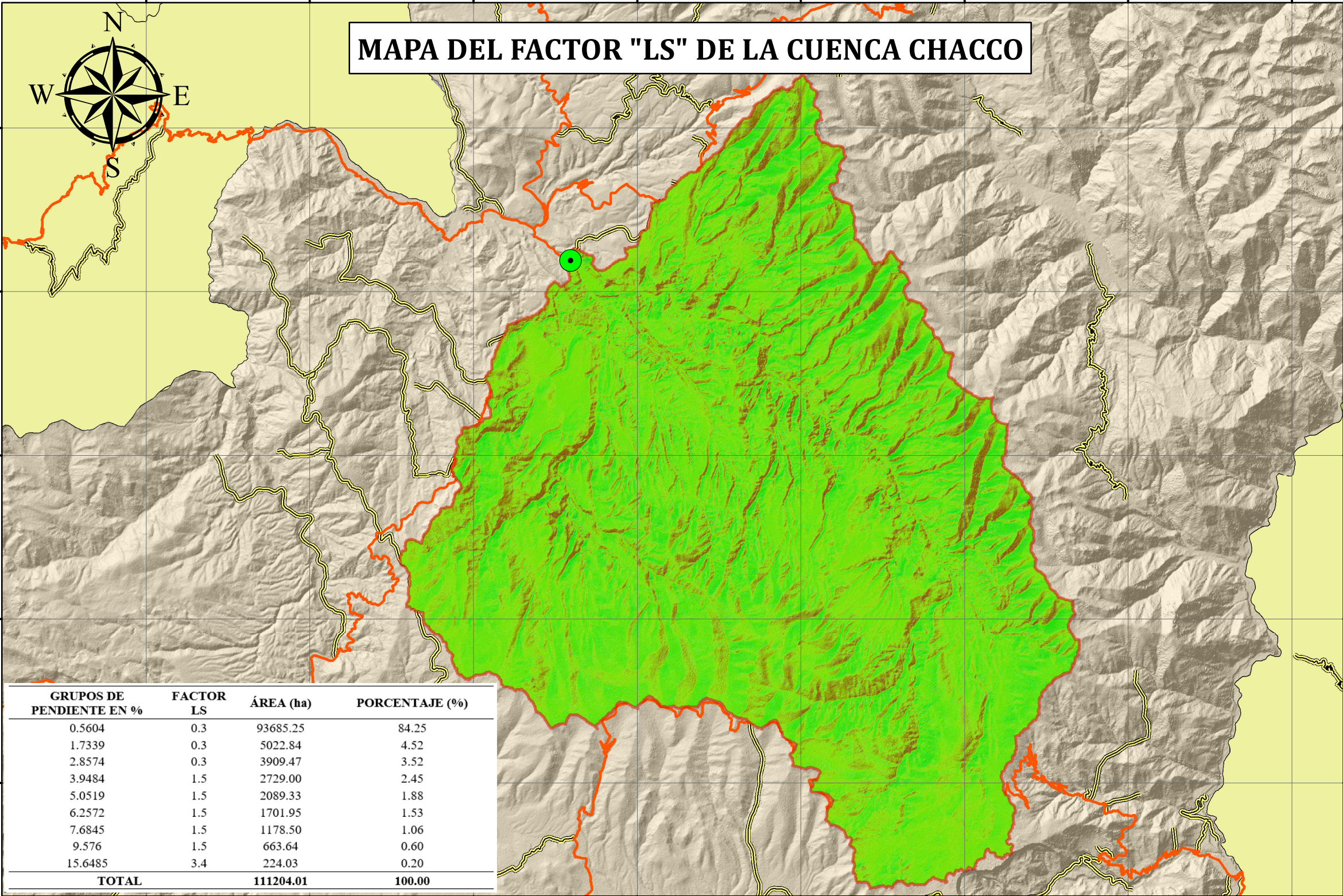
FECHA: OCTUBRE - 2023

ESCALA:
INDICADA

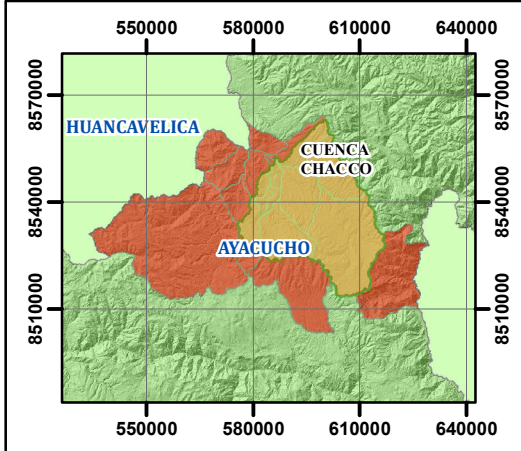
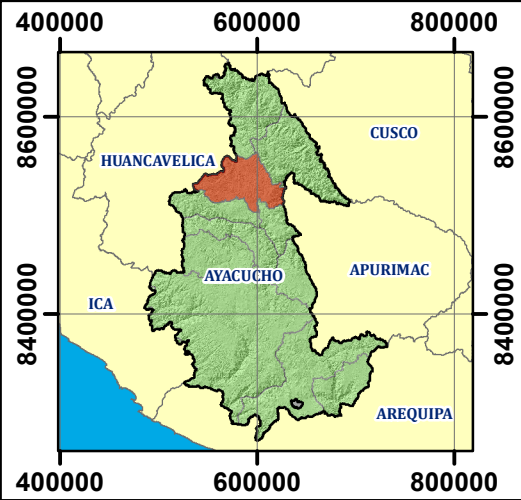
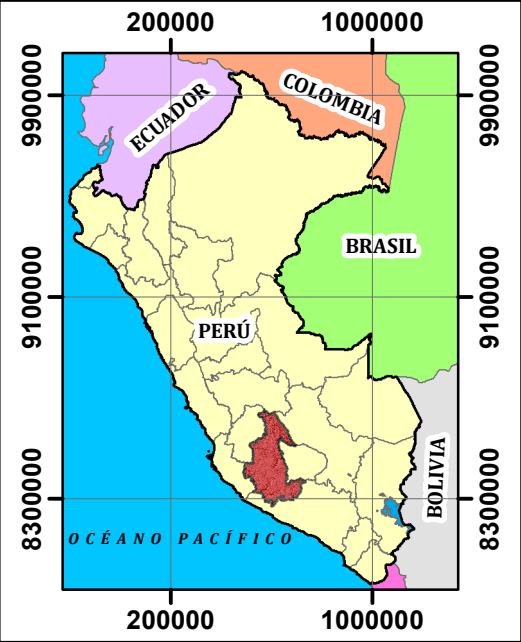
DIBUJO:
S.I.G

LÁMINA :
PL-06

MAPA DEL FACTOR "LS" DE LA CUENCA CHACCO



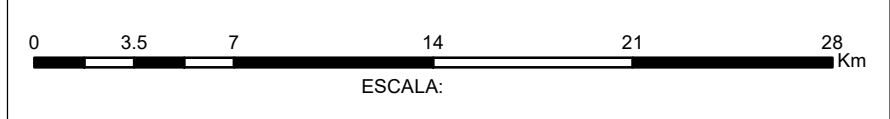
GRUPOS DE PENDIENTE EN %	FACTOR LS	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)
0.5604	0.3	93685.25	84.25
1.7339	0.3	5022.84	4.52
2.8574	0.3	3909.47	3.52
3.9484	1.5	2729.00	2.45
5.0519	1.5	2089.33	1.88
6.2572	1.5	1701.95	1.53
7.6845	1.5	1178.50	1.06
9.576	1.5	663.64	0.60
15.6485	3.4	224.03	0.20
TOTAL		111204.01	100.00



1 centimeter = 2,651 meters

Coordinate System: WGS 1984 UTM zone 18S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

Fuente: FO



- LEYENDA**
FACTOR "LS"
Rango
- 0 - 0.552
 - 0.553 - 1.84
 - 1.85 - 3.01
 - 3.02 - 4.23
 - 4.24 - 5.46
 - 5.47 - 6.75
 - 6.76 - 8.16
 - 8.17 - 10
 - 10.1 - 15.6

LEYENDA

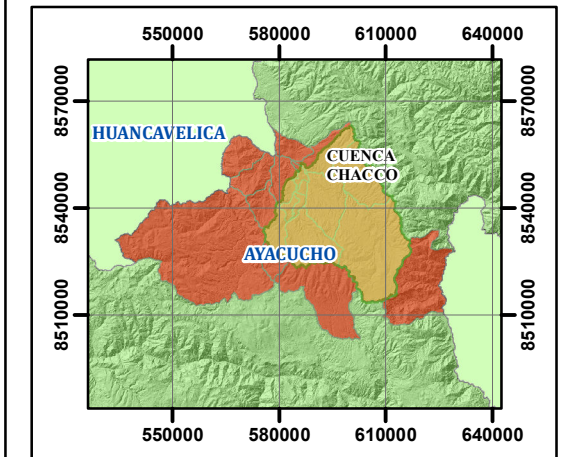
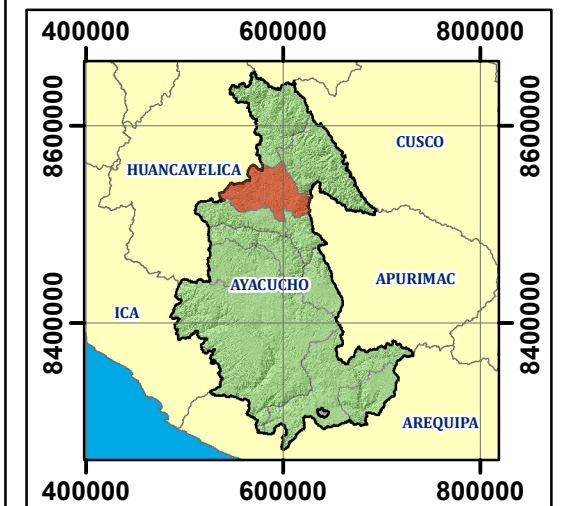
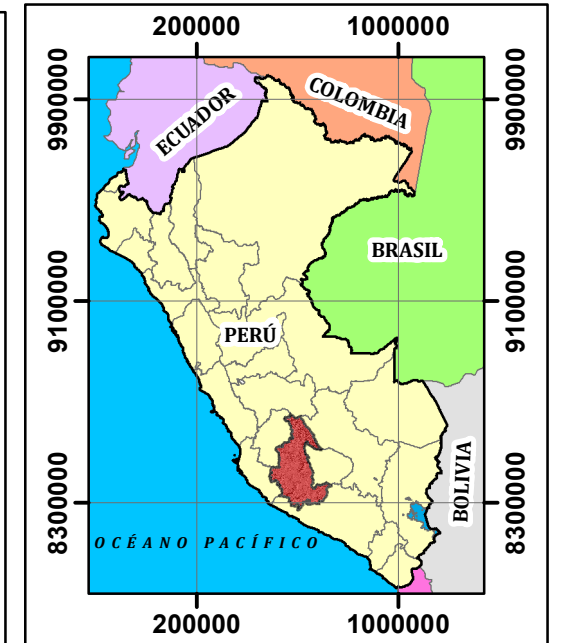
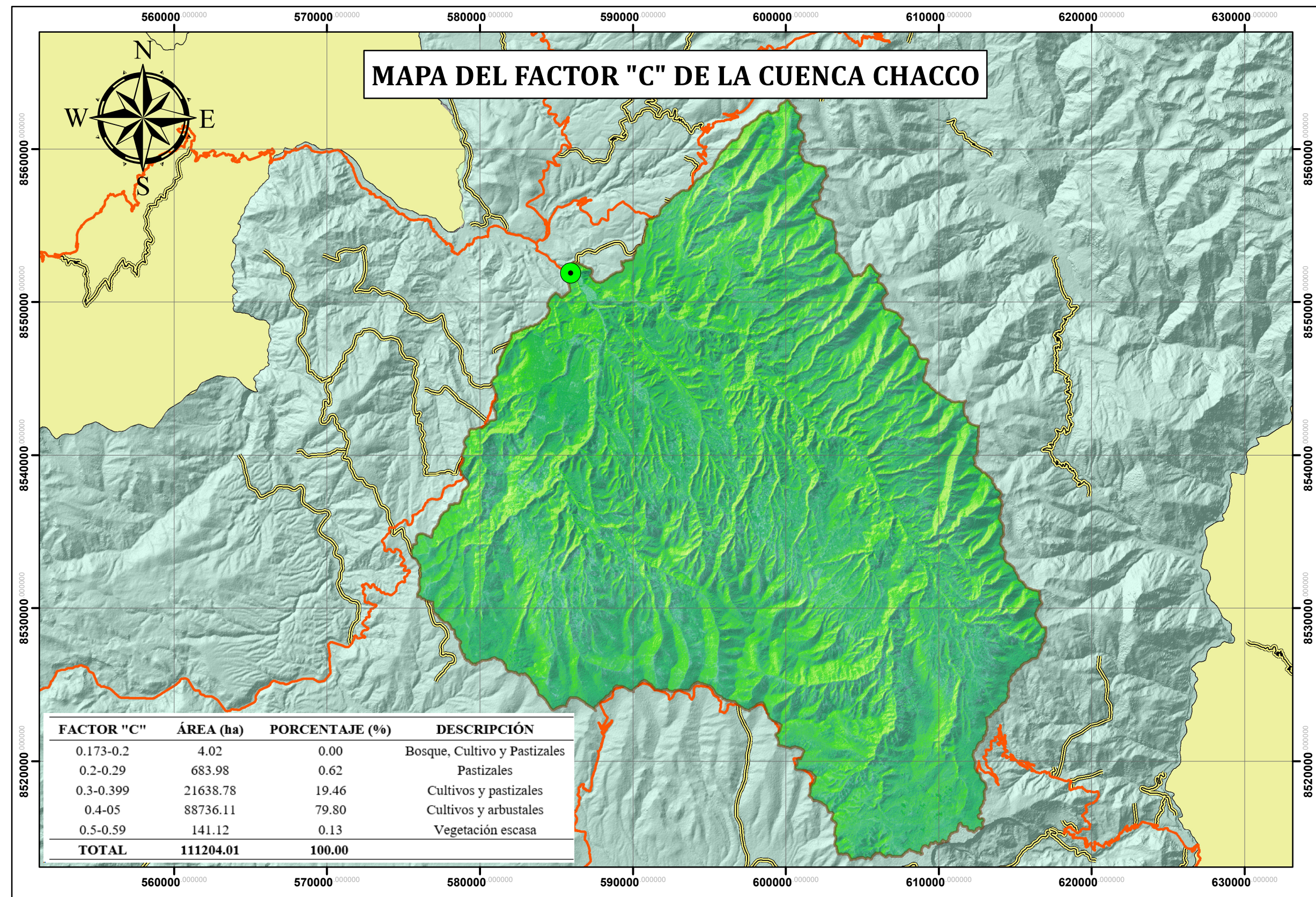
- Aforo
- cuenca
- redvialnacional_Diciembre2010
- rv_vec_ds044



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS: "Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando la metodología USLE en la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023"			
UBICACIÓN : REGIÓN: AYACUCHO PROVINCIA: HUAMANGA DISTRITO : CHIARA, SOCOS, CARMEN ALTO, SAN JUAN BAUTISTA, ACROCO, QUINUA, TAMBILLO, ETC.	ELABORADO: NUÑEZ CUADROS, Mayumi Katty		
	CUENCA: CHACCO	ESCALA: INDICADA	LÁMINA : PL-07
	MAPA: FACTOR "LS"	DIBUJO: S.I.G	
	FECHA: OCTUBRE - 2023		



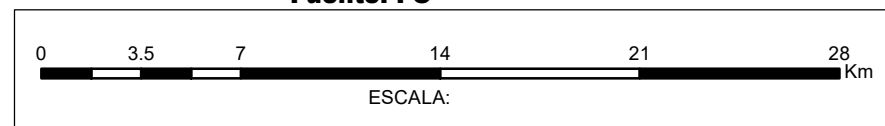
1 centimeter = 2,651 meters

Coordinate System: WGS 1984 UTM zone 18S

Projection: Transverse Mercator

Datum: WGS 1984

Fuente: FO



LEYENDA

FACTOR_C

Rango

High : 0.611025

Low : 0.161185

LEYENDA

Aforo

cuenca

redvialnacional_Diciembre2010

rv_vec_ds044



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS:

"Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando la metodología USLE en la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023"

UBICACIÓN :

REGIÓN: AYACUCHO

PROVINCIA: HUAMANGA

DISTRITO :

CHIARA, SOCOS, CARMEN ALTO,
SAN JUAN BAUTISTA, ACROCO,
QUINUA, TAMBILLO, ETC.

ELABORADO: NUÑEZ CUADROS, Mayumi Katty

CUENCA: CHACCO

MAPA: FACTOR "C"

FECHA: OCTUBRE - 2023

ESCALA:

INDICADA

DIBUJO:

S.I.G

LÁMINA :

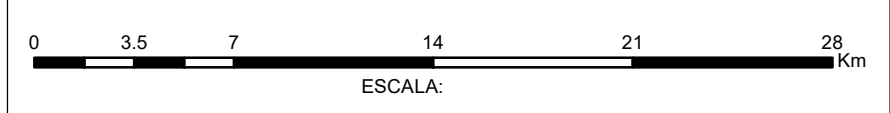
PL-08

MAPA DE EROSIÓN POTENCIAL DE LA CUENCA CHACCO



EROSIÓN POTENCIAL (t.ha ⁻¹ .año)	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)	ALTITUD (m.s.n.m)	TIPO DE EROSIÓN
<0.5	92059.07	82.78	2499 - 4464	Normal
0.5-5	4450.19	4	2500 - 4464	Ligera
5-15	8420.72	7.57	2500 - 4465	Moderada
15-50	6256.23	5.63	2508 - 4463	Severa
50-70.15	17.8	0.02	2686 - 4323	Muy severa
TOTAL	111204.01	100.00		

1 centimeter = 2,651 meters
Coordinate System: WGS 1984 UTM zone 18S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
Fuente: FO



LEYENDA

EROSIÓN POTENCIAL

Rango

0 - 0.5
0.501 - 5
5.01 - 15
15.1 - 50
50.1 - 70.2

LEYENDA

Aforo
cuenca
redvialnacional_Diciembre2010
rv_vec_ds044

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS: "Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando la metodología USLE en la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023"

UBICACIÓN :
REGIÓN: AYACUCHO
PROVINCIA: HUAMANGA
DISTRITO :
CHIARA, SOCOS, CARMEN ALTO, SAN JUAN BAUTISTA, ACROCO, QUINUA, TAMBILLO, ETC.

ELABORADO: NUÑEZ CUADROS, Mayumi Katty

CUENCA: CHACCO

MAPA: EROSIÓN POTENCIAL

FECHA: OCTUBRE - 2023

ESCALA: INDICADA

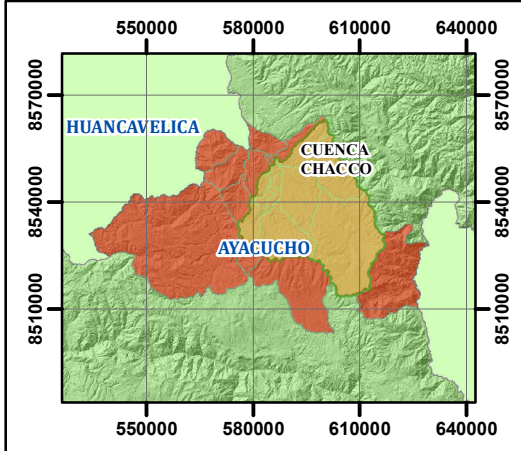
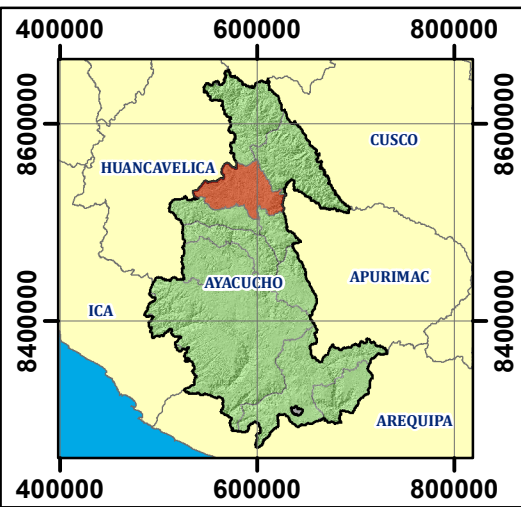
DIBUJO: S.I.G

LÁMINA : PL-09

MAPA DE EROSIÓN ACTUAL DE LA CUENCA CHACCO



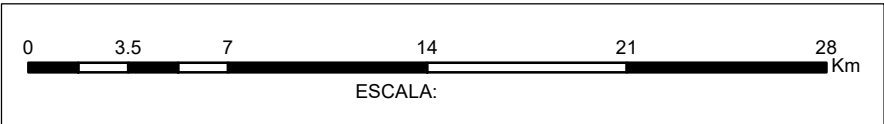
EROSIÓN ACTUAL (t.ha ⁻¹ .año)	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)	ALTITUD (m.s.n.m)	TIPO DE EROSIÓN
<0.5	92827.3	83.47	2499 - 4464	Normal
0.5-5	10029.21	9.02	2500 - 4465	Ligera
5-15	7957.63	7.16	2505 - 4463	Moderada
15-33.30	389.88	0.35	2534 - 4421	Severa
TOTAL	111204.19	100.00		



1 centimeter = 2,651 meters

Coordinate System: WGS 1984 UTM zone 18S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

Fuente: FO



LEYENDA

EROSIÓN ACTUAL
Rango

- 0 - 1.83
- 1.84 - 5.75
- 5.76 - 10.7
- 10.8 - 33.3

LEYENDA

- Aforo
- cuenca
- redvialnacional_Diciembre2010
- rv_vec_ds044



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS:

“Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando la metodología USLE en la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023”

UBICACIÓN :

REGIÓN: AYACUCHO
PROVINCIA: HUAMANGA
DISTRITO :

CHIARA, SOCOS, CARMEN ALTO,
SAN JUAN BAUTISTA, ACROCO,
QUINUA, TAMBILLO, ETC.

ELABORADO: NUÑEZ CUADROS, Mayumi Katty

CUENCA: CHACCO

MAPA: EROSIÓN ACTUAL

FECHA: OCTUBRE - 2023

ESCALA:

INDICADA

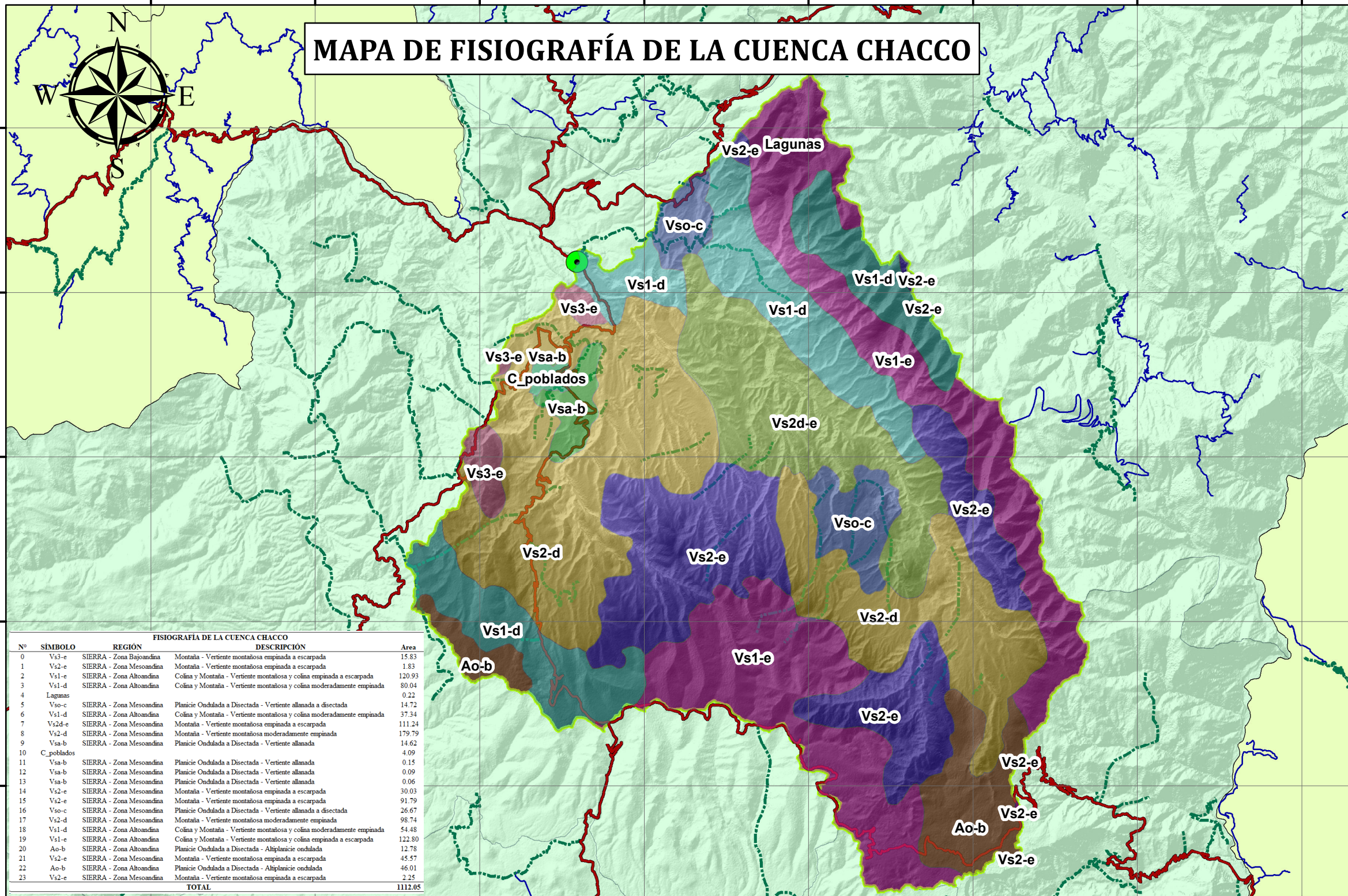
DIBUJO:

S.I.G

LÁMINA :

PL-10

MAPA DE FISIOGRAFÍA DE LA CUENCA CHACCO



Nº	SÍMBOLO	REGIÓN	DESCRIPCIÓN	Área
0	Vs3-e	SIERRA - Zona Bajoandina	Montaña - Vertiente montañosa empinada a escarpada	15.83
1	Vs2-e	SIERRA - Zona Mesoandina	Montaña - Vertiente montañosa empinada a escarpada	1.83
2	Vs1-e	SIERRA - Zona Altoandina	Colina y Montaña - Vertiente montañosa y colina empinada a escarpada	120.93
3	Vs1-d	SIERRA - Zona Altoandina	Colina y Montaña - Vertiente montañosa y colina moderadamente empinada	80.04
4	Lagunas			0.22
5	Vso-c	SIERRA - Zona Mesoandina	Planicie Ondulada a Disectada - Vertiente allanada a disectada	14.72
6	Vs1-d	SIERRA - Zona Altoandina	Colina y Montaña - Vertiente montañosa y colina moderadamente empinada	37.34
7	Vs2d-e	SIERRA - Zona Mesoandina	Montaña - Vertiente montañosa empinada a escarpada	111.24
8	Vs2-d	SIERRA - Zona Mesoandina	Montaña - Vertiente montañosa moderadamente empinada	179.79
9	Vsa-b	SIERRA - Zona Mesoandina	Planicie Ondulada a Disectada - Vertiente allanada	14.62
10	C_poblados			4.09
11	Vsa-b	SIERRA - Zona Mesoandina	Planicie Ondulada a Disectada - Vertiente allanada	0.15
12	Vsa-b	SIERRA - Zona Mesoandina	Planicie Ondulada a Disectada - Vertiente allanada	0.09
13	Vsa-b	SIERRA - Zona Mesoandina	Planicie Ondulada a Disectada - Vertiente allanada	0.06
14	Vs2-e	SIERRA - Zona Mesoandina	Montaña - Vertiente montañosa empinada a escarpada	30.03
15	Vs2-e	SIERRA - Zona Mesoandina	Montaña - Vertiente montañosa empinada a escarpada	91.79
16	Vso-c	SIERRA - Zona Mesoandina	Planicie Ondulada a Disectada - Vertiente allanada a disectada	26.67
17	Vs2-d	SIERRA - Zona Mesoandina	Montaña - Vertiente montañosa moderadamente empinada	98.74
18	Vs1-d	SIERRA - Zona Altoandina	Colina y Montaña - Vertiente montañosa y colina moderadamente empinada	54.48
19	Vs1-e	SIERRA - Zona Altoandina	Colina y Montaña - Vertiente montañosa y colina empinada a escarpada	122.80
20	Ao-b	SIERRA - Zona Altoandina	Planicie Ondulada a Disectada - Altiplanicie ondulada	12.78
21	Vs2-e	SIERRA - Zona Mesoandina	Montaña - Vertiente montañosa empinada a escarpada	45.57
22	Ao-b	SIERRA - Zona Altoandina	Planicie Ondulada a Disectada - Altiplanicie ondulada	46.01
23	Vs2-e	SIERRA - Zona Mesoandina	Montaña - Vertiente montañosa empinada a escarpada	2.25
TOTAL				1112.95

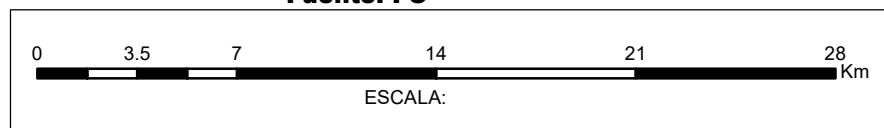
1 centimeter = 2,651 meters

Coordinate System: WGS 1984 UTM zone 18S

Projection: Transverse Mercator

Datum: WGS 1984

Fuente: FO



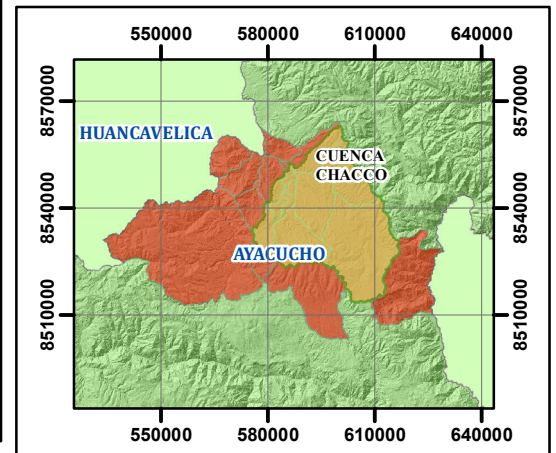
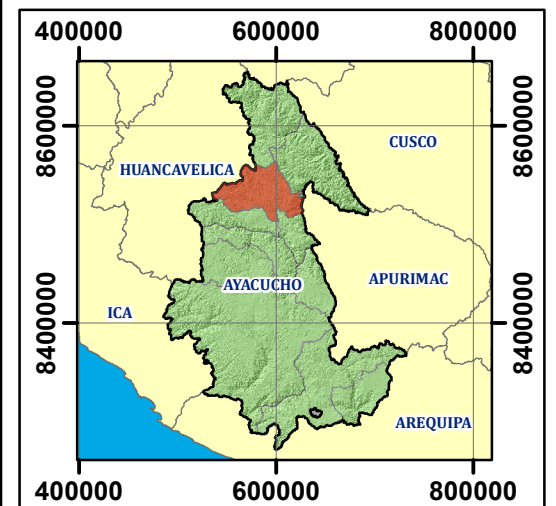
LEYENDA

SÍMBOLO

- Ao-b
- C_poblados
- Lagunas
- Vs1-d
- Vs1-e
- Vs2-d
- Vs2-e
- Vs2d-e
- Vs3-e
- Vsa-b
- Vso-c

LEYENDA

- cuenca
- Aforo
- redvialnacional_Diciembre2010
- rv_vec_ds044
- rv_vec_no_reg



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS:

“Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando la metodología USLE en la cuenca Chacco – Ayacucho,2023”

UBICACIÓN :

REGIÓN: AYACUCHO
PROVINCIA: HUAMANGA
DISTRITO :
CHIARA, SOCOS, CARMEN ALTO,
SAN JUAN BAUTISTA, ACROCOS,
QUINUA, TAMBILLO, ETC.

ELABORADO: NUÑEZ CUADROS, Mayumi Katty

CUENCA: CHACCO

MAPA: FISIOGRAFÍA

FECHA: OCTUBRE - 2023

ESCALA:

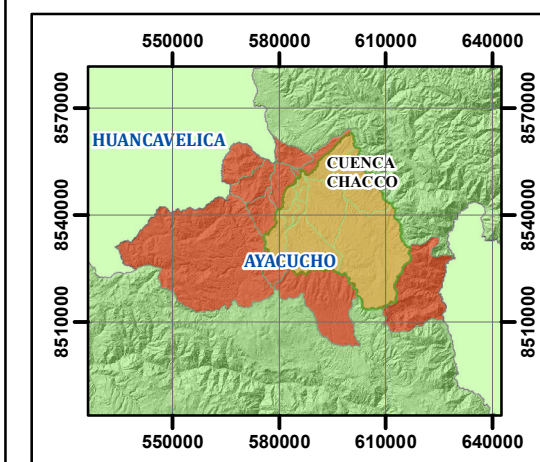
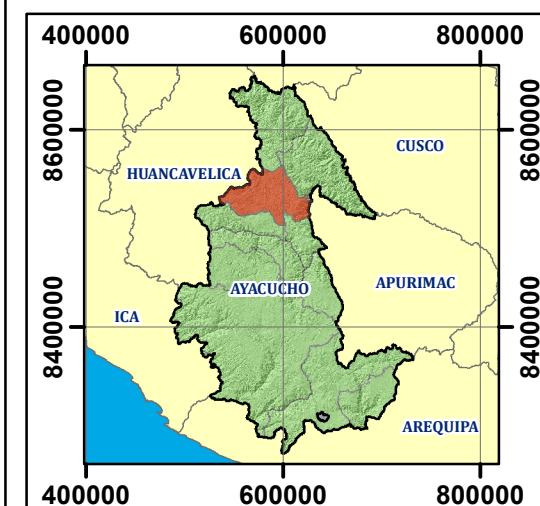
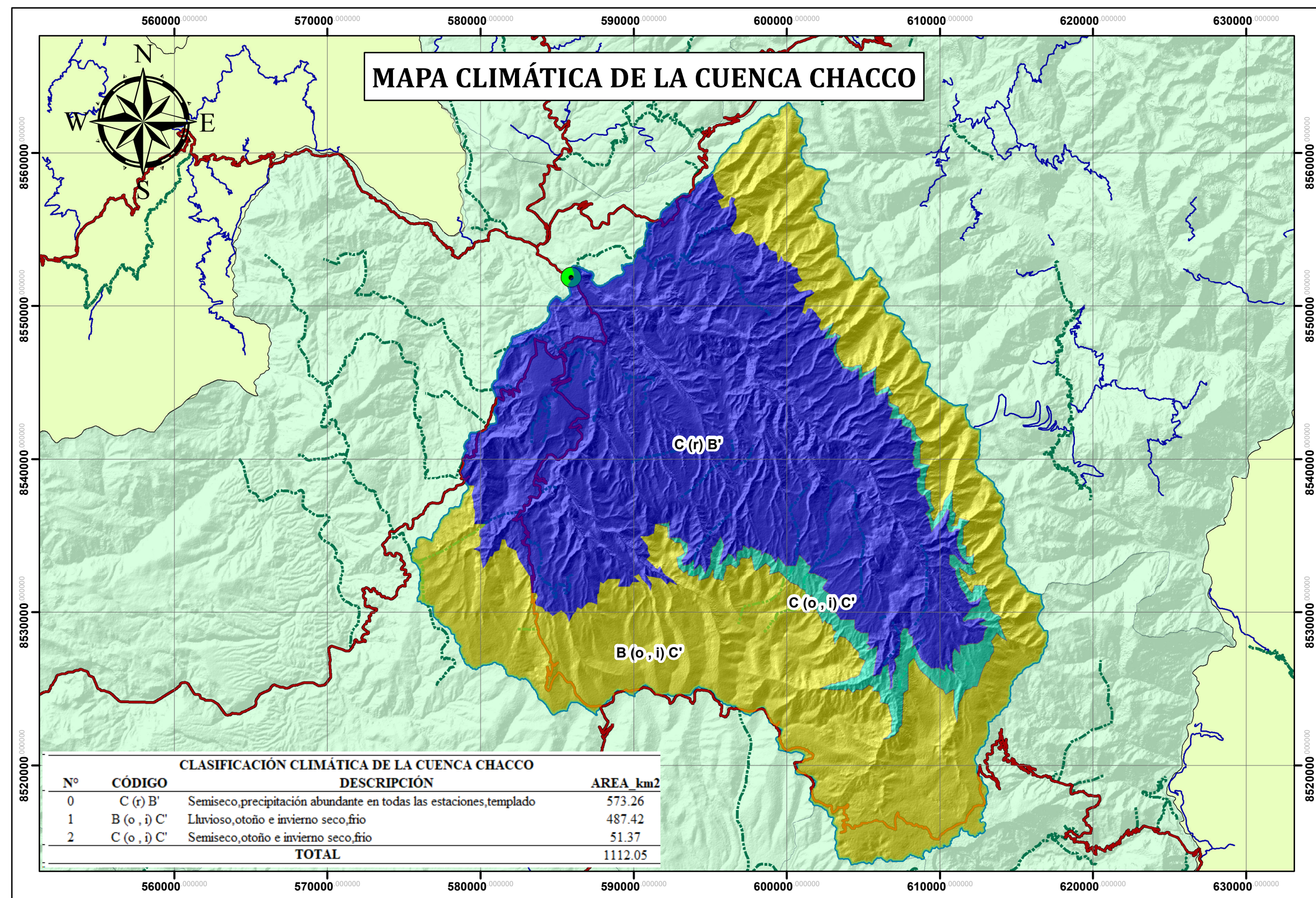
INDICADA

DIBUJO:

S.I.G

LÁMINA :

PL-11



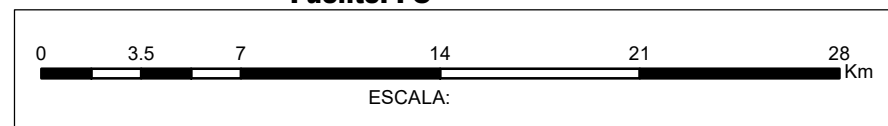
1 centimeter = 2,651 meters

Coordinate System: WGS 1984 UTM zone 18S

Projection: Transverse Mercator

Datum: WGS 1984

Fuente: FO



LEYENDA

CÓDIGO

- B (o , i) C'
- C (o , i) C'
- C (r) B'

LEYENDA

- cuenca
- Aforo
- redvialnacional_Diciembre2010
- rv_vec_ds044
- rv_vec_no_reg



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS: "Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando la metodología USLE en la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023"

UBICACIÓN :
REGIÓN: AYACUCHO
PROVINCIA: HUAMANGA
DISTRITO :
CHIARA, SOCOS, CARMEN ALTO,
SAN JUAN BAUTISTA, ACROCOS,
QUINUA, TAMBILLO, ETC.

ELABORADO: NUÑEZ CUADROS, Mayumi Katty

CUENCA: CHACCO

MAPA: CLIMÁTICA

FECHA: OCTUBRE - 2023

ESCALA:
INDICADA

DIBUJO:
S.I.G

LÁMINA :

PL-12

**UNSCH****FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS**

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. MAYUMI KATTY NÚÑEZ CUADROS

R.D. N° 020-2024-UNSCH-FCA-D

En la ciudad de Ayacucho a los veintiséis días del mes de enero del año dos mil veinticuatro, siendo las dieciocho horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Ing. Efraín Chuchón Prado, los miembros del jurado conformado por el Ing. Efraín Chuchón Prado, Ph.D. Sandra Del Águila Ríos como asesor, Ing. Orlando Fidel Sulca Castilla y Mtro. Rodolfo Alca Mendoza; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulada: **Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando la metodología USLE en la cuenca Chacco - Ayacucho, 2023.** para obtener el Título Profesional de Ingeniera Agrícola presentado por la Bachiller **MAYUMI KATTY NÚÑEZ CUADROS.**

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

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
Ing. Efraín Chuchón Prado	16	16	16	16
Ph.D. Sandra Del Águila Ríos	17	18	18	18
Ing. Orlando Fidel Sulca Castilla	16	15	15	15
Mtro. Rodolfo Alca Mendoza	14	14	14	14
PROMEDIO GENERAL				16

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

Ing. Efraín Chuchón Prado
Presidente

Ph.D. Sandra Del Águila Ríos
Asesor

Ing. Orlando Fidel Sulca Castilla
Jurado

Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Jurado

Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Secretario Docente

**UNSCH**FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

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

"Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando la metodología USLE en la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023"

Autor : Mayumi Katty Nuñez Cuadros
Asesor : Sandra Del Águila Ríos

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de investigación, aprobado mediante RCU N° 039-2021-UNSCH-CU, y RCU N° 1530-2023-UNSCH-CU, emitiendo un resultado de **veintiuno por ciento (21 %)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajos estándar**.

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

Nota: Se adjunta el resultado con Identificador de la entrega: 2332906435

Ayacucho, 27 de marzo de 2024

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

“Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando la metodología USLE en la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023”

por Mayumi Katty Nuñez Cuadros

Fecha de entrega: 27-mar-2024 11:48a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2332906435

Nombre del archivo: TESIS_MKNC_final_.docx (64.47M)

Total de palabras: 22540

Total de caracteres: 120415

“Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando la metodología USLE en la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023”

INFORME DE ORIGINALIDAD

21 %

INDICE DE SIMILITUD

22 %

FUENTES DE INTERNET

6 %

PUBLICACIONES

7 %

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

3 %

2

repositorio.unsch.edu.pe

Fuente de Internet

2 %

3

pdfcoffee.com

Fuente de Internet

1 %

4

repositorio.ana.gob.pe

Fuente de Internet

1 %

5

Submitted to Universidad Nacional de San
Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

1 %

6

repositorio.unan.edu.ni

Fuente de Internet

1 %

7

repositorio.unap.edu.pe

Fuente de Internet

1 %

8

repositorio.undac.edu.pe

Fuente de Internet

1 %

9	repositorio.unas.edu.pe Fuente de Internet	1 %
10	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1 %
11	cicese.repositorioinstitucional.mx Fuente de Internet	1 %
12	docplayer.es Fuente de Internet	1 %
13	www.minem.gob.pe Fuente de Internet	1 %
14	produccioncientificaluz.org Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.inta.gob.ar Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.untumbes.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.ucss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
19	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

21	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
22	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	html.pdfcookie.com Fuente de Internet	<1 %
24	dgsa.uaeh.edu.mx:8080 Fuente de Internet	<1 %
25	www.ign.es Fuente de Internet	<1 %
26	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
27	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
28	1library.co Fuente de Internet	<1 %
29	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
30	orcid.org Fuente de Internet	<1 %
31	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
32	www.crq.gov.co Fuente de Internet	<1 %

33	agroempresario.com	Fuente de Internet	<1 %
34	dokumen.site	Fuente de Internet	<1 %
35	repositorio.unc.edu.pe	Fuente de Internet	<1 %
36	redbpa.org.ar	Fuente de Internet	<1 %
37	Submitted to Universidad Católica de Santa María	Trabajo del estudiante	<1 %
38	www.scribd.com	Fuente de Internet	<1 %
39	repositorio.uss.edu.pe	Fuente de Internet	<1 %
40	repository.unimilitar.edu.co	Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo

Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando la metodología USLE en la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023

Mayumi Katty Nuñez Cuadros¹ mayumi.nunez.21@unsch.edu.pe

Ph. D. Sandra Del Águila Ríos² sandra.delaguila@unsch.edu.pe

Área de investigación: Medio ambiente

Línea de investigación: Hidrología, hidráulica, saneamiento, energía y cambio climático.
riego y drenaje.

RESUMEN

El presente estudio se realizó con el objetivo de evaluar la pérdida de suelo causada por la erosión hídrica en la cuenca Chacco de la región Ayacucho, para ello, se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE). El cálculo se llevó a cabo utilizando los programas (Arc Map y Qgis) e imágenes satelitales del Sentinel 2A. Se han estimado los principales factores que contribuyen a la erosión hídrica, los cuales son: el factor de erosividad (R), el factor de erodabilidad (k), el factor topográfico (LS), el factor de cobertura vegetal (C) y el factor de prácticas de conservación (P). La cuenca Chacco se ubica en el Centro Sur del Perú a una altitud de 2499-4465m.s.n.m. y tiene un área aproximada de 1112.04 km²; se determinó el factor de erosividad (R) (precipitación promedio) con valores que oscilan entre 139.73 a 193.67 MJ.mm/ha.h.año; el factor de erodabilidad (K) con valor de 0.017 Ton.ha.h/MJ.ha.mm se clasifica como suelos débilmente erosionable, y los valores varían desde 0.021 a 0.029 Ton.ha.h/ha.MJ.mm suelos medianamente erodable, el factor de topografía (LS) oscila entre los valores de 0.30 a 3.40 (adimensional) y finalmente se determinó el factor de cobertura vegetal (C) valores entre 0.17-0.20 (bosques, cultivos y pastizales), 0.20 a 0.29 (pastizales), 0.30 a 0.40 (Cultivos y pastizales), 0.40 a 0.50 (Cultivos y arbustales) y entre 0.50 a 0.59 (vegetación escasa). Se determinó que la pendiente tiene una influencia directa en la cuenta más que la forma. Resultó 70.15 t.ha⁻¹.año en un (0.02% del área total), lo cual indica tasas de erosión potencial muy severa y con 33.30 t.ha⁻¹.año, en un (0.351% del área total), indica tasas de erosión actual severa, con lo cual, se concluye que la cuenca Chacco no es altamente erosionable.

Palabras clave: pérdida de suelo, erosión hídrica, USLE, cuenca Chacco, Ayacucho.

ABSTRACT

The present study was carried out with the objective of evaluating the soil loss caused by water erosion in the Chacco basin of the Ayacucho region, for which the Universal Soil Loss Equation (USLE) was used. The calculation was carried out using the programs (Arc Map and Qgis) and satellite images from Sentinel 2A. The main factors that contribute to water erosion have been estimated, which are: the erosivity factor (R), the erodability factor (k), the topographic factor (LS), the vegetation cover factor (C) and the conservation practices factor (P). The Chacco basin is located in south-central Peru at an altitude of 2499-4465m.a.s.l. and has an approximate area of 1112.04 km²; the erosivity factor (R) (average precipitation) was determined with values ranging from 139.73 to 193.67 MJ.mm/ha.h.año; the erodability factor (K) with a value of 0.017 Ton.ha.h/MJ.ha.mm is classified as weakly erodible soils, and values range from 0.021 to 0.029 Ton.ha.h/ha. MJ.mm moderately erodible soils, the topography factor (LS) ranges from 0.30 to 3.40 (dimensionless) and finally, the vegetation cover factor (C) was determined values between 0.17-0.20 (forests, crops and grasslands), 0.20 to 0.29 (grasslands), 0.30 to 0.40 (crops and grasslands), 0.40 to 0.50 (crops and shrubs) and between 0.50 to 0.59 (sparse vegetation). It was determined that the slope has a direct influence on the bead rather than the shape. It resulted in 70.15 t.ha⁻¹.yr in (0.02% of the total area), which indicates very severe potential erosion rates, and with 33.30 t.ha⁻¹.yr, in (0.351% of the total area), it is indicated that the Chacco basin is not highly erodible.

Keywords: soil loss, water erosion, USLE, Chacco basin, Ayacucho.

INTRODUCCIÓN

El cálculo de la pérdida de suelo por erosión hídrica es un tema crucial en la gestión sostenible de los recursos naturales y la planificación territorial. La metodología Universal Soil Loss Equation (USLE) ha demostrado ser una herramienta efectiva para estimar la erosión del suelo causada por la acción del agua en diferentes paisajes. En este contexto, el presente estudio se enfoca en la aplicación de la metodología USLE en la cuenca Chacco, ubicada en Ayacucho, durante el año 2023 (Mejía et al. 2010).

La cuenca Chacco, al ser objeto de análisis, ofrece un escenario representativo para comprender la dinámica de la erosión hídrica y sus posibles impactos en la calidad del suelo. La investigación se centra en evaluar factores clave, como la pendiente del terreno, la cobertura vegetal, el tipo de suelo y la erosividad de la lluvia, para calcular la tasa de pérdida de suelo en la cuenca (Villanueva & Osinaga, 2004)

El estudio no solo busca cuantificar la erosión del suelo, sino también proporcionar información valiosa para la toma de decisiones en términos de conservación del suelo y gestión de recursos hídricos. Además, se espera que los resultados obtenidos contribuyan al diseño de estrategias efectivas de manejo del suelo y la implementación de medidas de conservación que puedan mitigar los efectos adversos de la erosión hídrica en la cuenca Chacco.

La presión medioambiental ha aumentado en relación al suelo, una presión más amplia provocada por la actividad humana ligada a usos forestales, mineros, agroecológicos y forestales, y los cuales no todo aplican las medidas de conservación adecuadas. Además, recurriendo a la mayor producción de residuos, el sector turismo y las actividades industriales relacionadas con el movimiento de suelos y la ocupación de espacios naturales que tienen un impacto significativo a causa de la contaminación, respaldan otro aspecto negativo del problema. Además, la creciente urbanización implica importantes modificaciones en el uso del suelo. Sosteniendo completamente la amplia gama de funciones mencionadas anteriormente, todas estas actividades afectan de manera efectiva la capacidad del suelo (Pizarro, 2009).

La percepción remota está estrechamente vinculada con lo Sistema de Información Geográfica SIG; esta ciencia trabaja para generar información temática, atributiva y con ubicación espacial, por ello en esta investigación se trabajó con el satélite Sentinel 2A de alta resolución que permitió determinar la cobertura vegetal y usos de suelo.

La gestión sostenible de los recursos naturales es un imperativo ineludible en la actualidad, y el suelo, como componente vital de nuestro entorno, no escapa a esta necesidad. En este contexto, el cálculo de la pérdida de suelo por erosión hídrica emerge como un tema central de estudio, adquiriendo especial relevancia en regiones específicas como la cuenca Chacco en Ayacucho. La aplicación de la metodología USLE (Universal Soil Loss Equation) se presenta como una herramienta invaluable para comprender y cuantificar los procesos erosivos, permitiendo así desarrollar estrategias efectivas de conservación del suelo. En esta investigación, exploraremos la magnitud de la erosión hídrica en la mencionada cuenca, analizando sus implicaciones

ambientales, económicas y sociales. Con un enfoque hacia la sostenibilidad, este estudio busca proporcionar conocimientos fundamentales que contribuyan a la preservación y manejo responsable de los recursos naturales en una región crucial como la cuenca Chacco.

La presente investigación tuvo los siguientes objetivos;

Objetivo general

Estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando la metodología USLE en la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023.

Objetivos específicos

1. Estimar los factores de la erosión hídrica R, K, LS, P en la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023.
2. Estimar el factor C cobertura vegetal a partir del satélite Sentinel 2A en la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023.
3. Determinar la erosión potencial y actual de la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023.

METODOLOGÍA

2.1 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La cuenca Chacco se encuentra ubicado en el Centro Sur del Perú, Chacco se encuentra a una altitud entre 2499-4465m.s.n.m; y tiene un área aproximada de 1112.04 km².

2.1.1. Ubicación política de la cuenca Chacco

Departamento : Ayacucho

Provincia : Huamanga

Distritos : Chiara, Socos, Carmen Alto, San Juan Bautista, Acocro, Quinoa, Jesús Nazareno, Tambillo, Vinchos, Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, Acos Vinchos y Ayacucho

2.1.2. Ubicación geográfica de la cuenca Chacco

Altitud mínima : 2499 m.s.n.m.

Altitud media : 3707 m.s.n.m.

Altitud máxima : 4465 m.s.n.m.

2.1.3. Ubicación hidrográfica de la cuenca Chacco

Por el Norte : La cuenca del río Ene.

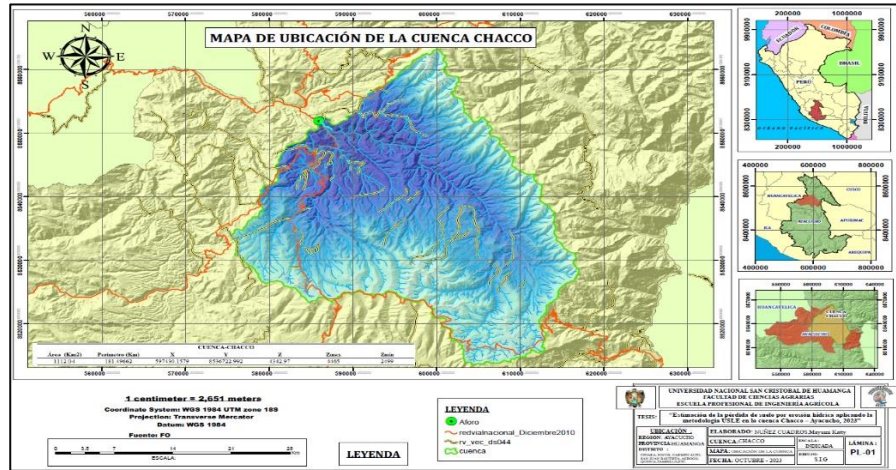
Por el Este : La cuenca del río Apurímac

Por el Oeste : El océano Pacífico

Por el Sur : La cuenca del río Pampas

Figura 1

Mapa de ubicación de la cuenca Chacco – Ayacucho



2.1.4. Punto de aforo

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

Tabla 1

Punto de aforo de la cuenca Chacco

Descripción	Valor	Unidad
Este	585931.27	m
Norte	8551879.51	m
Altura	2472	m.s.n.m.
Zona	18 S	
Datum	WGS_1984_UTM	

Nota. En este punto de aforo de la cuenca Chacco se muestra la descripción, el valor y la unidad.

2.1.5. Red hídrica de la cuenca Chacco

De acuerdo al punto de aforo determinado sobre la red hídrica del río Chacco se considera dos vertientes tales son las siguientes:

1. La cuenca formada por el río Yucaes, esta red hídrica está conformada por las aguas de Tambillo y Acocro, tomando una dirección de oeste a este se unen al Huatatas, considerado como una de las vertientes del río Chacco.
2. La cuenca del Chacco está formada por el río Huatatas y Alameda que se reúne de las aguas de Lambrashuayco y Chilicruz, desembocando en el río Chacco.

La desembocadura de todos estos ríos conforma la red hídrica Chacco y el punto de aforo

de interés, aguas abajo conformando el río Pongora y luego el río Cachi.

2.2. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.2.1. Población

La población de la cuenca Chacco lo integran los pobladores de 12 distritos que se menciona en la siguiente tabla.

Tabla 2

Población que intervienen a la cuenca Chacco

N°	Distritos	Población Hab.	Altitud (m.s.n.m)	Latitud (Sur)	Longitud (Oeste)	Área (Km ²)
1	Ayacucho	99427	2761	13°9'37"	74°13'33"	23.83
2	Chiara	5698	3511	13°16'23"	74°12'21"	165.23
3	San Juan Bautista	49034	2786	13°9'58"	74°13'25"	14.96
4	Carmen Alto	28252	2921	13°10'33"	74°13'35"	17.26
5	Jesús Nazareno	18492	2817	13°9'17"	74°12'56"	12.45
6	Tambillo	5047	3111	13°11'40"	74°6'39"	150.88
7	Vinchos	13634	3155	13°14'31"	74°21'16"	0.45
8	Acos Vinchos	4359	2874	13°6'45"	74°5'59"	153.94
9	Quinua	5083	3301	13°2'57"	74°8'2"	77.27
10	Acroco	7403	3265	13°13'8.9"	74°2'31"	427.12
11	Andres Avelino Cáceres Dorregaray	28472	2775	13°9'42"	74°12'38"	9.14
12	Socos	5952	3368	13°12'52"	74°17'21"	58.34
TOTAL:		270853				

Nota. Los datos pertenecen al Instituto Nacional de Estadística e Informática, Ayacucho (2018).

2.2.2. Acceso a la cuenca Chacco

La zona de estudio cuenta con una amplia red de carreteras tomando como centro la ciudad de Ayacucho, tales que son la vía de la localidad de Muyurina con la carretera Norte que entrelaza con ciudad de Ayacucho.

Tabla 3*Accesibilidad a la cuenca Chacco*

Desde	A	Tiempo Hora	Distancia (km)	Tipo de Vía
Ayacucho	Puente Chacco	00:35	11.3	Pista asfaltada
Puente Chacco	Punto de aforo	00:10	0.01	Trocha Carrozable

Nota. Características de accesibilidad a la cuenca de Chacco.

2.3. MATERIALES Y EQUIPOS

2.3.1. Materiales

- ✓ Imágenes satelitales del servidor ALOS PALSAR en formato DEM de 12.5 m de la cuenca Chacco.
- ✓ Imágenes satelitales del Sentinel 2A de la cuenca Chacco.
- ✓ Mapas del servidor GEO GPS PERU en formato *shapefile*.
- ✓ Datos de las estaciones meteorológicas tales como el SENAMHI, ANA y Gobierno Regional de Ayacucho.
- ✓ Materiales de escritorio.

2.3.2. Equipos

- ✓ GPS navegador
- ✓ Cámara
- ✓ Laptop Core i7
- ✓ Programa Arcgis 10.3
- ✓ Programa QGis 3.22.9
- ✓ Programa Hec-04
- ✓ Programa TREND
- ✓ Office 2016 Word, Excel, etc.
- ✓ Programa Google Earth Pro
- ✓ Libreta de campo.
- ✓ Pico
- ✓ Pala y bolsas
- ✓ Notas adhesivas

2.4. PROBLEMA GENERAL

- ¿Cuál es la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando la metodología USLE en la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023?

2.5. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuáles serán los factores de la erosión hídrica R, K, LS, P en la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023?
- ¿Cuál será el factor C cobertura vegetal a partir del satélite Sentinel 2A en la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023?
- ¿Cuál será la erosión potencial y actual de la cuenca Chacco – Ayacucho, 2023?

2.6. METODOLOGÍA

2.6.3.1 Delimitación de cuenca y Cálculo de los parámetros geomorfológicos

Los análisis geomorfológicos de la cuenca Chacco para determinar los parámetros de la cuenca fueron a partir de la delimitación con el programa ArcGIS 10.3 considerando el siguiente procedimiento:

Paso 1: Se realizó la ubicación del área de intervención de la cuenca Chacco y se descargó el DEM del satélite ALOS PALSAR en formato TIFF con una resolución de 12.5m para delimitar la cuenca en el programa ArcGIS 10.3.

Paso 2: El DEM descargado del satélite ALOS PALSAR en formato TIF se procesó a formato FILL, para ello se importa a **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Hydrology) y se aplica **FILL**.

Paso 3: Para generar la dirección de flujo se ingresó a **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Hydrology) y se le aplica **Flow Direction**.

Paso 4: Nuevamente generamos la dirección de flujo para ello se ingresó **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Hydrology) y se le aplica **Flow Accumulation**.

Paso 5: Creamos un *Shapefile* del punto de aforo de la cuenca Chacco para ello se ingresa **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Hydrology) y se le aplica **Watershed**.

Paso 6: Finalmente se realizó la delimitación de la cuenca Chacco y lo transformamos al formato *Shapefile* – polígono para ello se ingresa **ARCTOOLBOX** (3D Analyst Tools_Conversion_From RASTER) y se le aplica **Raster to polygon**.

Paso 7: Se determinó los parámetros geomorfológicos de la cuenca Chacco utilizando las fórmulas del marco teórico, tales como:

- ✚ Parámetros de forma.
- ✚ Rectángulo equivalente
- ✚ Parámetros de relieve.
- ✚ Parámetros relacionados con la red hidrográfica.
- ✚ Desnivel total de la cuenca
- ✚ Pendiente de la cuenca

2.6.3.2 Cálculo de los factores R, K, LS y P.

1. Cálculo del FACTOR R (Erosividad)

Paso 1: Se determinó el promedio de las PP mensuales como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4

Promedio de precipitaciones mensuales según estación

PROMEDIO DE PP MENSUALES																
X(ESTE)	Y(NORTE)	COTA	ESTACIONES	ENE	FEB	ABR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
605518.1	8529973.2	3497	SAN PEDRO DE QUICATO	163.0	161.8	115.1	46.2	19.0	8.1	11.7	14.0	28.1	58.7	66.4	118.1	810.21
577755.9	8572560.9	2521	HUANTA	103.5	94.1	78.9	33.6	11.7	4.2	6.2	8.2	13.5	31.2	43.9	98.4	527.34
593762.1	8558957	3316	QUINUA	129.8	149.8	116.8	41.3	20.8	4.2	11.3	13.8	29.8	58.0	68.4	116.2	760.18
584940.1	8554273	2470	WAYLLAPAMPA	111.2	119.9	96.1	31.5	15.0	2.8	9.0	11.8	20.4	31.9	49.8	84.7	584.03
586676.5	8500589.5	3315	PAMPA CANGALLO	149.7	156.4	137.3	51.7	8.7	5.7	7.2	9.3	27.4	38.8	51.0	110.8	754.01
586007.4	8544295.6	2735	INIA - CANAAN	105.6	122.2	93.7	39.4	12.0	5.6	12.5	10.2	23.0	32.9	49.6	88.1	594.79
596831.8	8538526.7	3250	TAMBILLO	134.2	140.5	118.6	43.1	16.1	11.0	11.1	11.3	20.8	44.7	61.5	115.3	728.32
585460.9	8530614.1	3400	BELLAVISTA-CHIARA	144.0	132.2	131.9	47.2	17.6	5.5	12.2	18.6	22.5	45.6	54.7	100.4	732.48

Paso 3: Una vez determinado el promedio de las precipitaciones de las 8 estaciones se realizó el cálculo del Índice de Fournier Modificado IFM aplicando la Ec. 12 y teniendo como resultado en la siguiente tabla:

Tabla 7*Cálculo del IMF para determinar del factor de erosividad*

CÁLCULO DEL INDICE MODIFICADO DE FOURNIER																
X(ESTE)	Y(NORTE)	COTA	ESTACIONES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL IMF
605518.1	8529973.2	3497	SAN PEDRO DE QUICATO	32.80	32.31	16.34	2.63	0.45	0.08	0.17	0.24	0.97	4.25	5.44	17.22	112.92
577755.9	8572560.9	2521	HUANTA	20.33	16.80	11.80	2.14	0.26	0.03	0.07	0.13	0.34	1.84	3.66	18.35	75.76
593762.1	8558957	3316	QUINUA	22.17	29.50	17.95	2.25	0.57	0.02	0.17	0.25	1.17	4.43	6.15	17.75	102.38
584940.1	8554273	2470	WAYLLAPAMPA	21.17	24.60	15.81	1.70	0.38	0.01	0.14	0.24	0.71	1.74	4.24	12.29	83.05
586676.5	8500589.5	3315	PAMPA CANGALLO	29.73	32.45	25.00	3.54	0.10	0.04	0.07	0.12	0.99	2.00	3.44	16.29	113.78
586007.4	8544295.6	2735	INIA - CANAAN	18.76	25.10	14.75	2.61	0.24	0.05	0.26	0.18	0.89	1.82	4.14	13.04	81.84
596831.8	8538526.7	3250	TAMBILLO	24.74	27.12	19.31	2.55	0.36	0.17	0.17	0.18	0.60	2.75	5.20	18.24	101.36
585460.9	8530614.1	3400	BELLAVISTA-CHIARA	28.32	23.87	23.76	3.04	0.42	0.04	0.20	0.47	0.69	2.84	4.09	13.75	101.50

Paso 4: Por consiguiente, se determinó los valores del Factor R para los meses secos Mayo-Septiembre aplicando la **Ec. 13** y meses húmedos Octubre- Abril aplicando la **Ec. 14**; por lo tanto se obtuvo siguiente tabla:

Tabla 5*Cálculo del factor de erosividad R para la cuenca Chacco*

CÁLCULO DE FACTOR R (MJ.mm/ha.h.año)																
X(ESTE)	Y(NORTE)	COTA	ESTACIONES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	FACTOR R
605518.1	8529973.2	3497	SAN PEDRO DE QUICATO	46.22	45.69	26.95	6.56	2.86	1.49	1.90	2.18	4.33	9.51	11.51	28.07	187.26
577755.9	8572560.9	2521	HUANTA	31.92	27.53	20.95	5.58	2.23	1.20	1.45	1.73	2.53	4.97	8.46	29.49	138.06
593762.1	8558957	3316	QUINUA	34.13	42.58	28.98	5.80	3.22	1.12	1.90	2.22	4.82	9.82	12.65	28.74	175.97
584940.1	8554273	2470	WAYLLAPAMPA	32.94	36.99	26.28	4.68	2.66	1.03	1.76	2.16	3.64	4.76	9.49	21.61	148.02
586676.5	8500589.5	3315	PAMPA CANGALLO	42.83	45.84	37.46	8.26	1.59	1.27	1.42	1.66	4.38	5.30	8.08	26.89	184.99
586007.4	8544295.6	2735	INIA - CANAAN	29.99	37.57	24.90	6.52	2.18	1.33	2.26	1.93	4.12	4.92	9.31	22.63	147.65
596831.8	8538526.7	3250	TAMBILLO	37.15	39.89	30.67	6.40	2.58	1.88	1.90	1.92	3.30	6.78	11.10	29.35	172.93
585460.9	8530614.1	3400	BELLAVISTA-CHIARA	41.25	36.14	36.00	7.34	2.79	1.26	2.03	2.94	3.58	6.96	9.22	23.58	173.10

Paso 5: Se procedió a ejecutar el programa ArcGIS y lo georreferenciamos WGS 184 UTM Zona 18S Coordenadas geográficas UTM.

Paso 6: Por siguiente se seleccionó la herramienta FILE donde se seleccionó **ADD Data** y seleccionamos la base de datos para importar en el ArcGIS con la herramienta AddXY_Data_Tabla R.

Paso 7: Se realizó la interpolación de las precipitaciones seleccionando la ventana del **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_ Interpolation_spline) se trabajó para un pixel de 12.5.

Paso 8: Finalmente se generó el mapa de Isoyetas del FACTOR R.

2. Cálculo del FACTOR K (Erodabilidad)

Paso 1: Se realizó estudios el análisis físico de suelos en el laboratorio, este trabajo se realizó en Insitu los resultados en la siguiente tabla 18.

Tabla 6

Resultados del análisis físico del suelo de la cuenca Chacco

N° Lab.	Código campo	Arena	Limo %	Arcilla	M.O. %	Clase Textural	Coordenadas		Altitud m.s.n.m.
							X	Y	
AS 111823	M-01	68.00	16.00	16.00	1.23	Fr.A..	586428	8533104.9	3445
AS 111824	M-02	66.00	14.00	20.00	4.31	Fr.A..	598523	8525509.6	3971
AS 111825	M-03	60.00	16.00	24.00	2.57	Fr.Ar.A...	608525	8516098.6	4176
AS 111826	M-04	58.00	22.00	20.00	9.03	Fr.A..	609238	8527967.3	3378
AS 111827	M-05	64.00	14.00	22.00	0.67	Fr.Ar.A...	602432	8531752.0	3590
AS 111828	M-06	54.00	20.00	26.00	8.73	Fr.Ar.A...	604022	8538915.0	3227
AS 111829	M-07	58.00	16.00	26.00	9.54	Fr.Ar.A...	596525	8536192.0	3321
AS 111830	M-08	60.00	20.00	20.00	0.78	Fr.A..	584636	8538788.0	3069
AS 111831	M-09	60.00	16.00	24.00	4.89	Fr.Ar.A...	579155	8534437.0	3798
AS 111832	M-10	76.00	14.00	10.00	3.27	Fr.A..	602377	8546462.0	3301
AS 111833	M-11	54.00	18.00	28.00	8.43	Fr.Ar.A...	584268	8546770.0	2793
AS 111834	M-12	48.00	26.00	26.00	10.23	Fr.Ar.A...	582137	8545738.0	3158
AS 111835	M-13	61.00	13.00	26.00	6.70	Fr.Ar.A...	598466	8550260.0	3034
AS 111836	M-14	57.00	19.00	24.00	8.37	Fr.Ar.A...	591811	8555238.0	2028
AS 111837	M-15	81.00	11.00	8.00	0.23	A.Fr....	587622.9	8550546.8	2503

.Fr.A. Franco arenosa

.. Fr.Ar.A. Franco arcillo arenosa

... A.Fr. Arenosa franca

Paso 2: Se aplicó el cálculo del factor K utilizando las fórmulas de Williams los resultados se muestran en la siguiente tabla 10.

Tabla 7*Cálculo del factor de erodabilidad K para la cuenca Chacco*

N° Lab.	Arena %	Limo %	Arcilla %	Carbón orgánico %	F arena	F lim-arc	F car.org	F par. arena	K _{usle}	K
AS 111823	68	16	16	1.23	0.270	0.812	0.868	0.965	0.183	0.024
AS 111825	60	16	24	2.57	0.283	0.760	0.752	0.993	0.160	0.021
AS 111824	66	14	20	4.31	0.270	0.766	0.750	0.976	0.152	0.020
AS 111826	58	22	20	9.03	0.294	0.824	0.750	0.995	0.181	0.024
AS 111827	64	14	22	0.67	0.273	0.753	0.974	0.984	0.197	0.026
AS 111828	54	20	26	8.73	0.299	0.779	0.750	0.998	0.174	0.023
AS 111829	58	16	26	9.54	0.286	0.749	0.750	0.995	0.160	0.021
AS 111830	60	20	20	0.78	0.288	0.812	0.960	0.993	0.223	0.029
AS 111831	60	16	24	4.89	0.283	0.760	0.750	0.993	0.160	0.021
AS 111832	76	14	10	3.27	0.256	0.851	0.750	0.863	0.141	0.017
AS 111833	54	18	28	8.43	0.297	0.755	0.750	0.998	0.168	0.022
AS 111834	48	26	26	10.23	0.321	0.812	0.750	0.999	0.195	0.026
AS 111835	61	13	26	6.7	0.277	0.719	0.750	0.991	0.148	0.020
AS 111836	57	19	24	8.37	0.292	0.783	0.750	0.996	0.171	0.023
AS 111837	81	11	8	0.23	0.247	0.849	0.997	0.736	0.154	0.020

Paso 3: Una vez que se completó los cálculos, se creó una tabla de datos de textura del suelo y se ingresó al ArcGIS 10.3 donde se seleccionó la ventana del **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_ Interpolation_IDW) se trabajó para un pixel de 12.5.

Paso 4: Se realizó el corte de la cuenca donde se seleccionó la ventana **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Extraction_Extract by Mask) y aplicamos ejecutar.

Paso 5: Se obtuvo el producto final del Factor K y se generó el mapa de erodabilidad.

3. Cálculo del FACTOR L.S (Factor topográfico)

a. Cálculo del FACTOR (L)

Paso 1: Ingresamos al ArcGIS 10.3 y ejecutamos la ventana de herramientas **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Surface_Slope_Guardamos como BETA) y aplicamos ejecutar.

Paso 2: Se ejecutó la ventana de herramientas **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Map Algebra_Raster Calculator_Guardamos como Parámetro_F), ingresamos la siguiente fórmula: $(\sin("BETA" * 0.01745) / 0.0896) / (3 * \text{Power}(\sin("BETA" * 0.01745), 0.8))$; el valor de 0.01745 se le multiplica para transformarlo a radianes y finalmente aplicamos ejecutar.

Paso 3: Se ejecutó la ventana de herramientas **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Map Algebra_Raster Calculator_Guardamos como Parámetro_M), ingresamos la siguiente fórmula: $"\text{Parámetro_F}" / (1 + "\text{Parámetro_F}"))$ y finalmente aplicamos ejecutar.

Paso 4: Se determinó la Dirección del flujo para ello se ejecutó **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Hydrology_Flow Direction_Guardamos como Flow_D) y finalmente aplicamos ejecutar.

Paso 5: Se determinó la Dirección del flujo para ello se ejecutó **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Hydrology_Flow Accumulation _Guardamos como Flow_AC) y finalmente aplicamos ejecutar.

Paso 6: Se aplicó la siguiente fórmula de la EC. 24 para ello se ejecutó **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Map Algebra_Raster Calculator_Guardamos como FACTOR_L), ingresamos la siguiente fórmula: $(\text{Power}("Flow_AC" + 12.5, 12.5, "\text{Parámetro_M}" + 1) - (\text{Power}("Flow_AC", "\text{Parámetro_M}" + 1))) / (\text{Power}(12.5, "\text{Parámetro_M}" + 2) - \text{Power}(22.13, "\text{Parámetro_M}"))$ y finalmente aplicamos ejecutar.

b. Cálculo del FACTOR (S)

Paso 1: Se ejecutó la ventana de herramientas **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Map Algebra_Raster Calculator_Guardamos como FACTOR_S), ingresamos la siguiente fórmula: $\text{Con}(\tan("BETA" * 0.01745) < 0.09, 10.8 * \sin("BETA" * 0.01745) + 0.03, 16.8 * \sin("BETA" * 0.01745) - 0.5)$ y finalmente aplicamos ejecutar.

c. Cálculo del RASTER (LS)

Paso 1: Para generar el Raster del FACTOR_LS se ejecutó la ventana de **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Map Algebra_Raster Calculator_Guardamos como RASTER_LS),

ingresamos la siguiente fórmula: “**FACTOR_L**” * “**FACTOR_S**” y finalmente aplicamos ejecutar.

Paso 2: Finalmente se obtuvo el producto final del Factor LS y se generó su respectivo mapa.

4. Cálculo del FACTOR (P) Medidas de control

Paso 1: En el transcurso de los trabajos en campo no se visualizó ningún tipo de conservación de suelos que interviene el área de la cuenca Chacco, para la presente investigación no se consideró el valor del factor.

2.6.3.3 Cálculo del Factor C (cobertura vegetal) a partir de la imagen satelital del Sentinel 2A.

Paso 1: La página web utilizada fue <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>. Para realizar la descarga, era necesario contar con una cuenta.

Paso 2: La selección del área de intervención se llevó a cabo, y se determinó que la fecha de detección sería entre el 01/06/2023 y el 10/08/2023.

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

Figura 2

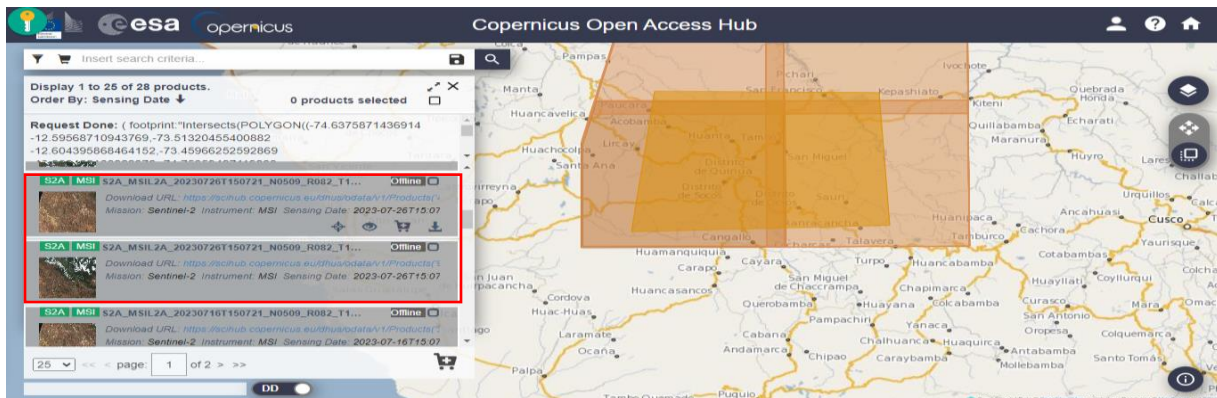
Se muestra el enfoque de intervención de la zona de estudios en dos cuadrantes.



Paso 4: La elección de las imágenes satelitales del Sentinel 2A se basa en la mínima presencia de nubes. Se seleccionaron las imágenes del primer y segundo cuadrante con fecha de detección el 26/07/2023 a las 15:07:21 según se muestra en la imagen adjunta.

Figura 3

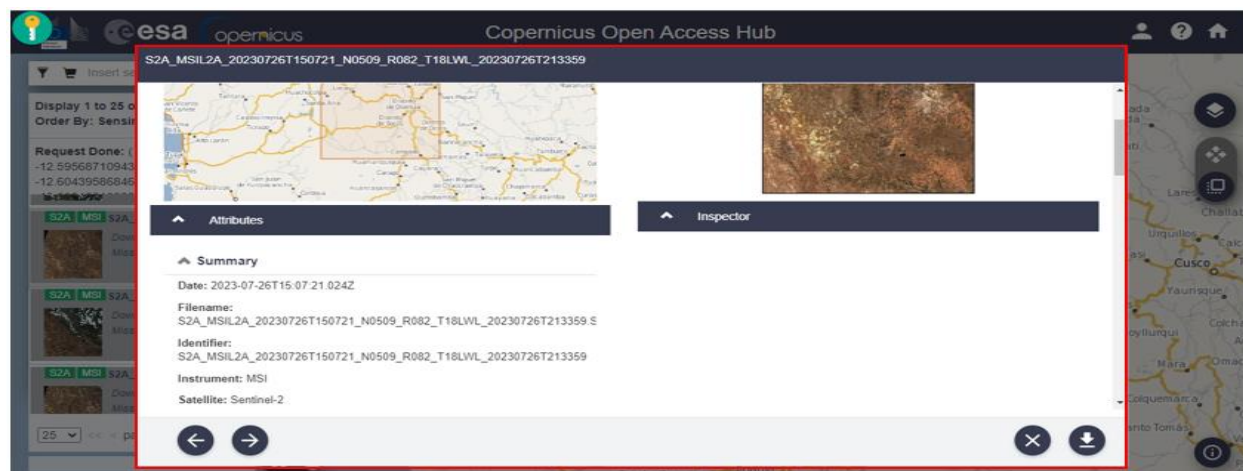
Imágenes satelitales Sentinel 2A con mínima presencia de nubes



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

Figura 4

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



Paso 6: Se procedió a ejecutar el programa QGIS y exportamos las bandas del Sentinel 2A ejecutando la ventana **Data Source Manager** (Raster _selección archivo de las bandas 2,3,4 y 8) y aplicamos ejecutar.

Tabla 8*Clasificación de las bandas dl satélite Sentinel 2A*

SENTINEL 2A			
Bandas	Resolución m/px	Resultado 1	Resultado 2
Banda 2 - Azul	10	RGB	
Banda 3 - Verde	10	RGB	
Banda 4 - Rojo	10	RGB	NDVI
Banda 8 - Infrarrojo cercano	10		

Paso 7: Se realizó la conversión de las bandas a RGB para ello se ejecutó la ventana RASTER (Micelanea_construir ráster virtual_seleccion de bandas 2,3 y 4) y lo georreferenciamos WGS_1984 UTM Zona 18S y finalmente lo guardamos como un archivo temporal por Nombre RGB y aplicamos ejecutar.

Paso 8: Por consiguiente, se verifica las propiedades de la capa generada mediante el Histograma de bandas (rojo, verde y azul).

Paso 9: Se calculó el NDVI seleccionando la Caja de herramientas de **Procesos_Raster Calculator** donde la expresión será igual a: $NDVI = (Banda\ 8 - Banda\ 4) / (Banda\ 8 + Banda\ 4)$ donde se aplicará la fórmula predefinida de la siguiente manera:

RGB 1

Expresion1: $(T18LWL_20230726T150721_B08@1 - T18LWL_20230726T150721_B04@1) / (T18LWL_20230726T150721_B08@1 + T18LWL_20230726T150721_B04@1)$

RGB 2

Expresion2: $(T18LXL_20230726T150721_B08@1 - T18LXL_20230726T150721_B04@1) / (T18LXL_20230726T150721_B08@1 + T18LXL_20230726T150721_B04@1)$

Paso 10: Se calculó el algoritmo del Raster Calculator para obtener el NDVI donde su variación se da desde -1 a 1.

Paso 11: Por consiguiente, se exportó como capa Raster en formato Geo TIFF denominado NDVI.tiff y georreferenciado WGS 1984_UTM Zona 18S considerando una resolución de la capa 12.5.

Paso 12: Se procedió a ejecutar el programa ArcGIS 10.3 y lo georreferenciamos WGS_1984 UTM Zona 18S Coordenadas geográficas UTM donde exportamos la base de datos

denominado NDVI.tiff donde se determinó el Factor C donde aplicamos la siguiente **Ec. (29)** se ingresó a la ventana **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Map Algebra_Raster Calculator) y aplicamos ejecutar.

Paso 13: Luego, se realizó el corte de la cuenca donde se seleccionó la ventana **ARCTOOLBOX** (Spatial Analyst Tools_Extraction_Extract by Mask) y aplicamos ejecutar.

Paso 14: Se obtuvo el producto final del Factor C y se generó el mapa de Cobertura vegetal.

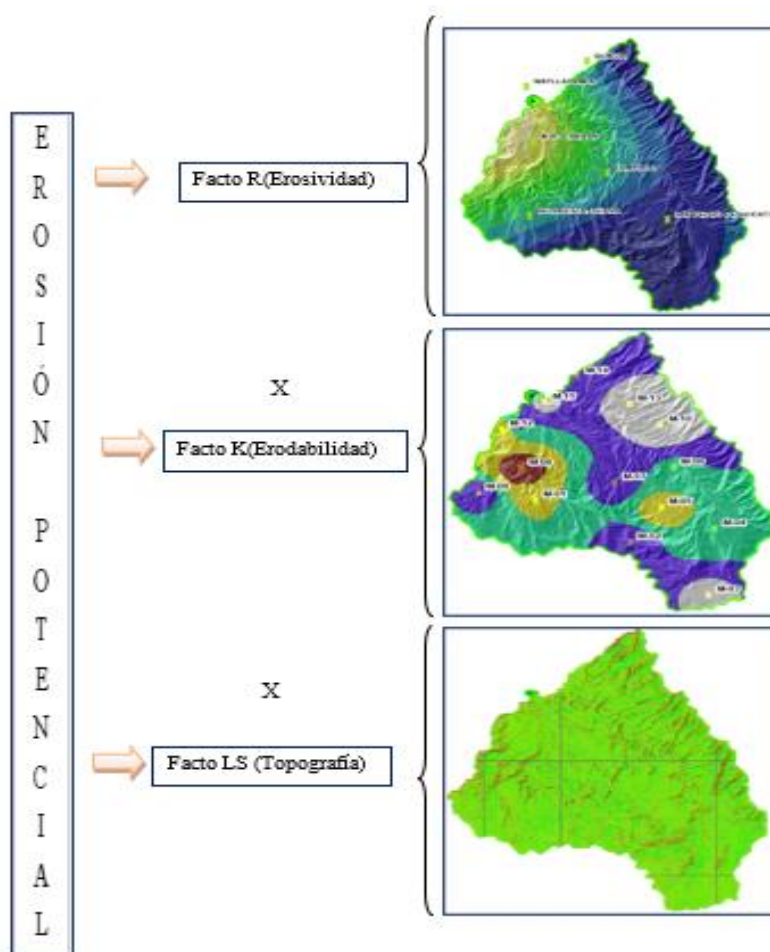
2.6.3.4 Cálculo de la erosión potencial y actual de la cuenca Chacco

a. Erosión potencial

Paso 1: Se determinó la erosión potencial multiplicando los factores R (Erosividad), K (Erodabilidad) y LS (Longitud y topografía).

Figura 5

Erosión potencial



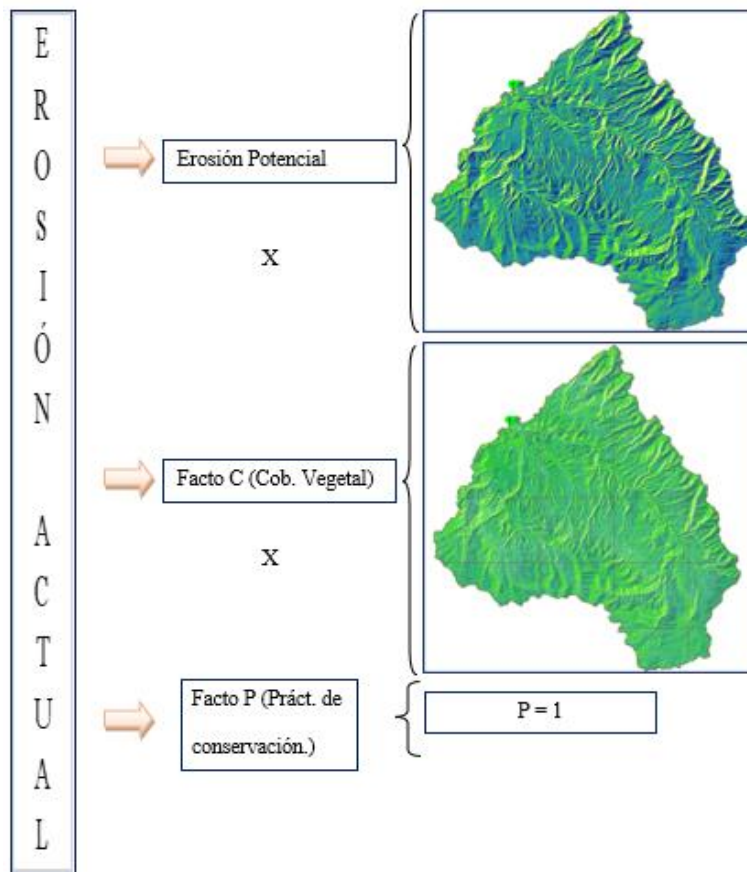
Paso 2: Obtenido el resultado se agrupó en niveles de acuerdo a la tabla adaptada por la FAO (1980) y se generó el mapa de erosión potencial.

b. Erosión Actual

Paso 1: Se determinó la erosión actual multiplicando la erosión potencial por los factores C (cobertura vegetal) y P (prácticas de conservación).

Figura 6

Erosión actual



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

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Cálculo de los factores de la erosión hídrica R, K, LS, P de la cuenca Chacco aplicando el método USLE.

3.1.1. Delimitación y parámetros geomorfológicos de la cuenca Chacco

La cuenca Chacco abarca aproximadamente 12 distritos Chiara, Socos, Carmen Alto, San Juan Bautista, Acocro, Quinua, Jesús Nazareno, Tambillo, Vinchos, Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, Acos Vinchos y Ayacucho de la provincia de Huamanga. La cuenca en estudio tiene un área de 1112.04 km² y un perímetro de 184.50 km; pertenece a la Unidad Hidrográfica de la cuenca Mantaro y desemboca en el río Ene.

3.1.3. Factor "R" (Erosividad)

Se determinó el factor "R" mediante el método de Índice de Fournier Modificado o también denominado índice de agresividad de la lluvia y se clasificó según la tabla de IFM para Latinoamérica; por lo tanto, obteniendo valores de 193.67 MJ.mm/ha.h.año con un (0.05% del área total) se clasificó como Muy Alto y con un valor de 139.73 MJ.mm/ha.h.año con un (4.56% del área total) se clasificó como alto.

Tabla 9

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

FACTOR_R (MJ.mm/ha.h.año)	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE (%)	CLASIFICACIÓN
139.73	5065.58	4.56	Alto
148.86	6669.34	6.00	Alto
156.08	8741.56	7.86	Alto
163.09	10323.01	9.28	Muy alto
169.67	12723.84	11.44	Muy alto
176.04	16844.92	15.15	Muy alto
181.78	33919.08	30.50	Muy alto
187.09	16862.31	15.16	Muy alto
193.67	54.36	0.05	Muy alto
TOTAL	111204.01	100.00	

Análisis:

En la Figura 51 se puede apreciar que la cuenca Chacco tiene un promedio de factor "R" muestran los rangos de erosión por lluvia. La parte más baja de la cuenca tiene una

tolerancia de erosionar desde 139.73 a 148.86 MJ.mm/ha.h.año, mientras que en la parte alta se puede tolerar desde 187.09 a 193.67 MJ.mm/ha.h.año el factor erosivo de la lluvia.

Figura 7

Mapa del factor de erosividad (R) - cuenca Chacco



3.1.3. Factor “K” (Erodabilidad)

Se presenta en la siguiente tabla 31 la clasificación del factor “K” según los grados de erodabilidad USDA 1962; por lo tanto, con un valor de 0.017 Ton.ha.h/ha.MJ.mm con un (14.99% del área total) son suelos débilmente erodable y 0.021 a 0.029 Ton.ha.h/ha.MJ.mm con un (85.01% del área total) son suelos medianamente erodable.

Tabla 10

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

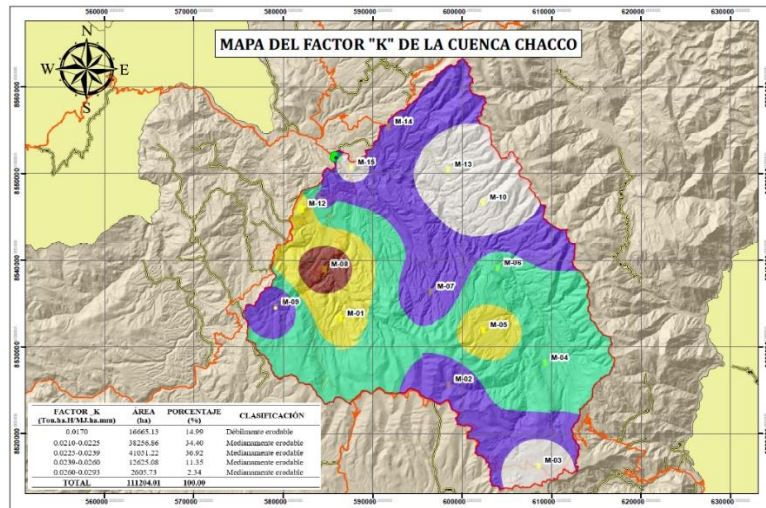
FACTOR_K (Ton.ha.H/MJ.ha.mm)	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)	CLASIFICACIÓN
0.0170	16665.13	14.99	Débilmente erodable
0.0210-0.0225	38256.86	34.40	Medianamente erodable
0.0225-0.0239	41051.22	36.92	Medianamente erodable
0.0239-0.0260	12625.08	11.35	Medianamente erodable
0.0260-0.0293	2605.73	2.34	Medianamente erodable
TOTAL	111204.01	100.00	

Análisis:

En la Figura 52 podemos observar que la cuenca Chacco se caracteriza por presentar suelos débilmente erodable donde existen extensiones de terrenos con cobertura vegetal y suelos medianamente erodable en suelos semi desnudos y de alta pendiente.

Figura 8

Mapa del factor de erodabilidad (K) - cuenca Chacco



3.1.4. Factor "LS" Topográfico

Para la cuenca Chacco el factor "LS" se clasificó según los grupos de pendientes donde se determinó "LS"=0.30 con un (92.28% del área total), "LS"=1.50 con un (7.52% del área total) y con un con valor de "LS"=3.40 con un (0.20% del área total); por lo tanto, los valores altos son de zonas de mayor pendiente y los valores menores de pendientes suaves, en el siguiente tabla 32 se detallan.

Tabla 11

Resultados del factor de topografía (LS) para la cuenca Chacco

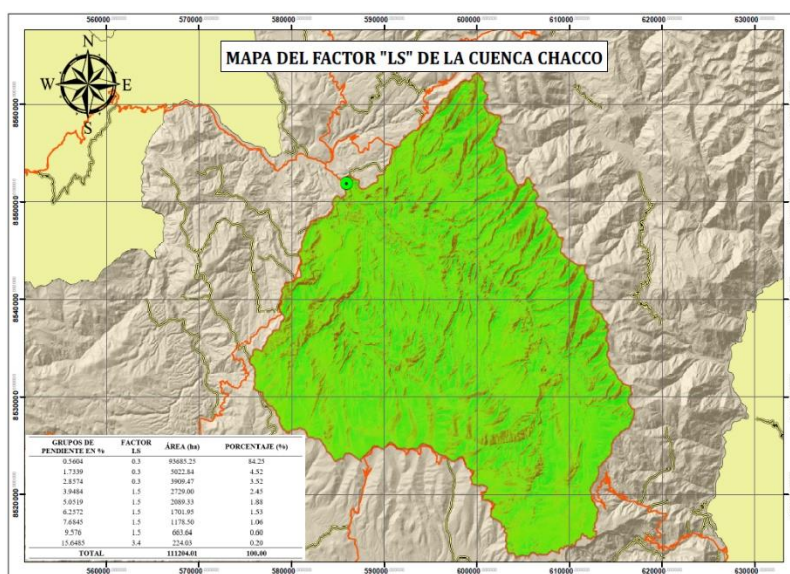
GRUPOS DE PENDIENTE EN %	FACTOR LS	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)
0.5604	0.3	93685.25	84.25
1.7339	0.3	5022.84	4.52
2.8574	0.3	3909.47	3.52
3.9484	1.5	2729.00	2.45
5.0519	1.5	2089.33	1.88
6.2572	1.5	1701.95	1.53
7.6845	1.5	1178.50	1.06
9.576	1.5	663.64	0.60
15.6485	3.4	224.03	0.20
TOTAL		111204.01	100.00

Análisis:

En la Figura 53 se aprecia una menor susceptibilidad de pendiente 0.56% a 2.86% y de mayor susceptibilidad 15.64% del área a sufrir erosión hídrica en la cuenca Chacco.

Figura 9

Mapa del factor de topográfico (LS) - cuenca Chacco



3.1.5. Factor “P” (Prácticas de conservación)

Para la presente investigación no se consideró el factor “P” por lo que en las visitas a campo no se observó las prácticas de conservación.

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

3.2.1. Factor “C” Cobertura Vegetal

La Cobertura vegetal fue agrupada según la tabla de valores del NDVI (Revista Técnica de la facultad de ingeniería, Universidad de Zulia, 2020); por lo tanto se determinó que el (0.004% del área total) presenta bosque, cultivos y pastizales; con un (0.62% del área total) presenta pastizales; con un (19.46% del área total) presenta cultivos y pastizales, con un (79.80% del área total) son de mayor significancia presenta cultivos y arbustales; finalmente con un (0.13% del área total) presenta vegetación escasa.

Tabla 12

Resultados del factor de cobertura vegetal C para la cuenca Chacco

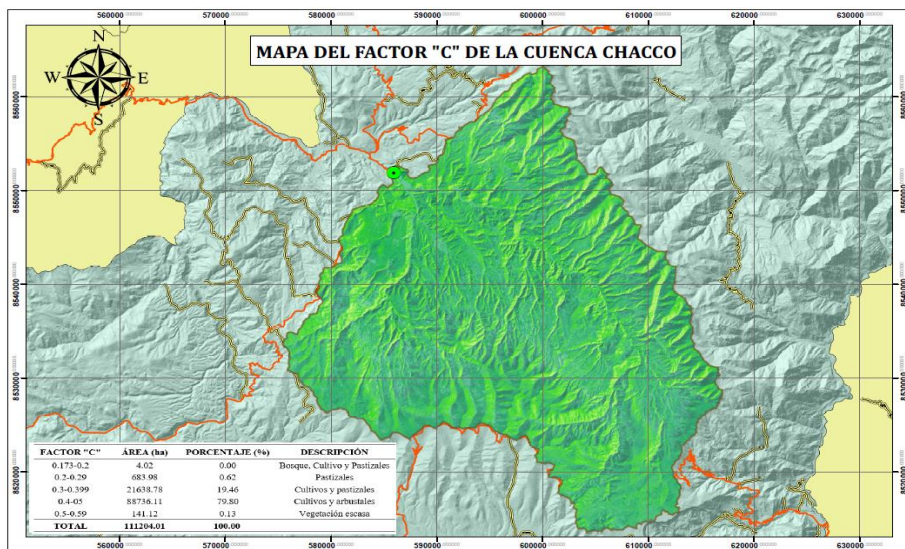
FACTOR "C"	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)	DESCRIPCIÓN
0.173-0.2	4.02	0.00	Bosque, Cultivo y Pastizales
0.2-0.29	683.98	0.62	Pastizales
0.3-0.399	21638.78	19.46	Cultivos y pastizales
0.4-05	88736.11	79.80	Cultivos y arbustales
0.5-0.59	141.12	0.13	Vegetación escasa
TOTAL	111204.01	100.00	

Análisis:

En la Figura 54 se aprecia el uso de los suelos de la cuenca Chacco, donde se determinó que los cultivos y arbustales son de mayor significancia y que ayudan a que el suelo no erosione, la zona céntrica de la cuenca se observa que hay intervención del hombre y que a los extremos de la cuenca se observa que no han sido intervenidos, las zonas con vegetación escasa son donde existen centros poblados y carreteras.

Figura 10

Mapa del factor de cobertura vegetal C - cuenca Chacco



3.3 Cálculo de la erosión potencial y actual para la cuenca Chacco

3.3.1. Erosión potencial

La erosión hídrica potencial fue agrupada según las tablas adaptadas de la FAO (1980), se identificó las zonas de mayor y menor susceptibilidad a ser erosionadas por lo que los valores obtenidos solo son influenciados por la longitud y gradiente pendiente de la cuenca, intervención de la lluvia y por el tipo de suelo; por lo tanto se determinó con un valor menor a $0.5 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}$ influye un área de 92059.07 ha con un (82.79% del área total) presenta erosión normal, con un valor 0.5 a $5 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}$ influye un área 4450.19 ha con un (4% del área total) presenta una erosión ligera, con un valor 5 a $15 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}$ influye un área 8420.72 ha con un (7.57% del área total) presenta una erosión moderada, con un valor 15 a $50 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}$ influye un área 6259.23 ha con un (5.62% del área total) presenta una erosión severa y finalmente con un valor 50 a $70.15 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}$ influye un área 17.80 ha con un (0.02% del área total) presenta una erosión muy severa.

Tabla 13

Resultados de la erosión potencial para la cuenca Chacco

EROSIÓN POTENCIAL ($\text{t.ha}^{-1}.\text{año}$)	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)	ALTITUD (m.s.n.m)	TIPO DE EROSIÓN
<0.5	92059.98	82.78	2499 - 4464	Normal
0.5-5	4450.19	4.00	2500 - 4464	Ligera
5-15	8420.72	7.57	2500 - 4465	Moderada
15-50	6256.23	5.63	2508 - 4463	Severa
50-70.15	17.8	0.02	2686 - 4323	Muy severa
TOTAL	111204.92	100.00		

Análisis:

En la Figura 55, se ilustra la distribución de la erosión potencial como un riesgo, el cual es determinado por la capacidad del suelo, el clima y la topografía de la cuenca Chacco causado principalmente por intensas lluvias. Se ha determinado que no hay evidencia de erosión catastrófica. En la parte baja de la cuenca, la erosión es normal y ligera; esto nos indica que los suelos de la cuenca tiene una ligera inclinación u ondulación, y está cubierto en su mayoría (más del 50% pero menos del 75%) por vegetación nativa, es decir, plantas que son propias del ambiente en el que están naturalmente; la erosión moderada, nos referimos a que se ha perdido entre el 40% y el 60% del suelo original, y se puede observar claramente el subsuelo; la erosión severa se da cuando los suelos presentan surcos y cárcavas

ocasionalmente, esto significa que entre el 30% y el 60% de la superficie muestra el subsuelo visible en la cuenca en estudio; por último, se muestra una erosión muy severa es decir los suelos no son aptos para el cultivo, ya que más del 60% de la superficie está destruida y hay presencia de cárcavas con una distancia promedio entre 5 y 10 metros entre ellas.

Figura 11

Mapa de erosión potencial - cuenca Chacco



3.3.2. Erosión actual

La erosión hídrica actual fue agrupada según las tablas adaptadas de la FAO (1980) mediante esta tabla se identificó las zonas de mayor y menor susceptibilidad a ser erosionadas por lo que los valores obtenidos solo son influenciados por la longitud y gradiente pendiente de la cuenca, intervención de la lluvia, por el tipo de suelo, uso actual de suelos y las prácticas de conservación; por lo tanto se determinó con un valor menor de 0.5 t.ha⁻¹.año influye un área de 92827.30 ha con un (83.48% del área total) presenta erosión normal, con un valor 0.5 a 5 t.ha⁻¹.año influye un área 10029.21 ha con un (9.02% del área total) presenta una erosión ligera, con un valor 5 a 15 t.ha⁻¹.año influye un área 7957.63 ha con un (7.16% del área total) presenta una erosión moderada y finalmente con un valor 15 a 33.30 t.ha⁻¹.año influye un área 389.98 ha con un (0.35% del área total) presenta una erosión muy severa.

Tabla 14

Resultado de la erosión actual para la cuenca Chacco

EROSIÓN ACTUAL (t.ha ⁻¹ .año)	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)	ALTITUD (m.s.n.m)	TIPO DE EROSIÓN
<0.5	92827.3	83.47	2499 - 4464	Normal
0.5-5	10029.21	9.02	2500 - 4465	Ligera
5-15	7957.63	7.16	2505 - 4463	Moderada
15-33.30	389.88	0.35	2534 - 4421	Severa
TOTAL	111204.19	100.00		

Análisis:

En la Figura 56 se aprecia la distribución de los niveles de la erosión actual de la cuenca Chacco, donde se determinó que no hay un indicador de la erosión muy severa y catastrófica; por tanto, la gran parte de la cuenca Chacco presenta erosión Normal esto depende a la cobertura existente en la zona de estudio.

Figura 12

Mapa de erosión actual - cuenca Chacco



CONCLUSIONES

1. Se determinó los factores de erosión hídrica para la cuenca Chacco; para el factor de erosividad (R) se obtuvo valores entre 139.73 a 193.67 MJ.mm/ha.h.año que indica muy alta erosividad; para el factor de erodabilidad (K) es 0.017 Ton.ha.h/ha.MJ.mm clasificándose como un tipo de suelo débilmente erodable y valores entre 0.021 a 0.029 Ton.ha.h/ha.MJ.mm de suelo medianamente erodable y finalmente se determinó el factor de longitud y gradiente de la pendiente (LS) obteniendo valores adimensionales de 0.3 a 3.4 con pendientes promedio.
2. Se determinó el factor de cobertura vegetal (C) para la cuenca Chacco fue clasificada por el NDVI lo cual indica con mayor valor entre 0.4 – 0.5 con 79.80% del área total cubierto son cultivos y arbustales.
3. La erosión potencial para la cuenca Chacco clasificó es de 0.5 t.ha⁻¹.año, el 82.79% del área total presenta erosión normal y de 70.15 t.ha⁻¹.año en 0.02% del área total es muy severa; por lo tanto, la cuenca no es altamente erosionada; y la erosión actual con 0.5 t.ha⁻¹.año en un 83.48% del área total siendo erosión normal y con 33.30 t.ha⁻¹.año en un 0.35% del área total es severa, por lo tanto, se concluye que la cuenca no es altamente erosionada.

REFERENCIAS

- Agama, M. (2022). *Cálculo de los factores que influyen en la pérdida de los suelos mediante la USLE en la microcuenca San Alberto del distrito de Oxapampa*.
<http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2457>
- Carvalho, D., Lucio, V., Homem, M., Sanchez, P., & Sampaio, W. (2014). Predicting soil erosion using Rusle and NDVI time series from TM Landsat 5.
<https://www.scielo.br/j/pab/a/kMN3dwZ7cdyvwXQDjwDFYMs/?lang=e>
- Dumas, A. (2012). *Riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica del río Mundo*. Tesis de Máster en Tecnologías de la Información Geográfica. Madrid, España.
<https://doi.org/Universidad Complutense de Madrid>.
- FAO. (1980). *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*.
https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30905/Cartografica_Desertizacion_SP.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Farfán. (2002). “*Cálculo del índice de erosividad pluvial (R) de la ecuación universal de pérdida de suelos, para dos estaciones pluviográficas de la VII región del Maule*”. Chile: Investigación de tesis de ingeniería forestal.
- Garcia, J. (2005). *Modelos paramétricos Modelos USLE Y Modelos RUSLE*.
- Gardi, C., Angeline, M., Ccomerma, J., & Cruz Gaistardo, C. (2014). *Atlas de suelos de América Latina y el Luxemburgo*. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.
- Mancilla, G. (2008). “*Uso de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE) en el campo forestal*”. Obtenido de <https://docplayer.es/19450012-Uso-y-conservacion-de-suelos.html>