

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS:

**Relación entre erosión hídrica, morfometría y clima con el manejo de
suelos en la subcuenca Tarunca - Huancasancos - Ayacucho - 2023**

Para optar el título profesional de:

INGENIERO AGRÍCOLA

PRESENTADO POR:

Bach. Carlos CAMANA QUISPE

ASESORA:

Ph. D. Sandra DEL ÁGUILA RIOS

AYACUCHO - PERÚ

2025

DEDICATORIA

A Dios por llenar mi vida de constantes bendiciones, por darme salud y guiarme por el camino correcto para lograr mis objetivos añorados.

A mi querida madre Clementina Quispe Paucarhuanca, por ser la luz de mis ojos y el soporte más importante de mi vida, por hacer de mí una mejor persona a través de sus consejos, enseñanzas, amor, regaños y apoyo incondicional.

Con el más inmenso respeto, amor, admiración y gratitud a mis hermanos: Sonia, Norma, Nancy, Marisol, Norca, César y Alex quienes son motores de motivación y superación diaria.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincera gratitud a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, hogar de enseñanzas que me acogió en sus aulas para nutrirme de mucho conocimiento en bien propio y de la sociedad.

A la Facultad de Ciencias Agrarias, en particular a la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, por brindarme etapas clave en mi formación académica que me condujeron al a la cumbre de mi éxito profesional.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, por compartir sus conocimientos y guiarme en mi desarrollo académico y profesional para ser mejor cada día frente a los desafíos que se me presentan.

Al Ph. D. Sandra Del Águila Rios por su mentoría, respaldo y guía experta en el desarrollo de esta investigación, gracias a ella pude hacer posible día a día a través del esfuerzo la creación de nuevo conocimiento que me permitió desarrollar mis habilidades.

A los miembros del jurado de esta investigación por sus valiosas observaciones que enriquecieron significativamente este trabajo.

A mis compañeros de clases, amigos y otras personas que contribuyeron para la culminación del presente trabajo de investigación.

RESUMEN

La investigación empleó un diseño descriptivo correlacional para analizar la relación entre la erosión hídrica y los parámetros morfométricos, climáticos y el manejo de suelos en la subcuenca Tarunca, que abarca 63,12 km². Para ello, se utilizaron apuntes de recolección de suelo, registros de precipitación, así como material cartográfico y satelital. Los resultados, obtenidos mediante la aplicación de la Ecuación Universal de Perdida de Suelo Revisada (RUSLE) y procesados mediante las herramientas del Sistema de Información Geográfica (SIG), evidenciaron una correlación lineal entre estos parámetros y la erosión hídrica, con una pérdida estimada de suelo que varía entre 0 y 399,37 t/ha-año. El índice de erosividad de la lluvia representado por el factor R, estimado mediante la metodología de Morgan, fue el más influyente en el deterioro del suelo, con un coeficiente de Pearson de 0,5254. Por otro lado, el factor longitud y gradiente de pendiente (LS), mostró una baja influencia en la variación de la erosión con un coeficiente de Pearson de 0,3640. En cuanto a las prácticas de conservación de suelos, el factor P, con valores entre 0,1 y 0,5, reflejó que en las zonas con barreras vivas y terrazas la erosión hídrica fue baja (<5% t/ha-año) o moderada (5%-25% t/ha-año). Estos porcentajes están relacionados con la reducción en la producción de sedimentos, especialmente en la parte baja de la subcuenca. Desde un enfoque físico, la relación entre los parámetros analizados se establece a través del impacto del factor R en la capacidad erosiva del agua y la efectividad del factor P en la mitigación de la erosión mediante prácticas de conservación del suelo.

Palabras clave: RUSLE, prácticas de conservación, pérdida de suelo, parámetros morfométricos, sistema de información geográfica, erosión hídrica.

ABSTRACT

The research used a descriptive correlational design to analyze the relationship between water erosion and morphometric, climatic and soil management parameters in the Tarunca sub-basin, which covers 63,12 km². For this purpose, soil collection cards, precipitation records, as well as cartographic and satellite material were used. The results, obtained by applying the RUSLE equation and processed with GIS, showed a linear correlation between these parameters and water erosion, with an estimated soil loss varying between 0 and 39,37 t/ha per year. The rainfall erosivity index, represented by the R factor, estimated using the Morgan methodology, was the most influential factor in soil deterioration, with a Pearson coefficient of 0.5254. On the other hand, the slope length and gradient (LS) factors showed a low influence on erosion variation, with a Pearson coefficient of 0.3640. Regarding soil conservation practices, the P factor, with values between 0,1 and 0,5, reflected that in areas with living barriers and terraces water erosion was low (<5% t/ha-year) or moderate (5%-25% t/ha-year). These percentages are related to the reduction in sediment production, especially in the lower part of the sub-basin. From a physical approach, the relationship between the parameters analyzed is established through the impact of the R factor on the erosive capacity of water and the effectiveness of the P factor in mitigating erosion through soil conservation practices.

Keywords: RUSLE, conservation practices, soil loss, morphometric parameters, geographic information system, water erosion.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
INTRODUCCIÓN	14
CAPITULO I	16
MARCO TEÓRICO	16
1.1. ANTECEDENTES	16
1.1.1. Antecedentes Internacionales.....	16
1.1.2. Antecedente Nacional.....	17
1.1.3. Antecedentes Regionales.....	18
1.2. CUENCA HIDROGRÁFICA.....	20
1.3. MORFOMETRÍA DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS.....	21
1.3.1. Parámetros de forma	23
1.3.1.1 Factor de forma de Horton (Rf)	23
1.3.1.2 Coeficiente de forma (Kf)	24
1.3.1.3 Coeficiente de Gravelius (Ic)	24
1.3.2. Parámetros de relieve.....	25
1.3.2.1 Pendiente media de la cuenca	25
1.3.2.2 Curva Hipsométrica.....	26
1.3.2.3 Diagrama de frecuencias altimétricas.....	26
1.3.2.4 Tiempo de concentración	27
1.3.3. Parámetro de la red hidrográfica	28
1.3.3.1 Densidad de drenaje	28
1.4. EROSIÓN HÍDRICA.....	28
1.4.1. La erosión hídrica en el Perú	30
1.4.2. Etapas de erosión hídrica	30
1.4.2.1 Desprendimiento:	31
1.4.2.2 Arrastre o transporte:	31
1.4.2.3 Sedimentación:.....	31
1.4.3. Factores que originan la erosión hídrica.....	32
1.4.4. Tipos de erosión hídrica	33

1.4.4.1	Erosión por salpicadura.....	33
1.4.4.2	Erosión laminar	33
1.4.4.3	Erosión por surcos	34
1.4.4.4	Erosión en cárcavas.....	35
1.4.5.	Consecuencias de la erosión hídrica.....	36
1.5.	MÉTODOS PARA DETERMINAR LA EROSIÓN HÍDRICA.....	36
1.5.1.	Métodos cualitativos.....	37
1.5.2.	Métodos cuantitativos	37
1.5.2.1	Evaluación directa.....	37
1.5.2.2	Evaluación indirecta: modelos de erosión paramétricos	37
1.6.	ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO REVISADA (RUSLE) ...	39
1.7.	ESTIMACIÓN DE LOS FACTORES DE EROSIÓN HÍDRICA.....	42
1.7.1.	Factor R o Índice de Erosividad de la Lluvia (MJ*mm/ha*h*año)	42
1.7.1.1	Método de Wischmeier (1959)	42
1.7.1.2	Método de Morgan (1974).....	43
1.7.1.3	Método de Foster (1981).....	43
1.7.1.4	Componente I30 de la ecuación Morgan y Foster	43
1.7.1.5	Método de Roose (1995).....	44
1.7.1.6	Método del Índice de Fournier modificado.....	44
1.7.2.	Factor K o índice de Erodabilidad del suelo	45
1.7.3.	Factor LS o longitud y gradiente de la pendiente	48
1.7.3.1	Método de Mintegui (1983).....	49
1.7.3.2	Metodología de Renard et al. (1997).....	49
1.7.4.	Factor C o de cobertura vegetal	50
1.7.5.	Factor P o de prácticas de conservación de suelos	51
1.7.6.	Pérdida de suelo (A).....	53
1.8.	SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).....	53
1.8.1.	Componentes de un sistema de información geográfica	54
1.8.2.	Modelos de datos espaciales de un SIG.....	54
1.8.2.1	Modelo vectorial	55
1.8.2.2	Modelo Ráster.....	56
1.8.3.	Algebra de mapas	56
1.8.4.	Ventajas y Requerimientos de un SIG	57
1.9.	MEDIDAS DE CONTROL DE EROSIÓN	58
1.9.1.	Medidas mecánico – estructurales.	58
1.9.1.1	Zanjas de infiltración.....	58

1.9.1.2	Terrazas de banco (absorción).....	59
1.9.1.3	Andenes.....	60
1.9.1.4	Diques para el control de cárcavas	61
1.9.2.	Medidas agronómicas.....	62
1.9.2.1	Barreras vivas	62
1.9.2.2	Surcos en contornos	63
1.9.2.3	Rotación de cultivos	64
1.9.3.	Medidas forestales.....	65
1.9.3.1	Plantaciones forestales	65
1.10.	MARCO CONCEPTUAL.....	66
CAPÍTULO II.....		67
MATERIAL Y MÉTODO		67
2.1.	UBICACIÓN	67
2.1.1.	Ubicación política.....	67
2.1.2.	Ubicación geográfica y coordenadas UTM.....	67
2.1.3.	Ubicación hidrográfica	69
2.1.4.	Ubicación administrativa.....	69
2.2.	VÍAS DE ACCESO	71
2.3.	MATERIALES Y EQUIPOS	71
2.3.1.	Materiales	71
2.3.2.	Equipos.....	72
2.3.3.	Materiales para recopilación y recolección de datos.....	72
2.3.3.1	Ficha de recolección de muestras de suelo.....	72
2.3.3.2	Registro de precipitación.....	72
2.3.3.3	Material cartográfico.....	73
2.3.3.4	Material satelital	74
2.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	75
2.4.1.	Técnicas de recolección de datos	75
2.4.2.	Técnicas para el procesamiento y análisis de datos	75
2.5.	FASES METODOLÓGICAS.....	76
2.5.1.	Fase de pre campo	76
2.5.2.	Fase de campo	76
2.5.3.	Fase de gabinete	76
2.5.4.	Procesamiento	76
2.5.5.	Representación.....	76
2.5.6.	Esquema de la ruta metodológica	77

2.3.6.1	Esquema para determinar el factor R.....	77
2.3.6.2	Esquema para determinar el factor K.....	78
2.3.6.3	Esquema para determinar el factor LS.....	78
2.3.6.4	Esquema para determinar el factor C.....	80
2.3.6.5	Determinación del factor P.....	80
2.3.6.6	Determinación de la pérdida de suelo por erosión hídrica.....	81
CAPITULO III		83
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		83
3.0.	ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LA CUENCA	83
3.1.	Características fisiográficas.....	83
3.1.1.	Parámetros de altitud.....	85
3.1.2.	Parámetros de la red hídrica.....	88
3.2.	RECOPIACIÓN Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN METEOROLÓGICA.....	91
3.3.	RESULTADOS DE INFORMACIÓN DE CAMPO.....	102
3.4.	DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO (RUSLE).....	105
3.4.1.	Factor R o índice de erosividad de las lluvias	105
3.4.2.	Factor K.....	110
3.4.3.	Factor LS.....	112
3.4.4.	Factor C.....	116
3.4.5.	Factor P.....	119
3.5.	PÉRDIDA DE SUELO EN LA SUBCUENCA TARUNCA.....	121
3.6.	NIVEL DE INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS DEL MÉTODO RUSLE	123
3.7.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	126
CONCLUSIONES		129
RECOMENDACIONES		130
REFERENCIAS		131
ANEXOS		139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Valores de la relación de forma.....	23
Tabla 2	Categorías del índice de compacidad de forma.....	24
Tabla 3	Clasificación de pendiente en las cuencas	25
Tabla 4	Valores de densidad de drenaje.....	28
Tabla 5	Dimensiones y unidades de factores del modelo RUSLE.....	40
Tabla 6	Clasificación del Índice Modificado de Fourier para Latinoamérica	44
Tabla 7	Calificación del factor materia orgánica.....	45
Tabla 8	Clase de permeabilidad de acuerdo a textura (equivalencia m/día)	46
Tabla 9	Parámetros de estructura de suelo a profundidades de 15 a 18 cm superficiales	46
Tabla 10	Niveles de erodabilidad según USDA (1962)	47
Tabla 11	Valores del factor LS en función de la pendiente.....	49
Tabla 12	Valores de “C” según el uso de tierra	51
Tabla 13	Valores de “P” para los cultivos en contorno y su máxima longitud aceptada entre obras.....	52
Tabla 14	Valores del factor de prácticas de conservación “P”	52
Tabla 15	Valores de “P” para barreras con la distancia máxima entre obra	52
Tabla 16	Clasificación de los niveles de intensidad de pérdida de suelo.....	53
Tabla 17	Distanciamiento entre barreras vivas según la pendiente y tipo de cultivo. .	63
Tabla 18	Ubicación geográfica y coordenadas UTM.	67
Tabla 19	Ubicación hidrográfica del ámbito de estudio.	69
Tabla 20	Vía de acceso	71
Tabla 21	Parámetros fisiográficos de la Subcuenca Tarunca.....	83
Tabla 22	Áreas entre curvas de nivel de la subcuenca Tarunca	86
Tabla 23	Parámetros de la red hídrica de la subcuenca Tarunca.....	89
Tabla 24	Estaciones meteorológicas en el área de estudio.....	92
Tabla 25	Estaciones pluviométricas virtuales en el área de estudio	101
Tabla 26	Toma de muestras en el área de estudio	103
Tabla 27	Texturas del suelo de muestra	105
Tabla 28	Valores anuales de “R” para la subcuenca Tarunca.....	109
Tabla 29	Tipos de suelo en la subcuenca Tarunca	110
Tabla 30	Índice de erodabilidad del suelo de la subcuenca Tarunca	111
Tabla 31	Valores de “C” obtenidos para la subcuenca Tarunca.....	117
Tabla 32	Valores de “P” obtenidos para la subcuenca Tarunca	120

Tabla 33 Clasificación del riesgo de la erosión hídrica en la subcuenca Tarunca122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	División espacial de una cuenca.....	21
Figura 2	Curva hipsométrica.....	26
Figura 3	Curva hipsométrica y curva de frecuencia División espacial de una cuenca.	27
Figura 4	Impacto de la gota de lluvia sobre el suelo desnudo.....	29
Figura 5	Etapas del proceso de erosión hídrica.....	31
Figura 6	Manifestaciones de erosión por salpicadura.....	33
Figura 7	Parcela con erosión laminar.....	34
Figura 8	División espacial de una cuenca.....	35
Figura 9	Ladera con cárcavas en pleno desarrollo.....	36
Figura 10	Clasificación de los modelos según tipo de información que se obtiene.....	38
Figura 11	Aplicación de la RUSLE.....	41
Figura 12	Nomograma de Wischmeier para el cálculo del factor de erodabilidad del suelo (K).....	47
Figura 13	Elementos que forman el sistema SIG.....	54
Figura 14	Modelo de datos ráster y vectorial.....	55
Figura 15	Primitivas geométricas en el modelo de representación vectorial.....	55
Figura 16	Celdas de una malla ráster con sus valores asociados.....	56
Figura 17	Aplicación del Algebra de Mapas.....	57
Figura 18	Funcionamiento de las zanjas de infiltración.....	59
Figura 19	Terrazas de banco en plena construcción.....	60
Figura 20	Andenes incaicos.....	61
Figura 21	Diques de piedra, zanjas de infiltración y reforestación para el control de cárcavas.....	61
Figura 22	Esquema de una ladera con barreras vivas.....	63
Figura 23	Esquema de corte de una ladera con surcos en contorno.....	64
Figura 24	Macizos forestales plantados sobre los 3,000 msnm, Chetilla – Cajamarca.....	65
Figura 25	Ubicación política del área de estudio.....	68
Figura 26	Ubicación administrativa de la subcuenca Tarunca.....	69
Figura 27	Ubicación hidrográfica del área de estudio.....	70
Figura 28	Datos de precipitación.....	73
Figura 29	Carta nacional del Perú.....	73
Figura 30	Cuenca hidrográficas del Perú.....	74
Figura 31	DEM del ALOS PALSAR.....	74

Figura 32 DEM del LANDSAT	75
Figura 33 Esquema metodológico del estudio	75
Figura 34 Flujograma para la obtención del factor R	77
Figura 35 Diagrama para la determinación del factor K	78
Figura 36 Flujograma para la obtención del factor LS – Método a	79
Figura 37 Flujograma para la obtención del factor LS – Método b	79
Figura 38 Flujograma para la obtención del factor C	80
Figura 39 Diagrama de flujo para la generación del mapa de pérdida de suelo (t/ha-año)	82
Figura 40 Curva hipsométrica de la subcuenca Tarunca	84
Figura 41 Polígono de frecuencia	85
Figura 42 Mapa de pendiente de la subcuenca Tarunca	88
Figura 43 Datos disponibles de precipitación.....	93
Figura 44 Mapa de estaciones meteorológicas.....	94
Figura 45 Comparativo de la precipitación PISCO con registro de la estación Huancapi	95
Figura 46 Comparativo de la precipitación PISCO con registro de la estación Huancasancos	96
Figura 47 Comparativo de la precipitación PISCO con registro de la estación Rayusca	97
Figura 48 Comparativo de la precipitación PISCO con registro de la estación Vilcashuamán	99
Figura 49 Mapa de Isoyetas de la subcuenca Tarunca.....	102
Figura 50 Model Builder para el cálculo del Factor de Erosividad (R)	106
Figura 51 Mapa de Factor de Erosividad (R) – Método Roose	107
Figura 52 Mapa de Factor de Erosividad (R) – Método Foster	107
Figura 53 Mapa de Factor de Erosividad (R) – Método Morgan.....	108
Figura 54 Mapa de Factor de Erosividad (R) – Método IFM.	108
Figura 55 Distribución mensual promedio del Factor “R”	109
Figura 56 Mapa de Tipo de suelo y Factor de Erodabilidad (K)	112
Figura 57 Model Builder para el cálculo del Factor de Longitud y pendiente (LS).....	113
Figura 58 Mapa de Factor de Longitud y Pendiente (LS) – Método Mintegui.....	114
Figura 59 Mapa de Factor de Longitud y Pendiente (LS) – Método Desmet.	114
Figura 60 Mapa de Factor de Longitud y Pendiente (LS) – Método Foster.	115
Figura 61 Model Builder para el cálculo del factor C.....	116
Figura 62 Porcentaje de la cobertura de suelo en la subcuenca Tarunca.....	117

Figura 63 Mapa del Factor C	118
Figura 64 Fotografías del Sector de Sayllamocco y Tukuku presencia de andenes y terrazas.....	119
Figura 65 Fotografías del Sector de Toropotrero y Utari con presencia de arbustos.	120
Figura 66 Mapa del Factor P	121
Figura 67 Model Builder para el cálculo de la pérdida de suelo	122
Figura 68 Mapa de pérdida de suelo en la subcuenca Tarunca.....	123
Figura 69 Factor R vs Pérdida de suelo.....	124
Figura 70 Factor LS vs Pérdida de suelo.....	124
Figura 71 Pérdida de suelo vs Factor K.....	124
Figura 72 Pérdida de suelo vs Factor C.....	125
Figura 73 Pérdida de suelo vs Factor P	125

INTRODUCCIÓN

El mundo está cambiando y con ello las condiciones ambientales, incluyendo a los elementos presentes en la naturaleza como el suelo, el cual se ha convertido en un motivo de creciente preocupación, principalmente debido a que la erosión hídrica ha aumentado drásticamente en toda América Latina y este aumento está directamente relacionado al perjudicial deterioro de nuestro planeta a raíz de los diversos cambios del clima que conlleva a la pérdida de las superficies agrícolas. Este fenómeno aumenta la probabilidad de la aparición de desastres naturales y degrada los ecosistemas, además de reducir la producción agrícola (Pimentel & Kounang, 1998). En ese sentido, nuevas investigaciones indican que la distribución y la cantidad de erosión están significativamente influenciadas por su interacción de su clima, los métodos de manejo del suelo y morfometría del terreno, a diferencia de la precipitación, que popularmente se cree es la causa principal de la erosión (García-Ruiz et al., 2013).

Por ejemplo, su erosión hídrica provocó un desplazamiento del 92% de toda la masa del suelo de Cuba (Almoza et al., 2008). Cuba no es el único lugar donde ocurre este fenómeno; ya que en Perú es un problema persistente que degrada las tierras modificando el clima. Estudios realizados por Castillo y Rojas (2021) en el río Chicama en Huancayo revelaron que las pérdidas del suelo en las cuencas alcanzaron el 13,6% una estadística alarmante que ilustra la gravedad del problema en diferentes partes del país. Ello sumado a los dos fenómenos costeros que traen consigo torrenciales lluvias u olas de calor inmensas al punto de ser insoportables, uno de estos fenómenos es el denominado El Niño de 2017, ellos exacerban la condición y provocan una grave pérdida de suelo con intensidades.

Esta problemática no es nueva en la subcuenca Tarunca, situada en el distrito Sancos, provincia Huancasancos, departamento Ayacucho. Las características morfométricas del terreno, la baja cantidad de materia orgánica, el sobrepastoreo y las reiteradas precipitaciones producen un ambiente favorable a la erosión, esta realidad se ve

impactada negativamente por los trabajos humanos que alteran el medio ambiente como la agricultura, donde utilizan químicos dañinos en el suelo, el cual no goza de medidas de protección del suelo. Por estas características, la subcuenca Tarunca es particularmente foco vulnerable ante las erosiones, poniendo en relieve la apremiante urgencia de aplicar técnicas adaptativas y sostenibles de manejo del suelo.

En este contexto, fue esencial evaluar de manera precisa el riesgo de erosión en la subcuenca Tarunca, lo que requiere una comprensión detallada de erosión hídrica, considerando tanto los factores climáticos (precipitación), parámetros morfométricos y el manejo de suelos. Esta evaluación permitirá aportar estrategias eficientes para mitigar la erosión y preservar sus riquezas naturales de la subcuenca.

Objetivo general:

Determinar la relación que existe entre la erosión hídrica y los parámetros morfométricos, climáticos y el manejo de suelos en la subcuenca Tarunca - Huancasancos - Ayacucho.

Objetivos específicos:

1. Analizar la relación entre los parámetros morfométricos de la subcuenca Tarunca y la erosión hídrica, considerando aspectos como la pendiente, la forma de la cuenca y la densidad de drenaje.
2. Evaluar la influencia de los factores climáticos, principalmente la precipitación, en la erosión hídrica en la subcuenca Tarunca, determinando los patrones y la intensidad de la erosión.
3. Determinar la relación entre las prácticas de manejo de suelos y la erosión hídrica en la subcuenca Tarunca, identificando las técnicas de conservación existentes y su efectividad en la reducción de la pérdida de suelo.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES

1.1.1. Antecedentes Internacionales

Respecto al ámbito mundial, López (2017), formula en su investigación la utilización del modelo USLE/RUSLE, estudio que se centra principalmente para su búsqueda en esta caracterización de su erosión hídrica en el componente hidrográfico de este Río Ambato - Ecuador. Las herramientas incluidas en el diseño descriptivo-analítico fueron fichas históricas, mapas temáticos e imágenes satelitales. De acuerdo con los hallazgos, el rango de posibles pérdidas para el año 1990 es el siguiente: 52,22% de zona terrestre para Ninguna o Leve, 38,92% para Moderada, 8,67% para alta y 0,19% para Muy Alta. Con respecto a los resultados para el año 2000. En el 49,29% de los casos no se presentó erosión o se presentó muy poca erosión, en el 41,41% se presentó erosión severa, en el 0,19% se presentó erosión muy severa y en el 0,20% se presentó erosión muy alta. Para el año 2014 se cuenta con la siguiente información. Dentro de la unidad cauce del río Ambato, el 65,51% de la superficie terrestre presentó erosión nula o muy baja, el 24,88% se presentó erosión moderada, el 9,21% se presentó erosión severa y el 0,40% se presentó erosión muy alta.

Ríos (2018), en su proyecto busca determinar si la curvatura de la propiedad en su cuenca de este río Grande y del río San Andrés, y estas normas propuestas de erosión hídrica están relacionadas. El río Grande, que drena 1 279,86 km² (área medida en un mapa de escala 1:25 000), conforman la muestra. Mapas, hojas de datos históricos e imágenes satelitales fueron las herramientas utilizadas en este estudio de diseño descriptivo-correlacional. Los resultados demuestran que el pequeño porcentaje del borde meteorizado sujeta a erosiones hídricas y resoluciones verticales y horizontales de este modelo digital de altura (DHM) a 1:100 000 del relieve utilizado impiden establecer una relación causal entre la

erosión aleatoria estimada a escala 1:100 000, la curvatura del relieve y el avance del frente de erosión de montaña. Se descubrió que una fuerte relación causal consistente con el nivel jerárquico de la composición espacio-día de la morfología del ASRO podría lograrse con suficiente poder computacional para incriminar toda el área de publicación con un DEM a escala 1:10 000 con una resolución de 1m horizontalmente y 1 cm verticalmente

Torres et al. (2020), en su estudio de indagación, señaló lo siguiente. Su objetivo principal ronda en el mapeo con respecto a estas erosiones hídricas para esta Cuenca de este Cañón del Sumidero. Su muestra en el mismo cañón, que abarca 6,700 km² e incluye 11 unidades climáticas, una temperatura promedio al año de 22°C y 1,146mm de precipitación. En este diseño descriptivo cuantitativo se utilizaron mapas, fotografías satelitales y archivos. Los hallazgos arrojan una distribución mensual y una referencia geográfica promedio anual de la pérdida del suelo. Según los datos, existe erosión en el 73% de la cuenca, donde el mes que presenta los datos más alarmantes es el de Junio.

1.1.2. Antecedente Nacional

Escobar (2019) en su estudio donde indica que el suelo es uno de los recursos más importantes y más amenazados, de allí que la erosión del suelo no solo disminuye la productividad agrícola, sino también reduce la disponibilidad de agua, por lo que la evaluación del riesgo de erosión hídrica es primordial para promover estrategias de conservación. Para estimar la pérdida anual de suelo en la subcuenca del río Ichu se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE), teledetección y herramientas SIG. Además, se utilizaron los programas QGIS 3.2 y Python, como herramienta de análisis y geoprocesamiento de los factores R, K, LS, C y P. Asimismo, mediante la información satelital Sentinel 2B se obtuvo el mapa actual de uso del suelo para determinar el nuevo factor C y se plantearon alternativas de prácticas de conservación generándose un nuevo factor P, por consiguiente, se propusieron cuatro escenarios de modelamiento. Los mapas resultantes de la erosión media anual del suelo muestran una pérdida de suelo de 22,7 a 23,7 t/ha-año. Al respecto, la primera se modeló con el factor de cobertura en base al estudio de mesozonificación ecológica y económica del Departamento de Huancavelica del 2013 y, la segunda, con el factor de cobertura actual del 2018, cuantificado en los escenarios 1 y 2, respectivamente. De esta manera, se planteó una propuesta de alternativas de

prácticas de conservación que permitirán mitigar la pérdida de suelo, cuantificándose en 21,7 y 22,1 t/ha-año, resultados correspondientes a los escenarios 3 y 4, en comparación a los escenarios 1 y 2, respectivamente, mostrando una disminución de la pérdida de suelo. Los mapas de erosión espacial generados con el método RUSLE para los diferentes escenarios serán insumos efectivos en la formulación de estrategias para la planificación y gestión de la tierra en las zonas de estudio.

Del Águila y Mejía (2021). En la región Junín de Perú, realizaron una investigación morfométrica de dos cuencas hidrográficas altoandinas. Para ello emplearon el SIG para evaluar ciertos atributos presentes en el drenaje de las cuencas de los ríos de Mchique y Anya. Donde la primera es subdendrítica debido al efecto de factores estructurales y la segunda es dendrítica. Estos dos ríos, evidencian diferentes patrones en su drenaje. Ambas cuencas presentaron valores bajos de densidad de drenaje, lo que indica tasas de infiltración sustanciales, según la investigación. Además, los valores hallados de elongación propician la gestión de las inundaciones y sugiere una menor susceptibilidad a las inundaciones repentinas. Los factores topográficos elevados son indicativos de inclinaciones más pronunciadas y procesos erosivos más intensos. Los hallazgos ofrecen una base sólida para la investigación hidráulica e hidrológica.

1.1.3. Antecedentes Regionales

Álvarez (2019) realizó un estudio de investigación, que busca calcular la cantidad cuantitativamente de la erosión que se encuentra en este sector estudiado del río Ichu. Respecto a su muestra, está conformada mediante una cuenca fluvial de primera categoría con una superficie de 138 317,2 ha. Las fotografías satelitales y las fichas de datos históricos fueron las herramientas utilizadas en este diseño descriptivo. Los resultados indican, que en los años 2013 y 2017 presentan los niveles promedio más elevada de erosión por parte del agua en un área es de 18,1 ha correspondiente al 0,013% de la superficie, y la otra por su parte en un área de 25 ha, presenta niveles de 0,018% del área total, por otro lado, también se halló el valor de erosión superficial de 0,46 t/ha-año; y 0,39 t/ha-año como mínimo. A partir de estos datos se desprende claramente que entre 2013 y 2017 se produjeron variaciones notables debido a dos factores importantes: las precipitaciones y la cobertura vegetal.

Castillo y Rojas (2019) realizaron un estudio con la finalidad de verificar la magnitud de la degradación de suelos en diferentes puntos de los cuales recogieron muestras para su posterior análisis, dichas muestras fueron tomadas de siete sitios de suelos y siete estaciones meteorológicas de la subcuenca Huancay. De acuerdo con los hallazgos, el nivel inicial fue de 13,8%, el nivel leve fue de 5,0%, el nivel fuerte fue de 23,5% y el nivel severo fue de 57,7% con respecto a la erosión de los suelos. De acuerdo a estos valores se pudo observar un nivel alto de la problemática en cuestión, ya que el nivel severo es alarmante, frente a ello los investigadores propusieron medidas urgentes para promover la ayuda para estos recursos, recalcando que las autoridades deberían intervenir para organizar planes en pro del medio ambiente.

Ttitto (2018) realizó una investigación donde su, objetivo principal fue evaluar y examinar cómo ha cambiado a lo largo del tiempo la utilización del recurso no renovable del suelo por parte de los pobladores y cómo ha afectado la inestabilidad climática en la cuenca de Vilcanota. El área en estudio abarcó 140 996,59 ha. Fichas, mapas e imágenes satelitales fueron las herramientas utilizadas en este diseño correlacional. Los hallazgos indicaron que se presentó una variación del 18,45% en el primer período (1975-1985), 23,24% en el segundo periodo (1985-1995), 25,63% en el tercer período (1995-2004) y 24,29% en el cuarto período (2004-2015). Las áreas urbanas, los cultivos extensivos e intensos, los matorrales, los nevados, y el bosque de Queuña fueron las unidades que perdieron cobertura de manera consistente, mientras que el bosque mixto del valle interandino mostró ganancias continuas. Mediante un estudio de la variabilidad climática se identificaron aumentos las mismas variables. Además, se crearon siete tipos climáticos para la región en los mapas climáticos, con seis tipos presentes en cuatro de los cinco períodos.

Raymundo (2018), evaluó la perturbación de esta superficie en su microcuenca ubicada en este río Jucusbamba, Perú, empleando RUSLE, SIG y teledetección. La muestra estuvo conformada por toda la superficie de la región mencionada, que abarca un tamaño de 30,12 km y una superficie de 19 133,13 ha. Utilizando como herramientas fichas histórica, mapas e imágenes satelitales, se empleó un diseño descriptivo. El 93,34% (0-5 t/ha-año) de toda la superficie presentó pérdidas menores, el 3,94% (5-10 t/ha-año) presentó pérdidas moderadas, el 1,82% (10-20 t/ha-año) presentó pérdidas altas, el 0,61% (20-40 t/ha-año) presentó pérdidas muy altas y solo el 0.29% (>40 t/ha-año) presentó pérdidas menores, según los resultados. No se observaron pérdidas significativas de suelo.

Se determinó que las porciones inferior y central de la microcuenca contienen las regiones con erosión de suelos alta, extremadamente alta y severa.

Huerta y Lolo (2014) desarrollaron un trabajo en Huancayo, para determinar la incidencia de la lluvia. En la metodología se realizó el recuento de la escorrentía y su pérdida del suelo en función a factores críticos del suelo de las microcuencas. Así mismo, se calcularon los caudales de los diversos lugares que poseían agua, además se obtuvo datos de precipitaciones registradas en los 24 años. Los resultados permitieron determinar cuál es el poder erosivo de las precipitaciones medidos en t/ha-año, apoyándose de la fórmula de Fournier, evaluando p como el mes donde la precipitación es mayor y P en total de la precipitación medido anualmente.

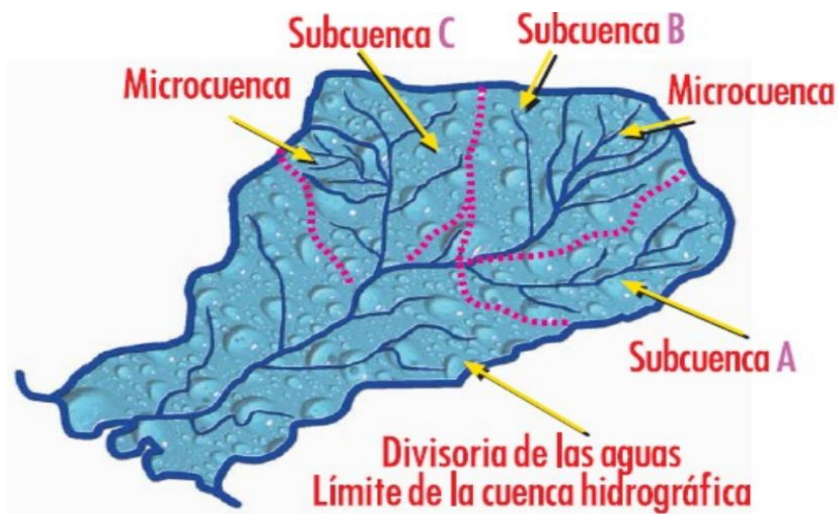
En Cajamarca, Rosas (2016) realizó un diseño de un método para obtener la cantidad de pérdida futura y actual en forma nacional, además de escalar la cuenca para conseguir lineamientos que regulen las pérdidas que se dan económicamente. La metodología consistió en recopilar información de entidades del estado especialmente recopilando los datos meteorológicos, la geología y la parte topográfica. Seguidamente, se revisó los modelos para determinar la erosión, además se adiciono modelos de regresión y de transición de Márkov. Para poder identificar su nivel de erosiones producto del agua los investigadores se plantearon modelos regionales que puedan adecuarse a sus especificaciones de esta zona, además de esta morfología de la cuenca, donde se detalla el riesgo proyectado y el actual.

1.2. CUENCA HIDROGRÁFICA

Según Cotler et al. (2013), es un área delimitada en la que todos estos escurrimientos, como arroyos y ríos, se juntan en el punto característico, por ejemplo, un lago (constituyendo una cavidad interior) o un océano (formando una cuenca de aguas abiertas). En estas áreas, se observan interrelaciones e interdependencias espaciales y temporales donde intervienen elementos como el medio biofísico que comprende a la superficie acuáticas y terrestres, biodiversidad, cultivos, estructuras geológicas, entre otras; otros elementos son las medidas para evitar la apropiación y las instituciones presentes para promover dichas medidas.

Figura 1

División espacial de una cuenca.



Nota. La figura muestra las unidades hidrográficas. Fuente: Palacios (2016).

Cruz y Gaspar (2015) indican que en la parte alta de una cuenca se realizan funciones cruciales como la captación, el nacimiento y el suministro de aguas arriba. Esta área, generalmente rodeada por sistemas montañosos, es donde se inicia el primer escurrimiento (arroyo) después de que el suelo ha absorbido y retenido el agua.

1.3. MORFOMETRÍA DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Gaspari et al. (2012) menciona que, para entender la respuesta hidrológica de la subcuenca, se calculan los parámetros morfológicos más importantes que proporcionan una descripción física y espacial de la zona; cabe resaltar, que la misma dependiendo de la cuenca hidrográfica es diferente.

Ramírez y Álvaro (2018) manifiestan que: los parámetros morfométricos son la pendiente, orientación, el análisis hipsométrico, y los drenajes. Se hace el cálculo de la pendiente con malla en la superficie, donde la inclinación se especifica en grados desde 0° reportándose horizontalmente hasta 90° de forma vertical. (p. 2).

La dirección u orientación se hace con el descenso más pronunciada de la pendiente para todos los puntos de la cuadrícula, es decir sentido de inmersión. Esta es la dirección perpendicular a los contornos de la superficie, siendo contradictorios a esta gradiente. Sus parámetros del rumbo se dan en azimut, donde 0° representa el norte y una dirección continua en el tiempo (Ramírez y Álvaro, 2018).

Para el análisis hipsométrico de las cuencas hidrológicas a menudo se describen mediante su integral altimétrica $\int H_b$, un índice que mejoró el método desarrollado por Langbein en 1964 (Ramírez y Álvaro, 2018).

La integral de altimetría, denotada como $\int H_b$, conceptualizándose como una integral de su distribución acumuladas de las alturas relativas en el interior de una cuenca hidrológica. Esta herramienta permite obtener una visión general de cómo se distribuyen las elevaciones a lo largo de este sector de estudio. Así también, su estudio de frecuencia de altitud se emplea para caracterizar la ocurrencia de diferentes niveles de elevación. Este análisis complementa las descripciones altimétricas al proporcionar información detallada sobre la frecuencia con la que se presentan ciertos niveles de altitud dentro de la cuenca (Ramírez y Álvaro, 2018).

El drenaje se muestra como patrón de una cuenca que viene hacer la consecuencia de la mezcla de variables como el clima de la zona, la estructura, la litología, la topografía, el suelo y la vegetación. Esta densidad el conteo de canales que son necesarios para poder desaguar una unidad de la cuenca. Se muestra una densidad de su drenaje, oscilándose entre 1,55 y 2,16 km/km², señalando que esta densidad es menor (Ramírez y Álvaro, 2018).

Tomé (2022) destaca que las características morfológicas de las cuencas y subcuencas hidrológicas, incluyendo parámetros lineales como la cantidad de flujos y la longitud promedio, así como parámetros geométricos como la circunferencia y la extensión, son esenciales para el análisis y comprensión de la forma y evolución de estas unidades hidrológicas. Estos parámetros permiten una evaluación cuantitativa de la topografía y la estructura de la cuenca, lo cual es crucial para la hidrología regional y la gestión de recursos naturales.

Según Lux (2012), las propiedades físicas de las cuencas hidrológicas, incluyendo la pendiente y el drenaje, deben evaluarse numéricamente a partir de datos detallados en mapas hidrológicos. La morfometría de las cuencas es crucial para entender su forma y la influencia en el almacenamiento de agua y en la respuesta a las condiciones climáticas, como la escorrentía superficial, que afecta el transporte de sedimentos y nutrientes. Este análisis permite comparar cuencas similares y aplicar modelos a diferentes escalas, proporcionando información valiosa para la gestión del agua y la interpretación de la función hidrológica.

1.3.1. Parámetros de forma

Lux (2015) Indica que la estructura de una cuenca tiene una influencia significativa en las características de los hidrogramas de esorrentía de un río, especialmente durante las crecidas máximas. En particular, Las cuencas hidrográficas con la misma superficie, pero con formas distintas producen hidrogramas diferentes. Esto indica que existe un componente estocástico significativo en la determinación de las cuencas, que está asociado tanto con sus parámetros específicos como con las características de este sistema de alcantarillado. La versatilidad de esta cuenca influye en cómo se distribuye y drena el agua, lo que a su vez afecta el comportamiento del hidrograma.

1.3.1.1 Factor de forma de Horton (Rf)

Cahuana y Yugar (2009) Se señala que Horton definió el factor forma en 1932, siendo una relación entre la anchura y longitud de una cuenca. Con respecto a su factor varía entre 0 y 1, donde 0 representa una cuenca ampliada y una cuenca perfectamente circular. Junto con la densidad de drenaje, esta relación permite estimar su velocidad de este flujo en esta cuenca analizada.

$$Rf = \frac{A}{Lc^2} \dots\dots\dots \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- Rf : Factor de forma
- A : Área de su cuenca en km²
- Lc : Longitud de la cuenca en km

Tabla 1

Valores de la relación de forma.

Forma de la cuenca	Rf
Muy alargada	<0,22
Alargada	0,22 a 0,30
Ligeramente largada	0,30 a 0,37
Ni alargada ni ensanchada	0,37 a 0,45
Ligeramente ensanchada	0,45 a 0,60
Ensanchada	0,60 a 0,80
Muy ensanchada	0,80 a 1,20
Rodeando el desagüe	>1,20

Nota. Rangos aproximados del factor forma de Pérez (1979).

1.3.1.2 Coeficiente de forma (Kf)

Definiéndose como un vínculo entre esta área media y longitud de esta cuenca a partir del punto de inicio hasta su punto de cierre; cuanto más se aleje esta relación de la unidad, se considera menos aplanado; las cuencas con un **Kf** más bajo tienden a tener una intensidad de lluvia menos concentrada (Castilblanco y Soza, 2019). Matemáticamente se expresa de acuerdo a la fórmula:

$$Kf = \frac{B_m}{L_{mc}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- Kf : Coeficiente de forma
- B_m : Ancho promedio de su cuenca.
- L_{mc}: Longitud promedio de su cuenca (entre su salida y punto más lejano de su cuenca).

1.3.1.3 Coeficiente de Gravelius (Ic)

Zeña y Santamaría (2021). Mencionan el índice de compacidad, propuesto por Gravelius en 1914, definiéndose como un vínculo entre la circunferencia de una cuenca hidrográfica y circunferencia del círculo que sea de igual zona que dicha cuenca. Este índice es utilizado para evaluar la irregularidad de esta cuenca y se calcula usando su fórmula siguiente:

$$Ic = 0.282 * \left(\frac{P}{\sqrt{A}}\right) \dots\dots\dots \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- Ic : Coeficiente de Gravelius
- P : perímetro en kilómetro
- A : área en km²

Tabla 2

Categorías del índice de compacidad de forma.

Rangos de Ic	Clases de Compacidad
< 1,25	Redonda a oval redonda
1,25 – 1,50	De oval redonda a oval oblonga
1,50 – 1,75	De oval oblonga a rectangular oblonga
> 1,75	Alargada

Nota. Datos tomados de (Campos, 1992) citado en Lux (2012).

1.3.2. Parámetros de relieve

La topografía influye en los volúmenes de esorrentía porque cuanto mayor es la pendiente del terreno, más rápido fluye el agua y menor es el tiempo de concentración. En términos generales, esta influencia supera a la que resulta de la geometría de la cuenca. Este relieve se define a través de sus curvas de nivel y curvas hipsométricas en los mapas de elevación (Mármol, 2008) citado en (Farfán et al., 2010).

1.3.2.1 Pendiente media de la cuenca

Los procesos de degradación y los caudales máximos en las cuencas fluviales están fuertemente influenciados por la topografía. Esto es importante porque influye directamente para su velocidad de su flujo de la marea y en esta capacidad de erosiones y arrastre de sedimentos resultante, para determinar la pendiente media de una cuenca se utiliza el mapa topográfico y el modelo digital de elevación (Idme, 2020).

$$PM = \left(\frac{H \cdot L}{A} \right) * 100 \dots \dots \dots \text{Ecuación 4}$$

Donde:

- PM : Pendiente media (%).
- H : Distancia vertical entre curvas medidas (equidistancia)(Km).
- L : Longitud total de sus curvas de nivel (Km).
- A : Área de la cuenca (Km²).

Tabla 3

Clasificación de pendiente en las cuencas.

Pendiente (%)	Tipo de terreno
2	Plano
5	Suave
10	Mediamente accidentado
15	Accidentado
25	Fuertemente accidentado
50	Escarpado
>50	Muy escarpado

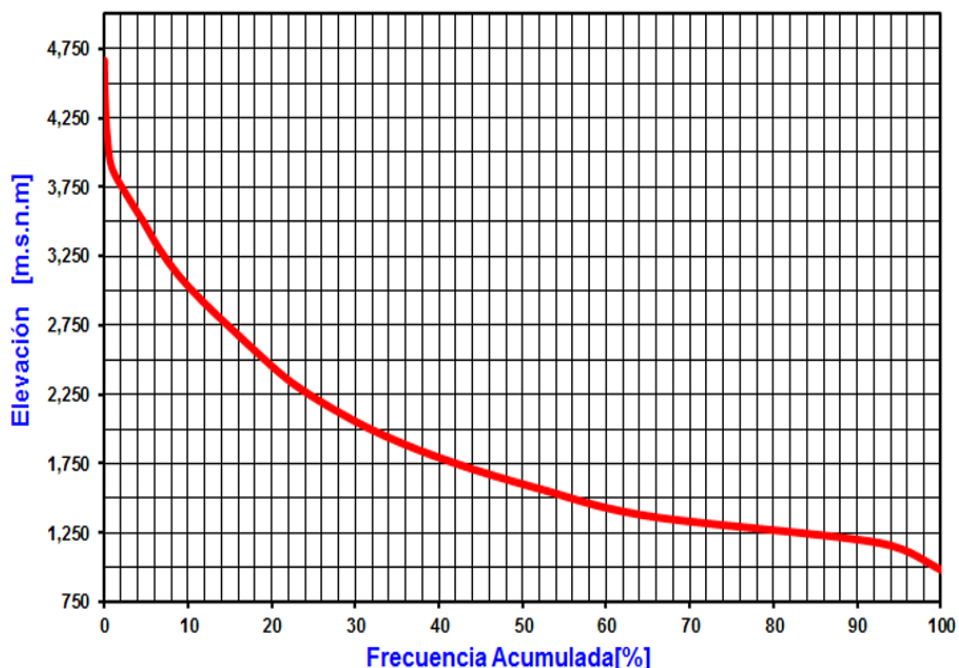
Nota. Datos tomados de Cahuana y Yugar (2009).

1.3.2.2 Curva Hipsométrica

La curva hipsométrica muestra el vínculo entre el área de escorrentía y la altitud de la superficie de la microcuenca. Se elabora representando el área de escorrentía esperada hasta una cierta altura en el eje de abscisas, ya sea con la unidad de kilómetros cuadrados o en porcentajes, mientras que el eje vertical suele estar expresado en metros. Por lo general, se observa que la parte final de la curva cambia de manera rápida. La relación entre la elevación de una microcuenca y sus características de elevación puede expresarse de forma sencilla y objetiva mediante la función hipsométrica. Los gráficos adimensionales son muy útiles en hidrología para examinar la semejanza del par de cuencas, en particular cuando estas microcuencas exponen cambios en su precipitación y elevación (Cahuna y Yugar, 2009).

Figura 2

Curva hipsométrica.



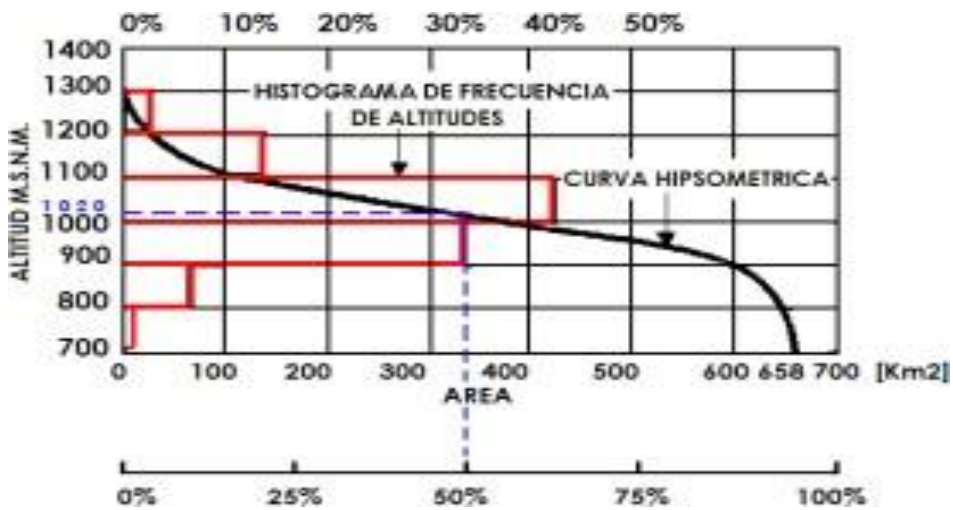
Nota. La figura muestra la relación entre el área y elevación. Fuente: Cahuna y Yugar (2009).

1.3.2.3 Diagrama de frecuencias altimétricas

Villon (2011) menciona que es un gráfico de barras que muestra el área dentro de un determinado intervalo de altura (m.s.n.m.) como porcentaje del total. Se utiliza para encontrar las subáreas más frecuentes que pueden desarrollarse en proyectos agrícolas y asentamientos de población.

Figura 3

Curva hipsométrica y curva de frecuencia División espacial de una cuenca.



Nota. La figura muestra la representación de la superficie en porcentajes comprendida entre dos niveles. Fuente, Cahuana y Yugar (2009).

1.3.2.4 Tiempo de concentración

Como menciona Llamas (1993) citado por Navarro (2020), también llamado tiempo de respuesta o tiempo de equilibrio, este se refiere al intervalo necesario para alcanzar un estado estacionario durante un evento de precipitación uniforme. Frecuentemente, se asocia el tiempo de concentración con el tiempo que tardan en arribar al punto de salida las partículas de agua desde el lugar más distante de la cuenca, siguiendo el trayecto del drenaje. Sin embargo, esto no siempre refleja la realidad, ya que su periodo que esta agua necesita para arribar al punto de salida puede ser mayor en ciertas áreas de la capa freática en comparación con el punto más distante. Aunque esta definición de tiempo de concentración tiene un fundamento físico, su formulación es desarrollada por diversos autores partiendo desde las características de forma y geometría de esta cuenca.

La fórmula de Kirpich (1940) es una de las más empleadas para estimar el tiempo de concentración en cuencas andinas, ya que presenta buen desempeño en áreas menores a 100 km² con alta pendiente. Según Del Águila (2024), menciona que autores como Tucci (2000), Chow et al. (1994) y Bentancor et al. (2014) recomiendan su aplicación en cuencas naturales o agrícolas, con pendientes entre 3% y 10% con flujo encauzado.

$$T_c = 0.0078 * L_p^{0.77} * S^{-0.385} \dots\dots\dots \text{Ecuación 5}$$

Donde

- Tc : Tiempo de concentración (min).
- Lp : Longitud de curso principal (pies).
- S : Pendiente de curso principal (m/m).

1.3.3. Parámetro de la red hidrográfica

1.3.3.1 Densidad de drenaje

Consta en una medida que señala su respuesta de una cuenca ante las precipitaciones intensas. También da una indicación de este nivel de cobertura presente en esta cuenca. Parámetros elevados indican áreas que tienen escasa vegetación y suelos propensos a la erosión. Por otro lado, los valores bajos señalan la presencia de suelos duros y menos propensos a la erosión. (Horton, 1945, citado por Navarro, 2020)

$$D_d = \frac{L_t}{A} \dots\dots\dots \text{Ecuación 6}$$

Donde:

- Lt : Longitud total de sus cauces (km).
- A : Superficie de su cuenca (km²).

Tabla 4

Valores de densidad de drenaje.

Rangos de densidad	Clases
0.1 – 1.8	Baja
1.9 – 3.6	Moderada
3.7 – 5.6	Alta

Nota. Datos tomados de Maidment (1993) citado en Consorcio Río Garagoa (2017).

1.4. EROSIÓN HÍDRICA

Gaitán et al. (2017) cita a Michelena et al. (2014) Se explica que la erosión ocasionada por el agua es un proceso complejo en el cual el choque de estas gotas de lluvia sobre su suelo provoca una desintegración de este material en partículas individuales, como arena, arcilla y limo, además de pequeños agregados. Esas partículas desprendidas son arrastradas hacia la parte inferior por la escorrentía superficial, lo que lleva al desalojo de más material. Existen 2

tipos de flujos en la escorrentía: flujo laminar, caracterizado por moverse lentamente, y el flujo turbulento o concentrado (erosión de barranco), el cual se desplaza a gran velocidad y es el principal responsable del transporte de sedimentos. En los terrenos montañosos y con alta pendiente, la gravedad por sí sola puede mover el suelo, especialmente en condiciones de humedad.

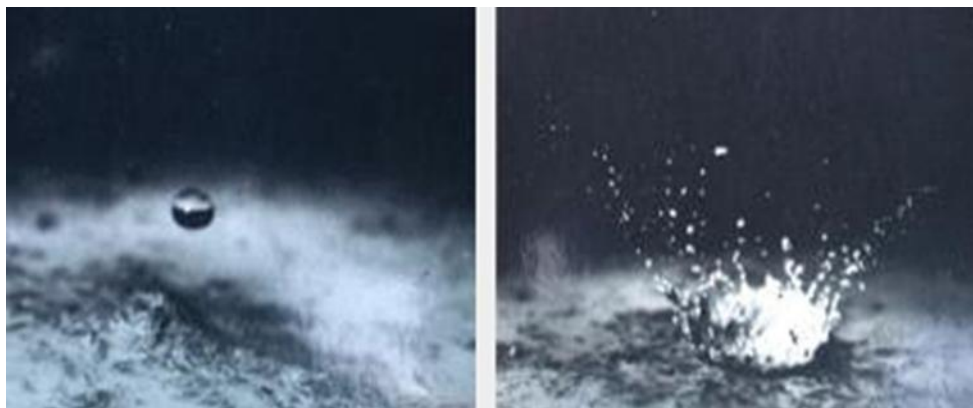
SENAMHI (2017). Señala que esta erosión de suelo se comprende cómo el procesamiento de remoción, traslado y sedimentación de arenas de este suelo, materia orgánica y nutrientes solubles. Su intensidad puede variar considerablemente, y en muchos casos puede llegar a ser irreversible, alterando el equilibrio de estabilidad armónica a nivel de la cuenca (p.4).

Joyo (2018) cita a Ellison (1948) señalado que la erosión del suelo se describe como el procedimiento mediante el cual los materiales del suelo son descompuestos, transportados y depositados por los agentes erosivos. Las precipitaciones pueden influir en este proceso por medio del choque de estas gotas del aguacero al caer encima de su superficie, al cual humedece y degrada las partículas primarias, o mediante el transporte de partículas a través de la dispersión de agua y la transferencia de energía a la escorrentía superficial (p.13).

En esta investigación, se sigue el concepto de Gaitán et al. (2017) ya que esta erosión por agua es evidente en la zona de investigación ligada a la topografía variable, donde estas gotas de lluvia al impactar en el suelo, estas se descomponen en partículas más pequeñas y se produce la erosión por capas, esto ocurre con las lluvias de intensidad media y las muy lluviosas de diciembre a marzo por lo que cuando las lluvias aumentan, golpean la sierra sur de Perú.

Figura 4

Impacto de la gota de lluvia sobre el suelo desnudo.



Nota. La figura muestra el impacto de gota de lluvia sobre una superficie de suelo desnuda. Fuente, USDA (1940) citado en Derpsch (2006).

1.4.1. La erosión hídrica en el Perú

SENAMHI (2017) indica que: la erosión no es una unidad, sino un fenómeno específico, y sus manifestaciones son muy diversas maneras. Presenta distintos niveles de periodicidad que suelen alcanzar alto impacto provocando desequilibrios de estabilidad en armonía al nivel de cuenca hidrológica.

Es determinante tener en claro la erosión dado que se da en un periodo donde se limita capas orgánicas, superficie del suelo, disminuyendo lo orgánico; siendo así que, se presenta un ambiente que no presenta el incremento de plantas. Este viene a ser los procesos con mayor movimiento que de los ecosistemas. Este es un proceso que se da cuando se degrada el suelo y niveles más bajos de agua, con fertilidad. Esta es generada cuando se da la lluvia y drenaje, provoca lo irreversible.

Rosas y Gutiérrez (2016) mencionan que: El problema es significativo debido a que lidiamos con un entorno climático y topográfico caracterizado por los Andes, que presenta patrones de precipitación complejos y pendientes muy pronunciadas, además de las consecuencias de la erosión hídrica.

También por ser un país en desarrollo el uso del suelo cambia rápidamente, es decir, tenemos áreas que se convierten en grandes centros urbanos o áreas que son utilizadas por actividades industriales como la agricultura, la minería, la extracción de petróleo o gas. Finalmente, actividades como la tala ilegal en la Amazonía son otro factor que contribuye en su erosión, es un problema muy grave en nuestro país.

Sin embargo, actualmente no existe ninguna investigación reciente sobre este tema; de hecho, el mapa más reciente sobre este tema fue publicado por el INRENA en 1997, hace casi 20 años. Si a esto le sumamos el hecho de que la información básica es limitada, poco confiable y en muchos casos inexistente, la magnitud del problema se vuelve aún más significativa.

1.4.2. Etapas de erosión hídrica

Ares y Varni (2016) mencionan que la erosión hídrica es un acontecimiento en el que se pierde el potencial de producción de los terrenos agrícolas como consecuencia de la caída del agua o su desplazamiento a través de los suelos con poca vegetación y baja resistencia. Esta erosión se produce en tres etapas principales:

1.4.2.1 Desprendimiento:

El proceso implica que las partículas del suelo se desprenden debido a estos impactos de sus gotas sobre su superficie, manteniendo sus partículas finas en suspensiones y siendo más grandes debido a su impacto continuo de estas gotas. Esta dispersión de partículas obstruye los poros de la superficie y acorta su capacidad de este suelo, absorbiendo agua. Esta presencia de vegetación juega el rol importante en este procesamiento, puesto que estos suelos escasos de vegetación son más vulnerables a los desprendimientos.

1.4.2.2 Arrastre o transporte:

El transporte de partículas puede suceder incluso si el agua no penetra en el suelo y solo se ocasiona una escorrentía mínima. La extensión de la erosión en este caso está determinada mediante su proporción, energía y dispersión de estas gotas de lluvia.

1.4.2.3 Sedimentación:

Esto sucede cuando su velocidad de este flujo decrece, lo que genera que estas partículas en suspensiones caigan en esta superficie.

Figura 5

Etapas del proceso de erosión hídrica.



Nota. La figura muestra los procesos de las gotas de lluvia que impactan en la superficie. Fuente, Ares y Varni (2016).

1.4.3. Factores que originan la erosión hídrica

Vásquez et al. (2016) menciona que: "Sus elementos claves que determinan el alcance de dicha erosión consta en su suelo, topografía, clima, vegetación y la actividad humana" (p. 31).

- a) Sus características físicas de su suelo, como su distribución, contenidos y texturas de materias orgánicas, influyen en su severidad con la que las partículas del suelo se aflojan y se transportan debido al impacto del agua, la escorrentía y la habilidad del suelo para absorber agua.
- b) La erosión hídrica se ve afectada por factores topográficos como su pendiente, forma, longitud, y el tamaño de su desagüe.
- c) Entre sus factores climáticos, las precipitaciones, el rocío, el viento y la temperatura son los principales que repercuten en la erosión hídrica. La relación entre precipitaciones y tipos de escorrentía es particularmente importante, ya que el viento puede modificar la potencia de las precipitaciones y el ángulo de caída de estas gotas en su superficie, intensificando los efectos de erosión.
- d) Su vegetación protege el suelo de sus consecuencias directas del agua, como la lluvia y la escorrentía. Las plantas ayudan al suelo de las siguientes maneras:
 - Reducen o eliminan su energía cinética de estas gotas del aguacero por medio de hojas, tallos o restos vegetales que las bloqueen.
 - La vegetación forma una "barrera" con residuos vegetales y cubierta, disminuyendo la velocidad de la escorrentía.
 - Los desperdicios vegetales, las raíces y los microorganismos favorecen la estructura y porosidad de la superficie, incrementando su capacidad para infiltrarse y almacenar agua. Además, las raíces contribuyen a "aglutinar" las partículas del suelo, elevando la resistencia a esta erosión.
- e) La actividad humana es un elemento crucial en los procesos de erosión, especialmente a través de esta gestión y uso de estos recursos naturales, como agua, suelo y cubierta vegetal, convirtiéndose en un factor antropogénico significativo en la erosión.

1.4.4. Tipos de erosión hídrica

En esta Sierra, su erosión mediante el agua se puede clasificar en varios tipos, que pueden darse de forma secuencial o simultánea en un mismo terreno:

- Erosión por salpicadura
- Erosión laminar
- Erosión en surcos
- Erosión en cárcavas

1.4.4.1 Erosión por salpicadura

SENAMHI (2017) cita a Muñoz y Gutiérrez (2006) quien menciona, que los desprendimientos de barro ocurren cuando la lluvia cae de forma directa sobre su suelo y energía cinética de su impacto hace que se dispersen grandes cantidades de tierra. Se estima que 224 mg/ha se dispersan a la atmósfera en las tierras desnudas debido a las frecuentes precipitaciones).

Figura 6

Manifestaciones de erosión por salpicadura.



Nota. La figura muestra el desprendimiento de las partículas del suelo por el impacto de las gotas de la precipitación. Fuente, (SECYOT – UNRC) citado en Cisneros et al. (2012).

1.4.4.2 Erosión laminar

Vásquez et al. (2016) menciona que, al estrellar estas gotas de un aguacero contra el suelo, se desprenden partículas que son arrastradas, "sellando" las aperturas del suelo y formando una capa delgada de baja permeabilidad. Esto reduce significativamente la capacidad del suelo para absorber agua. Cuando estas precipitaciones rebasan su capacidad de filtración de su suelo, el agua comienza a escurrir pendiente abajo, llevando consigo sus partículas de su suelo

que ya estaban desgastadas. Existiendo un vínculo directo entre las precipitaciones, porcentaje de escorrentía y capacidad de erosión.

Figura 7

Parcela con erosión laminar.



Nota. La figura muestra el arrastre de las partículas desprendidas del suelo uniformemente. Fuente, Taboada (2011).

1.4.4.3 Erosión por surcos

Cisneros et al. (2012) indica que a medida que aumentan los caudales, las alturas y las velocidades del agua, se produce una transición de los flujos laminares a los concentrados. Estos flujos concentrados tienen una mayor capacidad de liberación y transporte que los flujos laminares, por lo que el porcentaje de erosiones mediante este componente aumenta y su flujo pasa de subterráneo a supercrítico. A menudo se habla de la erosión de las hileras como una erosión que puede ser "borrada" por los agricultores con un cultivador después de que se haya producido, una definición que intenta diferenciar entre la erosión de las hileras y la de las cárcavas.

Vásquez et al. (2016) menciona que la escorrentía se concentra en pequeñas ondulaciones del suelo, debiéndose a las consecuencias de las condiciones de su pendiente, suelo y cubierta vegetal, el agua se desplaza en su misma dirección de su pendiente, lo que provoca un removimiento, conducción y eventual transporte de sus partículas de este suelo para formar "zanjas" o "arrugas".

En esta investigación nos adherimos al concepto de Vásquez et al. (2016) puesto que nuestra región en estudio se distingue por exhibir una topografía variable (ondulado y accidentado), donde las precipitaciones son altas y cuyo flujo concentrado es constante, la cual con el pasar el tiempo van abriendo surcos.

Figura 8

División espacial de una cuenca.



Nota. La figura muestra el desgaste del suelo producido por la concentración del agua por escorrentía formando canales. Fuente, Taboada (2011).

1.4.4.4 Erosión en cárcavas

Cisneros et al. (2012) indica que se denominan barrancos o zanjas, consta en una expresión más perceptible y atractiva en su trascurso de erosión. Provocadas por la acción del agua que ha escurrido sobre la superficie tras alcanzar un determinado caudal y velocidad, las cárcavas se consideran un tipo de erosión, resultando ser imposible eliminada por el cultivo.

Vásquez et al. (2016) indica que cuando se forman pequeñas zanjas en la superficie del terreno, la escorrentía sigue arrastrando la tierra hacia la zanja o el fondo, lo que provoca un desprendimiento en la ladera, que hace que la zanja crezca cada vez más y se convierta en una verdadera zanja o barranco.

Figura 9

Ladera con cárcavas en pleno desarrollo.



Nota. La figura muestra el vaciado de las partículas del suelo por un flujo concentrado de fuertes precipitaciones. Fuente, Taboada (2011).

1.4.5. Consecuencias de la erosión hídrica

De Regoyos (2003) indica que esta erosión se da en la zona donde se manifiesta en el mismo lugar, como si fuera una erosión difusa, además estos impactos se generan en zonas donde son mayores potencialmente que los efectos que se dan en la productividad. Se generan costos que son financiados por los agricultores, produciéndose pérdidas en el abandono de los cultivos o en los rendimientos. Los agricultores generalmente no perciben el problema dado que se enmascara mediante la tecnología, surge el costo de la productividad, de las materias primas. Así mismo, las labores que se suscitan del cultivo borran los rasgos que ha generado la erosión como son las cárcavas y los regueros. Esto da de que hablar cuando se intensifican la producción agrícola generando problemas al ambiente.

Los costos también son financiados por las entidades locales que realizan la limpieza y la conservación de las carreteras que es afectado por las inundaciones y la sedimentación. Estos impactos generados son de la zona de origen y de zonas colindantes, es por ello que se debe controlar estos lugares dado que se generaría graves impactos. (p.4).

1.5. MÉTODOS PARA DETERMINAR LA EROSIÓN HÍDRICA

Pando et al. (2003) afirma que esta apreciación y simulación de la erosión de la superficie pueden determinarse por métodos directos y métodos indirectos, la cual dependerá de la decisión y precisión con la que se quiera representar la pérdida de suelo.

1.5.1. Métodos cualitativos

Mozombite (2018) cita a Moreira (1991) y García (2006) quien refiere que las técnicas cualitativas de estimación de la erosión hídrica utilizan adjetivos ordinales que tienen en cuenta diferentes características, en lugar de una evaluación numérica cuantitativa del fenómeno natural. Entre las tecnologías cualitativas, destacan la geodesia de unidades semejantes en relación con las principales medidas que rigen su procesamiento de erosión (erosionabilidad, suelo, selva, topografía) y la atribución de mercados cuantificados más y más subjetivos. El estado real de la erosión puede determinarse contrastando las observaciones por teledetección con las observaciones sobre el terreno. (p. 7).

1.5.2. Métodos cuantitativos

Mozombite (2018) cita a Pizarro (1998) quien afirma que definir cuantitativamente el aumento de pérdida en esta superficie debida a su erosión hídrica, siendo un elemento importante de estimación, con referencia a la escala de daños en una cuenca hidrográfica. Los modelos cuantitativos brindan una evaluación numérica de la erosión y permiten realizar una valoración, ya sea directa o indirecta. (p. 8).

1.5.2.1 Evaluación directa

Mozombite (2018) cita a Hudson (1997) quien indica los métodos cuantitativos determinan la erosión mediante mediciones directas (por ejemplo, mediciones de la cuenca, mediciones de la oleada de agua y sedimentaciones, perfilaciones de micro topografía, estacas, agujas de erosiones, varillas), estimación in situ mediante pruebas (simuladores de precipitaciones, zonas de erosión) o mediante la medición de medidas de sedimentaciones y suelos. (p. 9).

1.5.2.2 Evaluación indirecta: modelos de erosión paramétricos

Mozombite (2018) cita a De Regoyos (2003) quien indica, los métodos indirectos calculan sus pérdidas de suelo y pueden dividirse en enfoques de determinación y por parámetros. El primero tiene un avance las leyes de subsistencia de la materia y el carácter y se basa en fórmulas matemáticas para describir los procesos implicados en el modelo. Los modelos paramétricos, en cambio, se fundamentan en la caracterización de amistades estadísticamente explicativas que se consideran esenciales al momento de tener datos razonables.

Geler y Penteado (2015) mencionan que existe modelos como 'MUSLE' en la versión modificada de una formulación, donde en relación al final, que pretende

determinar los parámetros del impacto direccionada en las laderas utilizado para estimar la paridad de sedimentos, realizado durante un evento específico. MUSLE es un modelo empírico que requiere evaluar completamente sus variables y calibrar sus parámetros.

Por otro lado, aunque la USLE estaba destinada a aplicarse a pequeñas pendientes (Slope), la utilización en formas muestra la efectividad del enfoque de escalamiento.

Por lo tanto, USLE se utiliza a menudo en cálculos de erosión, puede usarse solo o integrado en otras formas denominadas 'SWAT' o 'AGNPS'.

Los 'MUSLE' 'RUSLE' y 'USLE' como modelos estuvieron estructurados con el propósito que fueran de universal aplicación. Por lo que, los datos al estar al alcance son vitales para el uso de nivel alto. Está restringido más allá de este país, lo que generalmente influye en su uso en las geografías. Éste se aplica a formas que hacen uso de formulaciones de 'WEPP', 'SWAT' y 'EPIC' que deben tener un considerable esfuerzo que pueda ajustar el modelo de los disponibles datos y ajustar diversas circunstancias del territorio.

Considerar el poder de la precipitación que genera este impacto y su vulnerabilidad del componente, uno es el factor terreno y el otro es la consideración de cobertura del suelo. (p.11).

Figura 10

Clasificación de los modelos según tipo de información que se obtiene.



Nota. La figura muestra los métodos de evaluación para determinar la erosión hídrica. Fuente, (Almorox et al., 1994) citado en Valdez (2014).

1.6. ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO REVISADA (RUSLE)

Flores (2015) cita a Alonso et al. (2007) quien refiere que, la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada consta en una versión revisada de la USLE, con el propio sistema universal, aunque con cambios en la letra de derivar cada factor del modelo. Próspero para pequeñas pendientes, el USLE y sus efectos se han incorporado a las diligencias de modelización de su erosión y traslado de sedimentos en una escala de cuenca. Sus datos de ingreso son reducidos en comparación con varios otros modelos, incluyendo las precipitaciones anuales, las estimaciones de erodabilidad, la información sobre la cubierta del suelo y la topografía. Como resultado, se estiman las pérdidas de suelo promedias por año.

Escobar (2019) cita a Renard et al. (1997) quien menciona que, la RUSLE se desarrolló traspasando las limitaciones de la USLE, utilizando el mismo formato y coeficientes basándose en relaciones empíricas, pero aplicable a una gama más amplia de condiciones y lugares que la USLE original.

El modelo de esta RUSLE fue planteado en un inicio por Wischmeier y Smith, y anunciada en su versión final para su Manual 537 en este Departamento de Agricultura de Estados Unidos (Wischmeier y Smith, 1978). Se basa en un método aplicable en cualquier región, por ello el termino universal tal como se muestra en la ecuación 7.

$$A = R * K * L * S * C * P \dots\dots\dots\text{Ecuación 7}$$

Donde:

A siendo merma de suelo hallada a través de su mecanismo de superficie, representada en unidades selectas por K y períodos seleccionados por R, expresada como **[t/ha-año]**.

R es el coeficiente de precipitación-erosión, que representa el coeficiente de precipitación y escorrentía, y corresponde al dígito de unidades de su índice de precipitación-erosión (EI) por año o etapa considerado. Es la suma anual de la energía de la precipitación (Ec) (correlacionada con la dimensión de las gotas) para cada evento multiplicada por la mayor magnitud de 30 minutos (I30), expresada como **[MJ * mm/ha * h*año]**.

K siendo coeficiente de erosión de su suelo, que describe su vulnerabilidad de su suelo a esta erosión y examina que sus características físicas están

estrechamente conectadas con la tasa de erosión. Mide una cohesión de su suelo contra su desprendimiento y movimiento del suelo a causa de esta consecuencia de esta lluvia y el flujo de agua superficial. El porcentaje de pérdida de su superficie por unidad de EI para un suelo determinado, medida en un terrenal estándar (22,13 metros de longitud, 9% de diferido, labranza continua y barbecho), expresada como $[t * ha * h/MJ * ha * mm]$.

L consta en un coeficiente de longitud del talud, siendo una correlación entre la pérdida de suelo para la longitud de talud específica, así como su pérdida de suelo para su longitud estándar de 22,13 m con parámetros similares de erodabilidad y pendiente de talud, expresada en $[m/m]$.

S es el coeficiente de gradiente del declive, que representa la analogía entre la desventaja de suelo de una incompleto concreta y la pérdida de suelo de otras pendientes con un declive del 9% en circunstancias similares, y define la consecuencia el encorvamiento en cuanto a su pendiente en su pérdida de suelo por dispositivo de la superficie, expresada en $[m/m]$.

C es un coeficiente compuesto de vegetación y gestión, que simboliza la proporción de la merma de suelo entre las zonas con una responsabilidad y una gestión específicas y las zonas similares, pero con tierras en barbecho que se cultivan continuamente, sin unidad de medida.

P es un coeficiente de medida de preservación del suelo que representa la relación entre el deterioro de la superficie en zonas con una cubierta y una gestión específica, así que el laboreo en contorno, el cultivo en franjas y el aterrazamiento, y las zonas aradas en pendiente, sin unidad de medida.

Tabla 5

Dimensiones y unidades de factores del modelo RUSLE.

Símbolo	Dimensión	Unidades métricas
A	$\frac{M}{L^2 * T}$	$\frac{t}{ha * año}$
R	$\frac{L * F * L}{L^2 * T * T}$	$\frac{MJ * mm}{ha * h * año}$
K	$\frac{M * L^2 * T}{L^2 * L * F * L}$	$\frac{t * ha * h}{ha * MJ * mm}$

Nota. Símbolo, dimensiones y unidades métricas de los factores del modelo RUSLE citado en Renard et al. (1997) citado por Joyo (2018).

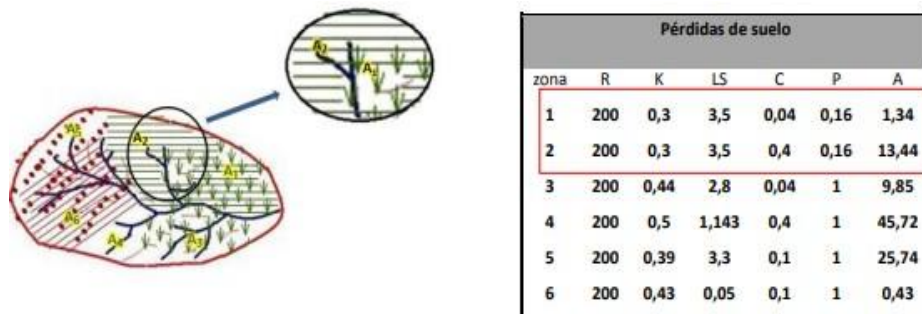
Valdez (2014) cita a Mesén (2009) quien indica que: El producto de los cuatro primeros factores (R, K, L y S) es la pérdida de suelo que se produciría en carencia de vegetación (C) o de prácticas de gestión (P). Sus 2 últimos factores ayudan a minimizar esta pérdida potencial, compensando las secuelas del uso de la tierra, la gestión y las prácticas particulares.

Valdez (2014) cita a Ramírez (2009) quien indica que: La terminología del RKLS establece la repercusión de los factores físicos del entorno que son en gran medida inalterables por el ser humano. Por ello, este producto parcial se denomina cantidad de erosión potencial (PE). Por otro lado, el producto de los parámetros (RKLS), C y P puede utilizarse para calcular la cantidad de erosión real (EA). Este valor depende de la proporción de cobertura natural y del estado de gestión de cada campo de cultivo. Diferentes prácticas de gestión darán lugar a diferentes valores de C y P. Estos valores se pueden tabular de la siguiente manera.

Esta investigación se adhiere a los numerosos aportes realizados utilizando RUSLE en conjunto con Sistemas de Información Geográfica, tal como lo menciona Flores (2015), y los resultados incluidos en sistemas de modelado en cuanto su transporte y erosiones de sedimentos a nivel de cuenca. También ha ayudado a las prácticas conservadoras del suelo al identificar las zonas propensas a la erosión.

Figura 11

Aplicación de la RUSLE.



- 1.- las mayores pérdidas las tiene la zona 4
- 2.- la diferencia en la tasa de pérdidas de suelo entre las zonas 1 y 2 se debe exclusivamente al factor C (cultivos en regadío en zonas 1 y 3 frente almendros abandonados en zonas 2 y 3); idénticos factores clima, tipo de suelo y relieve.
- 3.- Mejorando la cobertura de las zonas 2, 4 y 6 se lograrían reducir la degradación por erosión hídrica considerablemente

Nota. En la figura se muestra el resultado de pérdida de por erosión hídrica aplicando el modelo RUSLE. Fuente: Ibáñez et al. (2012).

1.7. ESTIMACIÓN DE LOS FACTORES DE EROSIÓN HÍDRICA

1.7.1. Factor R o Índice de Erosividad de la Lluvia (MJ*mm/ha*h*año)

Ibáñez et al. (2012) menciona que: Este coeficiente determina la disposición de las precipitaciones para causar una erosión y se calcula comenzando con la energía cinética de los aguaceros. Esta energía es la fuerza capaz de desintegrar el suelo en partículas de forma individual, que luego son conducidas por salpicaduras o escorrentía.

Flores (2015) cita a Ramírez (2010) menciona que: Este coeficiente evalúa el potencial de las precipitaciones para provocar erosión y se cuantifica dependiendo de su energía cinética de esta lluvia. Esta energía cinética es la que facilita su descomposición del suelo en partículas individuales, las cuales luego son trasladadas por salpicaduras o escorrentía.

1.7.1.1 Método de Wischmeier (1959)

Valdez (2014) cita a Elías y Castellvi (2001) quien menciona que, Wischmeier (1959) Desarrolló un método para estimar la erosión utilizando datos de precipitaciones. Descubrió una mejor evaluación de esta pérdida de suelo, obteniéndose desde su producto de esta energía cinética de su tormenta y una mayor intensidad de lluvia que se registró durante 30 minutos. A pesar de su correlación entre esta pérdida de suelo y el volumen total de precipitación o distintos intervalos fue baja, el agente más relacionado con la erosión resultó ser la energía cinética (p. 23).

Wischmeier (1959) menciona que se determina a partir del valor "E", este es el carácter cinético desprendido por las precipitaciones, y del valor "I", que se define como la mayor intensidad de las precipitaciones en intervalos de 30 minutos.

$$EI_{30} = (Ec) \cdot (I_{30}) \dots\dots\dots Ecuación 8$$

Donde:

- EI_{30} : Índice de erosividad para el evento (MJ.mm.ha⁻¹ .h⁻¹).
- Ec : Energía cinética de esta lluvia (MJ. ha⁻¹).
- I_{30} : Intensidad máxima en 30 min continuos de lluvia (mm. h⁻¹).

Con esta suma de todos EI_{30} de cada uno de sus eventos del año, se obtiene el índice de erosividad anual (R).

$$R = \sum_{j=1}^n (EI_{30j}) \dots\dots\dots \text{Ecuación 9}$$

Donde:

- R : Erosividad de la lluvia
- n : Cantidad de eventos en el año
- I₃₀: Índice de erosividad

1.7.1.2 Método de Morgan (1974)

Valdez (2014) cita a Morgan (1997) menciona que: “Es otro método para representar el índice de erosividad, que se representa mediante la fórmula siguiente” (p. 23)

$$R = \frac{I_{30} (9,28 P - 8,383)}{1000} \dots\dots\dots \text{Ecuación 10}$$

Donde:

- I₃₀: 75 mm/h (valor recomendado por Wischmeier).
- P: Precipitación anual media en mm.

1.7.1.3 Método de Foster (1981)

Valdez (2014) cita a Morgan (1997) menciona que: “Es otro método para representar un índice de erosividad, expresándose a través de esta fórmula siguiente” (p. 24).

$$R = \frac{0,276P \cdot I_{30}}{100} \dots\dots\dots \text{Ecuación 11}$$

Donde:

- I₃₀ = 75 mm/h (valor recomendado por Wischmeier).
- P = Precipitación anual media en mm.

1.7.1.4 Componente I30 de la ecuación Morgan y Foster

Flores (2015) cita a Kirby y Morgan (1984) quien menciona que, las investigaciones manifiestan que el volumen promedio de las partículas de lluvia no sigue creciendo con la intensidad de las precipitaciones por encima de los 75 mm/h. Por lo tanto, se debe de utilizar 76,5 milímetros por hora para computar la energía por mecanismo de precipitación. Debe utilizarse un límite prócer de 2 mm/h, siendo límite mínimo de 63,5 milímetros por hora para un mecanismo I30 y valor protegido de 75 milímetros por hora para las áreas de alta precipitación (p. 13).

1.7.1.5 Método de Roose (1995)

Valdez (2014) cita a Morga (1997) quien indica que: “El índice de erosividad representa una precipitación anual promedio, hallándose de esta forma siguiente” (p. 25).

$$R = 1,73 * 0,5 * P \dots\dots\dots\text{Ecuación 12}$$

Donde:

- P : Precipitación al año en ‘mm’.

1.7.1.6 Método del Índice de Fournier modificado

Besteiro y Delgado (2011) citan a Arnoldus (1978) menciona que, su índice de Fournier cambiado se usa para las precipitaciones mensuales y anuales, ayudando a calcular el coeficiente de agresividad de las lluvias. El cálculo se fundamenta en un vínculo existente entre sus precipitaciones mensuales y anuales, y se expresa mediante la siguiente ecuación. (p. 85).

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P} \dots\dots\dots\text{Ecuación 13}$$

Donde:

- IFM : Índice Modificado de Fournier.
- Pi : Precipitación media mensual de este mes en mm.
- P : Precipitación anual media en mm.
- i : Número del mes.

Tabla 6

Clasificación del Índice Modificado de Fourier para Latinoamérica.

Clase	Rango	Clasificación
1	< 60	Muy bajo
2	60 a 90	Bajo
3	90 a 120	Moderado
4	120 a 160	Alto
5	> 160	Muy alto

Nota. Clase, rango y clasificación del Índice Modificado de Fourier de Lobo et al. (2006) citado en Joyo (2018).

Álvarez (2019) cita a Nelson (2015) quien menciona que: “La relación entre el IFM y el factor R mejora tras la repartición potencial, que se ha utilizado en varios estudios. Los valores de dicho factor se pueden obtener a través de la ecuación siguiente” (p. 55).

$$R = 2,56 * IMF^{1,0657} \dots\dots\dots \text{Ecuación 14}$$

1.7.2. Factor K o índice de Erodabilidad del suelo

SENAMHI (2017) menciona que: Es una magnitud empírica en esta susceptibilidad intrínseca de un suelo a esta erosión por el agua, definida mediante sus características intrínsecas de su suelo; este factor se clasifica en un valor de 0 a 1, de tal manera que 0 indica un suelo menos susceptible a la erosión, mientras que el valor de la unidad indica un suelo más propenso a la erosión por el agua. (p. 17).

Valdez (2014) menciona que: dicho factor refleja el impacto de las propiedades de esta capa de suelo en su pérdida de suelo y depende del contenido de filtración y de la tenacidad a la degeneración organizada, que conduce al decrecimiento de la habilidad para infiltrarse, puesto que la superficie se vuelve competente de absorber el agua proporcionada por la superficie, lo que provoca un acrecentamiento en esta escorrentía superficial y de su erosión del agua. Al mismo tiempo, la cabida de penetración, así como su firmeza a su degradación estructural de su extensión son influidas a través de una serie de propiedades de un territorio, siendo consecuencia de su estructura estable y bien desarrollada del suelo creada por la presencia moderada de óxidos de hierro, arcillas y materias orgánicas (p. 27).

Este factor K necesita de sus propiedades de suelo como configuraciones, litificación de su superficie, texturas y consistencia de sus agregados, por lo que es susceptible de sufrir pérdidas por erosión del suelo, concepto al que se adhiere Valdez (2014) esta investigación.

Tabla 7
Calificación del factor materia orgánica.

Clase	% MO	Calificación
Muy bajo	< 1%	1
Bajo	1-1,5%	2
Medio	1,5-2,5%	3
Alto	2,5-6%	4
Muy alto	> 6%	5

Nota. Clase, %MO y su clasificación de IDEAM (1999) citado en Flores (2015).

Tabla 8

Clase de permeabilidad de acuerdo a textura (equivalencia m/día).

Clase de permeabilidad	USDA (1983) Textura	Rawis et al. (1982) Kfs (m día-1)	Hudson (1982) Kfs (m día-1)
1 (rápida y muy rápida)	Arenosa	>1.463	>3
2 (moderada a rápida)	Arenosa franca, franco arenoso	0,488 – 1,463	1,5 - 3
3 (moderada)	Franca, franco limoso, limosa	0,122 – 0,488	0,48 – 1,5
4 (lenta a moderada)	Franco arcillo arenoso, franco arcilloso	0,049 – 0,122	0,12 – 0,48
5 (lenta)	Franco arcillo limosa, arcillo arenosa	0,024 – 0,049	0,03 – 0,120
6 (muy lenta)	Arcillosa arcillo limosa	<0,024	<0,03

Nota. Equivalencias de la permeabilidad conforme a la textura del Manual de suelos N° 430 (USDA, 1983) citado en Flores (2015).

Tabla 9

Parámetros de estructura de suelo a profundidades de 15 a 18 cm superficiales.

Tipo de estructura	USDA (1983)
1	Granular y migajosa muy fina (< 1 mm)
2	Granular y migajosa fina (1 – 2 mm)
3	Granular y migajosa media (2 – 5 mm) y granular grosera (5 – 10 mm)
4	Granular y prismática muy grosera y columnar (> 10 mm)

Nota. Clase de estructura del suelo del Manual de suelos N° 430 (USDA, 1983) citado en Flores (2015).

Gaitán et al. (2017) menciona que: para la adquisición del factor K, la metodología inicial plantea el empleo del nomograma de erodabilidad (Wischmeier et al., 1971) que toma en cuenta el porcentaje de limo más arena fina, arena, materias orgánicas, estructura y permeabilidades de su horizonte superficial del suelo. Se fundamenta en una fórmula, elaborada con datos recolectados en cuanto sus parcelas de erosiones que se encontraron en Estados Unidos.

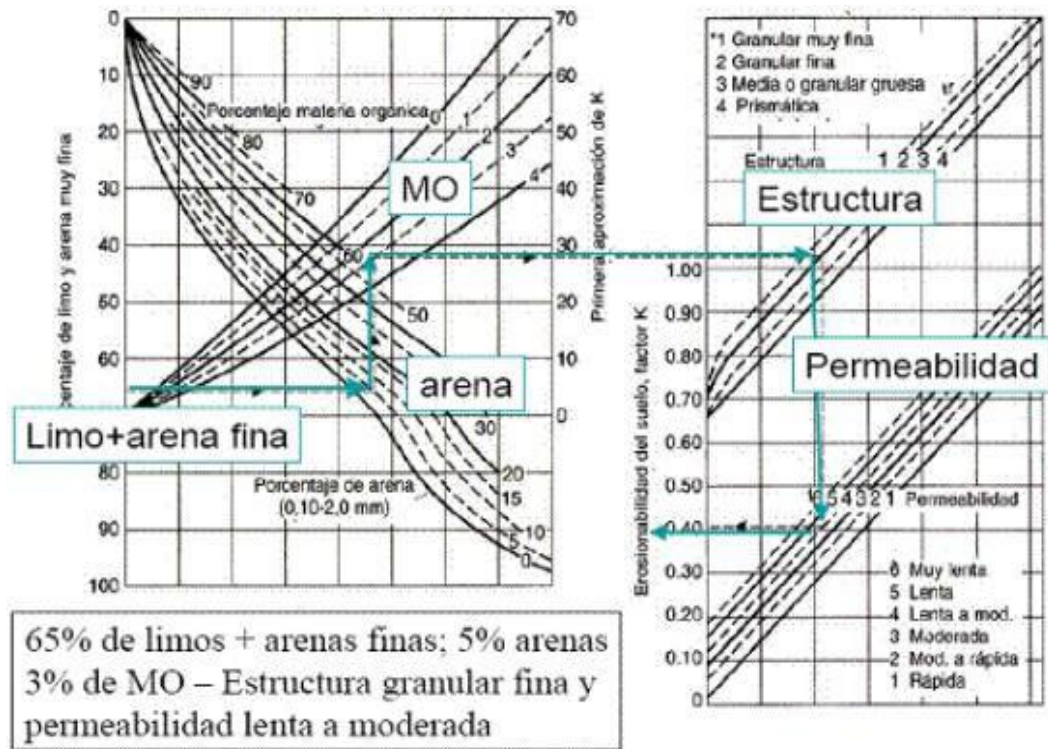
$$100 K = 0,1317 * \left[2,1 * \left(\frac{M^{1,14}}{10000} \right) * (12 - a) + 3,25 * (b - 2) + 2,5 * (c - 3) \right] \text{..Ecuación 15}$$

Donde:

- $M : (\% \text{ limo} + \% \text{ arena muy fina}) * (100 - \% \text{ arcilla})$
- $a : \text{Materia orgánica}$
- $b : \text{Clase de estructura}$
- $c : \text{Clase de permeabilidad}$

Figura 12

Nomograma de Wischmeier para el cálculo del factor de erodabilidad del suelo (K).



Nota. En la figura se muestra las características edáficas tales como la textura, estructura y el grado de permeabilidad del agua para determinar el factor K. Fuente. (Foster et al., 1981) citado por (Gaitán et al., 2017).

Tabla 10

Niveles de erodabilidad según USDA (1962).

Valor de K ($t \cdot ha \cdot h / ha \cdot MJ \cdot mm$)	Clasificación
<0,0775	Muy poco erodable
0,0775 – 0,1680	Débilmente erodable
0,1680 – 0,3230	Medianamente erodable
0,3230 – 0,6784	Fuertemente erodable
0,6784 - 1	Extremadamente erodable

Nota. Valores del factor K de Amézquita (1990) citado en Flores (2015).

1.7.3. Factor LS o longitud y gradiente de la pendiente

Escobar (2019) cita a Renard et al. (1997) quien menciona que:

El efecto combinado de la distancia de la pendiente (L) y de la inclinación de la pendiente (S), igualmente conocido como elemento topográfico (LS), caracteriza el prototipo de terreno en el que tiene lugar el proceso de pérdida de suelo, en función de la inclinación y la longitud de la pendiente. También proporciona información sobre la forma de la pendiente. Los equivalentes autores señalan que el conocimiento de la topografía del paisaje puede ayudar a identificar las vías preferidas del flujo de agua y la variación espacial de las propiedades del suelo. (p. 13).

Flores (2015) cita a Ramírez (2010) quien menciona que:

L es el coeficiente de longitud de la pendiente, que simboliza la consecuencia sobre la erosión. Es la relación entre la pérdida de suelo en la longitud de la pendiente del campo y la longitud de una parcela de 22,13 m con el mismo modelo de suelo y pendiente. El recorrido que va desde el principio de la escorrentía trivial hasta el lugar a lo extenso de la trayectoria del flujo donde éste se concentra o donde se establece el sedimento desprendido, viene a ser la longitud de la pendiente. Favorablemente, los parámetros de desventaja de suelo no son esencialmente sensibles a la longitud de la pendiente, sino las discrepancias de longitud +0-10% insignificantes en la generalidad de las pendientes.

S representa el nivel de movimiento de la pendiente. Simboliza el efecto que realiza pendiente en la erosión. En las pendientes más pronunciadas, la pérdida de suelo incrementa velozmente al mismo tiempo que aumenta la distancia de la pendiente. Se establece como la correlación entre la pérdida de suelo en el campo y la pérdida de suelo en un terreno con una pendiente del 9% con las mismas características. La relación entre la pérdida de suelo y la pendiente se encuentra influenciada por la densidad de la cubierta vegetal y la magnitud de las partículas del suelo.

Por lo general, los factores **L** y **S** se consideran conjuntamente. Para una parcela unitaria de 22,13 m y una pendiente del 9%, el factor LS combinado es 1. Los parámetros de **L** y **S** son relativos y reflejan la probabilidad de erosión de una longitud y una pendiente determinadas para una parcela unitaria de 22,13 m y una pendiente del 9%, siendo algunos valores LS inferiores a 1 y otros superiores a 1:

1.7.3.1 Método de Mintegui (1983)

Valdez (2014) cita a García (2005) quien menciona que:

Este procedimiento fue desarrollado por el Departamento de Hidrología e Hidráulica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de Madrid a través de una conexión con mapas de diferidos. Esta investigación ha permitido crear una tabla que concede claramente el valor del factor LS tomando en cuenta la pendiente. (p. 29).

Tabla 11

Valores del factor LS en función de la pendiente.

Gradiente de Pendiente (%)	Factor LS
0 – 3	0,3
3 - 12	1,5
12 - 18	3,4
18 - 24	5,6
24 - 30	8,7
30 - 60	14,6
60 - 70	20,2
70 - 100	25,2
Más de 100	28,5

Nota. Valores del factor LS tomando en cuenta la el gradiente de pendiente mediante el Método Mintegui (1993), citado por Valdez (2014).

1.7.3.2 Metodología de Renard et al. (1997)

Joyo (2018) cita a Renard et al. (1997), quien menciona que: “Para determinar el factor LS se emplean las fórmulas que están establecidas en RUSLE” (p. 29).

a. El factor L

Donde λ es la longitud del talud (m), m es el índice de longitud del talud y β es el ángulo del talud. El recorrido que va desde el punto donde inicia el flujo superficial hasta la zona en donde empieza la sedimentación o la escorrentía fluye hacia un canal delimitado, es la longitud de la pendiente (Joyo, 2018).

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,13}\right)^m \dots\dots\dots \text{Ecuación 16}$$

$$m = \frac{F}{(1+F)} \dots\dots\dots \text{Ecuación 17}$$

$$F = \frac{\left(\frac{\sin\beta}{0,0896}\right)}{3(\sin\beta)^{0,8}+0,56} \dots\dots\dots \text{Ecuación 18}$$

Este factor con la zona de drenaje aportadora (Desmet y Govers, 1996) citado por (Joyo, 2008).

$$L_{(i,j)} = \frac{(A_{(i,j)}+D^2)^{m+1}-A_{(i,j)}^{m+1}}{X^m \cdot D^{m+2} \cdot (22,3)^m} \dots\dots\dots \text{Ecuación 19}$$

Donde A (i, j) [m] es la zona aportadora unitaria al ingreso de un pixel (celda), D es el tamaño del pixel y X es el factor de corrección de forma.

b. El factor S

El ángulo β se define como el ángulo descompuesto en todos los subgrids en el sentido de mayor pendiente. (McCOOL et al., 1989) citado por (Flores, 2015).

$$S_{(i,j)} = \begin{cases} 10,8\sin\beta_{(i,j)} + 0,03 & \text{si } \tan\beta_{(i,j)} < 0,09 \\ 16,8\sin\beta_{(i,j)} - 0,5 & \text{si } \tan\beta_{(i,j)} \geq 0,09 \end{cases} \dots\dots\dots \text{Ecuación 20}$$

Flores (2015) cita a (Velásquez, 2008) quien menciona que se debe calcular en el Ráster Calculator de ArcGIS 10.2.2, considerando que el ángulo debe ser pasado a radianes, para luego pasar a multiplicarse con los otros componentes de las ecuaciones". (p. 25).

1.7.4. Factor C o de cobertura vegetal

SENAMHI (2017) cita a (González, 1991) afirma que, el revestimiento vegetal es un componente natural que se encarga de proteger al suelo de las fuerzas erosivas de la lluvia y puede examinar la tasa de escorrentía superficial. Los trascendentales factores que inspeccionan la cobertura vegetal son el dosel, la superficie de la vegetación, el uso del suelo, la rugosidad del área y la saturación del suelo. Esta compleja interacción de componentes hace que la estimación sea difícil y costosa.

Flores (2015) cita a (Velásquez, 2008) menciona que el factor C se utiliza para mostrar el impacto de las actividades de cultivo y gestión en los índices de erosión. Es comúnmente empleado para contrastar los efectos relativos de las diversas opciones de gestión en los planes conservativos. Además, se utiliza para determinar cómo los planes de conservación afectan a las pérdidas medias

anuales, y cómo las pérdidas potenciales de suelo serán se distribuiría).

Tabla 12

Valores de “C” según el uso de tierra.

Descripción	Factor C
Bosque y selva nublada	≤ 0,1
Bosque, cultivos y pastizales	0,1 – 0,2
Matorrales y pastizales	0,2 – 0,3
Cultivos y pastoreo	0,3 – 0,4
Cultivos y arbustales	0,4 – 0,5
Vegetación escasa	0,5 – 0,6
Vegetación semiárida y terrenos y cultivos	0,6 – 0,9
Suelo desnudo	≤ 0,9

Nota. La tabla muestra los valores del factor conforme al cultivo y practica del suelo.

Fuente: Wischmeier y Smith (1978) citado por Flores (2015).

1.7.5. Factor P o de prácticas de conservación de suelos

Nakaya (2018) cita a (Gonzales, 1991) quien menciona que, para cortar líneas de escurrimiento, la vegetación se planta en franjas, terrazas o a lo largo de curvas de nivel. Este último componente del RUSLE refleja el impacto de estas prácticas culturales en las tasas de erosión.

Joyo (2018) cita a (INETER, 2005)) quien menciona que, el factor P muestra cómo las prácticas óptimas como el contorno o el cultivo con bandas tienen un impacto. Las tablas se pueden utilizar para determinar su valor, que se basa en la pendiente del suelo. Los parámetros P están entre 0 y 1. El factor P se calcula a partir de valores de ensayos experimentales y el impacto de integrar estrategias de conservación del suelo).

Tabla 13

Valores de "P" para los cultivos en contorno y su máxima longitud aceptada entre obras.

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

Nota. Valores para el factor P conforme al gradiente de su pendiente y su máxima longitud de Wischmeier y Smith (1978) citado por Flores (2015).

Tabla 14

Valores del factor de prácticas de conservación "P".

Pendiente (%)	Contorno	Cultivo en franjas	Terraza
0.0 – 7.0	0,55	0,27	0,10
7,0 – 11,3	0,60	0,30	0,12
11,3 – 17,6	0,80	0,40	0,16
17,6 – 26,8	0,90	0,45	0,18
26,8 >	1,00	0,50	0,20

Nota. Valores del factor P conforme a las prácticas de conservación del suelo de Kim (2006) citando en SENAMHI (2017).

Tabla 15

Valores de "P" para barreras con la distancia máxima entre obra.

Gradiente de pendiente (%)	Barreras vivas P	Barreras muertas P	Distancia (m)
1 -2	0,50	-	40
3 - 5	0,40	-	33
6 - 8	0,40	-	30
9 - 12	0,50	-	25
13 - 16	0,55	0,60	15
17 - 20	0,60	0,65	12
21 - 25	0,65	0,70	10
26 - 30	0,70	0,75	9
31 - 35	0,75	0,80	9

Nota. Valores del factor P conforme a las barreras vivas o muertas de Wischmeier y Smith (1978) citado por Flores (2015).

1.7.6. Pérdida de suelo (A)

Talavera y Blanco (2006) citan a (Hudson, 1973) mencionan que, las pérdidas tolerables o grados tolerables de erosión, podrían ser una herramienta importante en el reconocimiento de dificultades erosivas y en la elección de métodos de control para disminuir las pérdidas. La pérdida de suelo aceptable varía según las características del suelo. Por ejemplo, en suelos profundos con una fertilidad uniforme, una pérdida de 25 milímetros en 30 años es significativamente menos crítica que en suelos superficiales sobre roca dura. En estos últimos casos, el límite máximo de pérdida rara vez supera 12,5 ton/ha-año y, a menudo, es menor.

Flores (2015) cita a (Ramos, 2001) quien menciona que el límite de erosión admisible, que se fija en 10 a 12 t/ha-año, puede alcanzar las 25 toneladas en zonas húmedas, conforme con las normas internacionales. Por encima de este punto, la preservación del suelo no está garantizada, ya que el deterioro del suelo supera la síntesis del suelo).

Tabla 16

Clasificación de los niveles de intensidad de pérdida de suelo.

Intensidad de amenaza	Pérdida de suelo (t/ha-año)
Baja	Menor a 5
Moderada	5 - 25
Media	25 - 50
Alta	50 - 100
Muy alta	100 - 200
Critica	Mas de 200

Nota. Se muestra los valores de perdida de suelo conforme a la intensidad de amenaza del FAO; UNESCO; PNUMA (1980) citado por Joyo (2018).

1.8. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Sosa y Martínez (2009) mencionan que, aunque no existe una definición absoluta para ello, se puede describir como un conjunto de recursos que facilitan el procesamiento de información de datos espaciales utilizados para tomar decisiones sobre una determinada área del planeta o también para obtener una visión general de un espacio basado en información contenida en un banco de datos digitales.

Vásquez et al. (2016) indica que: SIG es una colección de instrumentos que admite y conecta varios elementos (usuarios, hardware, software y procesos), permitiendo el ordenamiento, el acopio, manejo, evaluación y modelado de cantidades considerables de datos del mundo real referenciados espacialmente. Esto permite la incorporación de factores socioculturales, económicos y ambientales, lo que permite tomar decisiones de manera más efectiva. (p. 629).

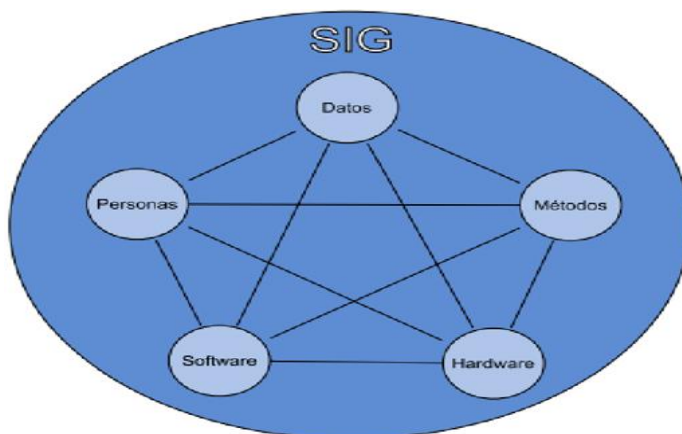
1.8.1. Componentes de un sistema de información geográfica

Olaya (2014) menciona que: “Una manera de comprender el sistema SIG es viéndolo como un conjunto de subsistemas, cada uno con responsabilidades específicas”. Comúnmente, se mencionan los subsistemas principales:

- ✓ **Datos**, son los elementos esenciales de las operaciones del SIG, en específico estos comprenden información geográfica importante para la existencia básica del SIG.
- ✓ **Método**, grupo de enfoques y formulaciones para manejar datos.
- ✓ **El software**, para usar los datos y las estrategias mencionadas, necesita un programa de computadora.
- ✓ **El hardware**, los requisitos informáticos del sistema.
- ✓ **Personas**, el software del sistema SIG, que es el motor, es creado y utilizado por la gente.

Figura 13

Elementos que forman el sistema SIG.



Nota. La figura muestra los subsistemas importantes para el SIG. Fuente: Olaya (2014).

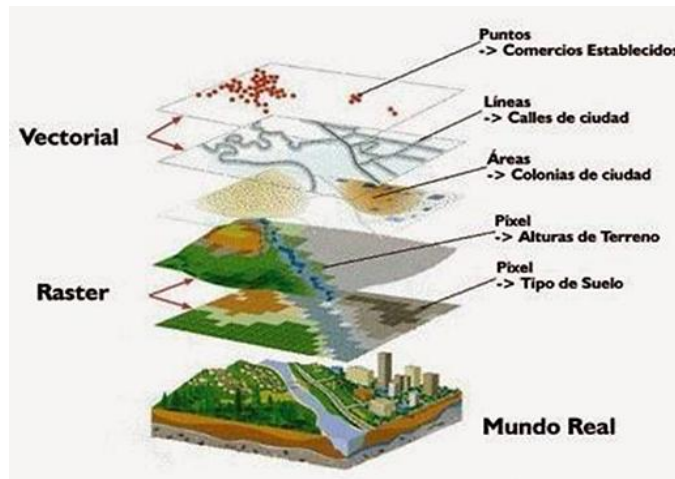
1.8.2. Modelos de datos espaciales de un SIG

Olaya (2014) menciona que los datos SIG (Carreteras, uso de la tierra, elevaciones) son objetos del mundo real que retratan. Se pueden utilizar dos

abstracciones para categorizar objetos del mundo real: discretos (como un domicilio individual) y continuos (como la proporción de aguacero que cae). Un SIG puede almacenar datos de una de dos maneras: vectorial y ráster.

Figura 14

Modelo de datos ráster y vectorial.



Nota. La figura muestra la representación de los datos espaciales. Fuente: Achuy (2006).

1.8.2.1 Modelo vectorial

Valdez (2014) cita a Skidmore (2002) quien menciona, los datos posicionales se abstraen en forma de formas de coordenadas en la estructura del vector de datos. Los puntos, las líneas y los polígonos constituyen las unidades de información espacial fundamentales en los datos vectoriales. Dicho simplemente, cada una de estas unidades consiste en una secuencia de uno o más puntos coordinados. (p. 37).

Figura 15

Primitivas geométricas en el modelo de representación vectorial.

Primitiva	Entidad espacial	Representación	Atributos															
Puntos			<table border="1"> <thead> <tr> <th>ID</th> <th>Altura</th> <th>Diámetro Normal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>17.5</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>22</td> <td>45.6</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>15</td> <td>27.2</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>19.7</td> <td>36.1</td> </tr> </tbody> </table>	ID	Altura	Diámetro Normal	1	17.5	35	2	22	45.6	3	15	27.2	4	19.7	36.1
ID	Altura	Diámetro Normal																
1	17.5	35																
2	22	45.6																
3	15	27.2																
4	19.7	36.1																
Líneas			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ancho máx(m)</th> <th>Calado máx(m)</th> <th>Longitud (km)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>4.3</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>6.3</td> <td>3.9</td> <td>35</td> </tr> </tbody> </table>	Ancho máx(m)	Calado máx(m)	Longitud (km)	15	4.3	35	6.3	3.9	35						
Ancho máx(m)	Calado máx(m)	Longitud (km)																
15	4.3	35																
6.3	3.9	35																
Polígonos			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Superficie(km)²</th> <th>Profundidad máx(m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>31494</td> <td>1637</td> </tr> </tbody> </table>	Superficie(km) ²	Profundidad máx(m)	31494	1637											
Superficie(km) ²	Profundidad máx(m)																	
31494	1637																	

Nota. La figura muestra la representación vectorial de los SIG. Fuente: Olaya (2014).

1.8.2.2 Modelo Ráster

Valdez (2014) cita a Achuy (2006) quien refiere que:

Es una configuración de datos empleada en sistemas de información geográfica para representar información espacial en forma de una malla de celdas o píxeles, cada una con un valor específico. Esta representación es útil para modelar fenómenos que constante variación en el espacio, como la topografía o la precipitación. Cada celda en el modelo ráster contiene un dato que puede representar atributos geográficos, como elevación, temperatura o cobertura del suelo, y permite analizar y visualizar datos espaciales de manera detallada. (p. 72).

Figura 16

Celdas de una malla ráster con sus valores asociados.

132.90	133.90	135.60	139.20	140.60	144.40
126.80	128.50	131.40	133.90	135.90	139.90
122.30	124.10	125.80	128.50	131.80	135.60
118.70	119.90	121.90	124.30	128.20	131.50

Nota. La figura muestra las celdas de un ráster con sus respectivos valores. Fuente: Olaya (2014).

1.8.3. Álgebra de mapas

Olaya (2014) menciona que: Dana Tomlin implantó la división primaria de actividades y desarrolló el campo, dando lugar a la conceptualización vigente de álgebra de mapas y sentando las bases para cómo la evaluación de capas geográficas ráster se realiza a menudo hoy en día. (p. 338).

Por esta razón, en el campo de los SIG, el álgebra de mapas se considera una colección de métodos analíticos o de geoprocetamiento creados en una serie de capas ráster o vectoriales para producir información derivada.

Como resultado, un grupo de variables (los mapas), expresiones y funciones conforman el álgebra de los mapas. Estos componentes, cuando se combinan con la sintaxis correcta, posibilitan la creación de nuevos resultados geográficos.

Cuando se utiliza la siguiente fórmula, el modelo RUSLE representa el uso del álgebra de mapas de una manera sencilla:

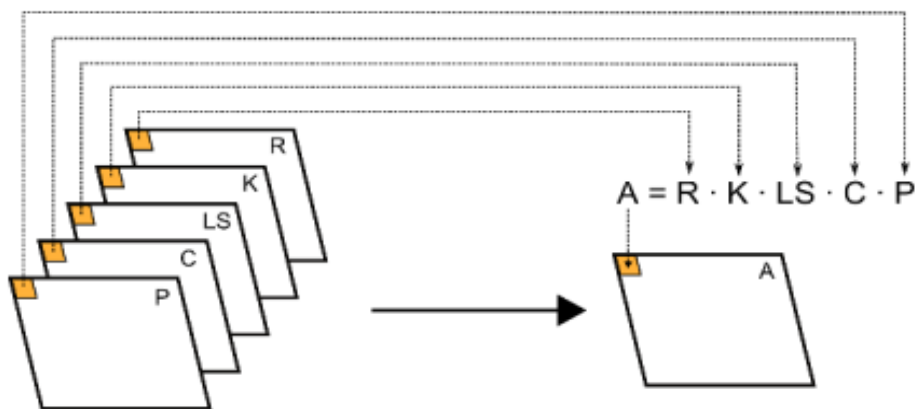
$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \dots\dots\dots\text{Ecuación 21}$$

Donde los parámetros R, K, LS, C y P reflejan el impacto de varios elementos (agresividad a la lluvia, tipo de suelo, topografía, uso del suelo y técnicas conservativas) sobre estas pérdidas, y el factor A simboliza las pérdidas globales en ton/ha-año. Por lo tanto, la RUSLE proporciona un método sencillo que incorpora cinco variables, las cuales pueden ser recolectadas en las fases rasterizadas respectivas.

La fórmula algebraica RUSLE se muestra entonces en la figura 1.17 como una serie de capas, que se pueden operar celda por celda con las capas que contienen las variables relevantes para producir una nueva capa que tiene los valores calculados.

Figura 17

Aplicación del Álgebra de Mapas.



Nota. La figura muestra la RUSLE en un SIG para determinar la pérdida de suelo. Fuente: (Olaya 2014).

1.8.4. Ventajas y Requerimientos de un SIG

Según (Núñez y Bes, 2000) citado en Joyo (2018), las ventajas y requerimientos claves de un SIG se presentan a continuación:

- Con un mínimo esfuerzo financiero y de tiempo, el SIG permite integrar una gama de fuentes, incluidas imágenes aéreas, imágenes satelitales, datos estadísticos, bases de datos tradicionales y características gráficas.
- Los modelos conceptuales pueden ser evaluados de manera rápida y repetitiva, lo que facilita su análisis.

- La evaluación de las transformaciones puede realizarse con eficacia. Los procesos de recopilación, procesamiento, análisis, modelización y toma de decisiones de la información se integran en un único contexto para el flujo de información, siendo capaces de gestionar bases de datos particularmente muy amplias y heterogéneas.
- Capacidad de las bases de datos para proporcionar información sobre la presencia, ubicación y características de una variedad de objetos espaciales.
- Flexibilidad y adaptación a las distintas necesidades de varios usuarios. Eficiencia en la gestión de consultas y respuestas, maximizando la interactividad del sistema.

1.9. MEDIDAS DE CONTROL DE EROSIÓN

Vásquez et al. (2016) menciona que: “Es un conjunto de estrategias que pretenden resolver los problemas causados por la erosividad de la lluvia y la erodabilidad del suelo. Estas incluyen medidas mecánicas y estructurales, agronómicas y forestales” (p. 37).

1.9.1. Medidas mecánico – estructurales.

Entre las primordiales medidas mecánico - ordenados se pueden indicar las siguientes:

- Zanjas de infiltración.
- Terrazas de banco (absorción).
- Andenes.
- Diques para el control de cárcavas.

1.9.1.1 Zanjas de infiltración

Vásquez et al. (2016) menciona que las acequias de infiltración son canales no degradados elaborados en laderas, que presente la finalidad de percibir el agua que drena, evadiendo procesos de erosión del manto, y permitiendo la infiltración de agua en el suelo. Están construidas perpendicularmente a la pendiente más pronunciada del terreno. Las bocas de estos canales deben ubicarse en un área protegida para impedir la formación de un barranco profundo, y sus fondos deben estar a un nivel distinto de acequias o canales de desvío, con una pendiente recomendada de 1 a 3 0000. Los objetivos principales de estas técnicas son:

- Acrecentar la obtención de pastos, árboles y cultivos. Detener el agua

de escorrentía que llega desde el área superior de la ladera.

- Cancelando su rapidez y posibilitando una infiltración más profunda.
- Incrementar los manantiales y el flujo de agua de ellos en las áreas más bajas.
- Aminorar la erosión hídrica del suelo.
- Reducir la posibilidad de deslizamientos e inundación.

Figura 18

Funcionamiento de las zanjas de infiltración.



Nota. La figura muestra las zanjas de infiltración después de la caída de lluvias en Name, VII Región. Fuente: Pizarro et al. (2004).

1.9.1.2 Terrazas de banco (absorción)

MINAGRI (2014) menciona que son estructuras formadas por una cadena de plataformas o escalones diseñados para ajustar la inclinación del terreno. Este ajuste facilita la absorción del agua y promueve una mayor producción agrícola, contribuyendo así a la sostenibilidad del uso del suelo a largo plazo. Los objetivos principales de esta práctica son:

- La cantidad de tierra que puede utilizarse para el cultivo aumenta y la erosión del suelo está completamente controlada.
- Cualquier planta perenne, incluyendo hierbas y hierbas, se puede cultivar en la colina.
- Se mantiene más agua en el suelo de las terrazas, lo que aumenta la producción agrícola y reduce los gastos de producción de los cultivos en comparación con no utilizar este enfoque. Se disminuye las consecuencias de las sequías que ocurren en el transcurso del crecimiento o desarrollo de las plantas.

Figura 19

Terrazas de banco en plena construcción.



Nota. En la figura se muestra la construcción de las terrazas de banco. Fuente: Vásquez et al. (2016).

1.9.1.3 Andenes

Vásquez et al. (2016) menciona que: En realidad, son terrazas que se construyen en forma de escaleras para reducir la inclinación de las laderas y convertirlas en superficies horizontales. Estas terrazas están detenidas por muros de piedra levemente desviados hacia el interior y están conectadas entre sí a través de una red de canales. Los cultivos se pueden cultivar en plataformas en ambientes secos o húmedos. (p. 41).

Los objetivos principales que se alcanzan con la construcción de un sistema de andenería son:

- Disminución de la pendiente.
- Utilización más eficaz de la ladera para usos útiles.
- Uso eficiente del agua de lluvia o de riego.
- Reducción del ritmo del flujo de agua que fluye a medida que llega a las plataformas de riego.
- Prevenir la erosión del suelo debido al agua.
- Mejor utilización de fertilizantes y otros insumos.
- Mejorar la ecología local.
- Aumentar la capacidad de producción de los suelos de ladera.

Figura 20

Andenes incaicos.



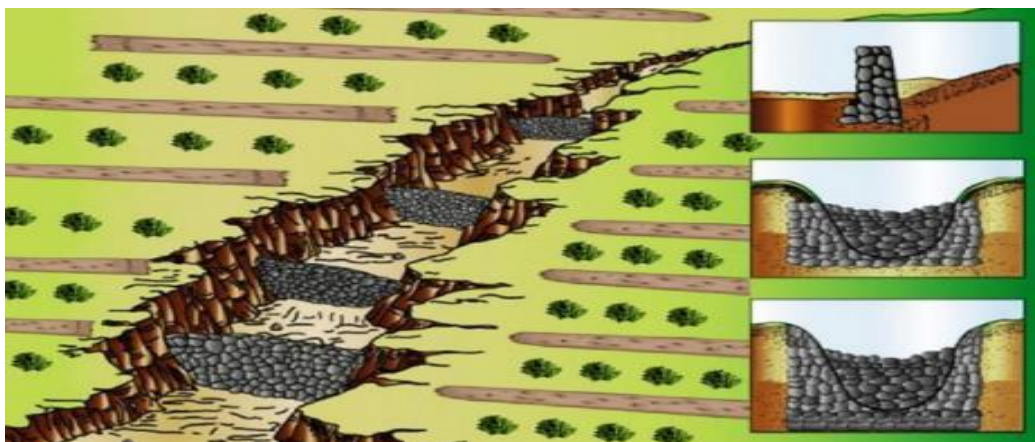
Nota. La figura muestra la manera de cómo construir los andenes. Fuente: Vásquez et al. (2016).

1.9.1.4 Diques para el control de cárcavas

Vásquez et al. (2016) menciona que, si todavía hay escorrentía en la propia cava después de que la ladera ha sido tratada con zanjas de infiltración, reforestación, pastos o terrazas de absorción, el trabajo se realizará a nivel de la cava. Este trabajo consistirá en el levantamiento o colocación de presas, reducidas barreras u obstáculos transversales a la cárcava con el objetivo de detener y ralentizar el agua y fomentar la sedimentación de las partículas que transportan el agua en suspensión. (p. 49)

Figura 21

Diques de piedra, zanjas de infiltración y reforestación para el control de cárcavas.



Nota. La figura muestra la colocación de enrocados para detener y ralentizar el agua. Fuente: Vásquez et al. (2016)

1.9.2. Medidas agronómicas

Vásquez et al. (2016) menciona que las medidas agronómicas son aquellos métodos de manejo del suelo destinados a conservar los recursos. Trabajan principalmente para prevenir la desagregación del suelo y se basan en la selección de las estrategias más adecuadas para el mejoramiento de las cualidades del suelo y la protección contra la lluvia. (p. 37).

Entre las principales prácticas discretas en agronomía se destacan las siguientes:

- Barreras vivas.
- Surcos en contorno.
- Rotación de cultivos.

1.9.2.1 Barreras vivas

Vásquez et al. (2016) menciona hileras simples, dobles o triples de especies vegetales, idealmente de crecimiento perenne y denso, plantadas en curvas a nivel y distancias cercanas, son las barreras vivas. En terrenos con una pendiente inferior al 10%, se aconseja como enfoque adecuado la construcción de barreras vivas. La instalación de barreras debe ir acompañada de técnicas de conservación adicionales como terrazas, surcos de contorno, zanjas o zanjas de infiltración, entre otras, en terrenos con pendientes superiores al 10%. El tipo de cultivo y la pendiente de la tierra determinarán cuán lejos puede vivir la gente. (p.68).

Los principales objetivos que se alcanzan mediante el uso de barreras vivas son las siguientes:

- Reducen la rapidez de escorrentía.
- Conservan suelo.
- Optimizan la infiltración de agua en el suelo.
- Conforman una alternativa de forraje.
- Funcionan como referencia para el sembrío correcto de cultivos.
- Reducción de costos de instalación.
- Elevada tasa de aprobación entre los agricultores.

Tabla 17

Distanciamiento entre barreras vivas según la pendiente y tipo de cultivo.

Pendiente del terreno (%)	Distanciamiento entre barreras (m)	
	Cultivo limpio	Cultivo denso
2	30 – 35	40 – 50
4	20 – 30	30 – 40
6	15 – 25	26 – 30
8	10 – 20	23 – 26
10	8 – 15	16 – 23
15	7 – 10	12 – 16
20	6 – 8	10 – 12
30	5 – 7	8 – 10
40	4 – 6	6 – 8
50	3 – 5	5 – 6
> 50	< 4	< 5

Nota. La tabla muestra el distanciamiento entre barreras Fuente: Vásquez et al. (2016)

Figura 22

Esquema de una ladera con barreras vivas.



Nota. La figura muestra la las barreras vivas. Fuente: Vásquez et al. (2016).

1.9.2.2 Surcos en contornos

Vásquez et al. (2016) menciona que: Las técnicas de conservación, como el contorneado de surcos, se construyen perpendicularmente a la pendiente más pronunciada del terreno. Este método se aconseja para suelos con pendientes moderadas (menos del 20%); en pendientes más pronunciadas, es posible el

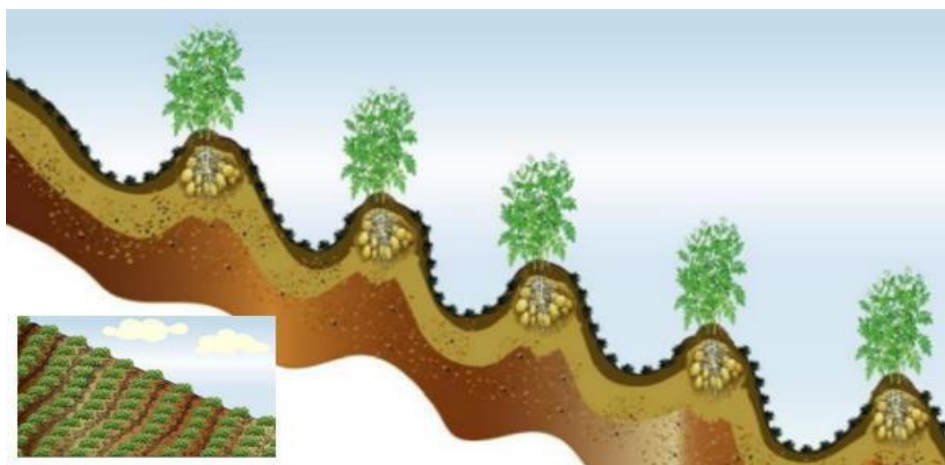
daño por erosión, particularmente durante períodos de fuerte lluvia. (p. 70).

Los objetivos esenciales que se logran con los surcos en contornos son:

- Suponen actividades más simples y de implementación más accesible para la preservación del suelo y el agua.
- Su elaboración no supone un gran aumento de coste sobre el ranurado convencional.
- Es una de las medidas más simples y fáciles para la preservación del agua y la superficie.
- Esta estrategia es más sencilla de aplicar para los agricultores en zonas sin una tradición de conservación, y puede servir de trampolín para la adopción de otras prácticas de control de la erosión más eficaces en el futuro.

Figura 23

Esquema de corte de una ladera con surcos en contorno.



Nota. La figura muestra el cultivo en surcos teniendo en cuenta la pendiente. Fuente: Vásquez et al. (2016).

1.9.2.3 Rotación de cultivos

Calvo (2021) menciona que esta actividad implica sembrar diversos cultivos en el mismo terreno de manera sucesiva, siguiendo un esquema preestablecido.

Los importantes objetivos que se consiguen con la rotación de siembras son:

- Ocupación máxima de la tierra en espacio y tiempo; cobertura permanente (menor peligro de erosión).

- Preservar e impulsar la fertilidad del suelo.
- Contribuir a reducir la prevalencia de patologías y plagas.
- Reducir los efectos climáticos adversos o las fluctuaciones de precios de los bienes.
- Reducir efectos negativos del clima o fluctuación en los precios de productos

1.9.3. Medidas forestales

Vásquez et al. (2016) menciona que las habilidades forestales emplean el desarrollo de las plantas para incrementar el rendimiento de los cultivos e impedir las pérdidas por erosión. Son altamente eficaces en el control tanto de la desagregación de las partículas como de su transporte. (p. 37).

1.9.3.1 Plantaciones forestales

Vásquez et al. (2016) menciona que: Al adoptar medidas apropiadas para el medio ambiente local, es fundamental preservar, mejorar y proteger la cubierta vegetal de las microcuencas, subcuencas y cuencas en su conjunto. La elaboración de zanjas de infiltración debe utilizarse en la medida de lo posible para mejorar y regenerar los pastos y las plantaciones forestales con el objetivo de evitar la erosión del suelo y proporcionar condiciones húmedas para la cubierta vegetal. (p. 147).

Figura 24

Macizos forestales plantados sobre los 3,000 msnm, Chetilla – Cajamarca.



Nota. Plantaciones de pinos radiata en Chetilla-Cajamarca. Fuente: Vásquez et al. (2016).

1.10. MARCO CONCEPTUAL

- ✓ **Cuenca hidrográfica.** Se concreta como el área limitada por una línea término de agua (parte aguas).
- ✓ **Curvas de nivel.** Estas son líneas que unen puntos con la misma altitud.
- ✓ **Pendiente.** La pendiente mide la inclinación del terreno y se calcula como la proporción entre la distancia vertical y la horizontal cuando se sube una rampa. Al multiplicar esta proporción por 100, se obtiene la pendiente en porcentaje.
- ✓ **Topografía variable.** Son los cambios de la superficie terrestre, de valle a montañas.
- ✓ **Sedimentos.** Son arena, arcilla, limo y otras partículas dispersas del suelo que se establecen al final de una porción de agua.
- ✓ **Energía cinética.** Energía que dispone un cuerpo el cual tiene la capacidad de moverse cuando está en reposo a una determinada velocidad.
- ✓ **Intensidad.** Es el aumento de agua (lluvia) por mecanismo de período en cualquier lugar.
- ✓ **Permeabilidad del suelo.** Es la capacidad del suelo para conceder el paso de agua y aire sin modificar su estructura interna.
- ✓ **Estructura del suelo.** Es la manera como están agrupadas las partículas de arena, limo y arcilla.
- ✓ **Textura del suelo.** Se alude al tamaño de las partículas de arena, limo y arcilla.
- ✓ **Infiltración.** Procedimiento donde el agua impregna la superficie del suelo y alcanza sus capas más profundas.
- ✓ **Clima.** Es el estado (calor, frío, lluvioso) más reiterativo de la atmósfera de algún lugar de la superficie terrestre.
- ✓ **Recuperación.** Busca recuperar y mantener la fertilidad fosforada natural de los suelos.
- ✓ **Manejo y conservación.** Consiste en la creación de estructuras físicas para gestionar el suelo y la implementación de prácticas destinadas a mejorar su fertilidad, con el fin de prevenir la erosión y optimizar la producción agrícola.
- ✓ **Excavación.** Es una técnica aplicada cuando el terreno alrededor de un corte debe resistir cargas a una altura mayor que el fondo de la excavación.

CAPÍTULO II

MATERIAL Y MÉTODO

2.1. UBICACIÓN

La investigación se realizó en la subcuenca Tarunca, situada en el interior de la cuenca del río Caracha, distrito Sancos, provincia Huancasancos, departamento de Ayacucho; comprende una extensión 63,12 km² y una altitud que va desde los 3228 m.s.n.m. hasta los 4627 m.s.n.m.

2.1.1. Ubicación política

Políticamente el área de estudio se ubica en:

Departamento: Ayacucho

Provincia: Huancasancos

Distrito: Sancos

2.1.2. Ubicación geográfica y coordenadas UTM

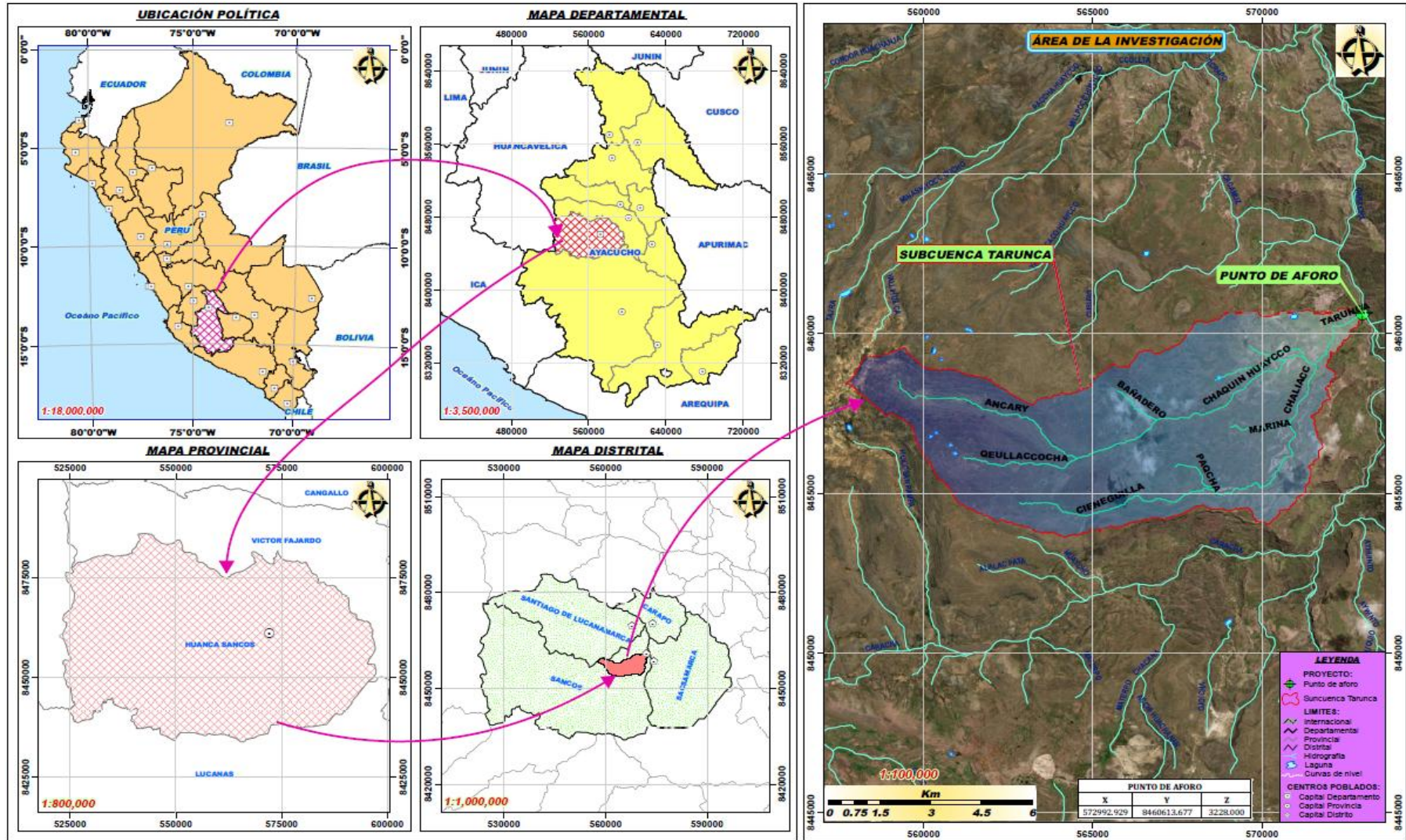
Tabla 18

Ubicación geográfica y coordenadas UTM.

Subcuenca	Coordenadas		Altitud
Tarunca	UTM WGS-84 18S	Geográficas	
Este	566137,510 m	13°57'21,53" S	Más bajo 3228 m.s.n.m.
Norte	8457056,795 m	74°23'15,68" W	Más alto 4672 m.s.n.m.

Figura 25

Ubicación política del área de estudio.



2.1.3. Ubicación hidrográfica

Tabla 19

Ubicación hidrográfica del ámbito de estudio.

Nivel	Nombre de la unidad hidrográfica	Código	Área (Km ²)
Nivel 1	Región Hidrográfica del Atlántico o Amazonas	4	6007483,30
Nivel 2	Cabecera del Amazonas	49	2240156,52
Nivel 3	Cuenca del Ucayali	499	348423,44
Nivel 4	Cuenca del río Pampas	4998	23113,03
Nivel 5	Cuenca del río caracha	49989	4264,96

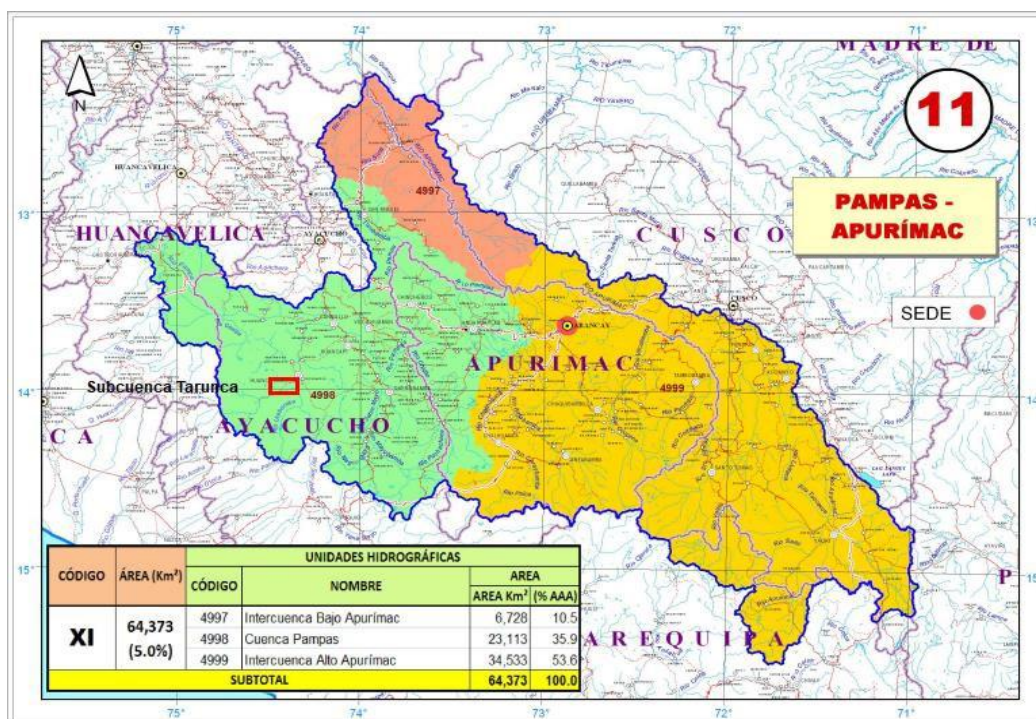
Nota: Fuente, Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2009).

2.1.4. Ubicación administrativa

- ✓ Autoridad Administrativa del agua: XI – Pampas – Apurímac
- ✓ Autoridad Local de Aguas: ALA bajo Apurímac – Pampas

Figura 26

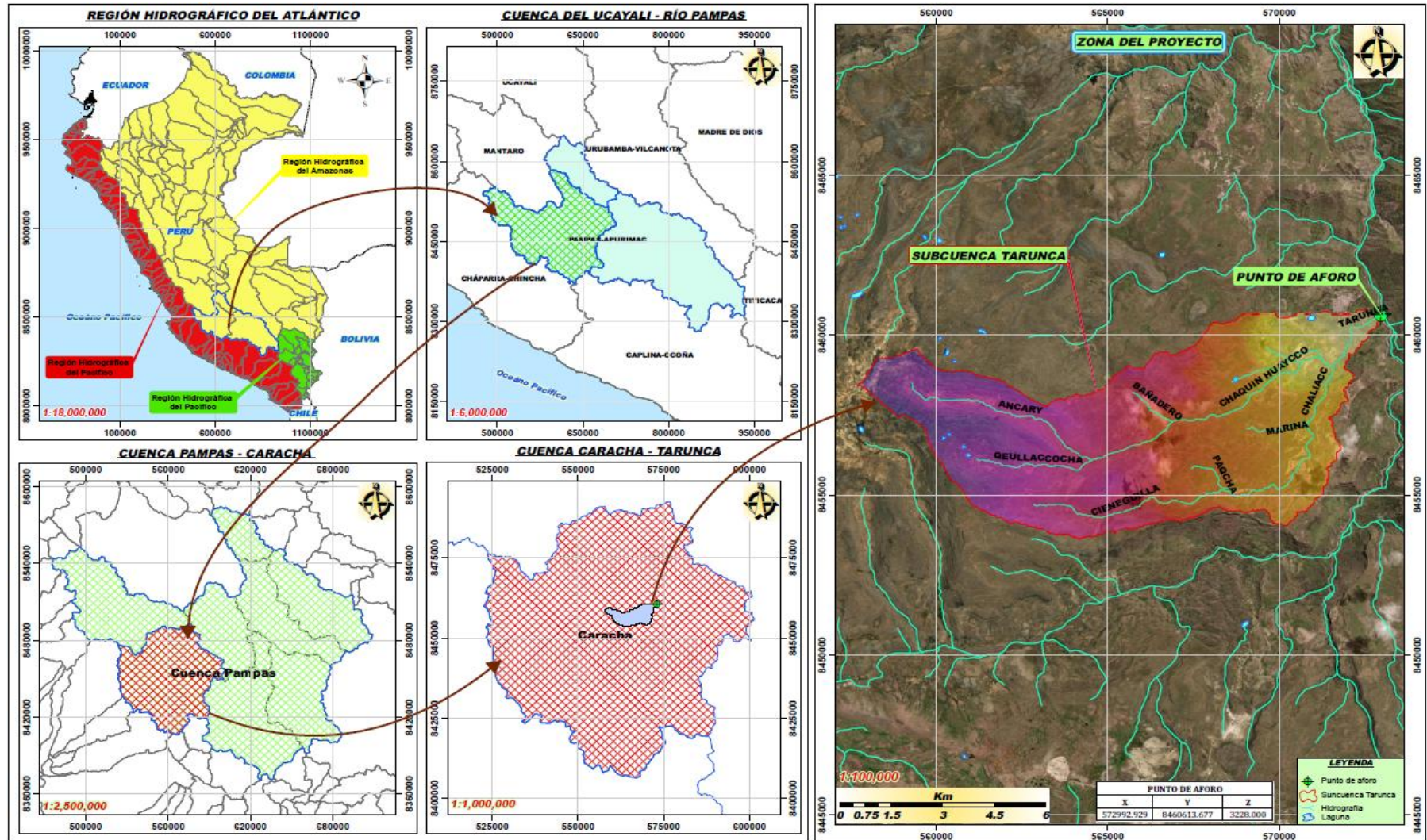
Ubicación administrativa de la subcuenca Tarunca.



Nota. La figura muestra en su extensión total de la cuenca pampas, a la cual pertenece la sub cuenca Tarunca. Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2009).

Figura 27

Ubicación hidrográfica del área de estudio.



2.2. VÍAS DE ACCESO

Se debe seguir la vía Ayacucho – Toccto – Pampa Cangallo – Pomabamba – Sarhua – Portacruz – Sancos, aproximadamente 152 Km de distancia. La vía departamental se encuentra en un regular estado de conservación, cuyo itinerario a recorrer se evidencia en la tabla 20.

Tabla 20

Vía de acceso.

Tramo	Tipo de Vía	Distancia	Hora
Ayacucho-Toccto	Asfaltado	35 km	00:40
Toccto-Pampa Cangallo	Asfaltado	25 km	00:35
Pampa Cangallo-Pomabamba	Asfaltado	40 km	00:55
Pomabamba-Huancasancos	Asfaltado	52 km	1:05

2.3. MATERIALES Y EQUIPOS

2.3.1. Materiales

Materiales de escritorio

- Software ArcGis 10.5
- Extensiones y aplicaciones de ArcGis: ArcHydro 10.5 y Model Builder
- Software Google Earth Pro
- Software ENVI 5.6
- Software de Microsoft Word (proceso de datos de texto).
- Software de Microsoft Excel (proceso de hijas de cálculo y estadísticos).
- Estudio de suelos y el análisis respectivo.
- Información meteorológica (datos de precipitación).
- Carta Nacional Digital.
- Cuaderno.
- Papel bond A4.
- Lapiceros.

2.3.2. Equipos

Equipos utilizados en campo

- GPS GARMIN 64s.
- Flexómetro de 5 m.
- Barreta.
- Pico.
- Pala.
- Pizarra, plumón.
- Bolsas.
- Cámara fotográfica.
- Cuaderno de campo.

Equipos utilizados en gabinete

- Computadora personal (Laptop Hp-Pavilion).
- Impresora.
- Calculadora.

2.3.3. Materiales para recopilación y recolección de datos

2.3.3.1 Ficha de recolección de muestras de suelo

La ficha de recolección de muestras de suelo nos ayudó a recoger información a detalle de los puntos estratégicos ubicados in situ, el cual abarca los criterios:

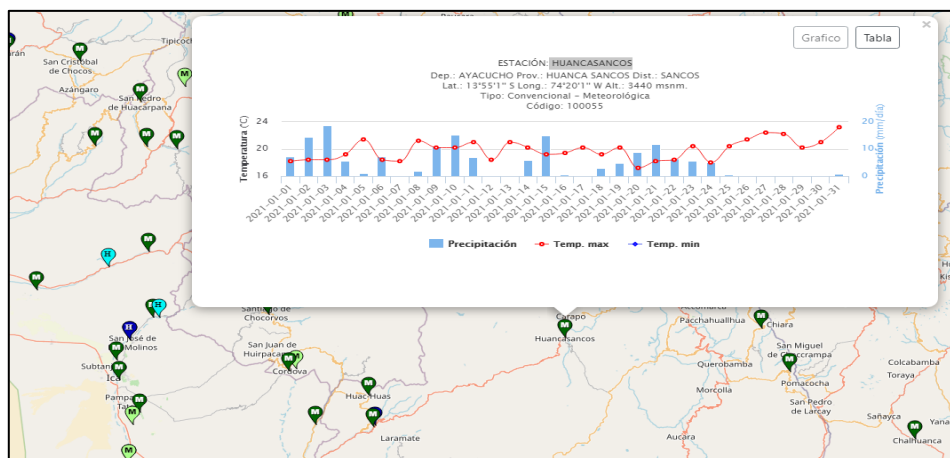
- Datos generales de la región en estudio como el uso principal y la ubicación.
- Data del lugar como las coordenadas, medidas de la calicata.
- Datos de las muestras analizados en laboratorio como las características organolépticas, textura, compactación/consistencia, humedad, etc.

2.3.3.2 Registro de precipitación

En este estudio se utilizó resultados de los chubascos de manera anual y mensual que se tiene de las diferentes estaciones meteorológicas influyentes del lugar, las cuales nos ayudaron a determinar la erosividad de las lluvias, cuyos datos fueron recopiladas del SENAMHI y otros documentos secundarios.

Figura 28

Datos de precipitación.



Nota. La figura muestra las estaciones meteorológicas. Fuente: SENAMHI.

2.3.3.3 Material cartográfico

En este estudio se utilizó los límites departamentales, límites provinciales, límites distritales, centros poblados, etc. en formato shapefile descargados del portal del MINEDU, con dirección web <http://sigmed.minedu.gob.pe/descargas/>.

Figura 29

Carta nacional del Perú.



Nota. La figura muestra el material cartográfico para su respectiva descarga. Fuente: MINEDU.

También se utilizó la información de las cuencas hidrográficas, ríos, lagos, curvas de nivel, etc. en formato shapefile para ello usaremos la web GEO GPS PERÚ con dirección web <https://www.geogpsperu.com/2014/02/descargar-cuencas-hidrograficas-del.htm>

Figura 30

Cuenca hidrográficas del Perú.



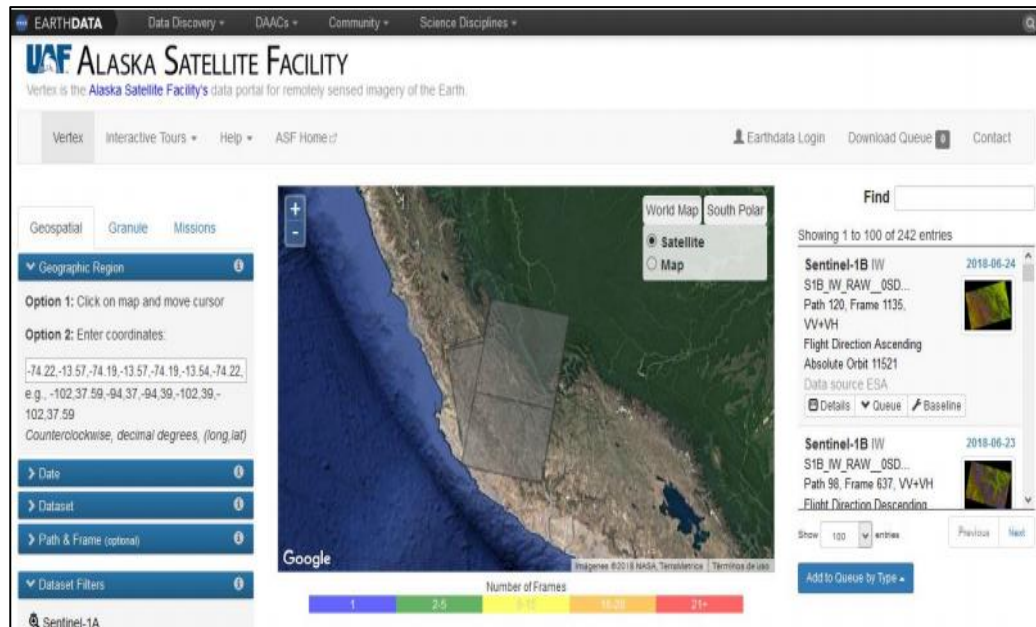
Nota. La figura muestra las cuencas hidrográficas a nivel Perú. Fuente: GEO GPS PERÚ.

2.3.3.4 Material satelital

En esta investigación se utilizaron los Modelos de Elevación Digital (DEM) de 12.5 x 12.5 m del satélite avanzado de observación terrestres – 1 ALOS PALSAR con dirección web <https://vertex.dacc.ast.alaska.edu/>

Figura 31

DEM del ALOS PALSAR.

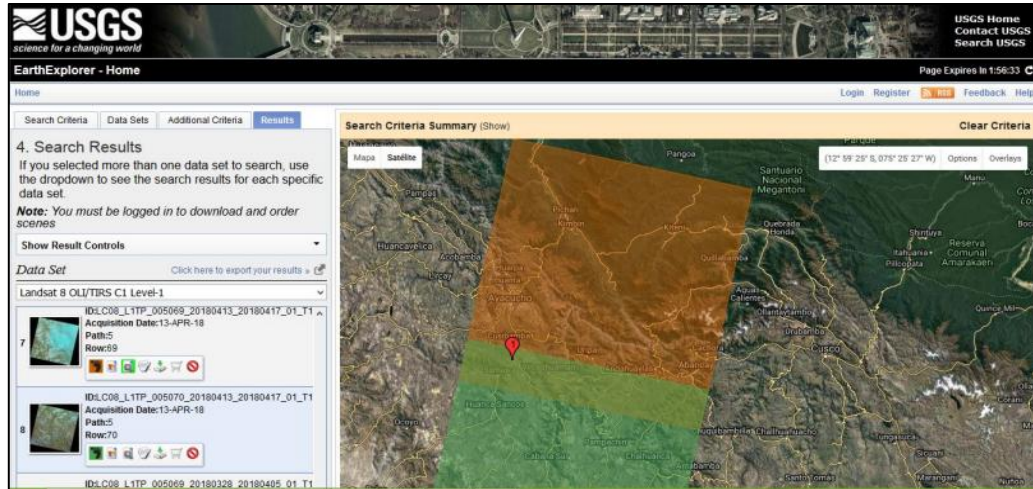


Nota. La figura muestra la página de descarga del Modelo Digital de Elevaciones de 12.5m x 12.5m. Fuente: ALASKA SATELLITE FACILITY.

También se usó el DEM de 30 x 30 m del USGS que opera los satélites Landsat y que proporciona acceso a imágenes actuales e históricas. Con dirección web <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Figura 32

DEM del LANDSAT.



Nota. La figura muestra la página de descarga del Modelo Digital de elevaciones de 30m x 30m. Fuente: USGS.

2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

2.4.1. Técnicas de recolección de datos

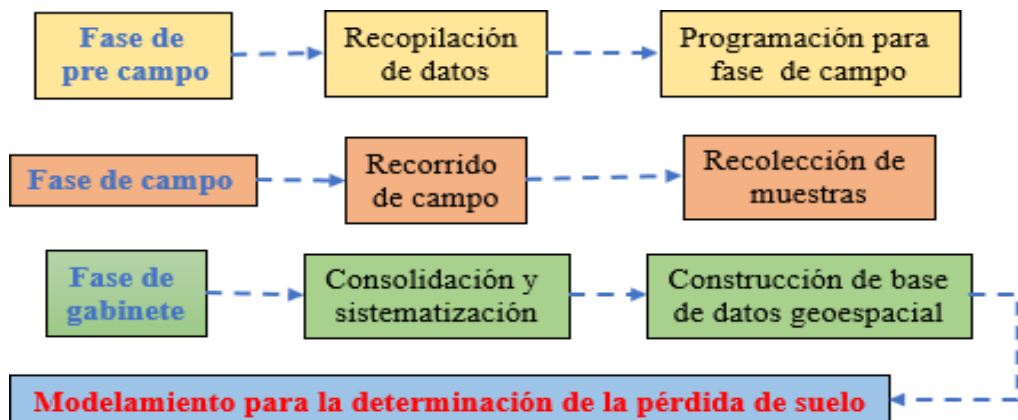
Se empleó el método de la observación, puesto que era necesario conocer la situación en la que se encontraban los suelos de la subcuenca Tarunca y de esta manera se tuvo una apreciación directa de los datos y fenómenos que ocurren en el lugar, tal como Ramos y Bellido (2012) mencionan que la observación es un método que consiste en examinar cuidadosamente un fenómeno, evento, caso o documento, recolectar información y anotarla para su análisis futuro.

2.4.2. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

Esta investigación tiene tres fases de acuerdo al siguiente esquema:

Figura 33

Esquema metodológico del estudio.



2.5. FASES METODOLÓGICAS

2.5.1. Fase de pre campo

La primera actividad realizada consistió en la recopilación de datos a fin de conocer los factores socioeconómicos y físicos del lugar de estudio, como información de geología, fisiografía, suelos, cobertura vegetal, asimismo recolectar información acerca del empleo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE).

Se consiguió información histórica por medio de una base de datos del SENAMHI y otros documentos secundarios (tesis, informes y expediente técnico), con la finalidad de conseguir datos históricos de precipitación mensual y anual de las estaciones influyentes a la zona estudio.

2.5.2. Fase de campo

En esta etapa se ejecutó un recorrido por toda la subcuenca Tarunca con la finalidad de coleccionar fotografías, muestras de suelo y cobertura vegetal de diferentes puntos que fueron llevados a laboratorio, donde se determinó su clase textural y composición de materia orgánica.

2.5.3. Fase de gabinete

Aquí se procesaron las informaciones recopiladas a lo largo de las fases de pre campo y campo para así poder conseguir cuantitativamente la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando la metodología RUSLE a través del SIG.

2.5.4. Procesamiento

Para el procesamiento y evaluación de datos, se empleó Microsoft Office Excel, que facilitó la creación de gráficos de barras basados en los datos procesados con el software ArcGIS 10.5 para los factores RUSLE.

2.5.5. Representación

Para plasmar estadísticamente los registros, se utilizó la estadística descriptiva mediante el desarrollo de tablas de contingencia y gráficos de dispersión que ilustran los resultados que se obtuvieron.

2.5.6. Esquema de la ruta metodológica

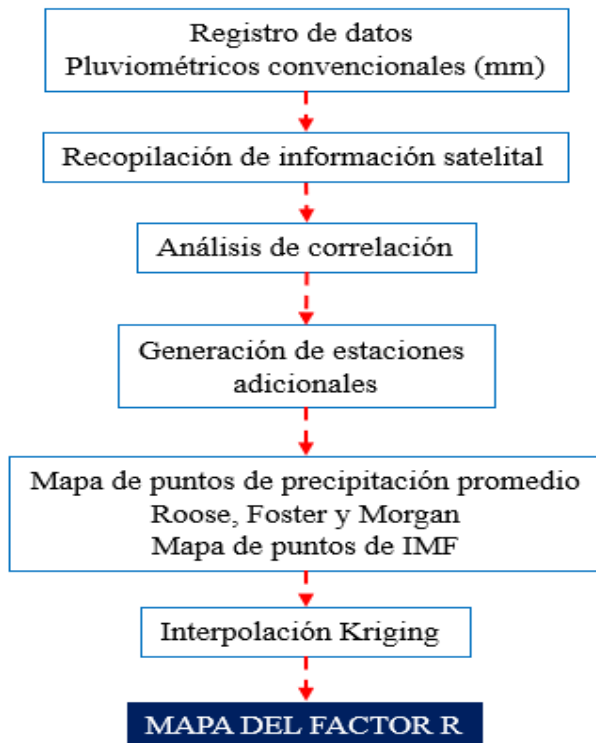
2.5.6.1 Esquema para determinar el factor R

Este factor es fundamental para calcular la cantidad de suelo que la lluvia puede erosionar en una zona específica. Para su estimación se realizó la descarga de la información pluviométrica en la subcuenca Tarunca, posteriormente se realizó la descarga de la escala espacial de base de datos del PISCO SENAMHI esto por la carencia de registros pluviométricos en el área de la subcuenca, luego se realiza un análisis de correlación entre la precipitación total anual de las estaciones meteorológicas existentes y la información satelital, de tal manera que se obtiene una ecuación que permita estimar la precipitación en diferentes puntos de la cuenca que permita la obtención de un ráster de precipitación distribuida en toda el área de cuenca.

Con el ráster obtenido se realizó los cálculos del factor R mediante las metodologías del Índice modificado de Fournier (IMF), Roose, Morgan y Foster, cuyas ecuaciones se detallan en el ítem 1.7. Estimación de los factores de erosión hídrica. Se muestra un esquema a continuación:

Figura 34

Flujograma para la obtención del factor R.

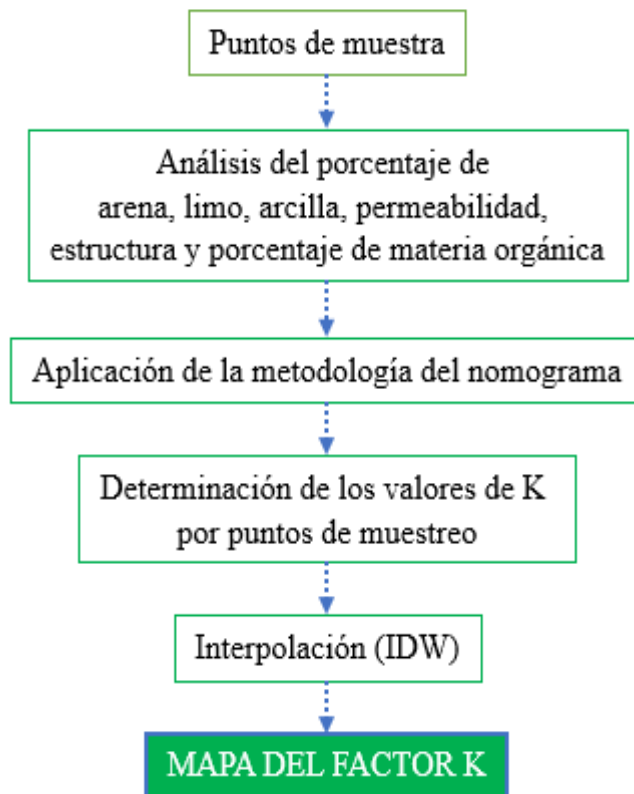


2.5.6.2 Esquema para determinar el factor K

Simboliza la erodabilidad del suelo, es decir, la sensibilidad de un tipo de suelo específico a ser erosionado por la lluvia y el escurrimiento de tipo superficial. Para la estimación este factor se utilizó la información de los resultados de laboratorio de las calicatas realizadas en el área de estudio, de donde se obtuvo la distribución porcentual de las diferentes texturas de las muestras recolectadas. Estos resultados se consideraron en el uso del Nomograma de Wischmeier con la finalidad de obtener el factor K. a continuación, se evidencia un esquema:

Figura 35

Diagrama para la determinación del factor K.

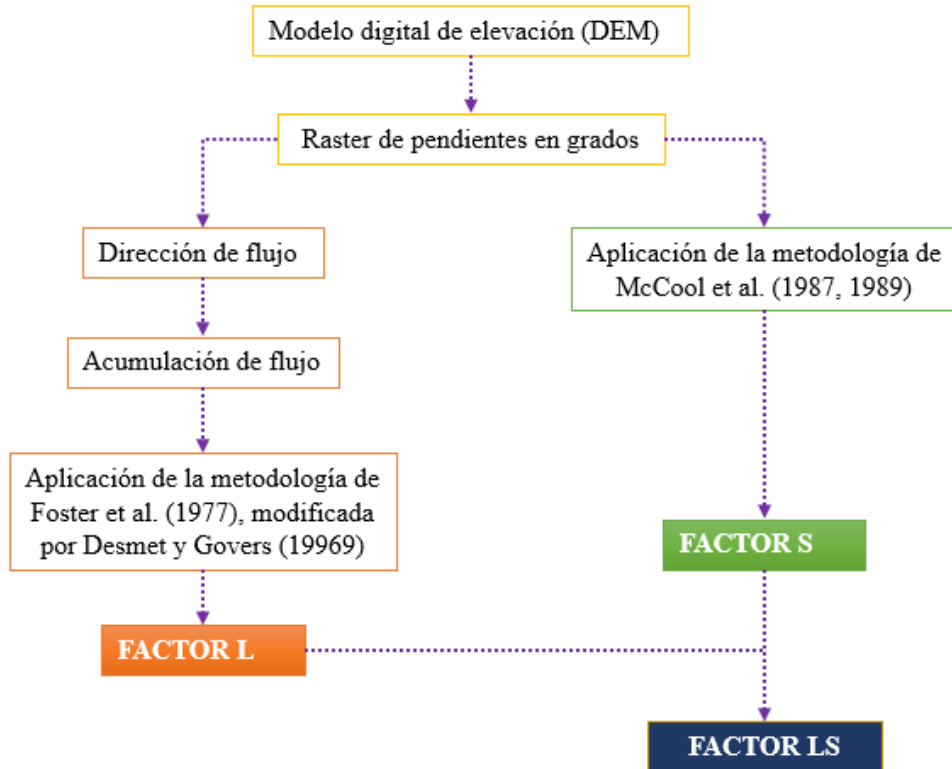


2.5.6.3 Esquema para determinar el factor LS

- Este factor refleja cómo las características topográficas del terreno afectan la erosión, con pendientes más largas y empinadas generalmente aumentando la cantidad de suelo que puede ser erosionado, se obtuvo a partir del ráster de pendientes en porcentaje el cual resulta después del procesamiento del DEM en un GIS, posteriormente se halló el factor LS, se tiene el método a.

Figura 36

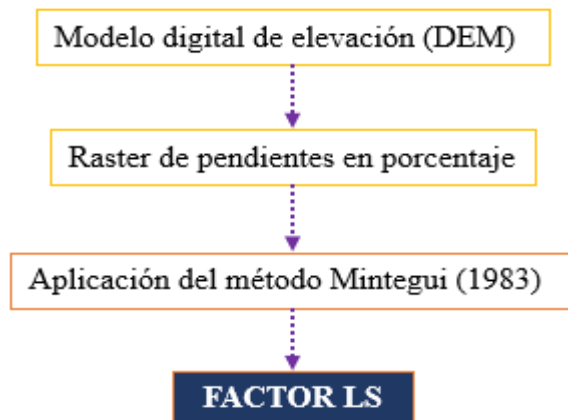
Flujograma para la obtención del factor LS – Método a.



- El método "b" para calcular el factor LS es particularmente útil en terrenos complejos o cuando se necesita una evaluación más detallada de la erosión. Para su estimación del factor LS mediante el método de Mintegui se requiere del Modelo de Elevación Digital (DEM), quien después de un procesamiento en GIS permite la obtención de un ráster de pendientes. Así mismo, este ráster se clasificó de acuerdo a la tabla de Valores del factor LS que varían en relación a la inclinación del terreno. A continuación, se muestra un esquema:

Figura 37

Flujograma para la obtención del factor LS – Método b.

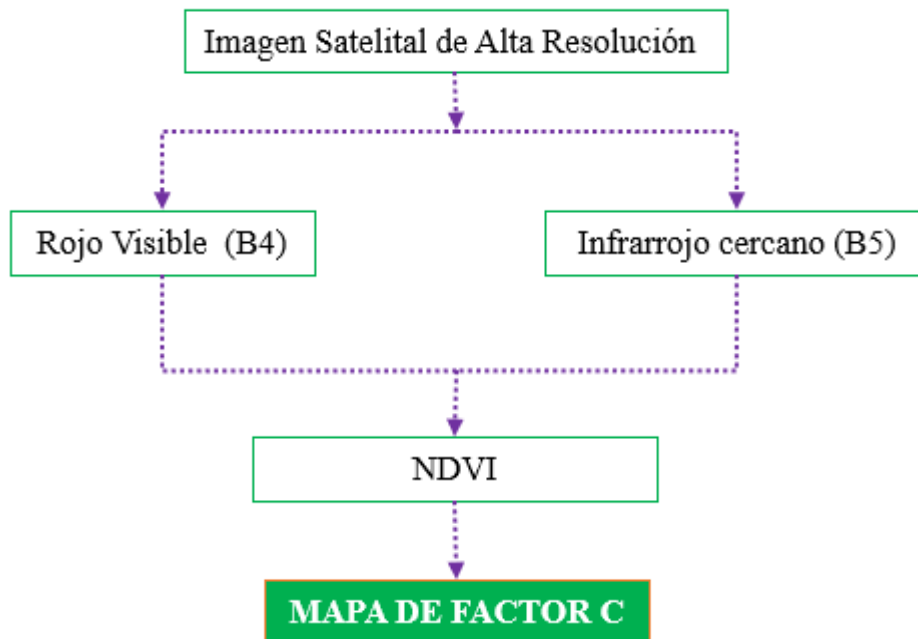


2.5.6.4 Esquema para determinar el factor C

Representa el resultado de la cobertura y manejo de la tierra en la erosión del suelo. El factor C cuantifica cómo diferentes tipos de vegetación, cultivos y prácticas de manejo del suelo influyen en la reducción o aumento de la erosión. Para el cálculo del factor C en la subcuenca Tarunca, se utilizó las imágenes Landsat 8 descargadas, las cuales tuvieron un tratamiento para su corrección radiométrica, posteriormente se realizó la clasificación de la cobertura vegetal mediante el cálculo del NDVI, lo cual permitió obtener la clasificación de la cobertura y por ende asignarle un valor de "C" de acuerdo a las tablas que indican la relación del factor con el uso de suelo. A continuación, se muestra el esquema:

Figura 38

Flujograma para la obtención del factor C.



2.5.6.5 Determinación del factor P

Para determinar el valor del factor relacionado con las prácticas de conservación del suelo "P", se consideró lo observado durante la salida a campo, lo cual permitió identificar las zonas que contaban con algún tipo de práctica, reconociéndose cuatro zonas de las cuales dos presentaban plantaciones de arbustos de gran tamaño cumpliendo el rol de barreras vivas y las otras dos áreas contaban con un sistema de andenes y terrazas. Se consideró un valor de P igual a uno, para las áreas agrícola del lugar que no se contaban con prácticas de conservación de suelo.

2.5.6.6 Determinación de la pérdida de suelo por erosión hídrica

Este proceso es fundamental, ya que permite evaluar con precisión la proporción de suelo que se erosiona como resultado de la acción erosiva del agua, especialmente la provocada por la lluvia, sobre una superficie terrestre determinada. Esta pérdida de suelo, comúnmente conocida como erosión, puede tener efectos devastadores si no se controla adecuadamente, ya que favorece a la degradación del suelo y la reducción de su capacidad productiva.

El análisis detallado de este fenómeno es crucial no solo para entender la magnitud del problema, sino también para diseñar y aplicar estrategias de manejo del suelo que sean efectivas en la mitigación de sus efectos negativos. Estas estrategias pueden incluir la implementación de barreras naturales o artificiales, la reforestación de áreas vulnerables, la construcción de terrazas y otras técnicas de agricultura sostenible que ayuden a aminorar la rapidez de escorrentía del agua y, por ende, la cantidad de suelo que es desplazado.

Además, la conservación del suelo es vital para mantener la productividad agrícola a largo plazo. Un suelo fértil y bien conservado es esencial para el crecimiento de los cultivos y, por lo tanto, para la seguridad alimentaria de una población. Si la erosión del suelo no se controla, podría llevar a una disminución significativa de la productividad agrícola, lo que a su vez podría provocar pérdidas económicas para los agricultores y afectar la disponibilidad de alimentos.

En la siguiente figura se representa el flujograma de los pasos descritos anteriormente, los cuales permitirán estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica en la subcuenca Tarunca.

Figura 39

Diagrama de flujo para la generación del mapa de pérdida de suelo (t/ha-año).



CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LA CUENCA

3.1.1. Características fisiográficas

- **Área total:** Presenta una superficie de 63,12 km².
- **Perímetro:** La distancia de la línea divisoria de aguas de la subcuenca Tarunca es de 55,85 km.
- **Índice de compacidad:** Denominado de igual forma Índice de Gravelius (kc) de la subcuenca en estudio, este equivale a 1,98, lo que señala que la fisionomía de la cuenca es casi rectangular (alargada).
- **Factor de forma:** Se determinó el factor de forma de la subcuenca Tarunca resultando un valor de 0,20 y de acuerdo a la clasificación por intervalos aproximados de este factor, le corresponde una forma muy alargada.

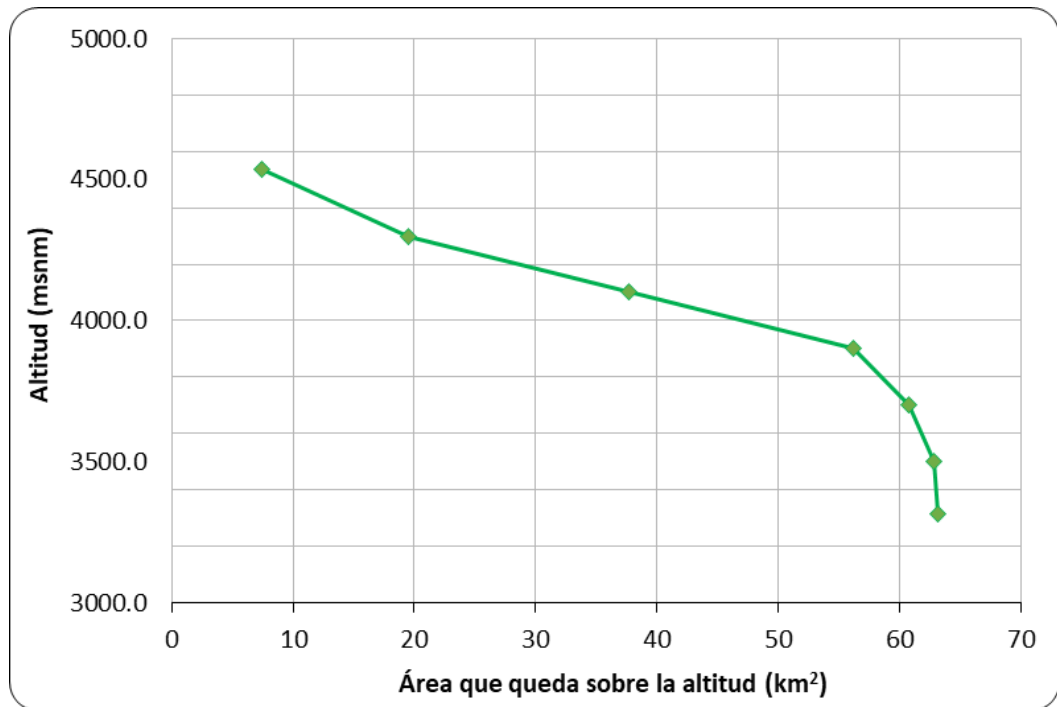
Tabla 21

Parámetros fisiográficos de la Subcuenca Tarunca.

	Parámetros	Unidad de medida	Cuenca Hidrográfica	
Parámetros de forma de la cuenca	Área total de la subcuenca	Km ²	63,12	
	Perímetro de la subcuenca	km	55,85	
	Longitud de río principal	km	17,78	
	Centroides	Este X	m	566137,51
		Norte Y	m	8457056,80
	Ancho promedio de la cuenca	km	3,55	
	Coeficiente de compacidad	-	1,98	
	Factor de forma	-	0,20	
	Radio de Circularidad	km	0,25	

Figura 40

Curva hipsométrica de la subcuenca Tarunca.



La curva hipsométrica de la subcuenca Tarunca evidencia la relación que existe entre la altitud y la zona acumulada que se ubica por encima de esa altitud en la subcuenca. En la gráfica, se percibe que la altitud máxima es de aproximadamente 4500 msnm, y la cuenca desciende progresivamente hasta cerca de los 3500 msnm.

La pendiente de la curva es suave en la parte alta de la subcuenca, lo que sugiere que gran parte del área se encuentra en altitudes elevadas. Esto puede indicar la presencia de mesetas o laderas poco inclinadas en la zona superior. A medida que descendemos, la pendiente de la curva se incrementa ligeramente, lo que sugiere una mayor pendiente en las áreas más bajas, posiblemente reflejando un terreno más abrupto cerca de la salida de la subcuenca.

Esta distribución altitudinal es un indicio fundamental del potencial de erosión y escurrimiento en la subcuenca. Las áreas de altitud media y baja, que ocupan la mayor parte del área, podrían estar más expuestas a procesos erosivos, especialmente en situaciones de precipitaciones intensas. Además, el aspecto de la curva sugiere que la subcuenca tiene un relieve bastante marcado, lo cual podría influir en la concentración del flujo y en los patrones de escurrimiento, afectando directamente los procesos de erosión de agua.

3.1.2. Parámetros de altitud

a) **Altitud media:** La subcuenca Tarunca presenta un valor de 4079,36 m.s.n.m de altitud media, lo cual indica que la mitad de la zona de la cuenca se ubica por encima de esta altitud y la otra mitad se encuentra en la parte inferior de la misma.

Para el cálculo de este parámetro, se midió la región delimitada por los contornos de las distintas altitudes que abarca la zona en estudio, es decir, la distinción de áreas entre las curvas de nivel, los resultados se presentan en la figura siguiente:

Figura 41

Polígono de frecuencia.

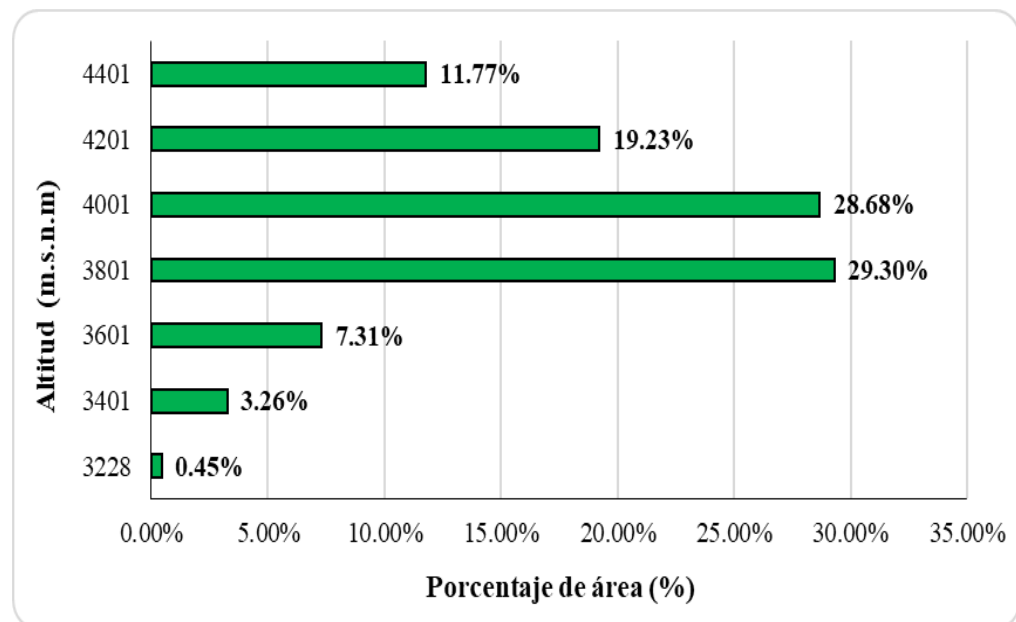


Tabla 22

Áreas entre curvas de nivel de la subcuenca Tarunca.

N°	Cota (m.s.n.m.)		Área (km ²)							
	Mínima	Máxima	Promedio "Ci"	Área Parcial (km ²) "Ai"	Área Acumulada (km ²)	Área que queda		Porcentaje de área entre C.N.	Porcentaje de área sobre C.N.	Ci x Ai
						sobre la superficie (km ²)				
1	3228	3400	3314,0	0,28	0,28	63,12	0,45%	100,0	936,72	
2	3401	3600	3500,5	2,06	2,34	62,84	3,26%	99,6	7194,62	
3	3601	3800	3700,5	4,62	6,95	60,78	7,31%	96,3	17084,17	
4	3801	4000	3900,5	18,50	25,45	56,17	29,30%	89,0	72139,75	
5	4001	4200	4100,5	18,10	43,55	37,67	28,68%	59,7	74237,63	
6	4201	4400	4300,5	12,14	55,69	19,57	19,23%	31,0	52189,93	
7	4401	4672	4536,5	7,43	63,12	7,43	11,77%	11,8	33705,49	
				63,12			100%		257 488,30	

Distribución del área por altitud: La subcuenca Tarunca se extiende desde los 3228 msnm hasta los 4672 msnm, abarcando una superficie total de 63,12 km². La mayor concentración de área se encuentra entre los 3801 y 4200 msnm, con áreas parciales de 18,50 km² y 18,10 km², respectivamente, lo cual simboliza el 57,98% de la totalidad de la región. Esto indica que las altitudes intermedias dominan la topografía de la cuenca. A medida que la altitud aumenta más allá de los 4200 msnm, la superficie disminuye considerablemente, con solo un 11,77% del área total situada entre los 4401 y 4672 msnm. Esta distribución altitudinal sugiere que las zonas intermedias son las más representativas en la subcuenca y pueden ser claves en el análisis de procesos hidrológicos.

Área acumulada y porcentaje de área sobre curvas de nivel: La tabla refleja cómo el área acumulada de la subcuenca disminuye a medida que aumenta la altitud, lo que indica una menor superficie total en las partes más altas de la subcuenca. El porcentaje de área que queda sobre cada curva de nivel sigue esta misma tendencia decreciente, lo que significa que la mayor parte del área de la subcuenca se encuentra en altitudes más bajas y medias. Estos datos son cruciales para comprender cómo se distribuye la superficie de la subcuenca en función de la altitud y sugieren que las zonas más bajas y medias pueden jugar un papel más importante en el escurrimiento y la retención de agua.

Implicaciones hidrológicas y de erosión: Los puntos comprendidos entre los 3801 y 4201 msnm, que abarcan la mayor parte de la superficie de la subcuenca, son potencialmente más vulnerables a procesos erosivos debido a su mayor extensión y pendiente. Estas zonas intermedias probablemente experimentan un escurrimiento superficial más significativo, lo que podría incrementar la tasa de erosión, específicamente en eventos de lluvia intensa. Por otro lado, las áreas situadas por encima de los 4201 msnm son menos extensas y, por lo tanto, pueden contribuir menos al flujo de agua y a los procesos erosivos, aunque aún desempeñan un rol fundamental en la regulación hídrica de la subcuenca.

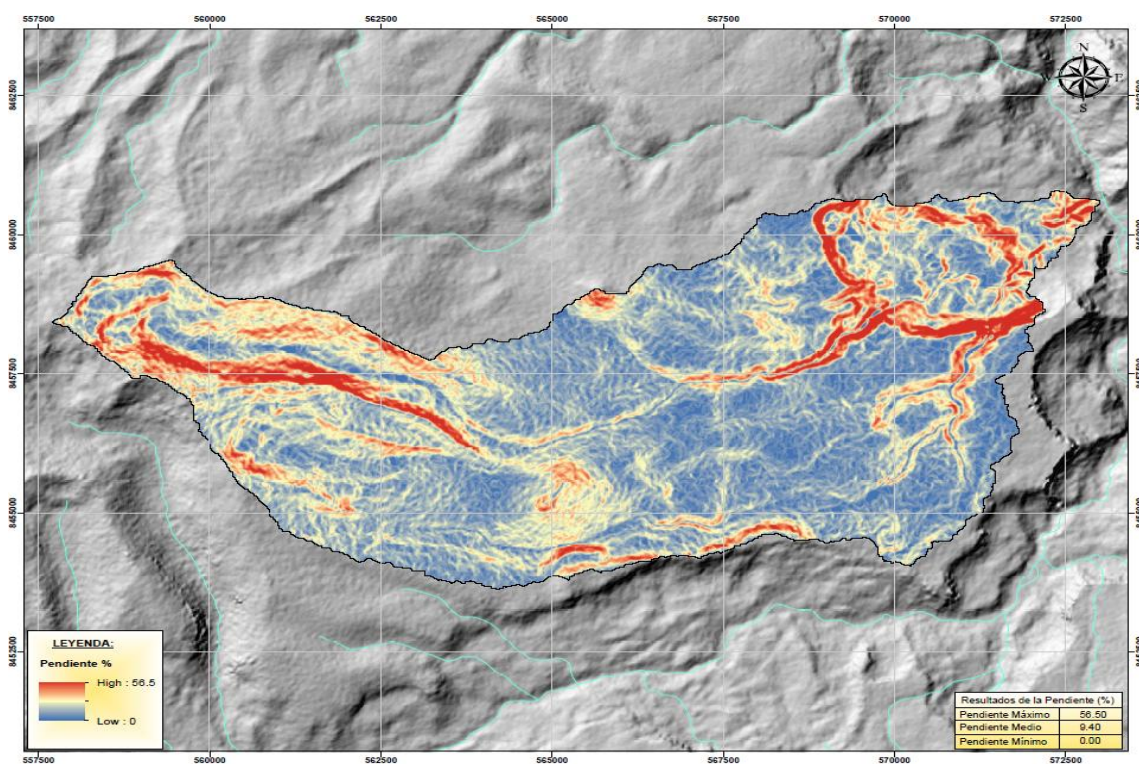
Producto $C_i \times A_i$: El producto entre la altitud promedio y el área parcial ($C_i \times A_i$) de la subcuenca ofrece una medida ponderada que resalta la distribución de la masa de la subcuenca en diferentes altitudes. Los valores más altos para este producto se observan en las altitudes intermedias, lo que enfatiza la

importancia de estas áreas en términos de almacenamiento de agua y potencial erosivo. Este indicador subraya que las altitudes intermedias no solo dominan en términos de área, sino que también son críticas en la dinámica hídrica y erosiva de la subcuenca Tarunca.

b) Pendiente promedio: Mediante la utilización del software ArcGis y el DEM de la zona de estudio se obtuvo el ráster de pendientes, estimándose una pendiente promedio de 9,40%.

Figura 42

Mapa de pendiente de la subcuenca Tarunca.



3.1.3. Parámetros de la red hídrica

- **Longitud y orden de ríos:** Luego del procesamiento de la información ráster, se obtuvo lo siguiente: la longitud total de la red hídrica es 44,50 km y presenta un orden de ríos de nivel 3.
- **Densidad de drenaje:** El valor estimado de la densidad de drenaje de la cuenca fue de 0,71, lo cual indica que es de categoría baja de acuerdo a la clasificación de la densidad de drenaje.
- **Pendiente promedio de la red drenaje:** La pendiente promedio de la red drenaje de la subcuenca Tarunca es de 0,080 m/m.

- **Tiempo de concentración:** Es el tiempo que se demora en recorrer una gota de lluvia partiendo en el punto hidráulicamente más alejado hasta la zona de salida de la subcuenca Tarunca es de 1,74 horas estimado con la fórmula de Kirpich.

Tabla 23

Parámetros de la red hídrica de la subcuenca Tarunca.

		Parámetros	Unidad de medida	Cuenca Hidrográfica
Parámetros de la red hidrográfica de la cuenca		Tipo de corriente	-	Intermitente
	Número de orden de los ríos	Orden 1	-	9
		Orden 2	-	7
		Orden 3	-	1
		N° Total de ríos	-	17
		Grado de ramificación	-	3
		Longitud total de ríos	Km	44,50
		Frecuencia de densidad de los ríos (Dr)	ríos/km ²	0,27
		Densidad de drenaje (Dd)	km/km ²	0,71
	Cotas del cauce principal	Altitud máxima (Hmax)	msnm	4645,00
		Altitud mínima (Hmin)	msnm	3228,00
		Pendiente media del río principal (Sm)	m/m	0,080
		Altura media del río principal (H)	msnm	708,50
	Tiempo de concentración (Tc)	horas	1,74	

La subcuenca Tarunca tiene un área total de 63,12 km² y un perímetro de 55,85 km. Un área más grande implica una mayor capacidad para captar agua de lluvia, lo que puede aumentar el volumen de escorrentía superficial. Un perímetro extenso, combinado con un área significativa, puede indicar una cuenca con una forma alargada, que tiende a tener un tiempo de concentración mayor, permitiendo que el agua se acumule y erosione el suelo más eficientemente en ciertos puntos vulnerables de la subcuenca.

La longitud del río principal es de 17,78 km, con un total de 17 ríos de diferentes órdenes y una longitud total de ríos de 44,50 km. Esta red hidrográfica influye en la distribución y el transporte de sedimentos dentro de la subcuenca. Una red hidrográfica bien desarrollada facilita el movimiento del agua y de los sedimentos erosionados, lo que puede intensificar los procesos erosivos, especialmente en áreas con pendientes pronunciadas y suelos susceptibles a la erosión.

La altitud media de 4079,36 m.s.n.m. y una pendiente promedio de 9,40% indican que la subcuenca se encuentra en una región elevada con pendientes

moderadamente pronunciadas. Las áreas a mayor altitud tienden a recibir más precipitaciones, lo que, combinado con la pendiente, aumenta la velocidad del flujo de agua superficial y, por ende, la capacidad erosiva. Las pendientes más pronunciadas facilitan el arrastre de partículas del suelo, contribuyendo significativamente a la pérdida de suelos por erosión hídrica.

El coeficiente de compacidad de 1,98, el factor de forma de 0,20 y el radio de circularidad de 0,25 sugieren que la subcuenca Tarunca tiene una forma alargada y menos compacta. Las cuencas con estas características suelen tener un tiempo de concentración mayor, lo que permite que el agua de lluvia se acumule y se concentre en ciertos puntos antes de drenar, aumentando la potencialidad de erosión en esas áreas. Un bajo factor de forma y un radio de circularidad pequeño también pueden indicar una mayor susceptibilidad a la erosión debido a la distribución desigual del flujo de agua.

La frecuencia de densidad de los ríos de 0,27 ríos/km² y la densidad de drenaje de 0,71 km/km² indican una red hidrográfica relativamente densa. Una alta densidad de drenaje implica que el agua de lluvia puede ser rápidamente captada y transportada a través de la subcuenca, aumentando la velocidad y la energía del flujo, lo que puede intensificar la erosión del suelo. La alta frecuencia de densidad de los ríos también facilita el transporte de sedimentos y la modificación del paisaje fluvial, afectando la estabilidad del suelo.

El tiempo de concentración de 1,74 horas indica que la cuenca responde relativamente rápido a los eventos de lluvia, lo que puede resultar en escorrentías rápidas y potentes, incrementando la capacidad de erosión. Un tiempo de concentración corto indica que el agua se desplaza rápidamente desde los puntos más altos hasta los puntos de salida de la cuenca, generando flujos de agua que pueden causar erosión significativa en periodos cortos de tiempo.

Los parámetros morfométricos de la subcuenca Tarunca tienen una influencia significativa en la pérdida de suelos por erosión hídrica. La combinación de un área extensa, una red hidrográfica bien desarrollada, pendientes pronunciadas y una rápida respuesta a las precipitaciones crea condiciones propicias para la erosión del suelo. Estos factores deben ser considerados cuidadosamente en el diseño y la implementación de medidas de conservación de suelos para mitigar los efectos de la erosión hídrica en la subcuenca.

3.2. RECOPIACIÓN Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

Para evaluar la distribución de la lluvia en la zona de interés, se realizó la selección de 08 estaciones las cuales cuenten con un registro de información mayor a 15 años y están ubicadas dentro o próximas a la subcuenca Tarunca. La información ha sido recopilada tanto del SENAMHI como de estudios previos desarrollados en la cuenca Pampas. La data de precipitación descargada se detalla en el Anexo 1.

La selección de las estaciones meteorológicas utilizadas en este estudio se fundamenta en varios criterios clave que garantizan la representatividad y precisión de los datos recolectados para la subcuenca Tarunca. Estas estaciones fueron escogidas debido a su proximidad geográfica a la subcuenca, así mismo a su variación altitudinal, lo cual es crucial para captar la heterogeneidad climática de la región.

En primer lugar, la altitud de las estaciones varía desde los 3141 hasta los 3735 metros sobre el nivel del mar, cubriendo un rango altitudinal representativo de las condiciones existentes en la subcuenca. Esta variedad permite un análisis detallado de cómo los factores climáticos principalmente la precipitación, cambian con la altitud, lo que es esencial para evaluar su influencia en la erosión hídrica y en los procesos de escurrimiento.

Además, las estaciones seleccionadas están estratégicamente distribuidas en términos de latitud y longitud, abarcando diferentes sectores de la subcuenca y áreas circundantes. Esto asegura que se consideran las variaciones climáticas locales que podrían afectar de manera diferenciada las diversas partes de la cuenca. Por ejemplo, estaciones como Huancasancos y Rayusca, operadas por el SENAMHI y estudios hidrológicos, proporcionan datos esenciales desde diferentes puntos, captando tanto la influencia de la cordillera como la de las zonas más bajas. Finalmente, algunas de estas estaciones, como las de Chuschi y Pampa Cangallo, provienen de estudios específicos sobre sistemas de riego y disponibilidad hídrica, lo que les confiere un enfoque especializado en la dinámica hídrica de la región. Esto es particularmente relevante dado que el manejo del agua es un aspecto crítico en el análisis de la erosión hídrica y el manejo de suelos en la subcuenca Tarunca.

Tabla 24*Estaciones meteorológicas en el área de estudio.*

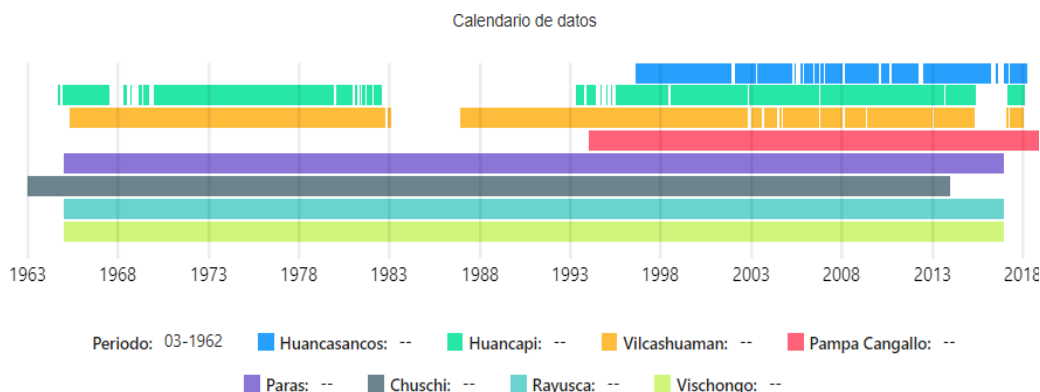
Estación	Operador / Estudio	Altitud (m.s.n.m.)	Latitud	Longitud	Periodo
Chuschi	Creación del Servicio de agua para el sistema de riego por aspersión en las localidades de Pucaccasa, Purpurichayocc - Tastacha, en el distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho.	3141	-13.58	-74.35	1963-2013
Huancapi	SENAMHI	3186	-13.75	-74.07	1964-1982 1993-2018
Huancasancos	SENAMHI	3440	-13.93	-74.34	1996-2017
Pampa Cangallo	Implementación del sistema de Riego tecnificado para la Asociación de Productores de avena forrajera y pastos asociados Don Máximo en el sector Chaquiccocha del distrito de Chiara- Huamanga - Ayacucho: Estudio hidrológico para la acreditación de la disponibilidad superficial.	3351	-13.56	-74.20	1994-2018
Paras	Central Hidroeléctrica Santa María: Estudio hidrológico para la acreditación de disponibilidad hídrica del río pampas con fines hidroenergéticos	3330	-13.55	-74.63	1965-2016
Rayusca	Central Hidroeléctrica Santa María: Estudio hidrológico para la acreditación de disponibilidad hídrica del río pampas con fines hidroenergéticos.	3735	-13.98	-74.35	1965-2016
Vilcashuamán	SENAMHI	3540	-13.66	-73.95	1965-2018
Vischongo	Central Hidroeléctrica Santa María: Estudio hidrológico para la acreditación de disponibilidad hídrica del río pampas con fines hidroenergéticos.	3141	-13.58	-74.00	1965-2016

Nota. Datos de las estaciones meteorológicas analizadas en este estudio. Fuente: Análisis de Datos y Recursos Estadísticos – ANDREA.

Se realizó la selección del periodo de trabajo el cual abarca un rango común de los datos de precipitación de todas las estaciones, según los registros que tienen cada una de las estaciones meteorológicas se definió un periodo de análisis, el cual se encuentra entre los años 1996 al 2016.

Figura 43

Datos disponibles de precipitación.



Para asegurar la calidad y consistencia de los datos meteorológicos utilizados en el análisis, es esencial seleccionar un periodo en el cual se disponga de registros completos y comparables de todas las estaciones meteorológicas involucradas. El rango de 1996 a 2016 se ha seleccionado porque abarca un periodo en el cual se ha comprobado que todas las estaciones disponibles han mantenido un registro continuo y consistente. Esto permite una comparación equitativa y fiable entre las estaciones, asegurando que las anomalías o interrupciones en los datos no distorsionen los resultados del análisis.

Este periodo de tiempo también proporciona una representación adecuada de las variaciones climáticas a largo plazo en la región. Al abarcar dos décadas completas, se captura tanto la variabilidad interanual como las tendencias climáticas a largo plazo, lo cual es fundamental para evaluar cómo los factores climáticos han influido en la erosión hídrica. Esto incluye la identificación de patrones de precipitación que podrían impactar significativamente en la erosión y en la morfometría de la cuenca.

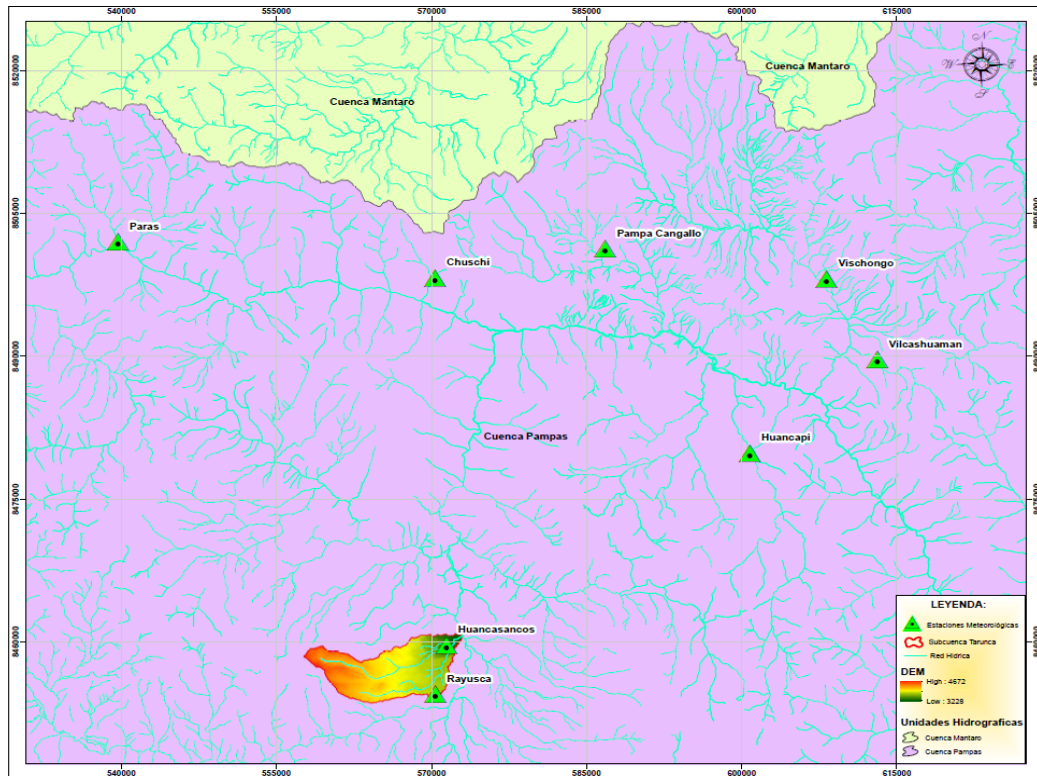
La elección de los años 1996 a 2016 está alineada con la disponibilidad de datos históricos y estudios previos realizados en la región. Este periodo ha sido ampliamente utilizado en investigaciones similares y ofrece una base sólida para la comparación de resultados y la interpretación de tendencias climáticas en relación con la erosión hídrica.

Las estaciones meteorológicas en la región han operado de manera estable durante el periodo seleccionado, lo que garantiza que los datos recolectados sean representativos y de alta calidad. Esta estabilidad es crucial para evitar sesgos en el análisis que podrían derivarse de cambios en la infraestructura de monitoreo a lo largo del tiempo.

Utilizar datos de este periodo permite evaluar la evolución de la erosión hídrica en relación con las prácticas de manejo de suelos implementadas en las últimas dos décadas. Esto es importante para entender cómo las prácticas de conservación y manejo han influido en la erosión a lo largo del tiempo y para evaluar su efectividad en diferentes contextos climáticos y morfométricos.

Figura 44

Mapa de estaciones meteorológicas.



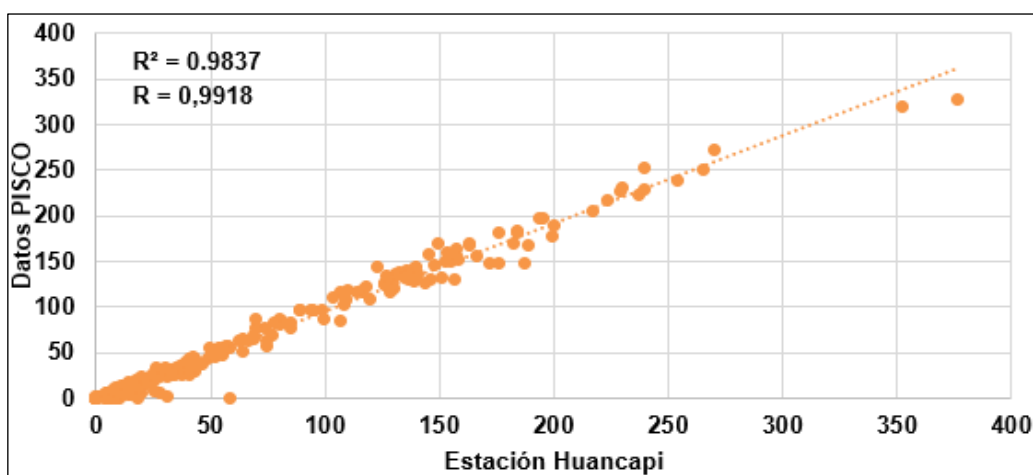
Mediante la evaluación de la distribución de estaciones en la cuenca, se puede observar que solo dos de ellas (Huancasancos y Rayusca) se ubican dentro de la subcuenca de interés, las restantes se ubican a una distancia entre 35 a 55 km de la subcuenca y están concentradas en la zona norte, trayendo como consecuencia una inadecuada interpolación de la precipitación para la subcuenca Tarunca. Por tal motivo, se optó por la utilización de la data grillada PISCO dado que permite abarcar la totalidad del área de estudio.

Para evaluar la fiabilidad de los registros PISCO se comparó con los datos de precipitación de las estaciones, en las siguientes figuras se presenta las gráficas de dispersión entre ambas fuentes para el periodo común de 1996 al 2016, así como el coeficiente de correlación de Pearson que nos señala un ajuste altamente significativo.

El siguiente gráfico muestra un comparativo de los valores de precipitación obtenidos del sistema de datos PISCO y los parámetros de la estación meteorológica de Huancapi. En el eje de las abscisas se presentan los valores de precipitación registrados por la estación Huancapi, mientras que en el eje vertical se observan los valores correspondientes de precipitación obtenidos de PISCO.

Figura 45

Comparativo de la precipitación PISCO con registro de la estación Huancapi.



Alta correlación: El valor de $R=0,9918$, indica una correlación muy alta entre los datos de PISCO y los datos registrados por la estación Huancapi. Esto sugiere que los datos de PISCO representan con gran precisión los patrones de precipitación observados en Huancapi.

Distribución de los datos: Los puntos en el gráfico están distribuidos de manera lineal a lo largo de una línea de tendencia, lo que refuerza la idea de que hay una correlación casi directa de los parámetros de PISCO y los registrados por la estación.

Validación de datos: Este alto grado de correlación valida el uso de los datos de PISCO como una fuente confiable para representar la precipitación en la

subcuenca Tarunca. Esto es crucial, ya que permite ampliar el análisis a otras áreas de la subcuenca donde no se dispone de estaciones meteorológicas directas.

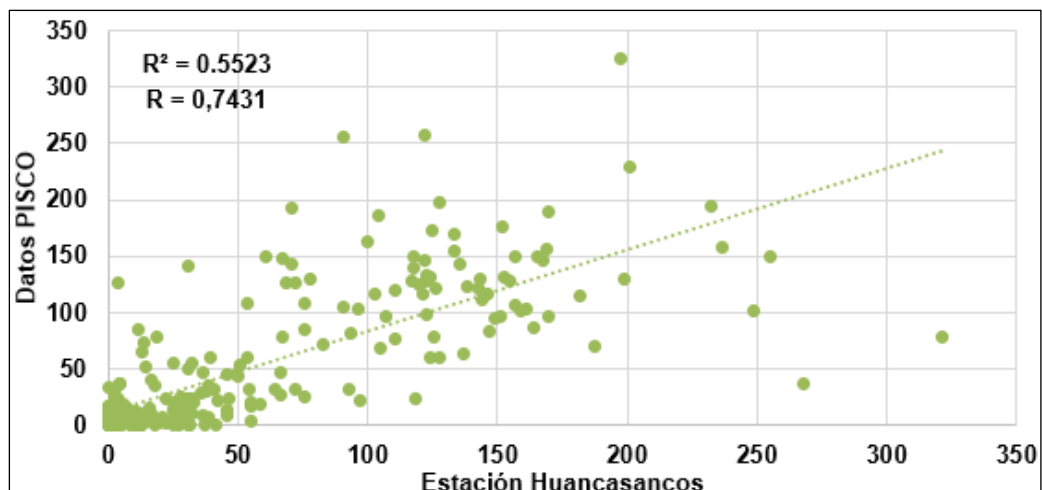
Influencia climática en la erosión hídrica: Dado que la precipitación es uno de los factores climáticos clave que influyen en la erosión hídrica, esta correlación sugiere que los análisis de erosión que se basen en los datos de PISCO estarán bien fundamentados. Puedes utilizar estos datos para modelar la erosión hídrica en la subcuenca con un alto grado de confianza.

Análisis morfométrico: La precisión de los datos de precipitación también es importante para evaluar cómo la morfometría de la subcuenca, como la pendiente y la densidad de drenaje, interactúan con la precipitación para influir en la erosión hídrica.

El siguiente gráfico muestra la comparación de los parámetros de precipitación del sistema de datos PISCO y los de la estación meteorológica de Huancasancos. En el eje de las abscisas se encuentran los valores de precipitación registrados por la estación Huancasancos, mientras que en el eje vertical se muestran los valores correspondientes de precipitación obtenidos de PISCO.

Figura 46

Comparativo de la precipitación PISCO con registro de la estación Huancasancos.



Correlación moderada: A diferencia del gráfico anterior, el valor de $R=0,7431$, indica una correlación fuerte entre los registros de PISCO y los datos del área de Huancasancos. Esto sugiere que, aunque hay cierta relación entre ambos conjuntos de datos, no es tan fuerte como en el caso de la estación Huancapi.

Distribución de los datos: Los puntos en el gráfico están más dispersos en comparación con el gráfico anterior. Esto indica que hay una mayor variabilidad entre los registros de PISCO y las mediciones de la estación Huancasancos, lo que podría reflejar diferencias en la precisión de las estimaciones de precipitación de PISCO en esta área específica.

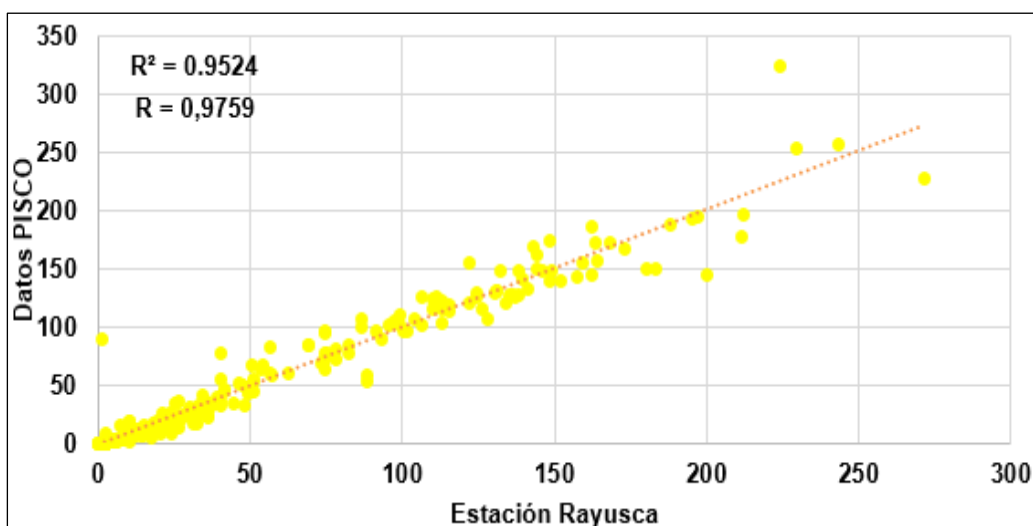
Limitaciones en la representación climática: La menor correlación sugiere que los datos de PISCO pueden no capturar con la misma precisión los patrones de precipitación en Huancasancos en comparación con otras estaciones. Esto podría deberse a factores locales como la topografía, microclimas, o la calidad y frecuencia de los datos de la estación.

Impacto en la modelación de la erosión hídrica: Dado que la precipitación es un factor clave en la erosión hídrica, la menor precisión en los datos de PISCO para Huancasancos podría introducir más incertidumbre en los modelos de erosión para esta subcuenca. Es importante considerar esta variabilidad al interpretar los resultados y complementar el análisis con los datos de las otras estaciones tomadas en cuenta.

El siguiente gráfico compara los parámetros de precipitación obtenidos de la base de datos PISCO con los de la estación meteorológica de Rayusca. En el eje de las abscisas se encuentran los valores de precipitación registrados por la estación Rayusca, mientras que en el otro eje se muestran los valores de precipitación correspondientes obtenidos de PISCO.

Figura 47

Comparativo de la precipitación PISCO con registro de la estación Rayusca.



Alta correlación: El valor de $R=0,9759$, indica una correlación muy alta entre los registros de PISCO y los datos de la zona de Rayusca. Esto sugiere que los datos de PISCO son altamente representativos de los patrones de precipitación observados en Rayusca.

Distribución de los datos: Los puntos en el gráfico se alinean de manera bastante ajustada a lo largo de la línea de tendencia, lo que refuerza la idea de una relación consistente entre ambos conjuntos de datos, con algunas variaciones en los valores más altos de precipitación.

Confiabilidad de los datos: La alta correlación encontrada en Rayusca apoya la validez de utilizar los datos de PISCO para estudios y modelaciones en esta área de la subcuenca Tarunca. Los patrones de precipitación de PISCO reflejan con precisión los datos observados en campo, lo que es crucial para cualquier análisis de erosión hídrica basado en estos datos.

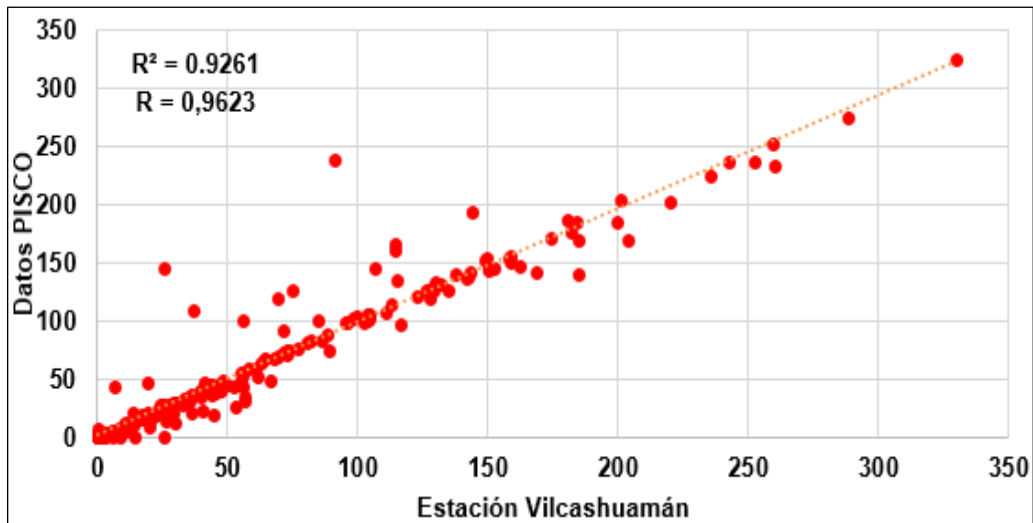
Modelación precisa de la erosión hídrica: Dado que la precipitación es un factor determinante en la erosión hídrica, los datos precisos de PISCO permitirán un modelado confiable de la erosión en la zona cubierta por la estación Rayusca. Esto es especialmente relevante para análisis detallados donde la precisión en la estimación de la precipitación es crítica.

Comparación con otras estaciones: En comparación con otras estaciones como Huancasancos, la alta correlación en Rayusca sugiere que las variaciones en la precisión de los datos de PISCO pueden estar influenciadas por factores locales. Rayusca parece ser una zona donde PISCO ofrece una mejor representación de la realidad climática.

El siguiente gráfico compara los datos de precipitación obtenidos de la base de datos PISCO con los registros de la estación meteorológica de Vilcashuamán. En el eje horizontal se representan los valores de precipitación registrados por la estación Vilcashuamán, mientras que en el eje vertical se encuentran los valores correspondientes de precipitación obtenidos de PISCO.

Figura 48

Comparativo de la precipitación PISCO con registro de la estación Vilcashuamán.



Alta correlación: El valor de $R=0,9623$, indica una correlación muy alta entre las referencias de PISCO y los datos registrados de la zona Vilcashuamán. Esto sugiere que los datos de PISCO reflejan con precisión los patrones de precipitación observados en Vilcashuamán.

Distribución de los datos: Los puntos en el gráfico están alineados de manera bastante ajustada a lo largo de una línea de tendencia, lo que refuerza la idea de que existe una relación sólida y consistente entre ambos conjuntos de datos.

Fiabilidad de los datos: La alta correlación observada en Vilcashuamán valida el uso de los datos de PISCO para modelar y analizar los patrones de precipitación en esta parte de la subcuenca Tarunca.

Modelación precisa de la erosión hídrica: La precisión de los parámetros de PISCO en relación con los registros de Vilcashuamán sugiere que los modelos de erosión hídrica basados en estos datos serán confiables y reflejarán con precisión la realidad climática de la zona. Esto es especialmente importante para la evaluación de la relación entre la precipitación y la erosión en áreas específicas de la subcuenca.

Consistencia en la representación climática: La consistencia de los datos de PISCO en esta estación, en comparación con otras como Rayusca y Huancapi, sugiere que PISCO es una fuente confiable de datos en diversas áreas de la subcuenca. Esto te permitirá utilizar estos datos con confianza en el análisis.

De los resultados del coeficiente de correlación de Pearson, se optó conveniente la utilización de los datos PISCO por lo cual se incorporaron estaciones virtuales dentro de la subcuenca Tarunca para la mejora de la distribución de la precipitación en toda el área.

Las **estaciones virtuales** son puntos de estimación de variables climáticas, como la precipitación, que no corresponden a estaciones meteorológicas físicas existentes, sino que se generan mediante métodos computacionales basados en datos observados y modelos estadísticos. En este estudio, la creación de estaciones virtuales dentro de la subcuenca Tarunca ha sido posible gracias a la utilización de los datos del producto PISCO (Peruvian Interpolated Data of the SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations).

Interpolación de datos: Los datos de precipitación registrados en estaciones meteorológicas existentes, tanto dentro como fuera de la subcuenca Tarunca, son tomados como referencia. Utilizando técnicas de interpolación, como el método de Kriging o inverso a la distancia, se estiman los valores de precipitación en ubicaciones donde no existen estaciones físicas. Esto permite generar una red de datos climáticos más densa y distribuida a lo largo de la subcuenca.

Incorporación de factores geográficos: Las estimaciones en las estaciones virtuales también tienen en cuenta factores geográficos locales, como la altitud, la pendiente y la orientación del terreno, que pueden influir en la distribución espacial de la precipitación. Esto mejora la precisión de los datos generados.

Cobertura completa de la subcuenca: Una de las principales razones para utilizar estaciones virtuales es la necesidad de obtener una representación más completa y detallada de la precipitación en toda la subcuenca Tarunca. Dado que las estaciones meteorológicas físicas existentes no cubren todas las áreas de interés, las estaciones virtuales llenan esos vacíos, proporcionando datos esenciales para el análisis.

Mejora en la precisión de los modelos: Al contar con una mayor cantidad de puntos de datos dispersos por toda la subcuenca, es posible realizar un análisis más preciso de la conexión entre la precipitación y la erosión. Esto es especialmente importante para áreas donde los datos son escasos o inexistentes, lo que podría introducir incertidumbre en los resultados.

Validación de datos: El uso de los datos PISCO, respaldados por su alta correlación con las estaciones físicas existentes, proporciona una base sólida para confiar en las estimaciones generadas en las estaciones virtuales. Esto justifica su uso en el modelado y análisis dentro de la subcuenca Tarunca.

En la tabla 25 se presenta la ubicación de las estaciones consideradas:

Tabla 25

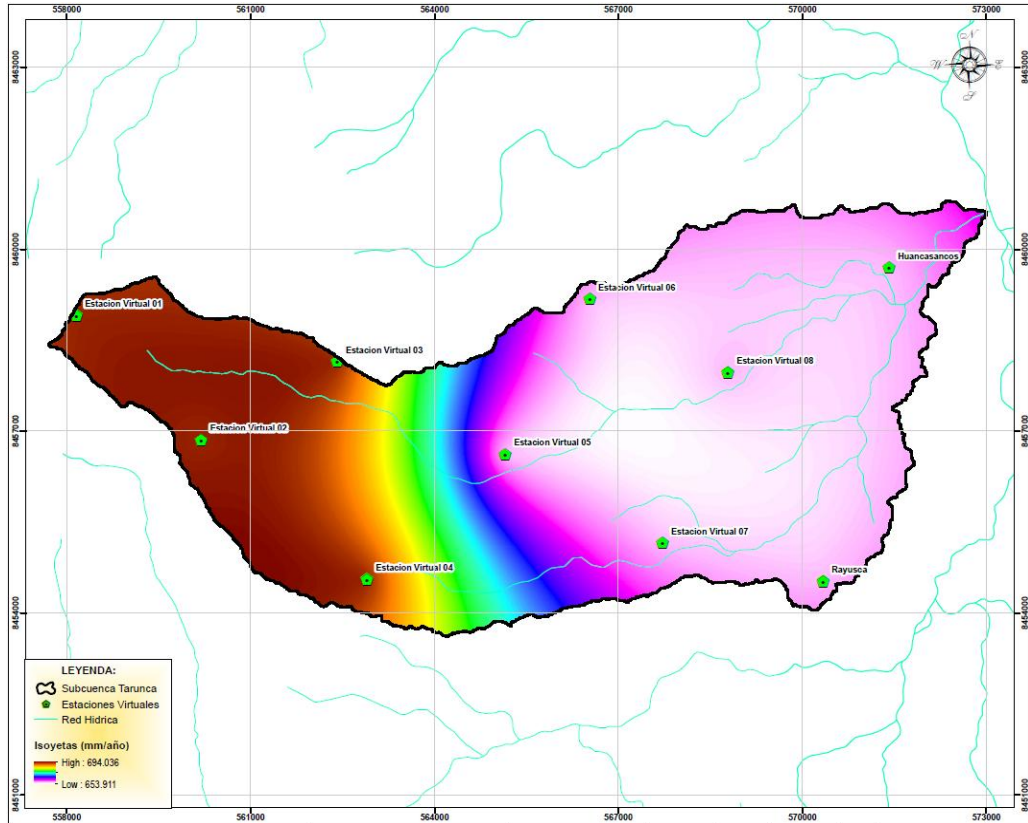
Estaciones pluviométricas virtuales en el área de estudio.

Estación	Altitud (m.s.n.m.)	Latitud	Longitud
Huancasancos	3440.00	-13.93	-74.34
Rayusca	3735.00	-13.98	-74.35
Estación Virtual 01	4572.61	-13.9394	-74.4616
Estación Virtual 02	4502.73	-13.9579	-74.4427
Estación Virtual 03	4406.41	-13.9462	-74.4222
Estación Virtual 04	4228.00	-13.9786	-74.4176
Estación Virtual 05	4130.84	-13.9599	-74.3968
Estación Virtual 06	4098.17	-13.9367	-74.3841
Estación Virtual 07	3961.50	-13.9731	-74.373
Estación Virtual 08	3911.22	-13.9476	-74.3632

Con las 10 estaciones virtuales distribuidas dentro de la subcuenca Tarunca se realizó la interpolación de la precipitación mediante el método de Kriging y con la utilización del software ArcGis 10.5, este método fue utilizado debido a su capacidad superior para generar estimaciones precisas en comparación con otros métodos de interpolación. Kriging no solo considera la distancia entre los puntos de muestreo, sino que también incorpora la variabilidad espacial y la estructura de correlación de los datos, lo que lo hace particularmente adecuado para datos geoespaciales como la precipitación. De esta manera se obtuvo un ráster de precipitación y un mapa de isoyetas que son input para la estimación del factor R o índice de erosividad.

Figura 49

Mapa de Isoyetas de la subcuenca Tarunca.







3.3. RESULTADOS DE INFORMACIÓN DE CAMPO

Se llevaron a cabo las actividades en campo a fin de realizar la verificación del uso y la cobertura vegetal del suelo en el área de estudio. Así mismo, se realizó el muestreo de suelos que posteriormente fueron analizados en el laboratorio de suelos y análisis foliar en el programa de investigación en pastos y ganadería de la Facultad de Ciencias Agrarias, obteniendo el análisis de caracterización de las muestras tomadas en campo, en el Anexo 2, 3 y 4 se presenta el panel fotográfico de la salida a campo, panel fotográfico de análisis de muestras en el laboratorio y los resultados brindados por el laboratorio del análisis de caracterización respectivamente.

Tabla 26

Toma de muestras en el área de estudio.

Calicata N°01: Allpamanca			Calicata N°02: Paqcha		
E: 571618.063	N: 845643.397	Z: 3861.400	E: 568908.548	N:8455185.178	Z: 3904.00
Descripción: Pajonal, pasto natural, suelo semidesnudo, topografía casi plana.			Descripción: Pajonal, pasto natural, taya taya, puntos erosionados y topografía casi plana		
					
Calicata N°03: Vizcachayocc			Calicata N°04: Corinapampa		
E: 563467.299	N:8455369.556	Z: 4218.70	E: 570074.201	N:8457836.460	Z: 3880.9
Descripción: Pajonal, pasto natural, piedras abundantes y presenta una topografía variable.			Descripción: Pasto natural, taya taya, ichu y presenta una topografía casi plana.		
					
Calicata N°05: Jampato			Calicata N°06: Chuymala		
E: 570039.003	N:8458540.167	Z: 3794.800	E: 564808.008	N:8458269.471	Z: 4115.900
Descripción: Pasto natural, grama, cultivos y con una topografía variable			Descripción: Pajonal, pasto natural, taya taya, piedras medianas en casi todo el sector con una topografía poco variable.		

	
Calicata N°07: Toropotrero	Calicata N°08: Utari
E: 569493.218 N:8459830.525 Z: 3797.500	E: 570965.541 N:8459719.588 Z: 3623.200
Descripción: Pasto natural, cultivos, arbustos, espinas, piedras, topografía variable	Descripción: Grama, cultivos plantación de pinos, ojos de agua, topografía variable
	
Calicata N°09: Sayllamocco	Calicata N°10: Tukuku
E: 572172.093 N:8459605.074 Z: 3484.7	E: 572473.604 N:8460410.146 Z: 3391.100
Descripción: Cultivos, espinas, plantaciones, andenes, topografía variable.	Descripción: Cultivos, riego por aspersión, plantas de pinos, cabuya, prácticas de conservación de suelo (andenes). Topografía variable.
	

Los resultados de interés para el posterior cálculo del factor de erodabilidad (K) se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 27*Texturas del suelo de muestra.*

Muestra	%Limo + Arena fina	%Arena	%Arcilla	%MO
Allpamanca	22.000	33.600	44.400	1.660
Paqcha	32.000	25.600	42.400	1.550
Vizcachayocc	16.000	75.600	8.400	1.330
Corinapampa	24.000	41.600	34.400	0.880
Jampato	16.000	31.600	52.400	1.440
Chuymala	26.000	57.600	16.400	1.600
Toropotrero	26.000	47.600	26.400	1.990
Utari	16.000	63.600	20.400	1.220
Sayllamocco	18.000	69.600	12.400	1.490
Tukuku	16.000	51.600	32.400	1.550

Interpretación para resultados de caracterización de las muestras:

Variabilidad Textural: La variabilidad textural observada entre las muestras sugiere que los suelos de la subcuenca Tarunca presentan una diversidad significativa en sus propiedades físicas, lo que podría influir en la heterogeneidad de los procesos de erosión hídrica en la zona.

Impacto en la Erodabilidad (K): Las diferencias en el contenido de limo, arena, arcilla y materia orgánica indican que cada muestra tiene un potencial de erodabilidad distinto. En general, suelos con alto contenido de arena y bajo en arcilla y materia orgánica, como los de Vizcachayocc, pueden ser más susceptibles a la erosión, mientras que suelos con mayor arcilla y materia orgánica, como Jampato y Toropotrero, podrían tener una mayor resistencia a la erosión.

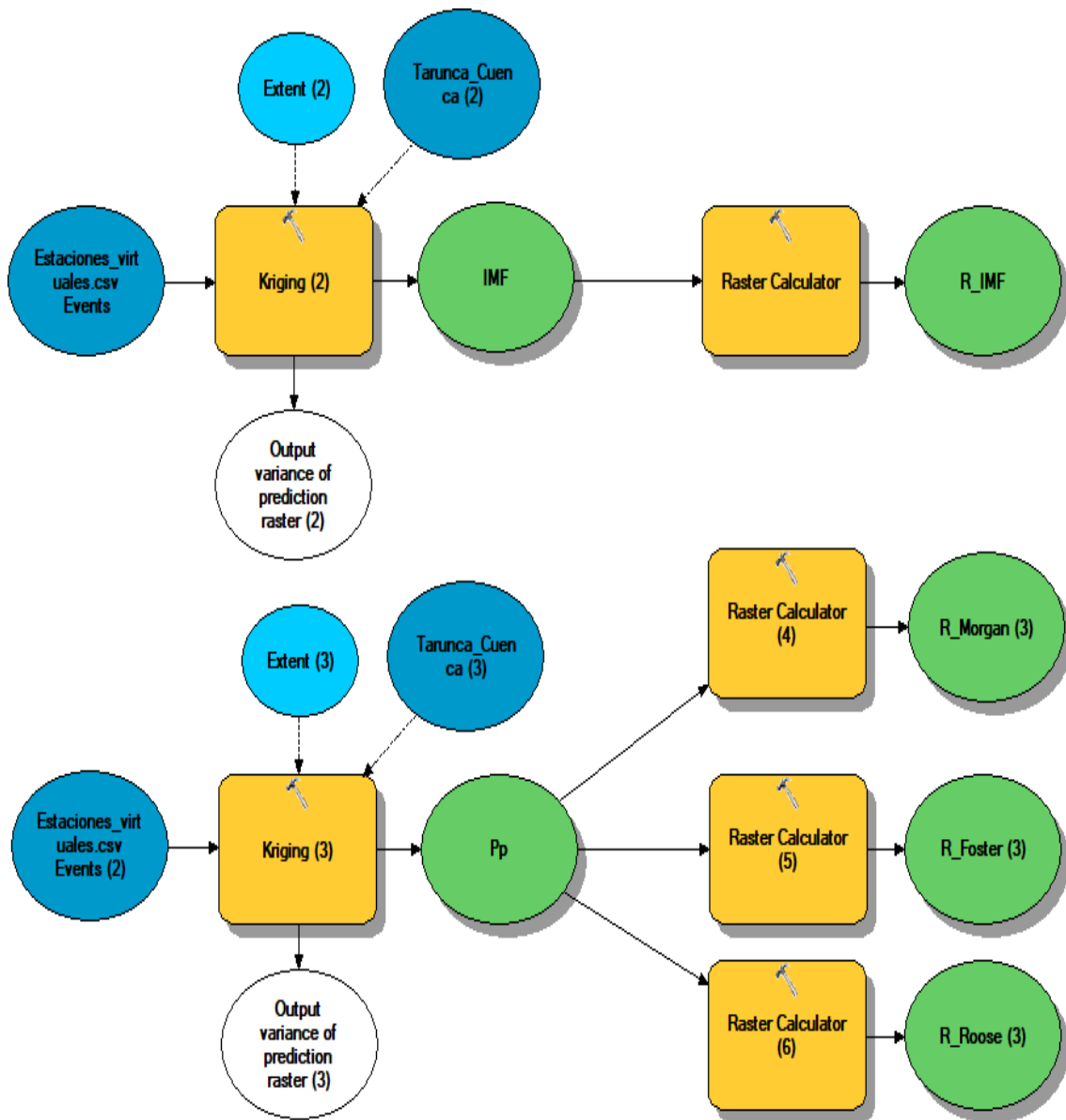
3.4. DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO REVISADA (RUSLE)

3.4.1. Factor R o índice de erosividad de las lluvias

Con el ráster de precipitación obtenido previamente, se halló el factor R mediante las metodologías del Índice modificado de Fournier (IMF), Roose, Morgan y Foster, el procedimiento de los cálculos del método del IFM se detalla en el Anexo 5. Para la sistematización de los cálculos se construyó un modelo en el software ArcGis mediante el uso de Model Builder y la calculadora ráster.

Figura 50

Model Builder para el cálculo del Factor de Erosividad (R).



A continuación, se presentan los mapas de la distribución del factor R en la cuenca para cada una de las metodologías:

Figura 51

Mapa de Factor de Erosividad (R) – Método Rosse.

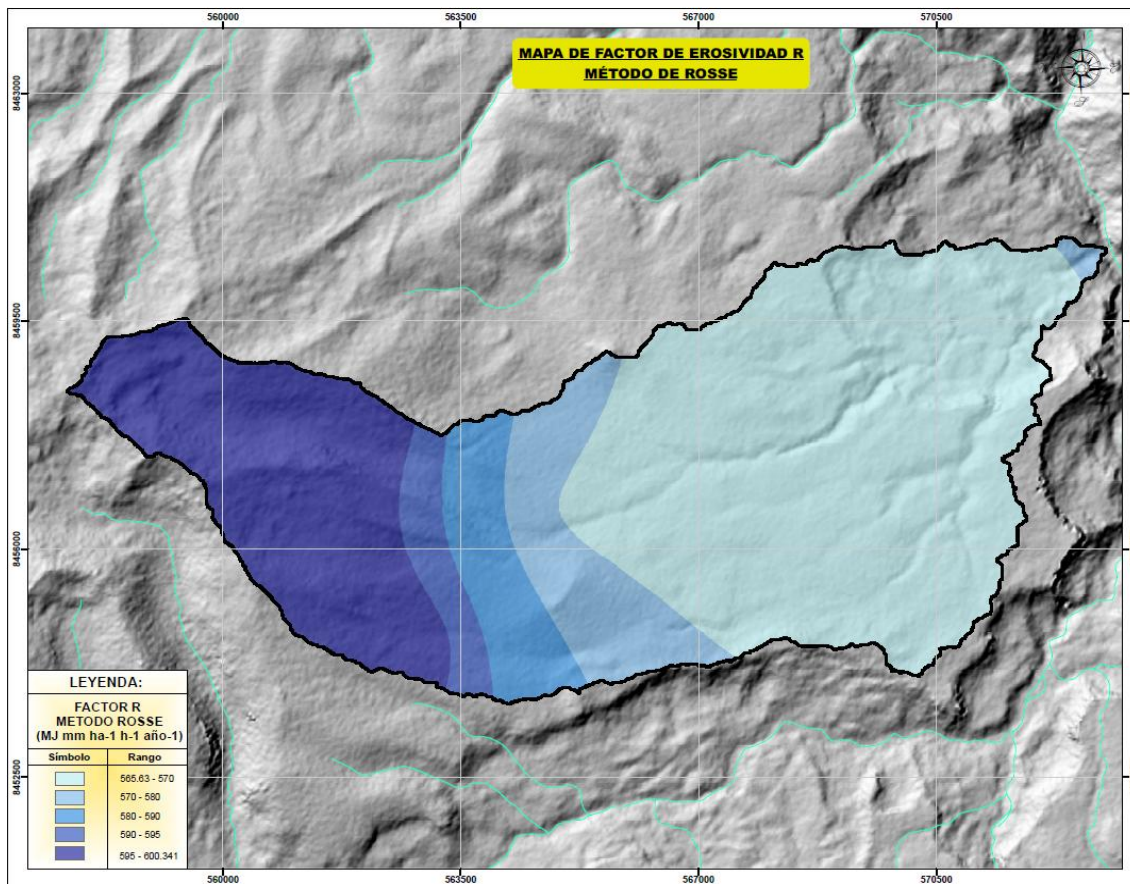


Figura 52

Mapa de Factor de Erosividad (R) – Método Foster.

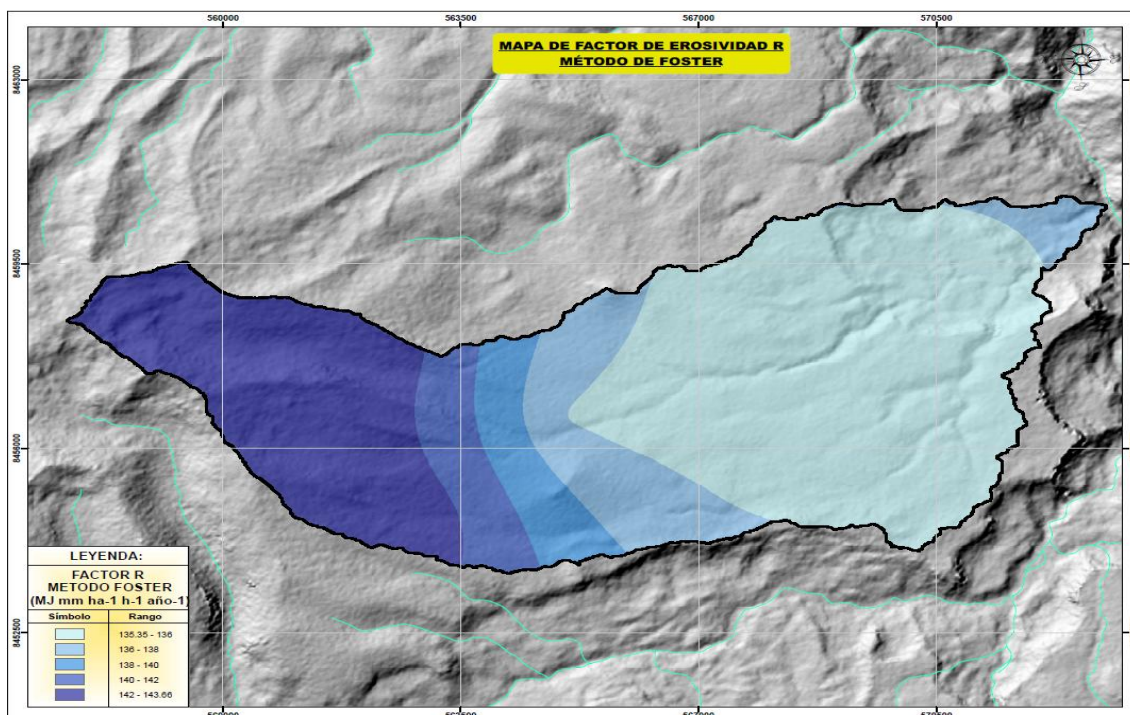


Figura 53

Mapa de Factor de Erosividad (R) – Método Morgan.

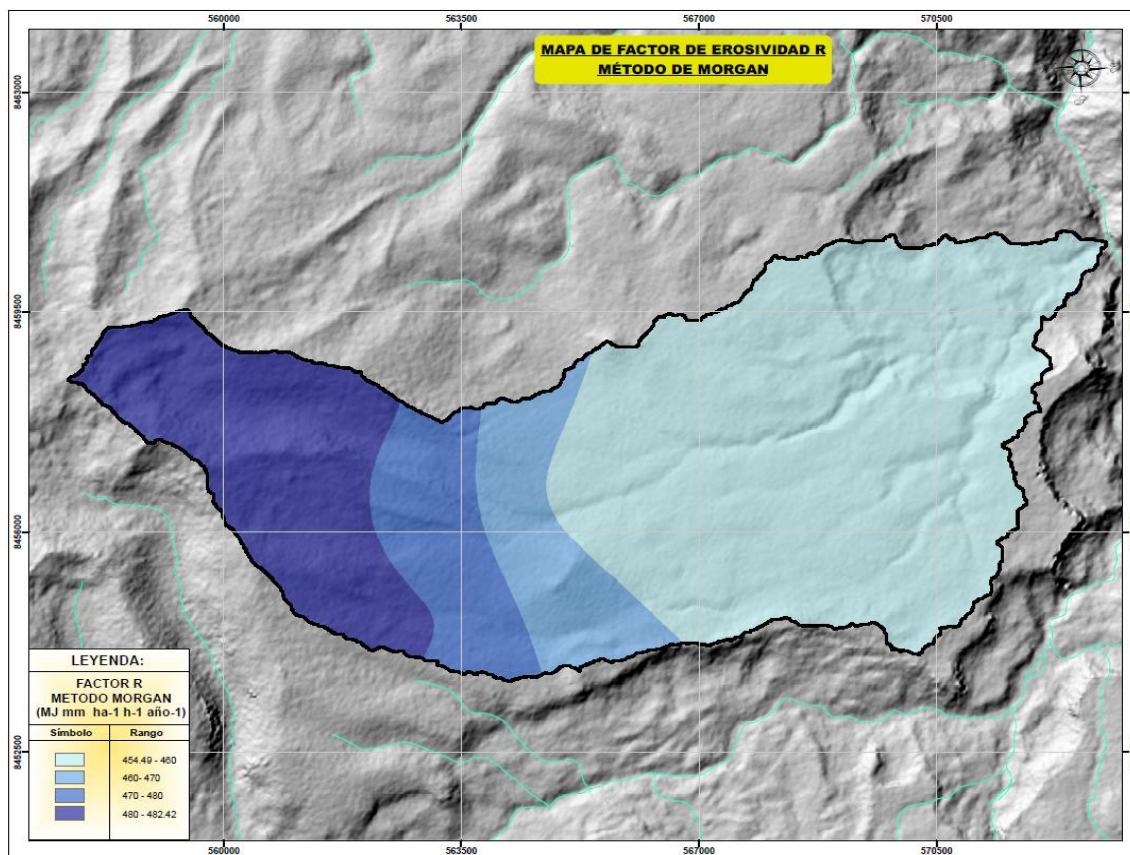
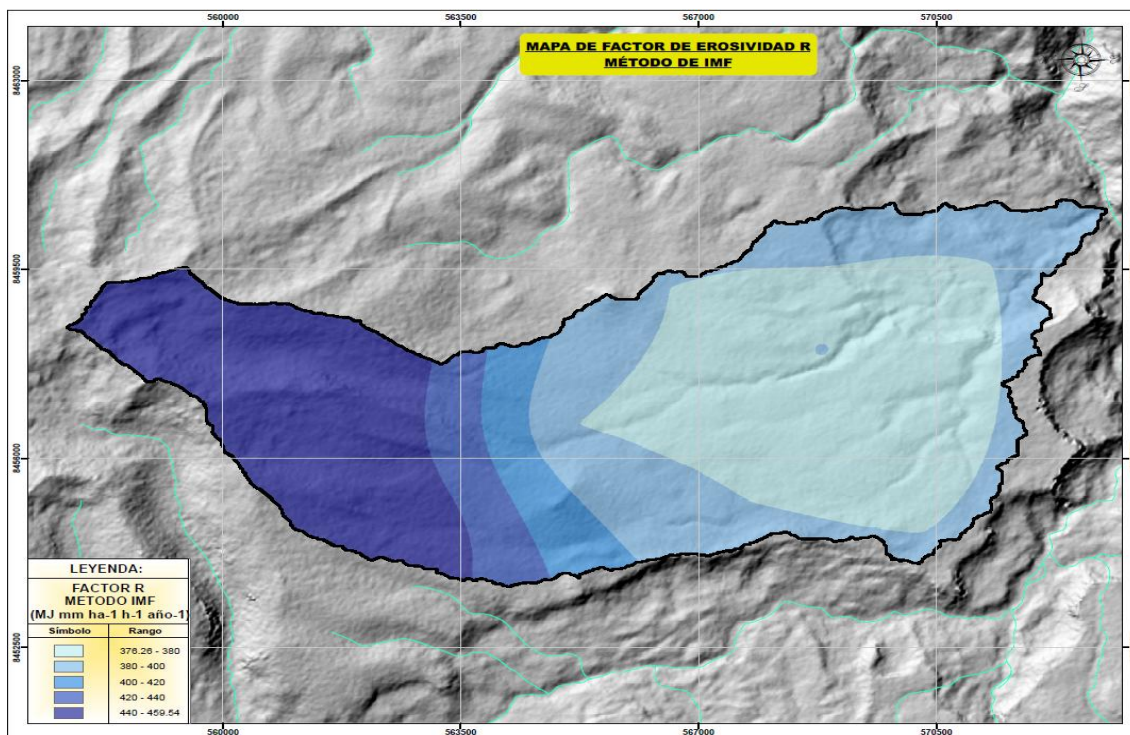


Figura 54

Mapa de Factor de Erosividad (R) – Método IFM.



Analizando y comparando los valores de erosividad obtenidos con los 04 métodos, se observa que los resultados de Roose son los más altos respecto a los resultados del resto de metodologías, mientras el método de Foster presenta resultados inferiores a las demás, por tanto, ambos métodos no se consideraron dado que sobreestiman y subestiman los valores del factor analizado. En cuanto al método de IMF y Morgan, presentan resultados próximos entre sí, optándose por el uso del método de Morgan dado que en la parte baja presenta valores más homogéneos, la cual se muestra en la siguiente tabla:

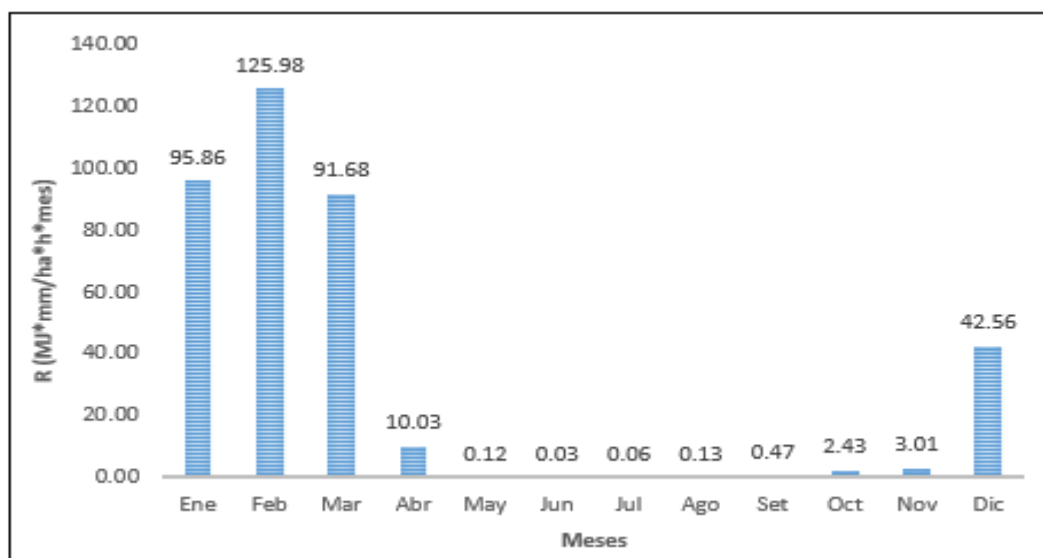
Tabla 28

Valores anuales de "R" para la subcuenca Tarunca.

Metodología	R (MJ*mm/ha*h*año)	
	Límite inferior	Límite superior
IMF	376,261	459,542
Roose	565,633	600,341
Morgan	454,493	482,42
Foster	135,359	143,665

Figura 55

Distribución mensual promedio del Factor "R".



En la figura se muestra la agresividad de las lluvias para la subcuenca Tarunca a lo largo de un año promedio, donde se puede apreciar que en los meses de enero a marzo se obtuvieron los valores más altos del factor R dado que son los meses de mayor precipitación pluvial.

3.4.2. Factor K

Para la estimación del factor de erodabilidad se utilizó los resultados de laboratorio de las muestras de suelos principalmente los valores del porcentaje de limo + arena fina, arena y materia orgánica detallados en la siguiente tabla, los cuales fueron considerados en el uso del Nomograma de Wischmeier. Es importante destacar que, para la ubicación de las muestras tomadas en campo, se consideró como base la clasificación del tipo de suelos de la Zonificación Ecológica y Económica en el departamento de Ayacucho. A continuación, se presenta los parámetros adicionales requeridos por el nomograma y los valores del factor de erodabilidad por cada muestra de suelo, así como el mapa resultante de la interpolación de los resultados del factor K:

Tabla 29

Tipos de suelo en la subcuenca Tarunca.

Tipo de suelo	Área de la subcuenca (Km²)
Lithic Haplocryands	4,85
Lithic Haplocryands-Lithic Ustipsamments	56,61
Typic Cryopsamments	1,56
Typic Ustorthents	0,002
Lagunas	0,07
Área Urbana	0,03

La subcuenca Tarunca presenta una diversidad de tipos de suelo, lo que refleja su variada geología y condiciones ambientales. El tipo de suelo predominante es el *Lithic Haplocryands-Lithic Ustipsamments*, que abarca 56,61 km², lo que representa la mayor parte del área de la subcuenca. Este tipo de suelo se caracteriza por su limitada profundidad y alta permeabilidad, lo que sugiere que la mayor parte de la subcuenca está dominada por suelos poco profundos y susceptibles a procesos erosivos, especialmente en áreas con pendiente pronunciada.

En segundo lugar, los *Lithic Haplocryands* cubren un área de 4,85 km². Estos suelos, parcialmente formados en regiones de alta montaña, suelen ser poco profundos y ricos en materia orgánica, pero también son altamente susceptibles a la erosión si no se manejan adecuadamente.

Los *Typic Cryopsamments* ocupan un área menor de 1,56 km², y son suelos arenosos típicos de climas fríos y secos, con baja fertilidad y alta permeabilidad, lo que limita su capacidad para retener agua y nutrientes.

Los *Ustorthents típicos*, aunque presentes en una fracción mínima del área (0,002 km²), son suelos que pueden encontrarse en regiones con condiciones climáticas más áridas y que requieren un manejo especial para evitar la degradación.

Además, la subcuenca incluye pequeñas áreas dedicadas a lagunas (0,07 km²) y zona urbana (0,03 km²). Estas áreas, aunque reducidas en tamaño, juegan roles específicos en el equilibrio hídrico y en la ocupación del suelo.

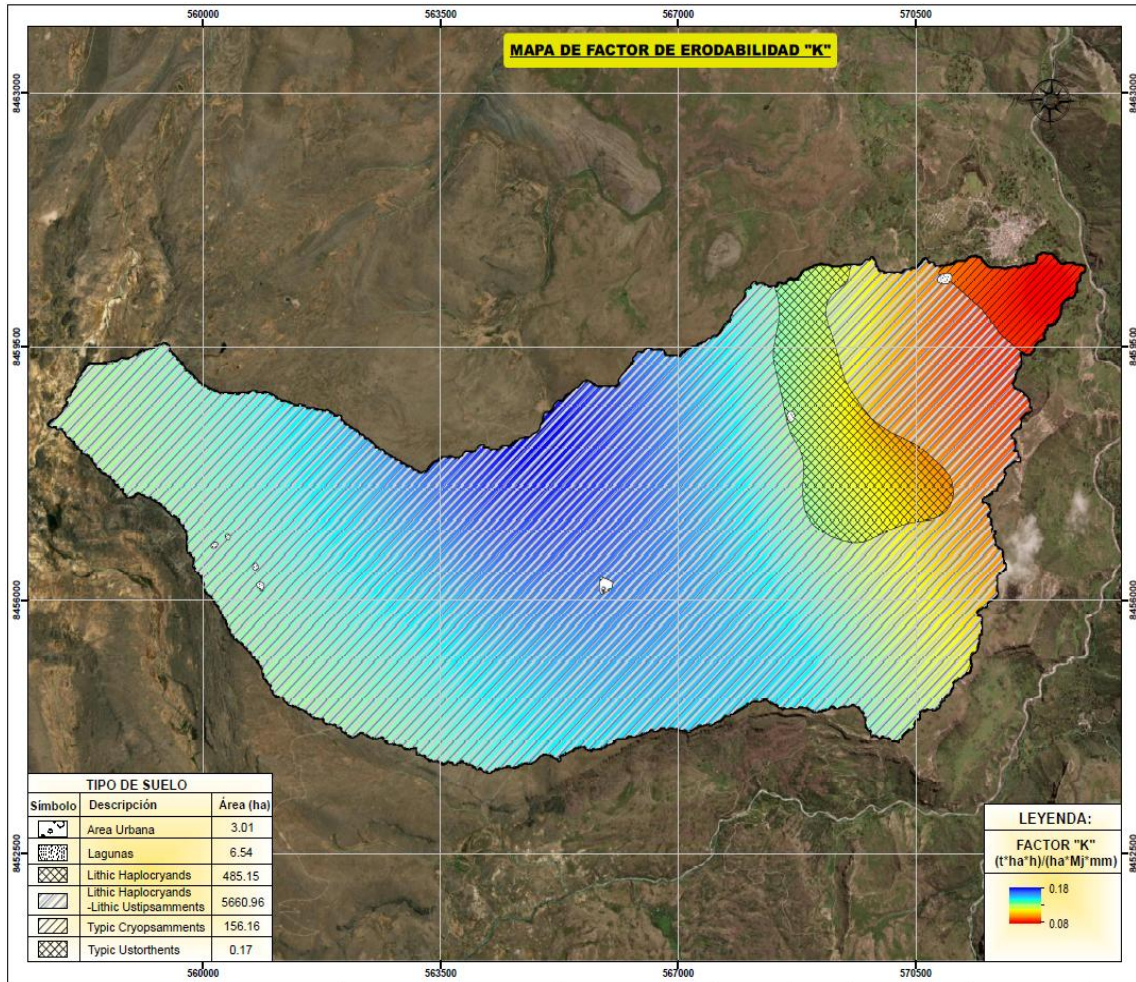
Tabla 30

Índice de erodabilidad del suelo de la subcuenca Tarunca.

Muestra	Clase Textural	Clase de estructura	Clase de permeabilidad	K ($\frac{t \cdot ha \cdot h}{ha \cdot MJ \cdot mm}$)
Allpamanca	Arcilloso	1	6	0.100
Paqcha	Arcilloso	1	6	0.158
Vizcachayocc	Franco arenosos	3	2	0.121
Corinapampa	Franco arcillosos	3	4	0.143
Jampato	Arcilloso	2	6	0.066
Chuymala	Franco arenosos	3	2	0.184
Toropotrero	Franco arcillo arenoso	4	4	0.164
Utari	Franco arcillo arenoso	1	4	0.102
Sayllamocco	Franco arenosos	3	2	0.129
Tukuku	Franco arcillo arenoso	1	4	0.082

Figura 56

Mapa de Tipo de suelo y Factor de Erodabilidad (K).

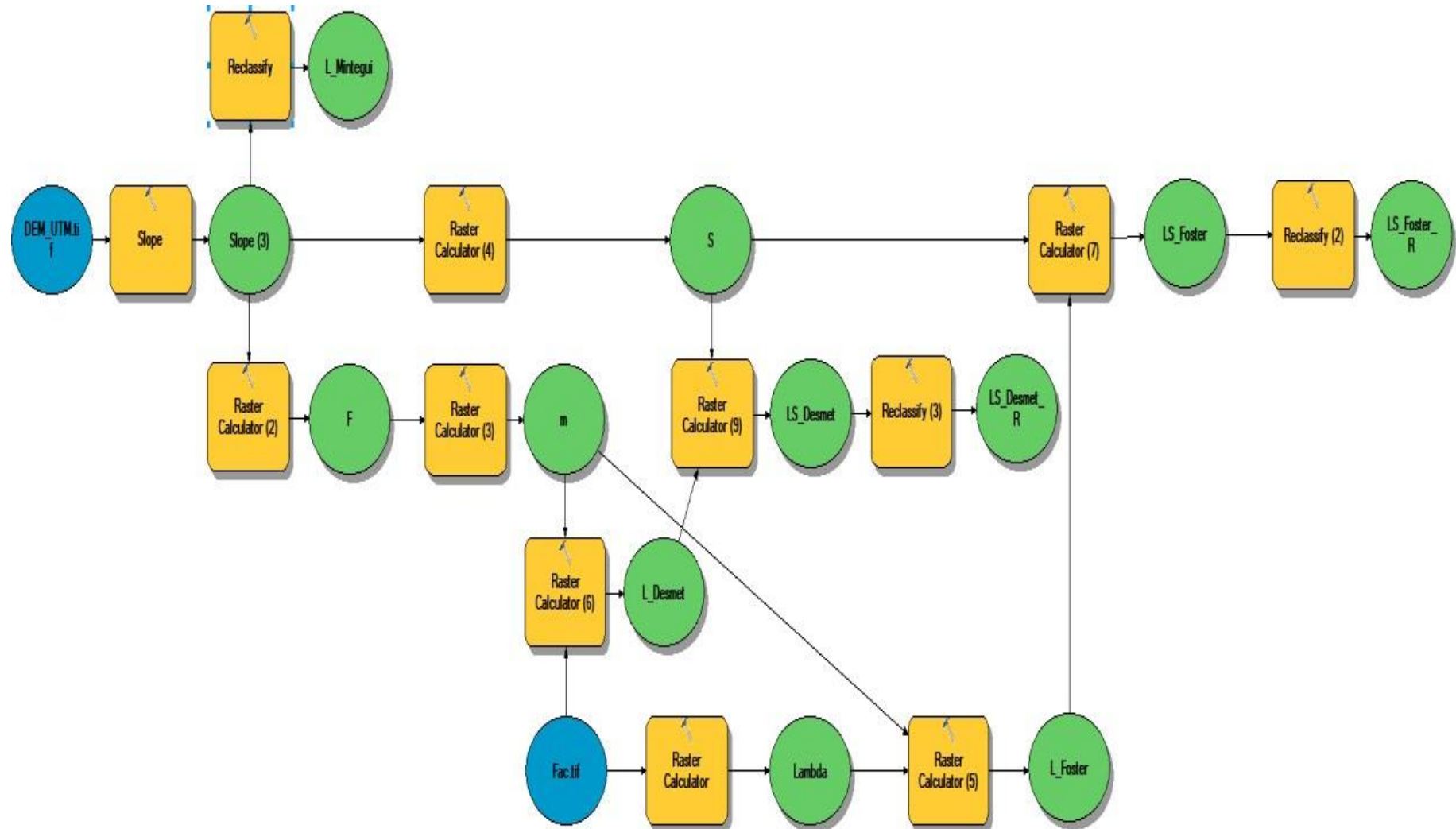


3.4.3. Factor LS

Este factor se obtuvo a partir del ráster de pendientes en porcentaje, posteriormente se halló el factor LS con tres metodologías: Mintegui, Foster y Desmet. Para la sistematización de los cálculos se construyó un modelo en el software ArcGis mediante el uso de Model Builder y la calculadora ráster.

Figura 57

Model Builder para el cálculo del Factor de Longitud y pendiente (LS).



A continuación, se presentan los mapas de la distribución del factor LS en la subcuenca Tarunca para cada una de las metodologías:

Figura 58

Mapa de Factor de Longitud y Pendiente (LS) – Método Mintegui.

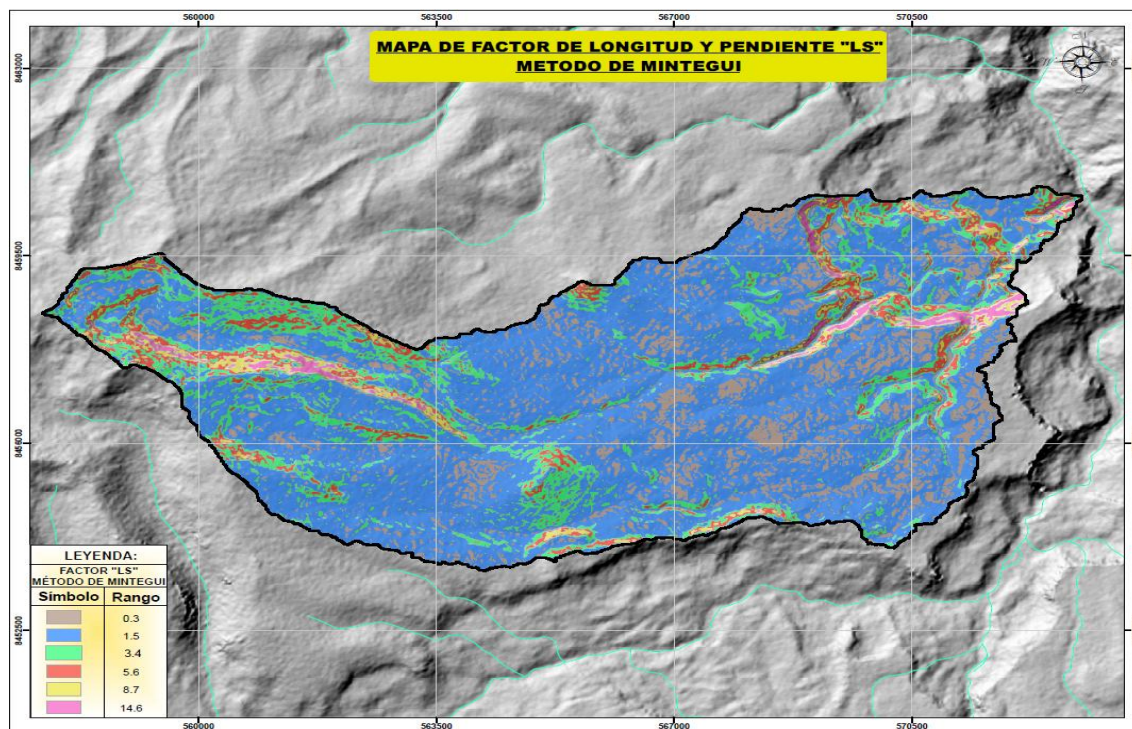


Figura 59

Mapa de Factor de Longitud y Pendiente (LS) – Método Desmet.

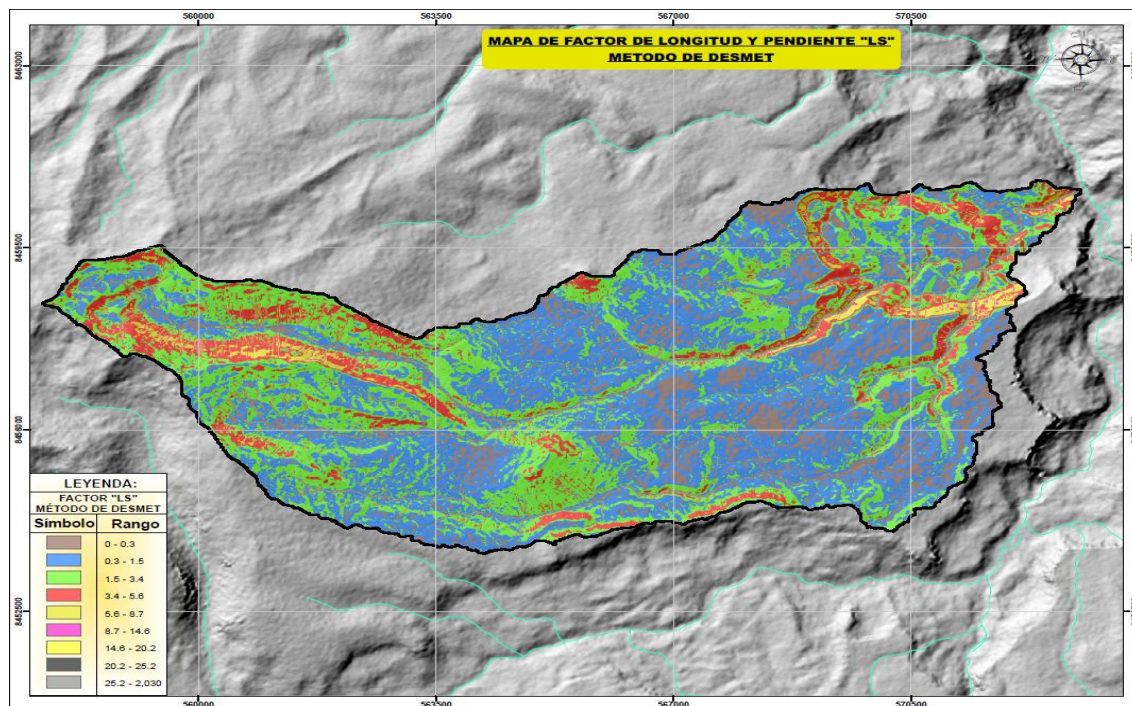
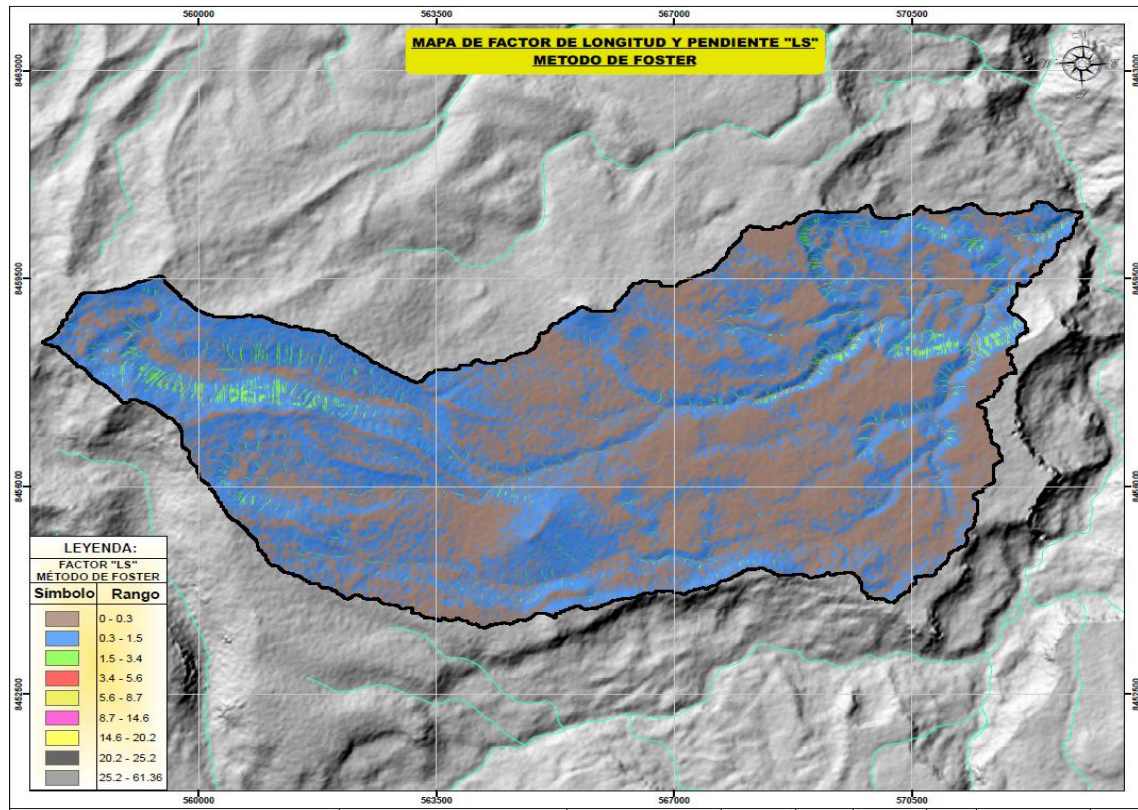


Figura 60

Mapa de Factor de Longitud y Pendiente (LS) – Método Foster.



El método de Mintegui fue seleccionado para la estimación del factor LS en la subcuenca Tarunca debido a su eficacia demostrada en contextos topográficos similares en Perú. Chipana (2022) aplicó el método de Mintegui en la cuenca del río Chumbao en Apurímac, obteniendo resultados precisos para áreas con pendientes pronunciadas y terrenos complejos. Este enfoque geomorfológico se basa en datos digitales de elevación, lo que lo hace particularmente adecuado para el análisis de la erosión en cuencas montañosas como la de Tarunca, donde la variabilidad topográfica es alta (Chipana, 2022). Además, Atauje (2018) empleó la metodología en la cuenca Huatatas en el departamento de Ayacucho, mostrando que el método de Mintegui proporciona una estimación efectiva del factor LS, contrastando con métodos más simplificados como el de Foster et al. (1980) y Desmet & Govers (1996) que pueden ser menos precisos en terrenos complejos (Atauje, 2018).

En comparación con otros métodos, el de Mintegui ofrece una solución robusta y práctica para la subcuenca Tarunca, equilibrando precisión y accesibilidad en la estimación del factor LS. Mientras que el método de Foster et al. (1980) presenta

limitaciones en terrenos con alta variabilidad topográfica, y el método de Desmet & Govers (1996) requiere una parametrización extensa, Mintegui ha demostrado ser eficaz en estudios previos en Perú para contextos de pendiente pronunciada y áreas montañosas (Chipana, 2022; Atauje, 2018). Así, la elección de Mintegui se basa en su capacidad comprobada para proporcionar estimaciones precisas del factor LS en condiciones similares a las de la subcuenca de Tarunca, apoyando una evaluación más detallada de la erosión en esta región (Atauje, 2018).

3.4.4. Factor C

Para el cálculo del factor C en la subcuenca Tarunca, se utilizó las imágenes Landsat 8 descargadas, las cuales tuvieron un tratamiento para su corrección radiométrica, posteriormente se llevó a cabo la clasificación de la cobertura vegetal mediante el cálculo del NDVI, lo cual permitió obtener la clasificación de la cobertura y por ende asignarle un valor de “C” de acuerdo a las tablas que indican la relación del factor con el uso de suelo. Para la sistematización de los cálculos se construyó un modelo en el software ArcGis mediante el uso de Model Builder y la calculadora ráster.

Figura 61

Model Builder para el cálculo del factor C.

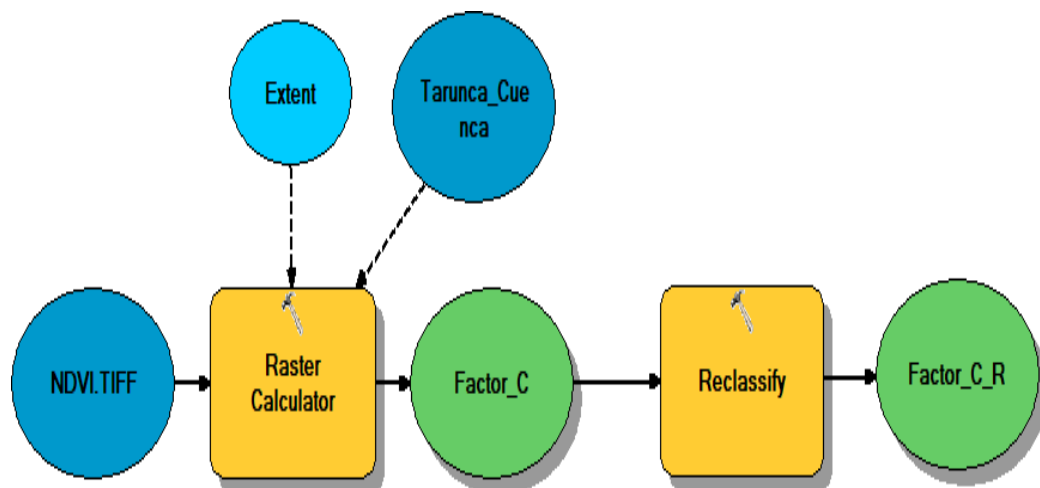


Tabla 31*Valores de "C" obtenidos para la subcuenca Tarunca.*

Clase de cobertura	C	Área (km ²)	%	C ponderado
Bosque y selva nublada	0,07	0,513	0,812	
Bosque, cultivos y pastizales	0,15	5,751	9,099	
Matorrales y pastizales	0,25	20,398	32,271	
Cultivos y pastoreo	0,35	31,259	49,454	0,31
Cultivos y arbustales	0,45	5,261	8,324	
Vegetación escasa	0,54	0,025	0,040	
Vegetación semiárida y terrenos y cultivos	1,00	0,001	0,001	

De acuerdo a los resultados presentados en la tabla precedente, se observa que la subcuenca Tarunca tiene un mayor porcentaje de cobertura vegetal del tipo cultivos y pastoreo, que representa el 49,45 por ciento del área de la subcuenca, seguido de matorrales y pastizales que abarca el 32,27 por ciento del área total. Las coberturas con mayor representatividad en la subcuenca se visualizan en el mapa del factor C en los colores amarillo para matorrales y pastizales y en color verde para cultivos y pastoreo.

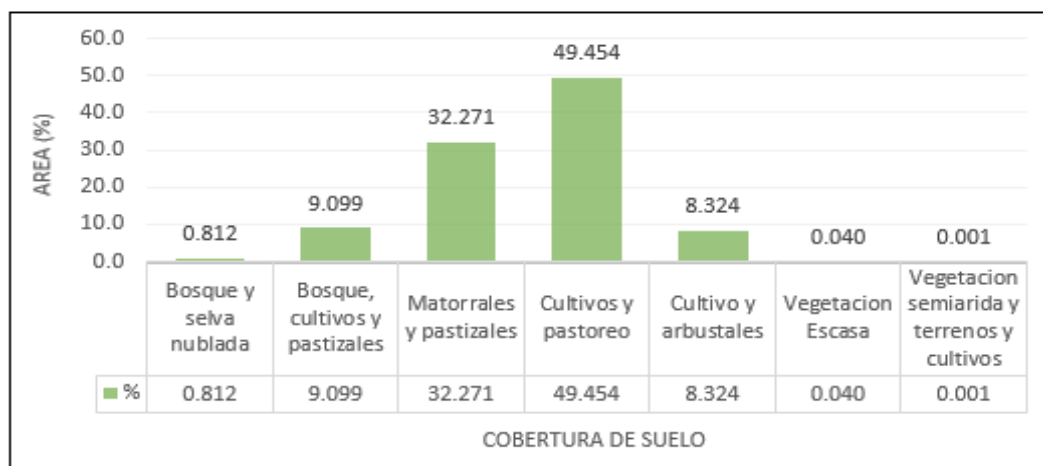
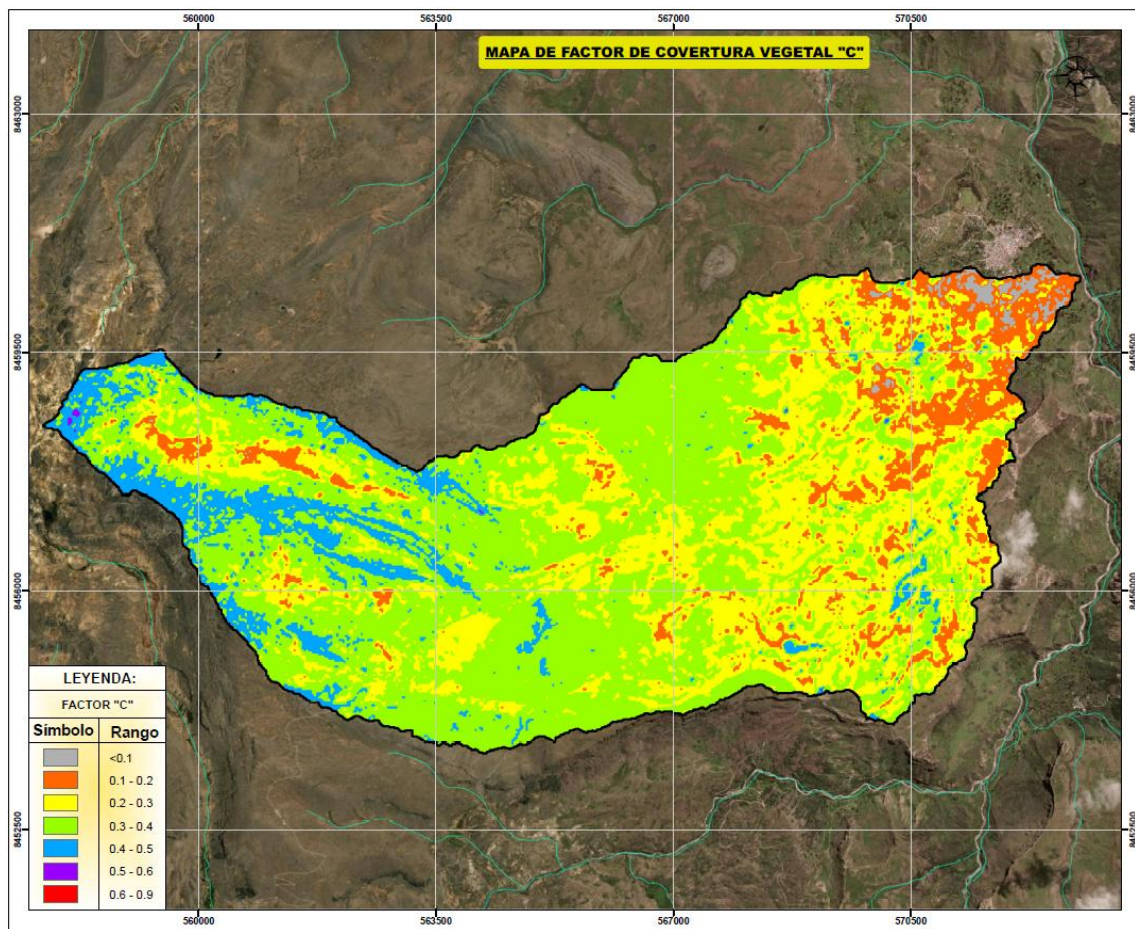
Figura 62*Porcentaje de la cobertura de suelo en la subcuenca Tarunca.*

Figura 63

Mapa del Factor C.



El análisis del factor C en la ecuación RUSLE revela la eficacia de las prácticas de manejo del suelo en la prevención de la erosión. En el presente estudio, los valores del factor C obtenidos varían entre 0,07 y 0,9. Un valor de C cercano a 0, como 0,07, indica que las prácticas de manejo del suelo son altamente efectivas en la reducción de la erosión, lo que sugiere que las técnicas empleadas, como el uso de cultivos de cobertura o la conservación del suelo, son adecuadas. Por otro lado, un valor de C cercano a 1, como 0,9, refleja una situación de manejo inadecuado del suelo, donde las prácticas actuales contribuyen significativamente a la erosión. Estos valores muestran la necesidad de ajustar las prácticas de cultivo y manejo del suelo: valores bajos sugieren prácticas efectivas que deben ser mantenidas, mientras que valores altos indican áreas de mejora para reducir la pérdida de suelo y mejorar la sostenibilidad de las prácticas agrícolas. En resumen, el factor C es un indicador clave que nos permite identificar el impacto de nuestras estrategias de manejo del suelo y guiar futuras acciones para minimizar la erosión del suelo.

3.4.5. Factor P

Para determinar el valor del factor relacionado con las prácticas de conservación del suelo “P”, se consideró lo observado durante la salida a campo, lo cual permitió identificar las zonas que contaban con algún tipo de práctica, reconociéndose cuatro zonas de las cuales dos presentaban plantaciones de arbustos de gran tamaño cumpliendo el rol de barreras vivas y las otras dos áreas contaban con un sistema de andenes y terrazas.

Figura 64

Fotografías del Sector de Sayllamocco y Tukuku presencia de andenes y terrazas.

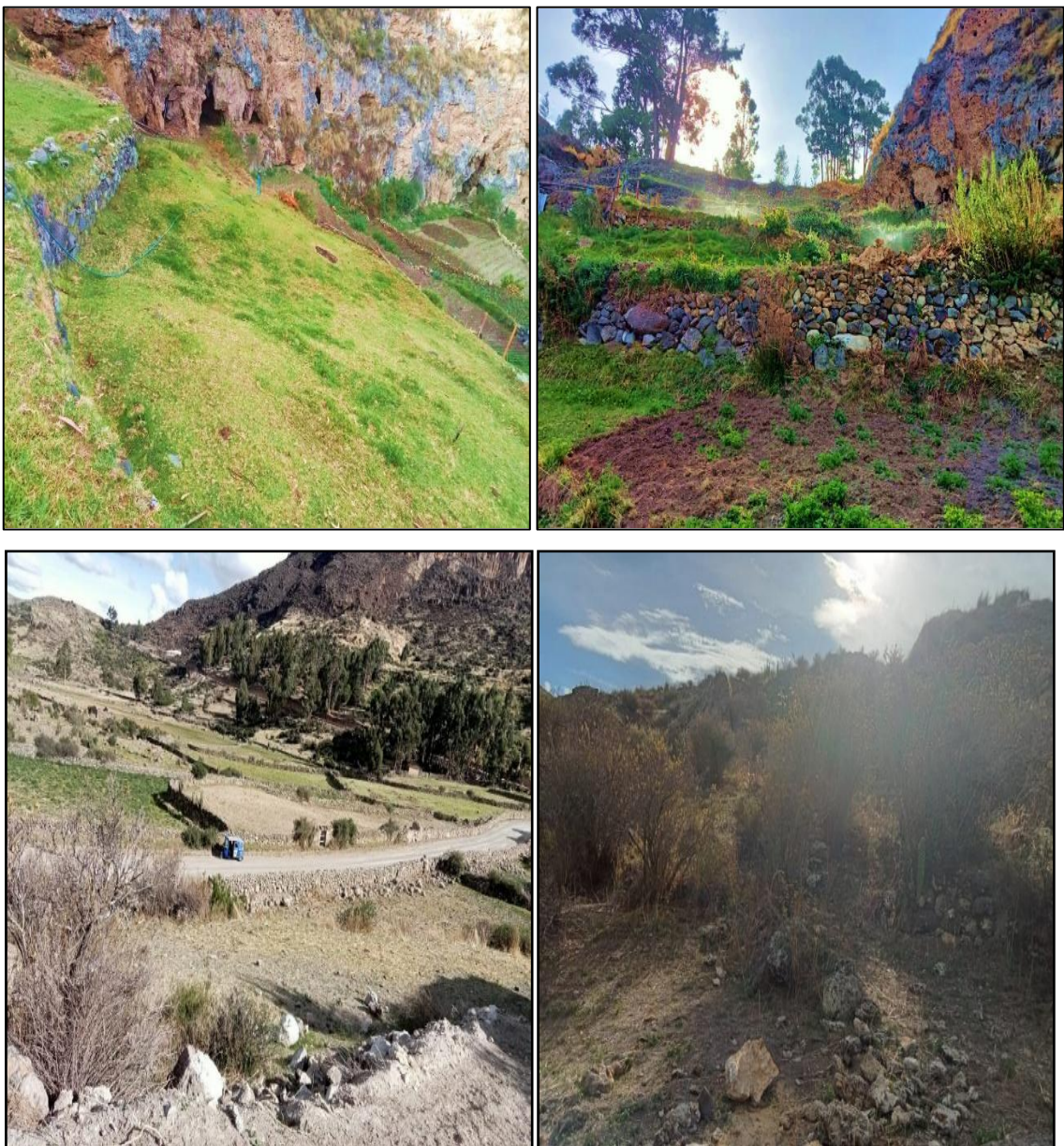


Figura 65

Fotografías del Sector de Toropotrero y Utari con presencia de arbustos.



De acuerdo al tipo de protección encontrado en campo se determinó el factor P considerando las tablas de Valores de "P" para cultivos en contorno y la longitud máxima permitida entre obras, Valores de "P" utilizados en las líneas de igual elevación y Valores de P para barreras con la distancia máxima entre obra, donde el valor P es estimado a partir de su relación con la pendiente y el tipo de protección presente en la zona, utilizándose los siguientes factores para la subcuenca Tarunca:

Tabla 32

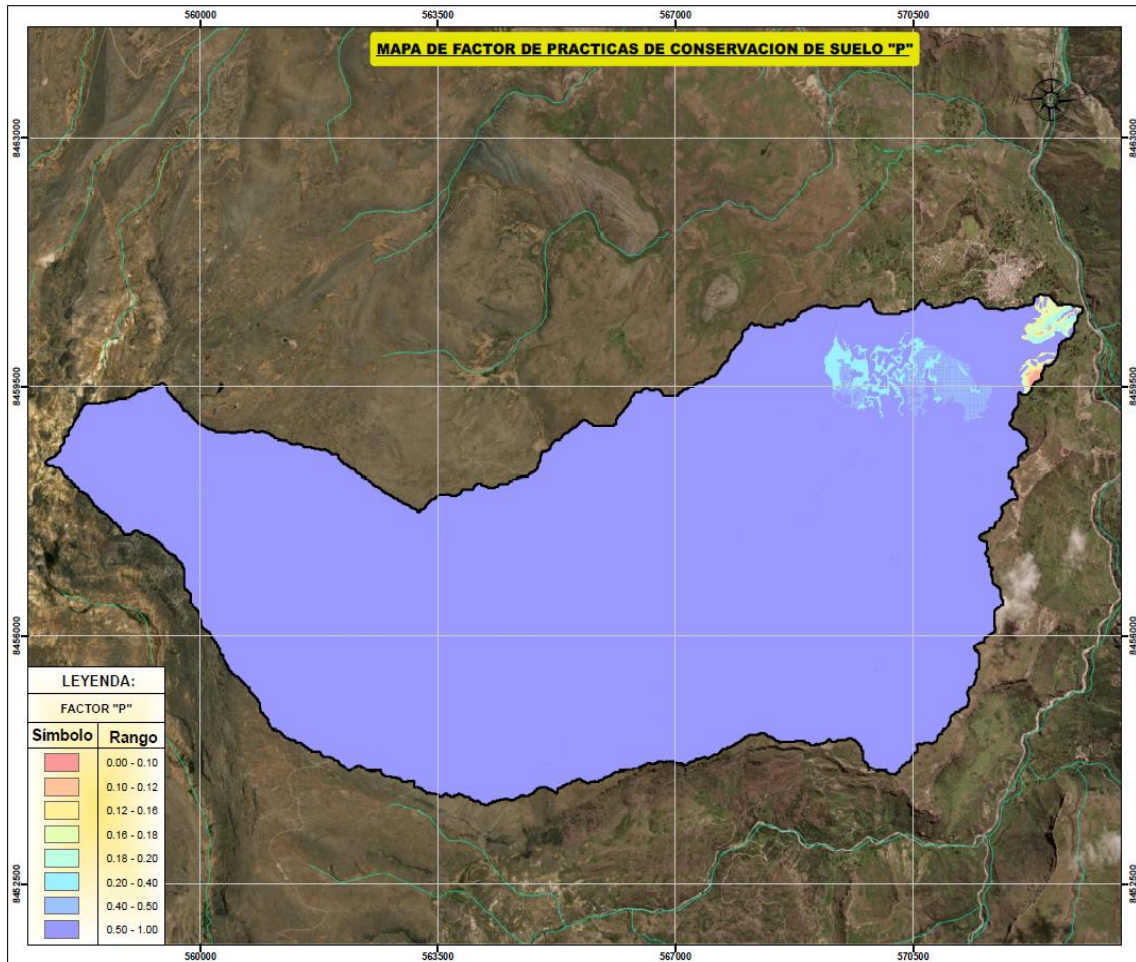
Valores de "P" obtenidos para la subcuenca Tarunca.

Sector	P
Toropotrero	0.20 – 0.50
Utari	0.20 – 0.50
Sayllamocco	0.10 – 0.18
Tukuku	0.10 – 0.20

Así mismo, cabe resaltar que se consideró un valor de P igual a 1 para las zonas donde no se presenta actividades conservadoras, los resultados de este factor en toda la subcuenca tarunca se detallan en el siguiente mapa:

Figura 66

Mapa del Factor P.



3.5. PÉRDIDA DE SUELO EN LA SUBCUENCA TARUNCA

Con los factores R obtenido por el método de Morgan, K, LS del método de Mintegui, C y P determinados en los ítems precedentes, se realizó la cuantificación de la erosión hídrica de acuerdo a la metodología RUSLE, obteniendo de esta manera una estimación del valor numérico de la pérdida de suelo en la subcuenca Tarunca, los valores de la erosión en la cuenca varían de 0 a 399,37 t/ha-año. En la siguiente figura se presenta el proceso del Model Builder utilizado para el cálculo automatizado de la pérdida de suelo y en la tabla 33., se detalla la clasificación del riesgo de la erosión hídrica estimada en la subcuenca.

Figura 67

Model Builder para el cálculo de la pérdida de suelo.

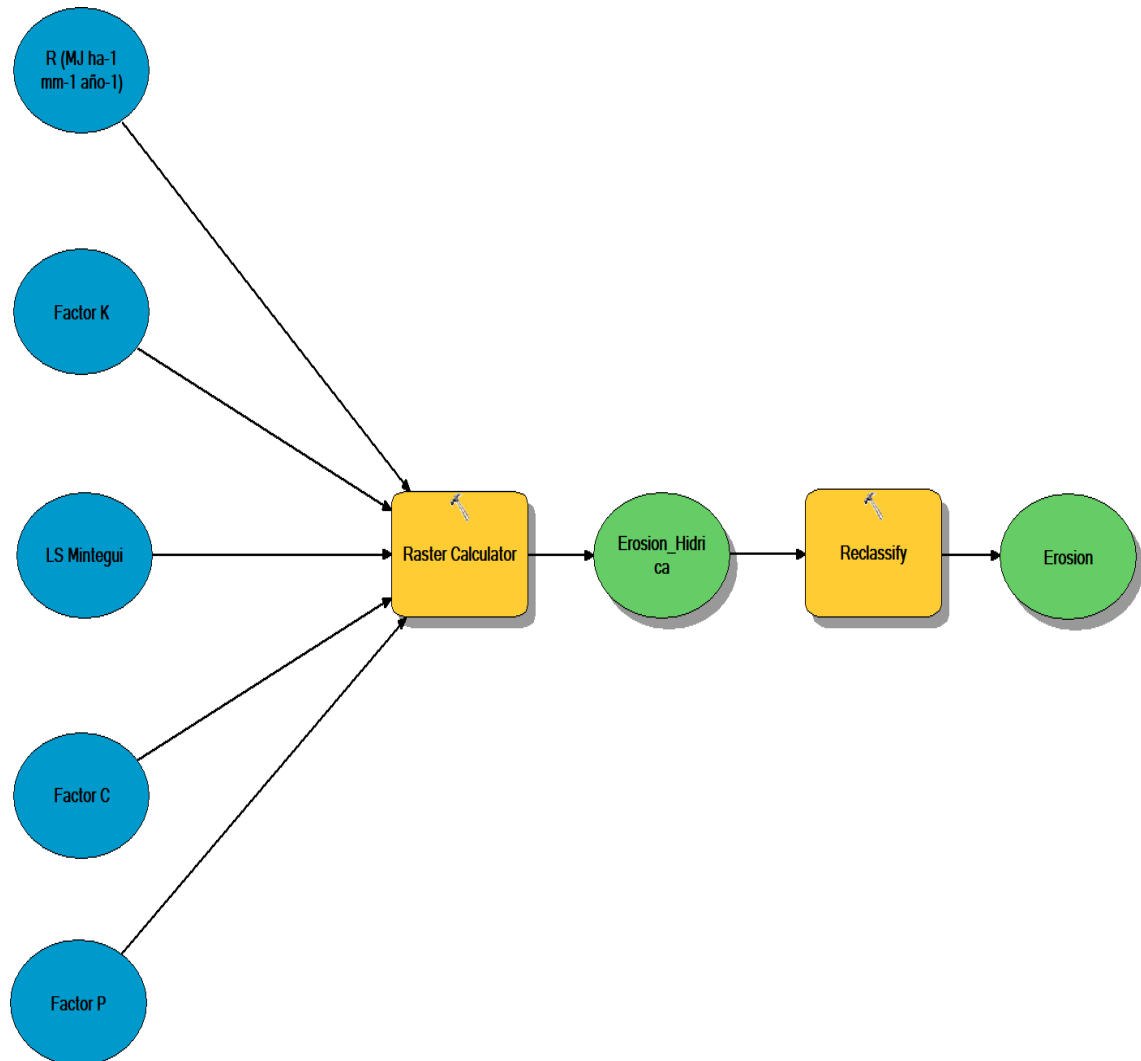


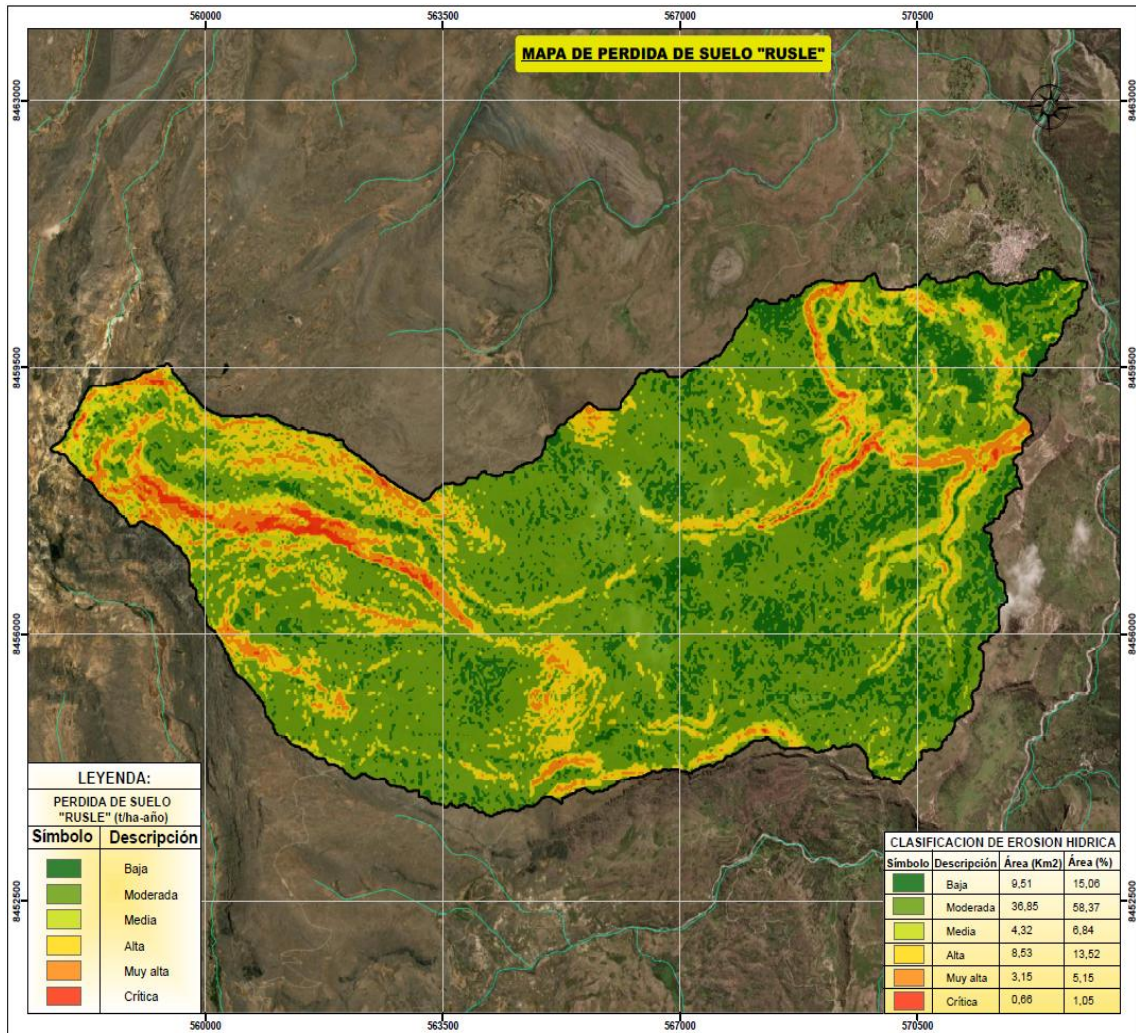
Tabla 33

Clasificación del riesgo de la erosión hídrica en la subcuenca Tarunca.

Perdida de suelo	Área (Km²)	% Área
Baja	9,51	15,06
Moderada	36,85	58,37
Media	4,32	6,84
Alta	8,53	13,52
Muy alta	3,25	5,15
Crítica	0,66	1,05

Figura 68

Mapa de pérdida de suelo en la subcuenca Tarunca.



3.6. NIVEL DE INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS DEL MÉTODO RUSLE

Con el objetivo de determinar cuál es el factor que más influye en la evaluación de la pérdida de suelo en la subcuenca Tarunca, se realizó un análisis de correlación comparando el resultado de pérdida de suelo con cada uno de los componentes de la metodología RUSLE. Para ello se tomaron marcas aleatorias dentro del área de la subcuenca y se les incorporó el valor de cada factor en formato ráster. Con esta información se presentan los gráficos de correlación y el valor del coeficiente de Pearson para cada caso:

Figura 69

Factor R vs Pérdida de suelo.

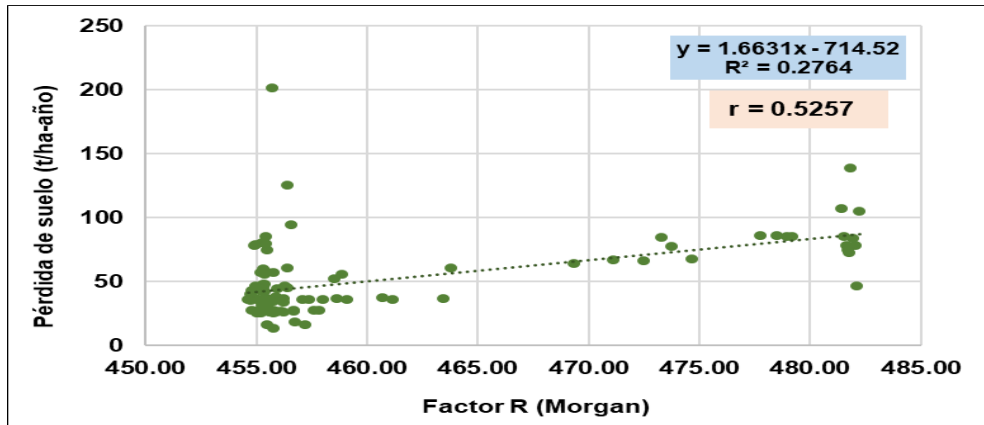
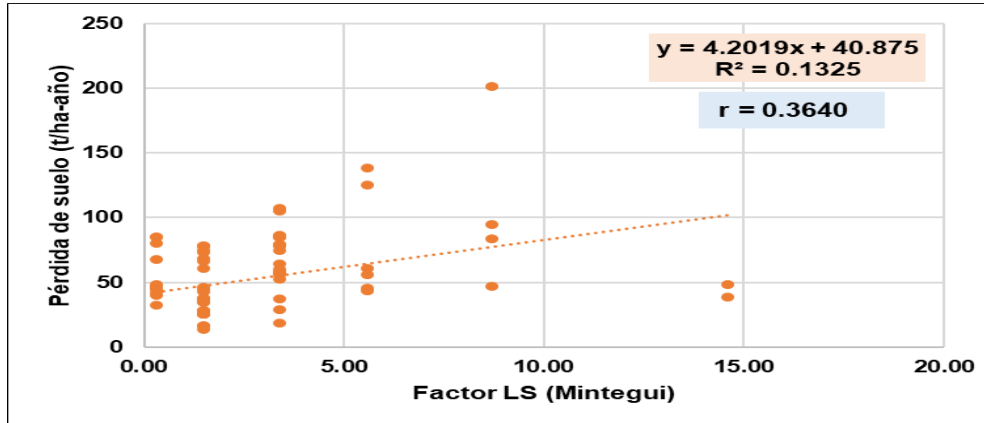


Figura 70

Factor LS vs Pérdida de suelo.



Los resultados del coeficiente de correlación de Pearson nos muestran que el 0,5257 y 0,3640 de los valores de erosión son explicados de manera lineal para los factores R y LS respectivamente.

Figura 71

Factor K vs Pérdida de suelo.

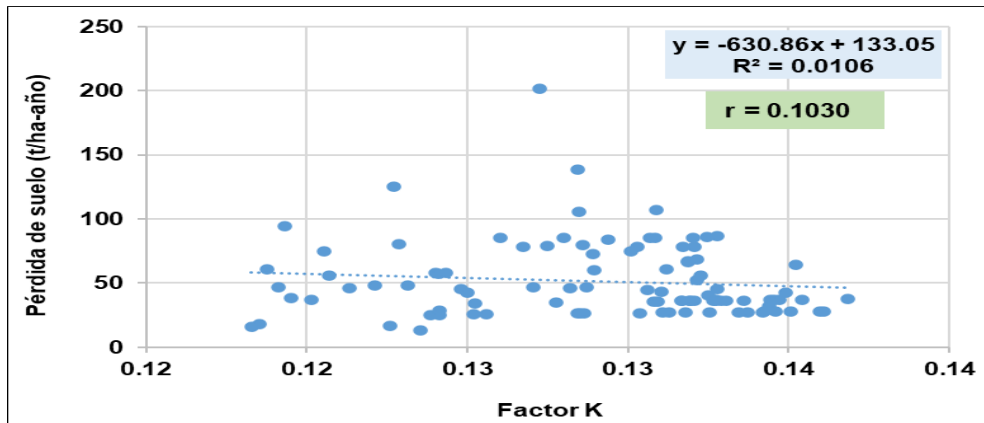


Figura 72

Factor C vs Pérdida de suelo.

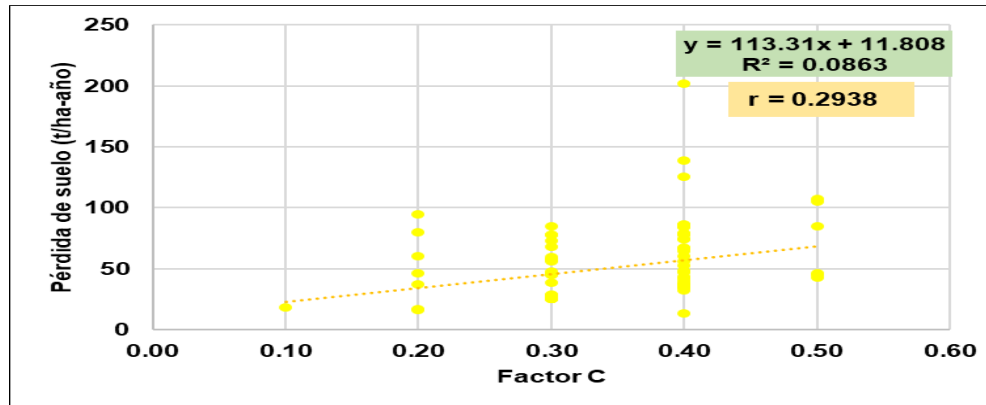
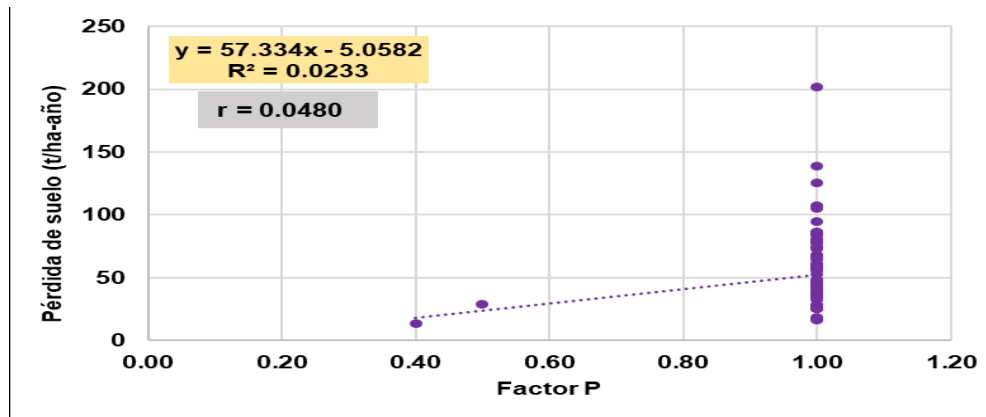


Figura 73

Factor P vs Pérdida de suelo.



Los resultados alcanzados empezando desde el análisis de correlación revelan que los factores K, C y P establecen una mínima tasa de la variabilidad de la erosión por agua en la subcuenca Tarunca, con valores de 0,1030 (10,30%), 0,2938 (29,38%) y 0,0480 (4,80%) respectivamente. Esto indica que la repercusión de estos elementos en la pérdida de suelo, aunque presentes, no es la principal fuerza impulsora del proceso erosivo en esta subcuenca Tarunca.

En contraste, el análisis revela que el factor con mayor impacto en la pérdida de suelo es el índice de erosividad de la lluvia, representado por el factor R. Este factor presenta un coeficiente de correlación de Pearson de 0,5257 y un coeficiente de determinación ($R^2 = 0,2764$), lo que implica que el factor R explica el 27,64% de la variabilidad en la pérdida de suelo. La ecuación de regresión indica que, por cada unidad adicional del factor R, la pérdida de suelo aumenta en 1,66 t/ha-año. Estos resultados ratifican que el factor R tiene una influencia significativa en la erosión hídrica.

Por otro lado, el factor LS respecto a la pérdida de suelo, muestra una relación positiva. El coeficiente de correlación de Pearson ($r = 0,3640$) indica una relación baja, mientras que el coeficiente de determinación ($R^2 = 0,1325$) señala que el factor LS explica solo el 13,25% de la variabilidad en la pérdida de suelo. La pendiente de la recta de regresión sugiere que por cada unidad que aumenta el Factor LS, la pérdida de suelo incrementa en 4,20 t/ha-año. Estos resultados evidencian que el factor LS tiene una influencia baja en la erosión hídrica.

De manera similar, el factor K, que simboliza la vulnerabilidad del suelo a la erosión con base en sus características físicas y químicas, también muestra una influencia limitada debido a que los valores de erodabilidad son bastante uniformes en toda la subcuenca. Este rango reducido en la variabilidad del factor K sugiere que las diferencias en la composición y estructura del suelo no son lo suficientemente significativas como para generar grandes disparidades en la erosión.

En resumen, los resultados sugieren que, aunque los factores K, C, y P tienen alguna influencia en la erosión hídrica, el factor R es el que más contribuye a la pérdida de suelo, mientras que el factor LS juega un papel menos destacado debido a su relativa uniformidad en la región.

Del gráfico del factor P se puede concluir que, si bien no se presenta una relación lineal, se evidencia la teoría que los parámetros de pérdida de suelo obtenidos en cuyas zonas donde existen prácticas de conservación son menores respecto a las zonas donde no se realiza ningún tratamiento.

3.7. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En un contexto internacional, López (2017) analizó la erosión hídrica en la cuenca del río Ambato, Ecuador, utilizando los modelos USLE/RUSLE bajo circunstancias de calentamiento global. En este estudio se evidenció que, a lo largo de los años, la proporción de áreas sin erosión o con erosión ligera aumentó, mientras que las áreas con erosión severa o muy alta se mantuvieron estables en un nivel bajo. Este patrón es consistente con los hallazgos de nuestro estudio en la subcuenca de Tarunca, donde también se observa que las áreas con erosión severa son limitadas, aunque la dinámica de cambio puede diferir debido a las diferencias climáticas y de manejo del suelo entre las regiones. Esto sugiere que, al igual que en el estudio de López, en la subcuenca Tarunca las prácticas de dominio del

suelo y las condiciones ambientales actuales han contribuido a controlar la erosión severa.

Por otro lado, el estudio de Ríos (2018) en Colombia, que evaluó la magnitud entre la erosión hídrica y la curvatura del terreno, no encontró una relación causal significativa debido a limitaciones en la resolución del modelo digital de elevación. En comparación, nuestra investigación, que también demostró la morfometría de la cuenca, encontró que la forma y el relieve del terreno influyen en la distribución espacial de la erosión, aunque con matices diferentes a los observados por Ríos. Este contrasta la importancia de contar con datos de alta resolución para establecer relaciones precisas entre la topografía y la erosión hídrica.

Por otro lado, Torres et al. (2020), quienes cartografiaron la erosión hídrica en una cuenca en México, se observó que una gran parte de esta presentaba algún nivel de erosión, con un pico en los meses de mayor precipitación. De manera similar, nuestro estudio encontró que la precipitación es un factor crítico en la intensificación de la erosión en la subcuenca de Tarunca, especialmente en áreas con pendientes pronunciadas. Sin embargo, el porcentaje de áreas afectadas en Tarunca es menor en comparación con el estudio de Torres, lo que podría deberse a diferencias en las características climáticas y topográficas de las cuencas estudiadas.

A nivel nacional, el estudio de Gareta (2023) en 22 cuencas de la sierra peruana reportó tasas de erosión significativas, lo que resalta la vulnerabilidad de estas áreas a la erosión hídrica. En esta investigación, los resultados muestran patrones de erosión, con porcentajes de pérdida de suelo que varían según las prácticas de manejo y las características topográficas similares. Esto refuerza la idea de que las cuencas en regiones montañosas como la subcuenca de Tarunca están sujetas a una intensa erosión, similar a la observada en otras partes de la sierra peruana.

Del Águila y Mejía (2021) realizó un análisis morfométrico en dos cuencas de ríos altoandinos en Junín, encontrando que cuencas con baja densidad de drenaje y pendientes pronunciadas son propensas a la erosión. Estos hallazgos son congruentes con los resultados obtenidos en la subcuenca de Tarunca, donde la combinación de pendientes pronunciadas y ciertas prácticas de manejo del suelo ha intensificado la erosión en algunas áreas. Esto sugiere que las

estrategias de manejo del suelo deben adaptarse a las condiciones topográficas y climáticas específicas de cada cuenca para reducir los impactos de la erosión.

En la región, Álvarez (2019) reportó fluctuaciones significativas en la erosión hídrica en la subcuenca del río Ichu entre 2013 y 2017, con variaciones atribuidas a cambios en la cobertura vegetal y las precipitaciones. Nuestro estudio en la subcuenca de Tarunca también encontró que la cobertura vegetal y las precipitaciones juegan un papel crucial en la erosión hídrica, con variaciones interanuales que reflejan la dinámica ambiental de la región. Este paralelismo sugiere que, a nivel regional, las estrategias de conservación del suelo deben considerar la variabilidad climática y promover la restauración de la cobertura vegetal para disminuir la erosión.

Finalmente, los estudios de Ttito (2018) y Raymundo (2018) en la cuenca del Vilcanota y la microcuenca del río Jucusbamba, respectivamente, enfatizan la influencia del cambio de uso de suelo y la variabilidad climática en la erosión hídrica. Estos estudios son particularmente relevantes para nuestra investigación, ya que en la subcuenca Tarunca también se observaron cambios en el uso del suelo y en los patrones climáticos, lo que ha afectado la distribución y la intensidad de la erosión. La comparación con estos estudios refuerza la obligatoriedad de una gestión integral de las cuencas que considere tanto los cambios en el uso del suelo como las condiciones climáticas cambiantes.

CONCLUSIONES

1. Existe una correlación significativa entre los parámetros morfométricos, climáticos y de manejo de suelos con la erosión hídrica en la subcuenca Tarunca. A través de la aplicación de la ecuación RUSLE y el análisis de correlación de Pearson, se evidenció que estas variables influyen de forma individual y conjunta en los procesos erosivos, determinando niveles de daño que alcanzan hasta 399,37 t/ha-año.
2. La subcuenca Tarunca presenta condiciones morfométricas que favorecen la escorrentía superficial, caracterizada por una forma alargada, pendientes pronunciadas, y una densidad de drenaje de 0,71 km/km². Así mismo el factor LS, que integra la longitud e inclinación del terreno, determinada con el método de Mintegui, presentó baja correlación con la pérdida de suelo teniendo un coeficiente de Pearson de ($r = 0,3640$). Aunque el factor LS es importante, la morfología general de la subcuenca es un elemento clave en la erosión hídrica.
3. La evaluación del factor R (erosividad de la lluvia) en la subcuenca Tarunca reveló una influencia moderada en la erosión hídrica, con un coeficiente de correlación de Pearson de ($r = 0,5257$). Esta relación se debe a la variabilidad espacial del régimen pluviométrico, con valores del factor R entre 454,49 a 482,42 MJ*mm/ ha*h*año, conforme al método Morgan. Sin embargo, estos resultados son referenciales considerando la escala espacial de la base de datos PISCO SENAMHI.
4. Las prácticas de manejo de suelo en la subcuenca Tarunca demostraron una influencia significativa en la reducción de la pérdida de suelo, especialmente en las zonas donde se aplican técnicas de conservación como andenes, terrazas y barreras vivas, menores fueron los valores del factor P (0,1 a 0,5) y, en consecuencia, la pérdida de suelo es menor. Es decir, a mayor implementación de prácticas de manejo de suelo, menor es la erosión.

RECOMENDACIONES

1. A partir de la relación identificada entre la erosión hídrica y los parámetros morfométricos, climático y manejo de suelos en la subcuenca tarunca, se recomienda implementar una zonificación detallada de áreas críticas mediante el modelo RUSLE. Para facilitar este proceso y garantizar su replicabilidad, se sugiere el uso de herramientas de automatización como el Model Builder dentro de los sistemas de información geográfica, lo que permitirá sistematizar los análisis, reducir errores operativos y generar productos cartográficos de manera eficiente.
2. Se recomienda replicar este análisis en otras subcuencas similares utilizando modelos digitales de elevación con mayor resolución y herramientas SIG, con el fin de precisar mejor la influencia del factor LS del modelo RUSLE y optimizar la identificación de zonas críticas de erosión para orientar medidas de conservación de suelo.
3. Se recomienda incorporar datos de precipitación con mayor resolución espacial y temporal, provenientes de estaciones meteorológicas locales o sensores satelitales de alta frecuencia, a fin de mejorar la estimación del factor R y captar con mayor precisión su influencia sobre la erosión hídrica en la subcuenca Tarunca.
4. Fortalecer e implementar las prácticas de conservación del suelo, como terrazas, andenes y barreras vivas, en las zonas más vulnerables de la subcuenca Tarunca. Asimismo, se sugiere monitorear periódicamente su efectividad mediante indicadores cuantitativos de pérdida de suelo para optimizar la toma de decisiones en la gestión territorial.

REFERENCIAS

- Achuy Salcedo, J. (2006). *Manual de sistemas de información geográfica ARCGIS*. Grupo Universitario.
- Alaska Satellite Facility. (s.f.). *NASA Earthdata Search – Vertex*.
<https://vertex.dacc.ast.alaska.edu/>
- Almoza, Y., Alonso, G., Medina, H., y Ruiz, M. (2008). Impacto de la variabilidad climática en el proceso de erosión hídrica. *Zonas áridas* 12(1).
<https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/rza/login>
- Álvarez, T. A. (2019). *Análisis temporal del nivel de la erosión hídrica de la subcuenta del río Ichu 2013 y 2017*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://repositorio.unh.edu.pe/items/5f12bfcf-72ca-414c-8fee-360243117b22>
- Atauje C. D. E. (2018). *Estimación de la erosión hídrica para la conservación de suelos en la cuenca Huatatas, Ayacucho*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].
<https://repositorio.unsch.edu.pe/handle/20.500.13077/1824>
- Ares, M., y Varni, M. (2016). *Erosión Hídrica*. Divulgación Universitaria de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
<https://www.unicen.edu.ar/content/%C2%BFqu%C3%A9-es-la-erosi%C3%B3n-h%C3%ADdrica-y-c%C3%B3mo-la-estudiamos-en-el-ihlla>
- Autoridad Nacional del Agua (ANA), (2009). *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú*. Ediciones ANA.
<https://hdl.handle.net/20.500.12543/1880>
- Besteiro, S. I. y Delgado, I. M (2011). Evaluación de la agresividad de las precipitaciones en la cuenca del Arroyo El Pescado, provincia de Buenos Aires (Argentina).

Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata. Vol. 110 (2): 82- 90.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5718067>

Cahuana, A., y Yugar, W. (2009). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología civ-233*. Trabajo dirigido por adscripción, presentado para optar el Diploma Académico de Licenciatura Wen Ingeniería Civil. Cochabamba – Bolivia. <https://civilmbh.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/11/hidrology-san-simon.pdf>

Calvo, L. I. (2021). *Implementación de la alfalfa en la rotación de cultivos*. [Tesis de grado, Universidad siglo 21].
<https://repositorio.uesiglo21.edu.ar/handle/ues21/21656>

Castillo, D. A., y Rojas, A. A. (2019). *Erosión hídrica del suelo como efecto de la precipitación pluvial del fenómeno del niño costero en la Subcuenca Huancay, Chicama 2017*. [Tesis de grado en Ingeniería Ambiental de la Universidad Cesar Vallejo].
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_61e3c4e61c86d495a1649035661bc69e

Chipana Q. O. (2022). *Estimación de la pérdida de suelo media anual mediante la ecuación universal de pérdida de suelo revisada, en la cuenca del río Chumbao, Provincias de Andahuaylas y Chincheros – Apurímac – 2019*. [Tesis de Licenciatura de la Universidad Tecnológica de los Andes].
<https://repositorio.utea.edu.pe/items/d249c97d-9753-4384-81e5-a9951d743396>

Dormuz Castilblanco, M. del C., & Ubeda Soza, K. F. (2019). *Diseño hidráulico del cauce ubicado en los barrios Oscar Gámez N° 2, La Comuna y el 14 de abril en el municipio de Estelí*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional Biblioteca UNI.
<https://ribuni.uni.edu.ni/3140/>

Cisneros, J., Cholaky, C., Canteor Gutiérrez, A., González, J., Reynero, M., Diez, A., y Bergesio, L. (2012). *Erosión hídrica. Principios y técnicas de manejo*. Editorial UniRío.
http://www.todoagro.com.ar/documentos/2013/Erosion_Hidrica.pdf

Consortio Río Garagoa. (2017). Plan de ordenación y maneja de la cuenca

- hidrográfica. <https://www.car.gov.co/uploads/files/5c1a9fcf99956.pdf>
- Cotler, H. et. al. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. Cuaderno de divulgación ambiental red mexicana. <https://www.researchgate.net/publication/280938710>
- Cruz, B., y Gaspar, F. (2015). *Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México*.
- De Regoyos, M. (2003). *Metodología para la evaluación de la erosión hídrica con modelos informáticos*.
- Del Águila, S. (2024). *Modelamiento hidrológico de cuencas andinas*. Fondo Editorial de la UNSCH. https://oficinas.unsch.edu.pe/vri/wp-content/uploads/2024/04/df_2422715.001_LIBRO-MODELAMIENTO-HIDROLO%CC%81GICO-final.pdf
- Del Águila, S. y Mejía, A. (2021). Caracterización morfométrica de dos cuencas altoandinas del Perú utilizando sistemas de Información Geográfica. *Instituto mexicano de tecnología del agua*, DOI:10.24850/j-tyca-2021-02-12
- Derpsch, R. (2006). *Entender el proceso de la erosión y la de infiltración de agua en el suelo*. Siembra Directa, Agricultura Sostenible en el Nuevo Milenio. https://www.academia.edu/26761871/Entender_El_Proceso_De_La_Erosi%C3%B3n_y_De_La_Infiltraci%C3%B3n_De_Agua_en_El_Suelo
- Escobar, M. Y. (2019). *"Mitigación de la erosión hídrica para la conservación del suelo en la subcuenca del río Ichu, Huancavelica*. [Tesis de Magíster Scientiae en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas de la Universidad Nacional Agraria La Molina]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAL_8689b854ea4e02e76ac9d1afac6e9e4b
- Farfán, F., Urbina, L., Ferreira, S., y Brandan, M. (2010). Caracterización y Red de Drenaje de la Subcuenca del Río Tin-Tin, PN. *Los Cardones, Salta. Ciencia, Vol. 5, N°16*.
- Flores, A. L. (2015). *Aproximación de riesgo por erosión hídrica aplicando un sistema de información geográfica en la subcuenca shambillo, distrito de Padre Abad*.

Aprox. de riesgo por erosión hídrica aplicando un sistema de información geográfica en la subcuenca shambillo. [Tesis de grado en Recursos Naturales Renovables mención en Conservación de Suelos y Agua de la UNAS]: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAS_686323aa10e85b30eb89bfa20c882b99

Gaitán, J. (2017). *Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina.* Ediciones INTA. https://inta.gob.ar/sites/default/files/libro_erosion_hidrica_rep_argentina.pdf

García-Ruiz, J. M., Nadal-Romero, E., Lana-Renault, N., & Beguería, S. (2013). Erosion in Mediterranean landscapes: Changes and future challenges. *Geomorphology*, 198, 20–36. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.05.023>

Gareta, M. (2023). *Erosión hídrica en la sierra del Perú.*

Gaspari, F. J., Rodríguez, A. M., Senisterra, G. E., Denegri, G., Delgado, M., y Besteiro, S. (2012). *Caracterización Morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires. Argentina.* Séptimo congreso de medio ambiente AUMG. La Plata Argentina.

Geler, T., y Penteado, A. (2015). *Análisis del factor-LS en diferentes modelos de predicción de la erosión hídrica del suelo.* <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7696822>

GeoGPSPerú. (2014, 17 de febrero). *Cuencas hidrográficas del Perú – SHP.* <https://www.geogpsperu.com/2014/02/descargar-cuencas-hidrograficas-del.htm>

Huerta, P., y Lolo, O. (2014). *Erosión Hídrica En La Cuenca Alta Del Río Moche.*

Ibáñez, S., Moreno, H., y Gisbert, J. (2012). *La ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE).* Universidad Politécnica de Valencia. <http://hdl.handle.net/10251/16849>

Idme, B. A. (2020). *Modelación de flujo del sistema acuífero de la cuenca Totorani.* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano]. http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/16165/Idme_Aguilar_Brian_Albert.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA). (1997). *Manual de conservación de suelos y aguas: tecnologías y métodos*. Ministerio de Agricultura del Perú.
- Joyo, A. (2018). *Determinación de la erosión hídrica de suelo; en las zonas agrícolas del centro poblado de Pampa Cangallo - Ayacucho*. [Tesis de grado en Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSJ_581430c110e747f50fc96a372a7c_eb80
- López Parco, J. A. (2017). *Erosión hídrica en la unidad hidrográfica del río Ambato, en un escenario de cambio climático, mediante el modelo USLE/RUSLE* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Chimborazo]. <https://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/4261>
- Lux, B. (2012). *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*. *Repositorio Institucional USAC*.
- Lux, B. (2015). *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*. Cursante de Maestría en Energía y Ambiente de la Universidad de San Carlos de Guatemala. <https://core.ac.uk/reader/35294551>
- Ministerio de Educación del Perú. (s.f.). SIGMED – *Sistema de Gestión de la Medición del Desempeño*: <http://sigmed.minedu.gob.pe/descargas/>
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego) (2014). *Cartillas para la conservación del suelo Terrazas de banco (Andenes)*. <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/ais-2015/terrazas-banco.pdf>
- Mozombite, D. F. (2018). *Evaluación de la erosión hídrica en el deterioro de suelos en el Distrito de Huacar, microcuenca de Huacarmayo - Ambo -Huánuco - 2017*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán de Huánuco]. <https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/3297/TAG%2000737%20M89.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Nakaya, D. E. (2018). *Estimación de la pérdida de suelo media anual mediante el modelo RUSLE, en la cuenca del río Tingo-Cajamarca*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3591>

- Navarro, A. N. (2020). *Estudio Hidrológico De La Cuenca Alto Tulumayo, Provincia De Concepción, Región Junín, Para El Proyecto: "Mejoramiento y Ampliación del Canal de Riego de las Localidades de Huancamanta, Pilcollama, Parco, Distrito De Cochas e Ichahuanca y Tunzo, Distrito De Comas.* [Tesis de grado, Universidad Peruana del centro]. Biblos-e Archivo. <http://hdl.handle.net/20.500.14127/224>
- Olaya, V. (2014). *Sistema de Información Geográfica.* <https://upn.edu.pe/sistemas-de-informacion-geografica>
- Palacios, E. (2016). *Gestión integral de cuencas hidrográficas.* Editorial Vargas. <http://pridca.csuca.org/images/Noticias/A3/Cartilla---Gestion-Integral-de-Cuencas-Hidrograficas.pdf>
- Pando, M., Gutiérrez, M., Maldonado, A., Palacio, J., y Estrada, A. (2003). *Comparación de métodos en la estimación de erosión hídrica. Investigación Geográficas, UNAM* (Núm. 51, 2003 ed.).
- Pérez, J. (1979). *Fundamentos del ciclo hidrológico.* Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería Departamento de Meteorología e Hidrología. Caracas, Venezuela.
- Pimentel, D., & Kounang, N. (1998). *Ecology of soil erosion in ecosystems.* *Ecosystems*, 1(5), 416–426. <https://doi.org/10.1007/s100219900035>
- Pizarro, R., Flores, J., Sangüesa, C., Martínez, E., y García, J. (2004). *Diseño de obras para la conservación de aguas y suelo. Manual de opciones tecnológicas.*
- Ramírez, P., y Álvaro, K. (2018). Morfometría de la subcuenca del río Toyogres, Cartago, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 1(60), 255-275.
- Ramos, J., y Bellido, E. (2012). *Técnicas de investigación.* <http://institutorambell.blogspot.com/2012/>
- Raymundo, A. A. (2018). *Evaluación de la pérdida del suelo mediante el modelo RUSLE en la microcuenca del río Jucusbamba. Provincia de Luya, Región Amazonas (Perú).* [Tesis de grado de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNTR_556215a4b9d0d91b40e5f

04cb3e 3c18f

- Ríos, J. D. (2018). *Erosión hídrica y evolución del relieve en las cuencas de los ríos Grande y San Andrés, Antioquia – Colombia* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/64234>
- Rosas, M. (2016). *Cuantificación de la erosión hídrica en el Perú y los costos ambientales asociados*.
- Rosas, M., y Gutiérrez, R. (2016). *Cuantificación de la erosión hídrica en el Perú*. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/civilizate/article/view/18619/18857>
- Servicio de Meteorología e hidrología del Perú. (2017). *Atlas de erosión de suelos por regiones hidrológicas del Perú*. https://idesep.senamhi.gob.pe/portalidesep/files/tematica/atlas/erosi%C3%B3n_de_suelo/Atlas_Erosion_Suelos_por_Regiones_Hidrologicas_Peru.pdf
- Sosa, J., y Martínez, F. (2009). *Los sistemas de información geográfica y su aplicación en enlaces de comunicaciones Científicas*. Instituto Politécnico Nacional Distrito Federal, México. <http://www.acuedi.org/doc/4554/los-sistemas-de-informacin-geografica-y-su-aplicacin-en-enlaces-de-comunicaciones.html>
- Taboada, L. (2011). Evaluación de la erosión hídrica en áreas con Zanjas de Infiltración.
- Talavera Medina, L. E., & Blanco Urroz, R. J (2006). Estudio de la pérdida de suelo por erosión hídrica, utilizando parcelas de escurrimiento en la parte alta de la cuenca Estero Real (Salitre-Sauce-León), durante el periodo de invierno (junio-diciembre) del 2005. [Tesis de grado en ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/934/1/198989.pdf>
- Tomé, G. (2022). *Caracterización morfológica de la cuenca del río Huitzilac, Puebla. Tierras, Geomorfología y Recursos Naturales*. <http://portal.amelica.org/ameli/journal/344/3443321005/3443321005.pdf>
- Torres, E., Cortes, J., Uresti, J., Torres, L. y Rivera, P.S. (2020). Predicción de la erosión hídrica en la cuenca del Cañón del Sumidero, Chiapas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 11(8) 1903-1915.

- Titto, J. B. J. (2018). “Cambio de uso de suelo y variabilidad climática en la cuenca media del Vilcanota (Valle Sagrado de los Incas), período 1975 - 2015”. [Tesis de Doctor, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/918a818f-426d-4671-af5f-c43b3339ce6f>
- Valdez, E. H. (2014). *Análisis de pérdida de suelos por erosión hídrica en la subcuenca Conduriri mediante la metodología RUSLE, 1980 -2014*. [Tesis de grado en Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional del Altiplano]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP_f523ef05956dcd0e3df872d6abf1c85e
- Vásquez, A., Mejía, A., Faustino, J., Terán, R., Vásquez, I., Díaz, J., . . . Alcántara, J. (2016). *Manejo y gestión de cuencas hidrográficas*. Fondo Editorial UNALM. <http://www.untumbes.edu.pe/vcs/biblioteca/document/varioslibros/1209.%20Manejo>
- U.S. Geological Survey. (s.f.). *EarthExplorer*. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Villon, M. (2011). Hidrología. Lima - Perú: Villón.
- Wischmeier, W.H (1959). “Un índice de erosión por lluvia para una ecuación universal de pérdida de suelo”. *Soil Science Society of America Journal*. <https://doi.org/10.2136/sssaj1959.03615995002300030027x>
- Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537. *USDA/Science and Education Administration, US. Govt. Printing Office, Washington, DC. 58pp*. <http://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>
- Zeña Damián, A. C., & Santamaría Llantop, C. E. (2021). *Diseño de una defensa ribereña mediante enrocado en los ríos Corral del medio y La Gallega, longitud 4.0 km. Distrito y provincia de Morropón, región Piura*. [Tesis de grado, Universidad Pedro Ruiz Gallo]. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/9410>

ANEXOS

Anexo 1

Registros de precipitaciones de las estaciones meteorológicas.

ID	Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1	Chuschi	145.16	148.85	127.82	47.34	10.51	5.02	7.01	9.03	18.33	37.08	35.83	114.81	633.92
2	Huancapi	156.18	163.13	132.05	46.46	11.92	4.78	7.88	15.21	29.79	34.63	44.93	101.76	632.25
3	Huancasancos	162.36	162.98	126.10	35.09	14.58	7.23	6.42	15.49	31.61	40.73	55.11	100.25	688.77
4	Pampa Cangallo	147.15	139.29	125.36	48.05	8.41	4.70	8.28	11.18	27.68	35.65	54.41	94.72	704.88
5	Paras	118.85	149.78	126.85	45.75	12.41	6.06	6.63	14.24	30.07	35.50	47.56	89.25	682.95
6	Rayusca	178.12	182.67	142.33	57.63	18.39	4.56	9.28	18.32	32.70	55.07	53.87	115.62	855.62
7	Vilcashuamán	134.08	151.16	135.20	45.96	9.97	3.78	3.73	7.07	14.58	26.16	26.01	72.64	630.34
8	Vischongo	140.26	151.30	134.19	37.33	14.65	7.01	6.23	16.47	25.79	48.42	61.52	103.18	746.36

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA

Estación:	Chuschi	Latitud:	-13.58	Departamento:	Ayacucho
Operador:	Estudio	Longitud:	-74.35	Provincia:	Cangallo
Tipo:	Convencional / Climática	Altitud:	3141	Distrito:	Chuschi

Chuschi - Precipitación total mensual (mm)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1963	181.57	184.18	143.51	86.40	10.30	0.00	0.00	30.40	7.50	45.20	49.30	92.70	831.06
1964	81.57	184.18	143.51	86.40	10.30	0.00	0.00	30.40	7.50	45.20	49.30	92.70	731.06
1965	181.57	259.40	112.00	57.54	16.69	4.65	9.54	18.24	33.49	55.73	55.80	181.70	986.35
1966	159.00	95.30	113.70	15.80	49.40	4.65	9.54	18.24	33.49	55.73	54.66	117.06	726.57
1967	159.00	312.50	246.10	41.60	26.80	2.30	32.30	22.90	42.20	119.00	42.80	48.20	1095.70
1968	112.50	87.90	151.30	21.80	38.70	19.40	4.00	26.20	18.30	114.30	61.10	54.60	710.10
1969	104.60	156.50	171.70	103.70	6.10	5.30	4.40	2.60	19.30	89.90	72.80	112.40	849.30
1970	235.90	154.90	121.70	74.10	41.30	6.80	4.30	0.00	101.20	62.80	44.60	189.80	1037.40
1971	188.40	242.90	168.70	60.40	9.90	0.80	0.00	7.30	5.10	34.00	17.30	59.80	794.60
1972	251.70	165.50	228.50	77.70	8.30	0.00	10.70	4.50	53.60	80.60	51.80	124.10	1057.00
1973	246.80	170.50	213.00	84.50	0.00	1.90	7.50	27.20	48.90	46.70	42.10	185.60	1074.70
1974	261.10	243.40	96.80	79.10	6.30	7.10	2.20	64.00	21.20	34.00	35.50	69.40	920.10
1975	136.70	212.80	158.90	16.80	45.70	8.20	1.20	8.10	21.00	24.80	65.00	127.50	826.70
1976	227.10	198.20	155.70	41.40	9.50	3.90	27.30	8.80	108.10	1.80	22.30	91.30	895.40
1977	106.80	256.10	130.00	20.60	11.70	0.00	6.70	0.00	20.00	12.30	121.70	65.20	751.10

1978	167.20	61.10	89.40	50.90	13.80	4.60	0.30	0.00	6.00	55.73	54.66	117.06	620.75
1979	181.57	184.18	143.51	57.54	0.00	2.60	30.20	10.50	9.40	1.70	43.20	55.10	719.50
1980	181.57	74.90	64.90	0.00	15.20	2.20	27.10	9.40	24.20	114.10	62.40	81.30	657.27
1981	211.10	315.00	104.80	161.50	7.10	8.20	3.80	82.70	29.80	54.80	74.80	334.20	1387.80
1982	155.70	124.20	112.50	41.90	0.40	7.80	0.20	5.40	33.49	55.73	54.66	117.06	709.04
1983	150.82	152.99	119.21	47.80	13.87	3.86	7.93	15.15	27.82	46.29	45.41	97.23	728.38
1984	181.57	184.18	143.51	57.54	16.69	4.65	9.54	18.24	33.49	55.73	54.67	117.06	876.87
1985	181.57	184.18	143.51	57.54	16.69	4.65	9.54	18.24	33.49	55.73	54.67	117.06	876.87
1986	181.52	184.13	143.47	57.52	16.69	4.65	9.54	18.23	33.48	55.72	54.65	117.02	876.62
1987	146.48	148.58	115.77	46.42	13.47	3.75	7.70	14.71	27.02	44.96	44.10	94.43	707.39
1988	189.07	191.78	149.43	59.92	17.38	4.84	9.93	18.99	34.87	58.03	56.92	121.89	913.05
1989	259.21	262.93	204.87	82.14	23.83	6.64	13.62	26.03	47.81	79.56	78.04	167.10	1251.78
1990	202.39	205.30	159.96	64.14	118.61	5.19	10.63	20.33	37.33	62.12	60.93	130.47	1077.40
1991	162.39	164.72	128.35	51.46	14.93	4.16	8.83	16.31	29.95	49.84	48.89	104.69	784.52
1992	117.11	118.70	92.56	37.11	10.77	3.00	6.15	11.76	21.60	35.95	35.26	75.50	565.47
1993	233.13	236.48	184.26	73.88	21.43	5.97	12.25	23.41	43.00	71.56	70.19	150.29	1125.85
1994	177.29	179.84	140.13	56.18	16.30	4.54	9.32	17.81	32.70	54.42	53.38	114.30	856.21
1995	191.27	194.02	151.17	60.61	17.59	4.90	10.05	19.21	35.28	58.71	57.58	123.31	923.70
1996	178.84	181.41	141.35	56.67	16.44	4.58	9.40	17.96	32.98	54.89	53.84	115.29	863.65
1997	183.19	185.82	144.79	58.05	16.84	4.69	9.63	18.40	33.79	56.23	55.15	118.10	884.68
1998	128.77	130.62	101.78	40.81	11.84	3.30	6.77	12.93	23.75	39.53	38.77	83.02	621.89
1999	112.43	114.04	88.86	35.63	10.34	2.88	5.91	11.29	20.74	34.51	33.83	72.48	542.94
2000	131.06	132.95	103.59	41.53	12.05	3.36	6.89	13.16	24.17	40.23	39.46	84.49	632.94

2001	131.30	133.19	103.78	41.61	12.07	3.36	6.90	13.19	24.22	40.30	39.53	84.65	634.10
2002	199.79	202.66	157.91	63.31	18.37	5.12	10.50	20.06	36.85	61.32	60.15	128.80	964.84
2003	171.50	173.96	135.55	54.35	15.77	4.39	9.01	17.22	31.63	52.64	51.63	110.56	828.21
2004	177.71	180.26	140.46	56.32	16.34	4.55	9.34	17.85	32.77	54.55	53.50	114.57	858.22
2005	173.98	176.48	137.51	55.13	16.00	4.46	9.14	17.47	32.09	53.40	52.38	112.16	840.20
2006	211.80	214.84	167.40	67.12	19.47	5.43	11.13	21.27	39.06	65.01	63.76	136.54	1022.83
2007	179.02	181.59	141.49	56.73	16.46	4.59	9.41	17.98	33.02	54.95	53.90	115.41	864.55
2008	168.01	170.42	132.79	53.24	15.45	4.31	8.83	16.87	30.99	51.57	50.58	108.31	811.37
2009	195.58	198.39	154.58	61.98	17.98	5.01	10.28	19.64	36.07	60.03	58.88	126.09	944.51
2010	186.15	188.83	147.13	58.99	17.12	4.77	9.78	18.70	34.33	57.14	56.04	120.01	898.99
2011	231.85	235.18	183.25	73.47	21.32	5.94	12.18	23.28	42.76	71.17	69.80	149.47	1119.67
2012	234.42	237.79	185.28	74.29	21.55	6.01	12.32	23.54	43.23	71.95	70.57	151.12	1132.07
2013	183.62	186.26	145.13	58.19	16.88	4.71	9.65	18.44	33.86	56.36	55.28	118.37	886.75

PROMEDIO	178.12	182.67	142.33	57.63	18.39	4.56	9.28	18.32	32.70	55.07	53.87	115.62	855.62
MÍNIMO	81.57	61.10	64.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.10	1.70	17.30	48.20	542.94
MÁXIMO	261.10	315.00	246.10	161.50	118.61	19.40	32.30	82.70	108.10	119.00	121.70	334.20	1132.07

Nota. Los datos hidrológicos que se encuentra en la Base de datos del SNIRH, corresponden a información primaria sin control de calidad, la misma que está sujeta a variación según el criterio del operador de la estación.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA

Estación: Huancapi **Latitud:** -13.75 **Departamento:** Ayacucho
Operador: SENAMHI **Longitud:** -74.07 **Provincia:**
Tipo: Convencional / Climática **Altitud:** 3186 **Distrito:** Huancapi

Huancapi - Precipitación total mensual (mm)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1964									3.00	20.00		20.20	43.20
1965	68.40	163.90	54.90	65.20	3.20	2.20	1.20	2.90	38.30	25.70	43.10	62.40	531.40
1966	160.40	41.50	117.00	3.50	19.40	0.00	0.00	0.00	49.10	173.90	64.70	95.10	724.60
1967	185.40	286.30	192.90	43.20	3.10	0.00							710.90
1968					20.30	6.00			9.00				35.30
1969			119.10	26.40		0.90	0.60	5.50	10.10				162.60
1970	126.60	91.20	107.90	52.60	30.20	7.60	0.00	0.00	47.80	30.50	7.50	88.10	590.00
1971	129.00	198.20	169.00	82.30	13.20	0.00	0.00	7.60	5.80	20.40	62.50	73.80	761.80
1972	109.00	106.20	195.20	40.90	0.00	0.00	6.20	0.90	34.40	66.40	30.00	78.40	667.60
1973	141.10	134.60	138.40	68.70	0.00	4.30	4.50	25.40	49.80	23.70	32.30	129.40	752.20
1974	233.70	209.80	96.00	42.50	8.70	13.10	5.60	90.30	6.10	9.00	34.10	32.00	780.90
1975	96.80	101.90	137.20	1.80	65.60	0.00	0.00	0.00	28.90	15.10	23.20	137.80	608.30
1976	211.30	142.90	157.80	29.20	1.00	0.00	21.40	4.60	156.90	0.00	0.00	80.50	805.60
1977	16.50	202.00	82.60	0.00	0.00	0.00	1.20	1.00	8.80	7.80	136.80	33.50	490.20
1978	103.80	75.50	72.50	8.60	4.20	0.00	0.00	1.40	0.00	2.40	33.50	47.40	349.30

1979	24.00	44.70	207.50	1.60	0.00	8.10	0.00	22.90	0.00	14.20	11.40		334.40
1980		24.20	91.10	1.90	0.00	2.40	26.30	3.80	16.70	18.60	19.30	24.40	228.70
1981		410.20	45.80		1.20		0.00	61.70		11.20	67.20	43.30	640.60
1982	151.30		22.40	41.50	13.90	6.50	0.00						235.60
1983													
1984													
1985													
1986													
1987													
1988													
1989													
1990													
1991													
1992													
1993					19.20	6.20	5.95	7.20	19.20			155.60	213.35
1994	211.00	197.00	147.80	56.80	5.70				6.80				625.10
1995	129.10			33.10			0.80	3.90	17.30	43.20	73.10	64.70	365.20
1996	265.00	195.00	157.70	80.20	4.60	1.50	4.00	14.60	6.50	8.50	26.30	80.20	844.10
1997	189.20	114.10	119.40	17.20	27.70	0.00	7.00	50.30	34.80	20.70	99.70	116.70	796.80
1998	184.20	182.70	153.50	25.00	0.00			1.60	5.50	19.50	56.20	93.80	722.00
1999	80.60	239.60	200.10	106.30	4.10	6.10	4.40	3.50	69.10	63.80	24.80	89.00	891.40
2000	165.90	237.40	135.10	18.40	37.60	5.40	8.10	31.30	8.00	77.10	13.90	146.40	884.60
2001	239.90	126.60	140.70	58.30	34.40	10.10	14.10	13.90	43.20	30.60	74.40	42.70	828.90

2002	98.40	149.00	126.30	57.10	11.90	5.20	52.30	19.70	63.90	26.50		136.20	746.50
2003	171.60	155.80	163.20	62.40	18.50	0.00	7.00	30.20	21.30	41.00	37.30	106.90	815.20
2004	73.60	138.50	125.80	26.70	0.00	31.20	15.70	16.40	29.20	41.80	41.90	158.40	699.20
2005	49.50	69.90	110.10	49.10	9.40	0.00	5.00	21.90	58.30	50.60	27.80	116.50	568.10
2006	229.00	140.00	135.40	69.00	0.00	17.40	0.00	33.90	11.00		78.00	130.30	844.00
2007	88.70	143.90	184.10	85.10	7.80	0.60	0.00	14.00	33.40	30.80	40.70	187.20	816.30
2008	230.00	148.10	94.50	15.40	2.60	5.00	0.00	3.80	0.60	33.50	31.10	156.80	721.40
2009	129.90	176.00	152.50	53.80	10.80	0.00	25.10	3.40	11.70	57.40	109.20	128.80	858.60
2010	254.20	199.10	138.80	66.50	8.00	0.00	0.00	0.60	19.00	41.60	26.00	176.20	930.00
2011	376.50	270.00	157.50	108.00	11.30	0.00	25.60	4.40	74.10	39.00	55.70	151.30	1273.40
2012	132.70	352.00	193.90	155.20	4.00	10.70	6.30	2.50	18.40	18.70	33.56	216.70	1144.66
2013	163.10	130.60	103.30	8.90	20.70	15.80	17.00	37.00		39.10	46.40	127.10	709.00
2014	223.10	122.80	126.50	31.10	17.00	0.00	16.20	15.30	85.20	42.40	24.30	69.90	773.80
2015	145.70	156.40	117.80	55.40	8.30								483.60
2016													
2017			158.80	63.00	29.10	10.60	9.90	5.20	30.90	47.20	41.60	65.80	462.10
2018	190.50	158.20											348.70

PROMEDIO	156.18	163.13	132.05	46.46	11.92	4.78	7.88	15.21	29.79	34.63	44.93	101.76	632.25
MÍNIMO	16.50	24.20	22.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.20	35.30
MÁXIMO	376.50	410.20	207.50	155.20	65.60	31.20	52.30	90.30	156.90	173.90	136.80	216.70	1273.40

Nota. Los datos hidrológicos que se encuentra en la Base de datos del SNIRH, corresponden a información primaria sin control de calidad, la misma que está sujeta a variación según el criterio del operador de la estación.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA

Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA

Estación:	Huancasancos	Latitud:	-13.93	Departamento:	Ayacucho
Operador:	SENAMHI	Longitud:	-74.34	Provincia:	Huancasancos
Tipo:	Convencional / Climática	Altitud:	3440	Distrito:	Sancos

Huancasancos - Precipitación total mensual (mm)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1996	133.50	121.90	53.40	50.80	3.00	0.00	0.00	41.50	28.40	36.10	38.60	75.30	582.50
1997	138.30	72.40	124.10	16.40	0.00	24.80	1.60	4.50	3.80	30.70	63.90	93.20	573.70
1998	66.80	321.00	152.30	45.80	27.10	0.30	5.40	0.60	14.80	58.30	24.70	107.00	824.10
1999	187.50	197.10	167.80	30.90	5.30	1.80	2.90	9.60	7.20	53.60	25.20	151.40	840.30
2000	169.30	127.60	151.90	54.60	13.80	0.80	13.30	13.70	20.70	50.30	55.10		671.10
2001		116.80	100.10	46.00	8.40	12.20	38.90	1.30	24.90	40.90	66.00	118.40	573.90
2002	146.70	155.00	122.30		12.80	0.00	2.20	19.40	1.90	37.80	12.80	156.80	667.70
2003	68.40	135.50	119.50	66.40	0.80	9.30	12.30	16.50	22.50	25.10	29.50	157.10	662.90
2004	105.00	77.80	146.30			0.00				5.50		165.60	500.20
2005	159.00	125.80	125.90	75.90	0.00		0.00	8.70	17.60		46.00	133.50	692.40
2006		123.70	198.60	82.50	11.90	3.50	0.00	0.00	15.60	35.60	14.20	121.10	606.70
2007	249.00		70.70	13.90	2.90	6.70	1.50	3.60	9.10	42.40	30.10	96.00	525.90
2008	90.60	236.60	110.20	54.70	8.60	0.00	18.10	0.00	14.00	46.10	97.00	75.90	751.80
2009	161.40		90.30	31.90	8.50	4.10	0.00	4.00		49.30	11.50	136.50	497.50

2010	255.10	169.80	164.00	92.40	6.50	2.60	8.60	0.80	27.90	4.50	32.50	143.60	908.30
2011	121.90	232.30	169.20				2.50	0.00	0.00	22.20	0.00	144.30	692.40
2012	110.33	201.20	124.90	3.60	37.10	11.70	4.00	13.00	30.70	27.60	31.20	117.50	712.83
2013	181.70	60.60	122.50	54.90	2.70	5.80	4.80	13.90	33.00	71.70	22.20	102.60	676.40
2014	104.30	127.90	122.60	36.80	29.90	2.00	2.00	10.80	32.00	39.10	54.70	66.80	628.90
2015	30.80	117.80	70.90				10.20	14.60					244.30
2016	268.20	142.70	148.90		9.80	4.80	11.80	4.00	25.90	27.80	25.50	18.70	688.10
2017	155.40	113.40	155.60										424.40
2018													

PROMEDIO	145.16	148.85	127.82	47.34	10.51	5.02	7.01	9.03	18.33	37.08	35.83	114.81	633.92
MÍNIMO	30.80	60.60	53.40	3.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	18.70	244.30
MÁXIMO	268.20	321.00	198.60	92.40	37.10	24.80	38.90	41.50	33.00	71.70	97.00	165.60	908.30

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA – ANA

Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua – ANDREA

Estación:	Pampa Cangallo	Latitud:	-13.56	Departamento:	Ayacucho
Operador:	Estudio	Longitud:	-74.20	Provincia:	Cangallo
Tipo:	Convencional / Climática	Altitud:	3351	Distrito:	Los Morochucos

Pampa Cangallo - Precipitación total mensual (mm)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1994	156.1	151.5	151.5	54.8	10.3	3.3	0.6	2.9	26.3	18.7	59.4	72.9	708.30
1995	129.4	127.4	141.5	63.2	1.6	0	0.8	9.1	19.8	20.8	131.9	84.8	730.30
1996	218.8	175.4	146.3	58.6	0	1	3.8	5.5	29.5	21.4	22.6	73.4	756.30
1997	163	104.1	70.6	21.2	13.3	0	2.6	46.7	36.7	9.1	59.4	102.4	629.10
1998	163.2	153.1	143.8	51.7	1.2	13.3	0	1.5	6.3	40.7	46	62.8	683.60
1999	98	225.9	144.1	70	2.6	1.7	6.2	0	58.2	32.9	39.7	67.3	746.60
2000	134.7	263	137.4	29.1	24.1	15.1	3.5	22.5	3.5	96.9	20	84.6	834.40
2001	195	81.8	218.8	37.1	39.8	7.3	11.8	8.1	15.7	39.8	59.8	28.6	743.60
2002	130.8	155.6	134	23.8	10.5	2	46.5	13.6	73.2	31.1	123.6	206	950.70
2003	155.3	131.4	136.8	52.2	9.5	0	0	18.5	37.4	40.4	53.8	135.8	771.10
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	688.40
2005	80.9	67.1	120.8	38.6	0.1	0	4.1	34.4	43.9	43	29.3	118.5	580.70
2006	220.6	124.3	171.5	41.3	2.1	3.3	0	22.8	33	37	57	46	758.90
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	673.40
2008	190.6	175.2	92.1	27.8	6.9	4.8	0	3.9	13.1	33.5	66	98.7	712.60
2009	111.3	118.2	141.7	57.4	0.2	0	15.8	0	11.3	38.5	100	102.7	697.10

2010	258.6	136.5	107.3	31.7	2.9	0	0	3.3	14	36.5	23.6	170.2	784.60
2011	306.7	260.7	124.5	90.1	8	0	13.3	4.4	34.5	34.5	89.3	89.5	1055.50
2012	114	253.5	165.8	169.3	5.7	13.2	3.1	1.2	21.2	23.4	14.2	215.8	1000.40
2013	138.8	136.1	119.2	48.3	9.5	3.6	6.9	9.8	29	36.2	56.8	94.5	688.70
2014	126	97.6	26.7	20.2	11.7	2.7	19.7	9.4	52.7	61.2	31.8	41.9	501.60
2015	92.8	45.5	89.4	19.3	6.3	1	5.4	2.7	2.7	21.6	35.3	61.6	383.60
2016	131.7	102.1	61.1	19.9	6.5	0	10.3	4.5	16.4	8.2	46.9	47.8	455.40
2017	143.7	91.6	40.7	54.2	17.6	7.7	6.5	10.1	27.1	43.9	56	43.2	542.30
2018	83.3	46.4	147.6	37	6.5	27.3	30.4	33.7	16.8	31.3	13.5	70.9	544.70

PROMEDIO	147.15	139.29	125.36	48.05	8.41	4.70	8.28	11.18	27.68	35.65	54.41	94.72	704.88
MÍNIMO	56.80	45.50	26.70	19.30	0.00	0.00	0.00	0.00	2.70	8.20	13.50	28.60	383.60
MÁXIMO	306.70	263.00	218.80	169.30	39.80	27.30	46.50	46.70	73.20	96.90	131.90	215.80	1055.50

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA

Estación:	Paras	Latitud:	-13.55	Departamento:	Ayacucho
Operador:	Estudio	Longitud:	-74.63	Provincia:	Cangallo
Tipo:	Convencional / Climática	Altitud:	3330	Distrito:	Paras

Paras - Precipitación total mensual (mm)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1965	186.90	79.50	233.90	113.80	2.00	4.50	14.10	26.60	62.60	19.30	168.40	42.80	954.40
1966	124.50	182.00	181.20	118.00	0.10	9.40	35.20	53.90	78.30	118.80	11.00	99.00	1011.40
1967	40.10	424.90	254.50	25.20	1.00	3.60	0.20	8.60	98.70	34.90	94.60	136.40	1122.70
1968	160.70	157.00	27.50	10.40	8.70	0.50	0.80	3.50	51.10	45.50	108.10	168.40	742.20
1969	303.00	183.20	267.40	161.80	15.60	1.00	2.50	0.00	189.90	12.00	69.60	70.50	1276.50
1970	83.30	156.20	191.90	26.60	5.00	0.20	0.00	0.00	0.00	19.10	19.10	135.80	637.20
1971	210.20	341.00	340.70	153.20	9.20	0.20	0.00	0.00	44.90	94.00	68.40	116.00	1377.80
1972	251.20	227.50	177.10	95.60	19.70	12.10	5.90	31.90	54.30	93.10	128.70	294.70	1391.80
1973	266.60	155.60	182.30	42.10	4.00	2.00	1.80	17.50	73.00	28.20	26.50	47.70	847.30
1974	137.30	240.60	179.80	9.60	90.80	7.80	1.20	13.60	71.90	50.80	44.10	103.40	950.90
1975	241.30	162.70	96.00	21.60	0.00	0.00	3.60	25.30	66.60	1.20	0.00	26.60	644.90
1976	38.00	239.30	152.10	58.30	17.90	0.00	0.00	0.00	67.40	79.10	157.10	50.20	859.40
1977	166.60	81.40	86.90	41.10	0.00	0.00	6.20	2.10	15.10	58.10	37.50	79.80	574.80
1978	51.90	74.90	140.50	9.20	0.00	0.30	5.30	30.70	54.70	13.10	42.00	71.80	494.40
1979	89.60	172.40	133.00	32.10	10.20	16.60	24.10	22.30	22.10	125.70	24.90	155.10	828.10

1980	161.80	232.20	78.50	94.50	4.10	0.00	0.00	50.40	8.20	31.20	94.90	228.70	984.50
1981	81.00	308.00	76.00	48.00	5.00	5.00	2.00	43.00	14.00	40.00	38.00	67.00	727.00
1982	75.00	124.00	58.00	34.00	4.00	4.00	2.00	8.00	13.00	55.00	62.00	30.00	469.00
1983	45.00	75.00	106.00	54.00	13.00	6.00	3.00	3.00	14.00	9.00	18.00	54.00	400.00
1984	95.00	268.00	103.00	22.00	12.00	17.00	3.00	12.00	6.00	24.00	63.00	41.00	666.00
1985	30.00	112.00	70.00	43.00	13.00	10.00	5.00	5.00	15.00	4.00	12.00	114.00	433.00
1986	126.00	202.00	126.00	54.00	14.00	2.00	5.00	19.00	15.00	13.00	20.00	62.00	658.00
1987	126.00	51.00	41.00	10.00	6.00	7.00	11.00	7.00	6.00	16.00	20.00	32.00	333.00
1988	98.00	127.00	113.00	40.00	14.00	3.00	1.00	2.00	8.00	9.00	18.00	62.00	495.00
1989	114.00	114.00	152.00	58.00	15.00	9.00	3.00	14.00	15.00	29.00	22.00	28.00	573.00
1990	76.00	15.00	51.00	19.00	18.00	49.00	5.00	26.00	18.00	53.00	92.00	108.00	530.00
1991	64.00	38.00	96.00	28.00	18.00	12.00	4.00	1.00	8.00	24.00	37.00	21.00	351.00
1992	38.00	44.00	46.00	14.00	2.00	13.00	5.00	38.00	16.00	16.00	18.00	27.00	277.00
1993	97.00	72.00	82.00	61.00	11.00	8.00	8.00	12.00	21.00	33.00	78.00	98.00	581.00
1994	119.00	111.00	150.00	46.00	9.00	4.00	1.00	6.00	16.00	32.00	22.00	68.00	584.00
1995	101.00	64.00	125.00	15.00	12.00	5.00	2.00	6.00	18.00	22.00	69.00	69.00	508.00
1996	105.00	119.00	120.00	63.00	8.00	2.00	2.00	11.00	19.00	15.00	31.00	56.00	551.00
1997	123.00	123.00	78.00	29.00	11.00	2.00	4.00	34.00	40.00	20.00	57.00	88.00	609.00
1998	129.00	110.00	111.00	26.00	3.00	11.00	1.00	11.00	6.00	20.00	42.00	61.00	531.00
1999	90.00	218.00	111.00	44.00	11.00	5.00	9.00	3.00	28.00	51.00	23.00	77.00	670.00
2000	141.00	191.00	134.00	25.00	26.00	4.00	10.00	11.00	14.00	58.00	20.00	152.00	786.00
2001	135.00	120.00	79.00	20.00	29.00	2.00	25.00	10.00	17.00	32.00	53.00	44.00	566.00
2002	55.00	143.00	123.00	40.00	26.00	5.00	38.00	14.00	30.00	33.00	57.00	82.00	646.00

2003	82.00	146.00	133.00	32.00	19.00	1.00	1.00	16.00	9.00	11.00	26.00	99.00	575.00
2004	44.00	107.00	108.00	28.00	6.00	11.00	17.00	13.00	30.00	27.00	39.00	133.00	563.00
2005	67.00	93.00	135.00	24.00	4.00	1.00	3.00	3.00	30.00	15.00	24.00	116.00	515.00
2006	166.00	111.00	142.00	40.00	5.00	4.00	1.00	14.00	18.00	37.00	68.00	110.00	716.00
2007	77.00	72.00	185.00	57.00	23.00	2.00	7.00	3.00	17.00	40.00	42.00	75.00	600.00
2008	158.00	110.00	47.00	17.00	4.00	11.00	1.00	9.00	10.00	35.00	25.00	68.00	495.00
2009	108.00	143.00	88.00	50.00	19.00	2.00	12.00	10.00	21.00	35.00	79.00	96.00	663.00
2010	174.00	117.00	91.00	41.00	15.00	4.00	1.00	10.00	12.00	37.00	11.00	88.00	601.00
2011	207.00	223.00	163.00	80.00	13.00	2.00	10.00	7.00	28.00	24.00	54.00	87.00	898.00
2012	78.00	274.00	114.00	95.00	2.00	10.00	2.00	4.00	9.00	40.00	21.00	198.00	847.00
2013	130.00	149.00	116.00	6.00	31.00	10.00	8.00	27.00	15.00	36.00	30.00	130.00	688.00
2014	105.00	98.00	204.00	34.00	10.00	4.00	12.00	13.00	36.00	42.00	41.00	91.00	690.00
2015	167.00	137.00	130.00	27.00	16.00	8.00	11.00	22.00	12.00	21.00	36.00	29.00	616.00
2016	41.00	149.00	66.00	42.00	10.00	2.00	9.00	7.00	1.00	14.00	10.00	53.00	404.00

PROMEDIO	118.85	149.78	126.85	45.75	12.41	6.06	6.63	14.24	30.07	35.50	47.56	89.25	682.95
MÍNIMO	30.00	15.00	27.50	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	0.00	21.00	277.00
MÁXIMO	303.00	424.90	340.70	161.80	90.80	49.00	38.00	53.90	189.90	125.70	168.40	294.70	1391.80

Nota. Los datos hidrológicos que se encuentra en la Base de datos del SNIRH, corresponden a información primaria sin control de calidad, la misma que está sujeta a variación según el criterio del operador de la estación.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA

Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA

Estación:	Rayusca	Latitud:	-13.98	Departamento:	Ayacucho
Operador:	Estudio	Longitud:	-74.35	Provincia:	Huanca Sancos
Tipo:	Convencional / Climática	Altitud:	3735	Distrito:	Sancos

Rayusca - Precipitación total mensual (mm)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1965	319.70	78.00	32.40	26.40	0.50	0.20	13.20	0.10	2.00	5.90	0.60	7.30	486.30
1966	66.00	57.40	87.00	35.30	8.70	0.00	0.00	0.00	31.50	139.90	68.70	48.40	542.90
1967	251.40	260.60	194.10	30.60	0.20	0.00	0.00	0.00	5.40	38.40	24.40	62.70	867.80
1968	138.50	80.50	241.00	28.60	9.70	0.00	0.10	0.70	0.30	10.10	1.70	3.90	515.10
1969	2.30	162.70	145.40	56.40	3.40	0.00	0.40	1.20	24.50	52.70	38.80	123.40	611.20
1970	454.70	255.80	308.70	130.80	51.90	0.80	1.30	0.10	13.80	17.70	30.40	72.10	1338.10
1971	211.20	321.70	419.00	109.30	6.00	0.00	0.00	6.40	0.00	7.40	2.50	77.90	1161.40
1972	447.80	201.10	232.80	48.40	0.00	0.00	1.00	0.00	58.40	89.40	26.50	151.90	1257.30
1973	178.70	242.70	345.00	130.40	15.00	0.00	0.00	18.50	39.10	6.30	89.20	141.80	1206.70
1974	226.70	191.50	81.20	24.70	0.00	0.00	0.00	56.30	8.60	16.80	7.40	40.70	653.90
1975	73.10	136.30	243.50	16.00	27.50	4.70	0.00	0.00	12.70	2.00	4.50	83.80	604.10
1976	170.10	221.20	194.50	44.10	4.30	0.00	2.10	1.40	15.10	0.00	0.00	34.90	687.70
1977	9.80	146.80	173.90	21.00	0.00	0.00	1.70	0.00	11.50	4.20	70.90	61.50	501.30
1978	143.90	51.00	18.90	44.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.70	27.10	48.80	341.30
1979	35.00	69.70	147.10	18.90	0.20	0.00	0.40	0.00	1.90	5.10	10.20	19.10	307.60

1980	34.00	32.50	118.80	20.20	0.00	0.00	3.60	0.00	6.20	22.80	15.80	17.90	271.80
1981	86.00	374.00	70.00	65.00	3.00	3.00	2.00	30.00	11.00	19.00	26.00	59.00	748.00
1982	82.00	223.00	55.00	40.00	4.00	4.00	2.00	4.00	10.00	39.00	47.00	27.00	537.00
1983	63.00	62.00	97.00	42.00	12.00	6.00	3.00	3.00	10.00	9.00	6.00	44.00	357.00
1984	103.00	305.00	123.00	21.00	6.00	10.00	3.00	8.00	5.00	26.00	46.00	36.00	692.00
1985	28.00	134.00	72.00	49.00	12.00	6.00	3.00	3.00	11.00	6.00	8.00	127.00	459.00
1986	129.00	208.00	116.00	43.00	12.00	2.00	3.00	16.00	10.00	7.00	16.00	78.00	640.00
1987	163.00	44.00	33.00	7.00	3.00	5.00	9.00	5.00	7.00	22.00	12.00	31.00	341.00
1988	124.00	111.00	120.00	43.00	13.00	2.00	2.00	1.00	10.00	4.00	8.00	75.00	513.00
1989	148.00	202.00	149.00	48.00	16.00	8.00	2.00	8.00	10.00	34.00	15.00	21.00	661.00
1990	83.00	16.00	39.00	16.00	11.00	21.00	2.00	8.00	9.00	33.00	49.00	95.00	382.00
1991	82.00	93.00	113.00	32.00	7.00	8.00	2.00	1.00	8.00	31.00	25.00	16.00	418.00
1992	36.00	29.00	16.00	7.00	2.00	5.00	3.00	12.00	7.00	18.00	8.00	26.00	169.00
1993	151.00	95.00	138.00	68.00	11.00	4.00	4.00	7.00	12.00	34.00	50.00	79.00	653.00
1994	127.00	182.00	97.00	50.00	9.00	4.00	1.00	2.00	8.00	15.00	15.00	57.00	567.00
1995	111.00	61.00	161.00	26.00	10.00	2.00	2.00	3.00	18.00	19.00	55.00	61.00	529.00
1996	143.00	200.00	128.00	88.00	10.00	2.00	2.00	2.00	11.00	10.00	25.00	86.00	707.00
1997	113.00	111.00	56.00	39.00	9.00	1.00	1.00	40.00	36.00	25.00	34.00	78.00	543.00
1998	146.00	82.00	131.00	20.00	1.00	20.00	2.00	5.00	5.00	25.00	40.00	74.00	551.00
1999	73.00	224.00	162.00	47.00	25.00	2.00	5.00	1.00	22.00	57.00	20.00	91.00	729.00
2000	188.00	212.00	148.00	30.00	14.00	2.00	4.00	10.00	10.00	49.00	19.00	144.00	830.00
2001	163.00	138.00	144.00	49.00	24.00	1.00	12.00	12.00	23.00	40.00	41.00	24.00	671.00
2002	56.00	137.00	100.00	50.00	17.00	10.00	30.00	3.00	31.00	36.00	53.00	97.00	620.00

2003	106.00	139.00	110.00	29.00	20.00	0.00	2.00	19.00	4.00	26.00	12.00	132.00	599.00
2004	50.00	130.00	110.00	51.00	2.00	12.00	14.00	14.00	27.00	24.00	21.00	138.00	593.00
2005	86.00	75.00	122.00	26.00	2.00	0.00	1.00	1.00	44.00	7.00	11.00	122.00	497.00
2006	173.00	131.00	135.00	74.00	1.00	7.00	0.00	10.00	20.00	29.00	46.00	113.00	739.00
2007	99.00	104.00	195.00	78.00	17.00	3.00	1.00	1.00	16.00	31.00	15.00	95.00	655.00
2008	229.00	164.00	77.00	18.00	5.00	8.00	2.00	4.00	9.00	36.00	21.00	69.00	642.00
2009	106.00	211.00	113.00	51.00	17.00	0.00	15.00	1.00	15.00	41.00	69.00	74.00	713.00
2010	149.00	101.00	82.00	37.00	14.00	4.00	0.00	4.00	7.00	35.00	10.00	124.00	567.00
2011	243.00	197.00	159.00	93.00	10.00	3.00	10.00	2.00	32.00	6.00	33.00	99.00	887.00
2012	115.00	271.00	168.00	124.00	1.00	2.00	3.00	1.00	1.00	28.00	1.00	148.00	863.00
2013	115.00	183.00	136.00	4.00	48.00	13.00	5.00	15.00	24.00	32.00	26.00	126.00	727.00
2014	162.00	88.00	141.00	51.00	6.00	6.00	6.00	12.00	32.00	62.00	21.00	74.00	661.00
2015	152.00	180.00	157.00	34.00	9.00	3.00	7.00	10.00	10.00	10.00	23.00	1.00	596.00
2016	26.00	134.00	74.00	54.00	8.00	2.00	5.00	5.00	2.00	10.00	7.00	40.00	367.00

PROMEDIO	134.08	151.16	135.20	45.96	9.97	3.78	3.73	7.07	14.58	26.16	26.01	72.64	630.34
MÍNIMO	2.30	16.00	16.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	169.00
MÁXIMO	454.70	374.00	419.00	130.80	51.90	21.00	30.00	56.30	58.40	139.90	89.20	151.90	1338.10

Nota. Los datos hidrológicos que se encuentra en la Base de datos del SNIRH, corresponden a información primaria sin control de calidad, la misma que está sujeta a variación según el criterio del operador de la estación.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA

Estación:	Vilcashuamán	Latitud:	-13.66	Departamento:	Ayacucho
Operador:	SENAMHI	Longitud:	-73.95	Provincia:	Vilcas Huamán
Tipo:	Convencional / Climática	Altitud:	3540	Distrito:	Vilcas Huamán

Vilcashuamán - Precipitación total mensual (mm)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1965					10.70	0.00	7.90	0.00	71.20	33.70	52.60	154.70	330.80
1966	97.40	126.00	109.60	22.70	57.70	0.00	0.00	0.00	23.40	143.00	134.00	137.30	851.10
1967	150.40	243.00	231.90	39.50	18.00	0.00	20.60	42.60	32.40	38.40	32.00	20.00	868.80
1968	95.70	184.40	227.30	0.00	18.80	39.70	25.00	53.00	35.00	35.80	27.00	15.20	756.90
1969	79.00	91.10	89.90	29.00	0.00	24.00	8.30	28.00	100.80	41.50	26.50	104.90	623.00
1970	346.40	108.70	122.70	50.80	14.80	0.00	0.00	0.00	53.40	49.20	32.20	221.40	999.60
1971	128.50	194.60	155.30	42.80	4.60	7.30	0.00	4.10	3.10	29.00	9.80	78.00	657.10
1972	151.60	95.60	190.00	61.90	0.00	0.00	0.00	0.00	43.20	25.80	46.50	106.50	721.10
1973	254.60	187.10	182.40	48.70	0.00	0.00	0.00	0.00	50.20	12.00	32.00	150.00	917.00
1974	284.20	276.30	138.00	53.30	6.30	26.00	0.00	58.60	12.00	17.00	25.90	73.00	970.60
1975	143.10	143.40	205.60	0.00	45.00	0.00	0.00	0.00	79.00	26.00	7.30	87.70	737.10
1976	283.50	281.00	209.30	0.00	12.50	0.00	0.00	0.00	125.20	0.00	0.00	71.00	982.50
1977	24.00	256.20	87.40	12.00	0.00	0.00	20.70	0.00	0.00	13.00	114.50	43.00	570.80
1978	207.40	88.40	48.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	33.00	61.00	49.50	59.30	547.00
1979	126.00	136.00	145.00	44.00	25.00	0.00	0.00	0.00	25.00	16.20	35.00	34.00	586.20

1980	93.20	135.10	104.00	0.00	0.00	0.00	16.00	0.00	3.00	81.70	30.30	48.20	511.50
1981	159.60	328.00	135.80	64.00	0.00	13.00	0.00	104.80	49.20	82.00	106.00	100.00	1142.40
1982	144.20	247.20	80.00	55.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			71.20	597.80
1983	109.00												109.00
1984													
1985													
1986												98.90	98.90
1987	246.10	46.00	9.70	9.30	7.10	11.00	12.00	16.90	6.60	72.00	50.20	70.10	557.00
1988	217.10	118.70	164.20	74.40	14.10	0.00	0.00	0.00	15.00	0.00	6.20	181.30	791.00
1989	298.60	265.10	92.50	78.80	120.90	7.00	7.40	38.30	28.90	106.20	88.70	44.00	1176.40
1990	163.70	41.20	36.30	15.40	30.50	85.80	0.00	20.20	27.30	86.80	220.40	136.60	864.20
1991	139.10	168.10	108.20	67.60	20.60	47.00	0.00	0.00	9.00	47.60	25.80	11.40	644.40
1992	63.20	95.40	52.30	12.80	0.00	3.60	4.40	72.00	4.60	27.80	18.60	40.90	395.60
1993	194.00	114.20	158.30	66.40	29.20	10.40	11.60	27.20	47.40	37.20	125.60	211.60	1033.10
1994	236.40	119.90	126.00	46.50	4.20	0.00	0.00	0.00	3.00	15.60	110.10	64.60	726.30
1995	211.80	101.00	183.20	13.20	8.00	0.00	3.80	4.80	29.00	54.50	86.20	107.60	803.10
1996	143.70	203.70	106.20	52.40	2.30	0.00	0.00	19.60	29.60	25.80	56.50	95.00	734.80
1997	114.20	184.50	116.40	53.00	10.90	0.00	2.90	41.90	56.20	36.00	73.40	69.30	758.70
1998	113.80	74.50	114.90	13.40	0.00	12.30	0.00	0.00	10.70	23.70	40.70	55.70	459.70
1999	71.50	90.60	25.70	18.70	0.20	0.00	6.80	0.00	66.10	6.10	47.30	36.90	369.90
2000	76.50	131.40	70.90	0.20	18.70	0.00	0.00	1.20	19.90	41.00	44.60	67.90	472.30
2001	142.00	69.00	72.50	0.00	16.70	0.20	2.20	25.00	19.40	28.70	42.20	55.70	473.60
2002	81.40	252.50	157.60	40.70	16.80	0.00	55.00	3.90	35.70	61.00			704.60

2003	98.20	149.70	137.50	42.10	2.70	0.00	0.00			40.50	27.60	151.00	649.30
2004	85.70	199.40	95.80	49.50	8.60			12.40		32.10	28.70	174.30	686.50
2005	103.80	80.20	184.90	24.40	28.70	0.00	1.90	20.40	47.70	42.90	45.30	127.90	708.10
2006	242.20	148.40	149.80	54.80	2.90	13.40	0.00	32.40	14.80		110.90	103.80	873.40
2007	126.20	99.50	158.70	39.70	4.40	0.00	14.10	10.00	17.20	35.40	88.90	141.70	735.80
2008	201.10		102.30	10.20	5.50	7.10	0.00	2.10	5.60	23.60	42.40	113.00	512.90
2009	150.40	183.66	104.30	58.00		2.00	22.80	2.10	3.40	46.50	122.50	127.60	823.26
2010	219.90	182.00	72.40	45.90	23.70	0.00	0.00	25.60	10.80	39.70	26.10	128.90	775.00
2011	259.10	288.00	180.30	62.60	10.40	0.00	8.10	0.00	43.60	43.50	42.60	87.90	1026.10
2012	143.20	329.70	150.00	64.30	0.00	5.40	2.30	3.80	35.00	18.30	28.10	260.10	1040.20
2013		152.30	134.60	17.70	18.80	13.50	5.50	39.20	5.60	29.10	30.70	168.40	615.40
2014	235.60	129.70	161.80	27.80	10.80	0.00	25.10	2.50	60.30	55.80	33.20	84.70	827.30
2015	158.50	151.80	104.50	30.10									444.90
2016													
2017		204.60	132.70		40.70	4.00	11.00	0.00	30.80	50.20	55.30	119.70	649.00
2018	216.30												216.30

PROMEDIO	162.36	162.98	126.10	35.09	14.58	7.23	6.42	15.49	31.61	40.73	55.11	100.25	688.77
MÍNIMO	24.00	41.20	9.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.40	98.90
MÁXIMO	346.40	329.70	231.90	78.80	120.90	85.80	55.00	104.80	125.20	143.00	220.40	260.10	1176.40

Nota. Los datos hidrológicos que se encuentra en la Base de datos del SNIRH, corresponden a información primaria sin control de calidad, la misma que está sujeta a variación según el criterio del operador de la estación.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA

Estación: Vischongo	Latitud: -13.58	Departamento: Ayacucho
Operador: Estudio	Longitud: -74.00	Provincia: Vilcas Huamán
Tipo: Convencional / Climática	Altitud: 3141	Distrito: Vischongo

Vischongo - Precipitación total mensual (mm)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1965	97.30	138.80	103.30	15.00	5.40	0.00	2.60	0.00	46.50	47.70	46.40	139.40	642.40
1966	74.10	116.40	126.80	18.60	54.40	0.00	0.00	0.00	19.20	78.50	103.70	128.10	719.80
1967	137.30	258.20	241.80	28.60	25.30	0.00	23.90	12.30	12.80	55.60	16.90	51.00	863.70
1968	70.60	93.20	100.70	4.60	0.00	12.50	6.60	51.50	16.30	68.80	105.10	67.00	596.90
1969	108.60	104.30	160.80	29.70	2.20	10.00	13.60	22.00	17.60	82.40	95.80	120.00	767.00
1970	260.30	156.70	238.50	162.90	117.00	0.10	0.00	0.00	18.20	39.70	4.70	131.90	1130.00
1971	287.80	264.90	126.20	20.90	0.00	20.40	0.00	0.00	0.00	59.50	0.10	64.20	844.00
1972	129.00	151.20	329.50	61.40	0.00	0.00	19.20	0.90	46.90	31.00	53.10	37.80	860.00
1973	186.40	194.90	242.00	46.60	0.00	0.00	0.00	21.00	32.30	53.40	84.30	161.10	1022.00
1974	242.20	207.20	230.00	49.60	3.30	19.10	0.00	158.70	31.20	23.90	58.10	63.70	1087.00
1975	141.40	32.20	153.70	5.40	24.00	3.80	9.90	11.60	79.40	104.40	101.00	52.10	718.90
1976	97.50	66.00	246.20	13.20	15.90	6.10	6.10	7.10	63.00	50.40	12.50	76.00	660.00
1977	24.30	184.70	124.80	18.70	12.90	0.00	4.10	0.00	7.00	9.80	185.30	222.80	794.40
1978	196.90	252.90	120.20	4.70	0.00	21.20	0.00	2.90	98.40	129.90	119.60	133.40	1080.10
1979	208.40	238.30	199.40	29.00	18.50	0.00	0.00	11.70	8.50	18.30	9.00	16.90	758.00

1980	194.50	159.90	196.20	15.10	0.00	2.20	4.00	0.80	12.90	81.30	62.40	57.10	786.40
1981	82.00	321.00	71.00	35.00	4.00	5.00	1.00	41.00	23.00	81.00	69.00	111.00	844.00
1982	87.00	205.00	61.00	38.00	6.00	5.00	2.00	10.00	14.00	46.00	144.00	61.00	679.00
1983	74.00	61.00	105.00	42.00	14.00	7.00	4.00	5.00	16.00	18.00	20.00	51.00	417.00
1984	107.00	220.00	87.00	31.00	10.00	20.00	4.00	13.00	7.00	44.00	99.00	61.00	703.00
1985	39.00	141.00	115.00	66.00	20.00	11.00	4.00	8.00	23.00	12.00	23.00	167.00	629.00
1986	131.00	269.00	175.00	66.00	17.00	2.00	4.00	26.00	27.00	27.00	46.00	99.00	889.00
1987	197.00	49.00	20.00	8.00	8.00	10.00	13.00	13.00	7.00	65.00	58.00	57.00	505.00
1988	179.00	129.00	153.00	55.00	11.00	0.00	0.00	0.00	14.00	2.00	11.00	139.00	693.00
1989	251.00	218.00	110.00	87.00	83.00	8.00	4.00	30.00	27.00	104.00	65.00	44.00	1031.00
1990	119.00	32.00	38.00	19.00	24.00	71.00	0.00	21.00	26.00	91.00	182.00	120.00	743.00
1991	103.00	130.00	110.00	48.00	13.00	39.00	1.00	0.00	10.00	55.00	41.00	20.00	570.00
1992	54.00	67.00	52.00	8.00	1.00	5.00	5.00	63.00	6.00	42.00	22.00	34.00	359.00
1993	185.00	93.00	139.00	62.00	19.00	9.00	14.00	21.00	41.00	49.00	131.00	209.00	972.00
1994	219.00	157.00	128.00	55.00	7.00	1.00	0.00	1.00	6.00	22.00	97.00	86.00	779.00
1995	184.00	89.00	151.00	15.00	9.00	0.00	3.00	5.00	31.00	44.00	90.00	86.00	707.00
1996	137.00	172.00	129.00	55.00	5.00	0.00	1.00	21.00	18.00	23.00	49.00	88.00	698.00
1997	127.00	143.00	105.00	42.00	15.00	0.00	3.00	48.00	53.00	32.00	74.00	85.00	727.00
1998	119.00	98.00	123.00	18.00	1.00	11.00	0.00	1.00	9.00	30.00	51.00	64.00	525.00
1999	78.00	120.00	61.00	35.00	1.00	1.00	6.00	1.00	76.00	25.00	40.00	61.00	505.00
2000	93.00	152.00	94.00	4.00	23.00	1.00	2.00	4.00	15.00	61.00	33.00	97.00	579.00
2001	154.00	83.00	88.00	3.00	25.00	1.00	6.00	21.00	25.00	43.00	54.00	61.00	564.00
2002	78.00	195.00	146.00	45.00	18.00	1.00	51.00	8.00	39.00	63.00	50.00	136.00	830.00

2003	101.00	148.00	166.00	48.00	7.00	0.00	1.00	22.00	29.00	33.00	30.00	131.00	716.00
2004	78.00	146.00	97.00	33.00	6.00	11.00	16.00	14.00	25.00	46.00	36.00	190.00	698.00
2005	80.00	70.00	143.00	29.00	19.00	0.00	3.00	16.00	42.00	54.00	40.00	139.00	635.00
2006	208.00	130.00	150.00	46.00	3.00	12.00	0.00	29.00	16.00	55.00	101.00	104.00	854.00
2007	98.00	89.00	163.00	45.00	7.00	1.00	8.00	9.00	20.00	47.00	71.00	146.00	704.00
2008	182.00	138.00	102.00	14.00	6.00	7.00	0.00	4.00	5.00	33.00	41.00	115.00	647.00
2009	132.00	154.00	105.00	58.00	8.00	1.00	18.00	4.00	6.00	55.00	118.00	152.00	811.00
2010	224.00	147.00	80.00	48.00	18.00	0.00	0.00	12.00	12.00	50.00	26.00	142.00	759.00
2011	238.00	235.00	166.00	72.00	13.00	0.00	10.00	1.00	53.00	50.00	53.00	110.00	1001.00
2012	138.00	294.00	154.00	71.00	1.00	7.00	4.00	4.00	31.00	23.00	34.00	238.00	999.00
2013	161.00	133.00	126.00	15.00	22.00	12.00	7.00	35.00	9.00	43.00	41.00	168.00	772.00
2014	199.00	115.00	150.00	34.00	13.00	0.00	17.00	4.00	65.00	54.00	40.00	90.00	781.00
2015	150.00	145.00	110.00	33.00	14.00	4.00	13.00	35.00	5.00	31.00	41.00	126.00	707.00
2016	51.00	160.00	65.00	34.00	12.00	6.00	9.00	6.00	0.00	30.00	20.00	55.00	448.00

PROMEDIO	140.26	151.30	134.19	37.33	14.65	7.01	6.23	16.47	25.79	48.42	61.52	103.18	746.36
MÍNIMO	24.30	32.00	20.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.10	16.90	359.00
MÁXIMO	287.80	321.00	329.50	162.90	117.00	71.00	51.00	158.70	98.40	129.90	185.30	238.00	1130.00

Nota. Los datos hidrológicos que se encuentra en la Base de datos del SNIRH, corresponden a información primaria sin control de calidad, la misma que está sujeta a variación según el criterio del operador de la estación.

Anexo 2

Panel fotográfico de salida de campo.

Calicata N°01: Mancallpa		
Coordenadas		
E: 571618.063	N: 845643.397	Z: 3861.400 m.s.n.m
Descripción		
Pajonal, pasto natural, suelo semidesnudo, topografía casi plana		
Fotografías		
		
		
		



Calicata N°02: Paqcha		
Coordenadas		
E: 568908.548	N: 8455185.178	Z: 3904.00 m.s.n.m
Descripción		
Pajonal, pasto natural, taya taya, puntos erosionados y topografía casi plana		
Fotografías		





Calicata N°03: Vizcachayocc

Coordenadas

E: 563467.299

N: 8455369.556

Z: 4218.70 m.s.n.m

Descripción

Pajonal, pasto natural, piedras abundantes topografía variable.

Fotografías







Calicata N°04: Corinapampa

Coordenadas

E: 570074.201

N: 8457836.460

Z: 3880.9 m.s.n.m

Descripción

Pasto natural, taya taya, topografía casi plana

Fotografías





Calicata N°05: Jampato		
Coordenadas		
E: 570039.003	N: 8458540.167	Z: 3794.800 m.s.n.m
Descripción		
Pasto natural, grama, cultivos, canlla topografía variable		
Fotografías		
		
		
		
Calicata N°06: Chuymala		
Coordenadas		
E: 564808.008	N: 8458269.471	Z: 4115.900 m.s.n.m
Descripción		
Pajonal, pasto natural, taya taya, piedras topografía poco variable.		
Fotografías		





Calicata N°07: Toropotrero

Coordenadas

E: 569493.218

N: 8459830.525

Z: 3797.500 m.s.n.m

Descripción

Pasto natural, cultivos. Arbustos, espinas, piedras, topografía variable

Fotografías







Calicata N°08: Utari

Coordenadas

E: 570965.541

N: 8459719.588

Z: 3623.200 m.s.n.m

Descripción

Gramma, cultivos plantación de pinos, ojos de agua, topografía variable

Fotografías





Calicata N°09: Sayllamocco

Coordenadas

E: 572172.093

N: 8459605.074

Z: 3484.7 m.s.n.m

Descripción

Cultivos, espinas, plantaciones, andenes, topografía variable

Fotografías





Calicata N°10: Tukuku		
Coordenadas		
E: 572473.604	N: 8460410.146	Z: 3391.100 m.s.n.m
Descripción		
Cultivos, riego por aspersión, plantas de pinos, cabuya, prácticas de conservación de suelo (andenes)		
Fotografías		
		



Anexo 3

Panel fotográfico de análisis de las muestras en laboratorio.

Fotografías





Anexo 4

Análisis de caracterización.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 PROGRAMA DE INVESTIGACION EN PASTOS Y GANADERIA
 LABORATORIO DE SUELOS Y ANALISIS FOLIAR
 Jr. Abraham Valdelomar N° 249 – Telf. 315936 966942996
 Ayacucho – Perú
 “Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

Región : Ayacucho HR: 00388
 Provincia : Huancasancos
 Distrito : Sancos
 Localidad : Tarunca
 Proyecto : “Relación entre Erosión Hidrica, Morfometría y Clima con el Manejo de Suelos en la Subcuenca Tarunca – Huancasancos – Ayacucho – 2023”
 Solicitante : Sr. Carlos Camana Quispe

ANALISIS DE CARACTERIZACION

Muestra	Análisis mecánico (%)			Clase Textural	pH (H ₂ O) 1:2.5	C. E. (dS/m.) 1:1	CaCO ₃ (%)	M.O. (%)	Nt (%)	Elementos Disp. (ppm)		Cationes cambiabiles (Cmol(+)/Kg)						C. I. C. (Cmol(-)/Kg)
	Arena	Limo	Arcilla							P	K	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	H ⁺	
Allpamarca	33.6	22.0	44.4	Ar	5.86	0.17	0.0	1.66	0.08	15.1	66.0	4.48	1.84	0.34	0.38	0.0	0.0	15.4
Paqcha	25.6	32.0	42.4	Ar	6.07	0.21	0.0	1.55	0.07	7.8	71.7	3.12	1.52	0.37	0.52	0.0	0.0	17.2
Vizeachayoc	75.6	16.0	8.4	Fr-Ao	6.51	0.10	0.0	1.33	0.06	2.0	74.1	1.84	0.56	0.38	0.66	0.0	0.0	15.1
Corinapampa	41.6	24.0	34.4	Fr-Ar	7.92	0.73	0.0	0.88	0.04	1.3	95.0	14.8	1.28	0.49	0.78	0.0	0.0	23.4
Jampato	31.6	16.0	52.4	Ar	7.68	0.41	0.0	1.44	0.07	0.8	85.4	7.04	2.48	0.44	0.72	0.0	0.0	22.8
Chuyamala	57.6	26.0	16.4	Fr-Ao	7.21	0.13	0.0	1.60	0.08	3.3	82.1	4.16	1.28	0.42	0.69	0.0	0.0	18.6
Toropotrero	47.6	26.0	26.4	Fr-Ar-Ao	7.18	0.13	0.0	1.99	0.09	7.7	81.3	4.16	2.08	0.42	0.68	0.0	0.0	14.1
Utari	63.6	16.0	20.4	Fr-Ar-Ao	7.48	0.35	0.0	1.22	0.06	16.3	93.4	9.12	1.92	0.48	0.70	0.0	0.0	15.4
Sayllamocco	69.6	18.0	12.4	Fr-Ao	8.26	0.54	0.0	1.49	0.07	12.4	111.2	10.7	1.52	0.57	0.84	0.0	0.0	8.2
Tukuku	51.6	16.0	32.4	Fr-Ar-Ao	8.28	1.15	0.0	1.55	0.07	5.6	114.4	14.0	3.68	0.59	0.88	0.0	0.0	21.0

Ayacucho, 15 de Noviembre del 2023.

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS
 PLANTA AGUAS Y FERTILIZANTES
 RESPONSABLE

 Juan B. Giron Molina
 C.I.P. 77120

Ao: Arenoso; AoFr: Arena franca; FrAo: Franco arenosos; Fr: Franco; FrL: Franco limoso; L: Limoso; FrArAo: Franco arcillo arenoso; FrAr: Franco arcilloso; FrArL: Franco arcillo limoso; ArAo: Arcillo arenoso; ArL: Arcillo limoso; Ar: Arcilloso

Anexo 5

Metodología del Índice Modificado de Fournier

FACTOR DE EROSIVIDAD DE LAS PRECIPITACIONES - APLICACIÓN DEL ÍNDICE MODIFICADO DE FOURNIER

ID	Estación	Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1	Huancasancos	Pi	137.50	145.63	127.00	48.43	6.57	3.72	4.68	6.08	12.83	27.17	29.97	106.26	655.85
		IMF	28.83	32.34	24.59	3.58	0.07	0.02	0.03	0.06	0.25	1.13	1.37	17.22	109.47
2	Rayusca	Pi	137.50	145.63	127.00	48.43	6.57	3.72	4.68	6.08	12.83	27.17	29.97	106.26	655.85
		IMF	28.83	32.34	24.59	3.58	0.07	0.02	0.03	0.06	0.25	1.13	1.37	17.22	109.47
3	Estación Virtual 01	Pi	148.41	183.26	155.86	50.24	5.77	2.71	4.22	6.62	9.58	21.88	24.38	79.76	692.67
		IMF	31.80	48.48	35.07	3.64	0.05	0.01	0.03	0.06	0.13	0.69	0.86	9.18	130.01
4	Estación Virtual 02	Pi	148.41	183.26	155.86	50.24	5.77	2.71	4.22	6.62	9.58	21.88	24.38	79.76	692.67
		IMF	31.80	48.48	35.07	3.64	0.05	0.01	0.03	0.06	0.13	0.69	0.86	9.18	130.01
5	Estación Virtual 03	Pi	148.41	183.26	155.86	50.24	5.77	2.71	4.22	6.62	9.58	21.88	24.38	79.76	692.67
		IMF	31.80	48.48	35.07	3.64	0.05	0.01	0.03	0.06	0.13	0.69	0.86	9.18	130.01
6	Estación Virtual 04	Pi	148.41	183.26	155.86	50.24	5.77	2.71	4.22	6.62	9.58	21.88	24.38	79.76	692.67
		IMF	31.80	48.48	35.07	3.64	0.05	0.01	0.03	0.06	0.13	0.69	0.86	9.18	130.01
7	Estación Virtual 05	Pi	137.50	145.63	127.00	48.43	6.57	3.72	4.68	6.08	12.83	27.17	29.97	106.26	655.85
		IMF	28.83	32.34	24.59	3.58	0.07	0.02	0.03	0.06	0.25	1.13	1.37	17.22	109.47
8	Estación Virtual 06	Pi	137.50	145.63	127.00	48.43	6.57	3.72	4.68	6.08	12.83	27.17	29.97	106.26	655.85
		IMF	28.83	32.34	24.59	3.58	0.07	0.02	0.03	0.06	0.25	1.13	1.37	17.22	109.47
9	Estación Virtual 07	Pi	137.50	145.63	127.00	48.43	6.57	3.72	4.68	6.08	12.83	27.17	29.97	106.26	655.85
		IMF	28.83	32.34	24.59	3.58	0.07	0.02	0.03	0.06	0.25	1.13	1.37	17.22	109.47
10	Estación Virtual 08	Pi	137.50	145.63	127.00	48.43	6.57	3.72	4.68	6.08	12.83	27.17	29.97	106.26	655.85
		IMF	28.83	32.34	24.59	3.58	0.07	0.02	0.03	0.06	0.25	1.13	1.37	17.22	109.07

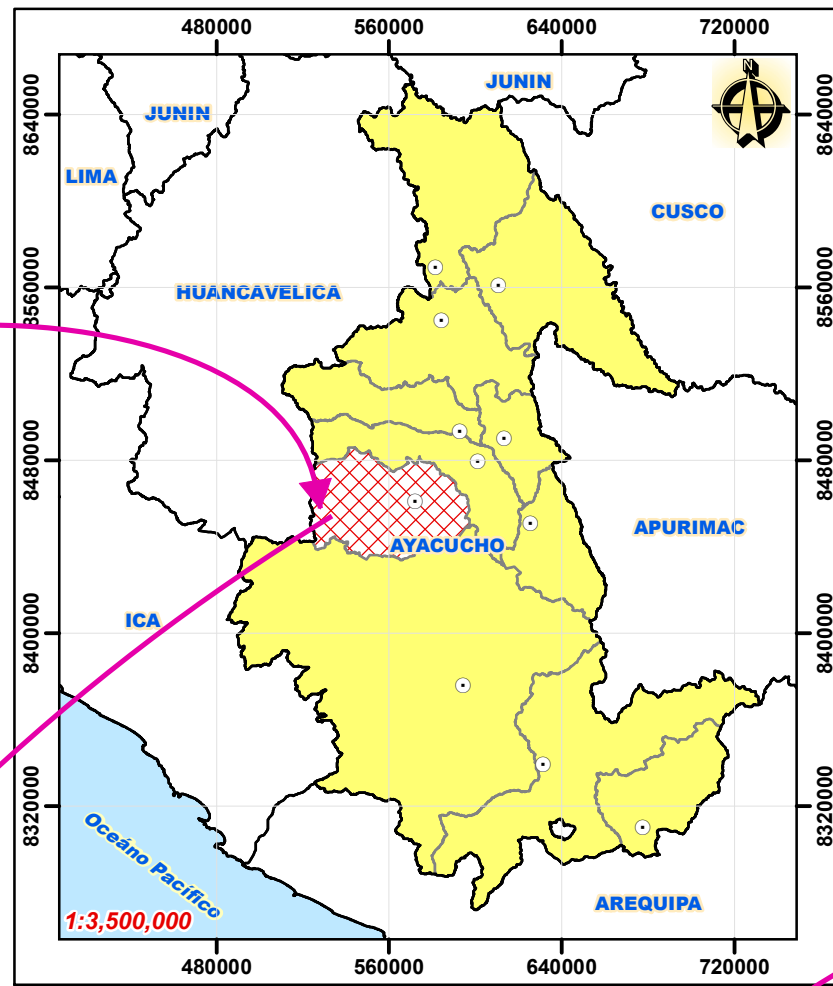
Anexo 6

- 6.1. Mapa de ubicación de la subcuenca Tarunca
- 6.2. Mapa de unidad hidrográfica de la subcuenca Tarunca
- 6.3. Mapa de pendientes de la subcuenca Tarunca
- 6.4. Mapa de la red hídrica de la subcuenca Tarunca
- 6.5. Mapa de estaciones meteorológicas de la subcuenca Tarunca
- 6.6. Mapa de isoyetas de la subcuenca Tarunca
- 6.7. Mapa de factor de erosividad de la subcuenca Tarunca – método Roose
- 6.8. Mapa de factor de erosividad de la subcuenca Tarunca – método Foster
- 6.9. Mapa de factor de erosividad de la subcuenca Tarunca – método Morgan
- 6.10. Mapa de factor de erosividad de la subcuenca Tarunca – método IFM
- 6.11. Mapa de factor de erodabilidad “K”
- 6.12. Mapa de factor de longitud y pendiente “LS” de la subcuenca Tarunca – método Mintegui
- 6.13. Mapa de factor de longitud y pendiente “LS” de la subcuenca Tarunca – método Desmet
- 6.14. Mapa de factor de longitud y pendiente “LS” de la subcuenca Tarunca – método Foster
- 6.15. Mapa de factor de cobertura vegetal “C”
- 6.16. Mapa de factor de prácticas de conservación de suelo “P”
- 6.17. Mapa de pérdida de suelo “RUSLE”

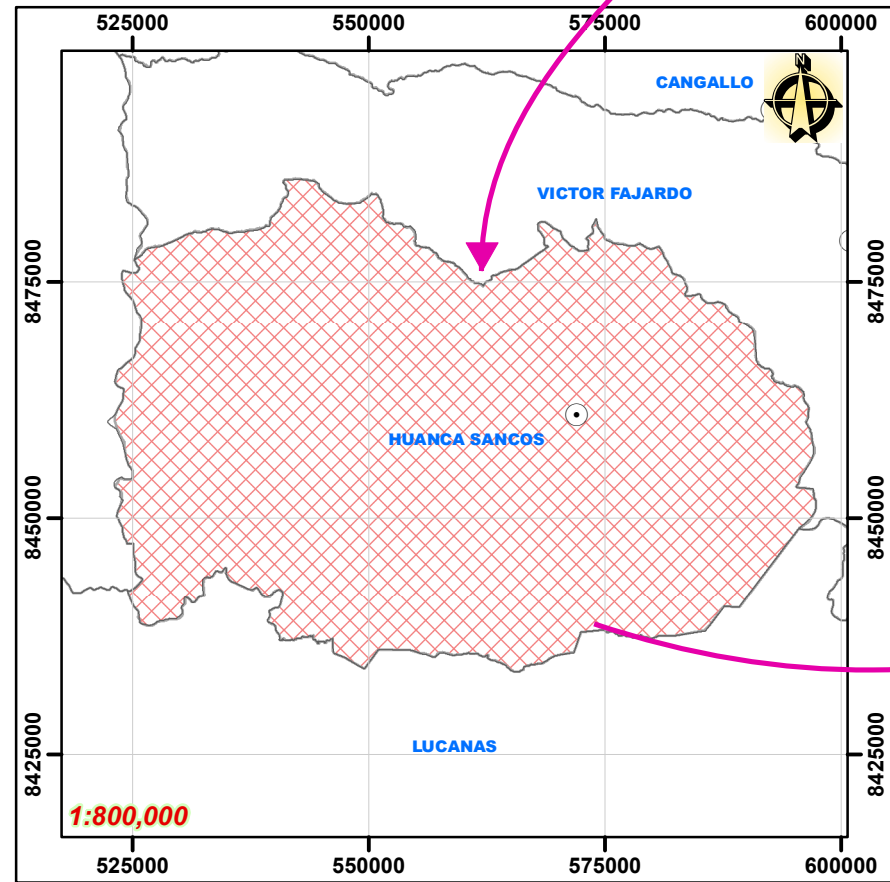
UBICACIÓN POLÍTICA



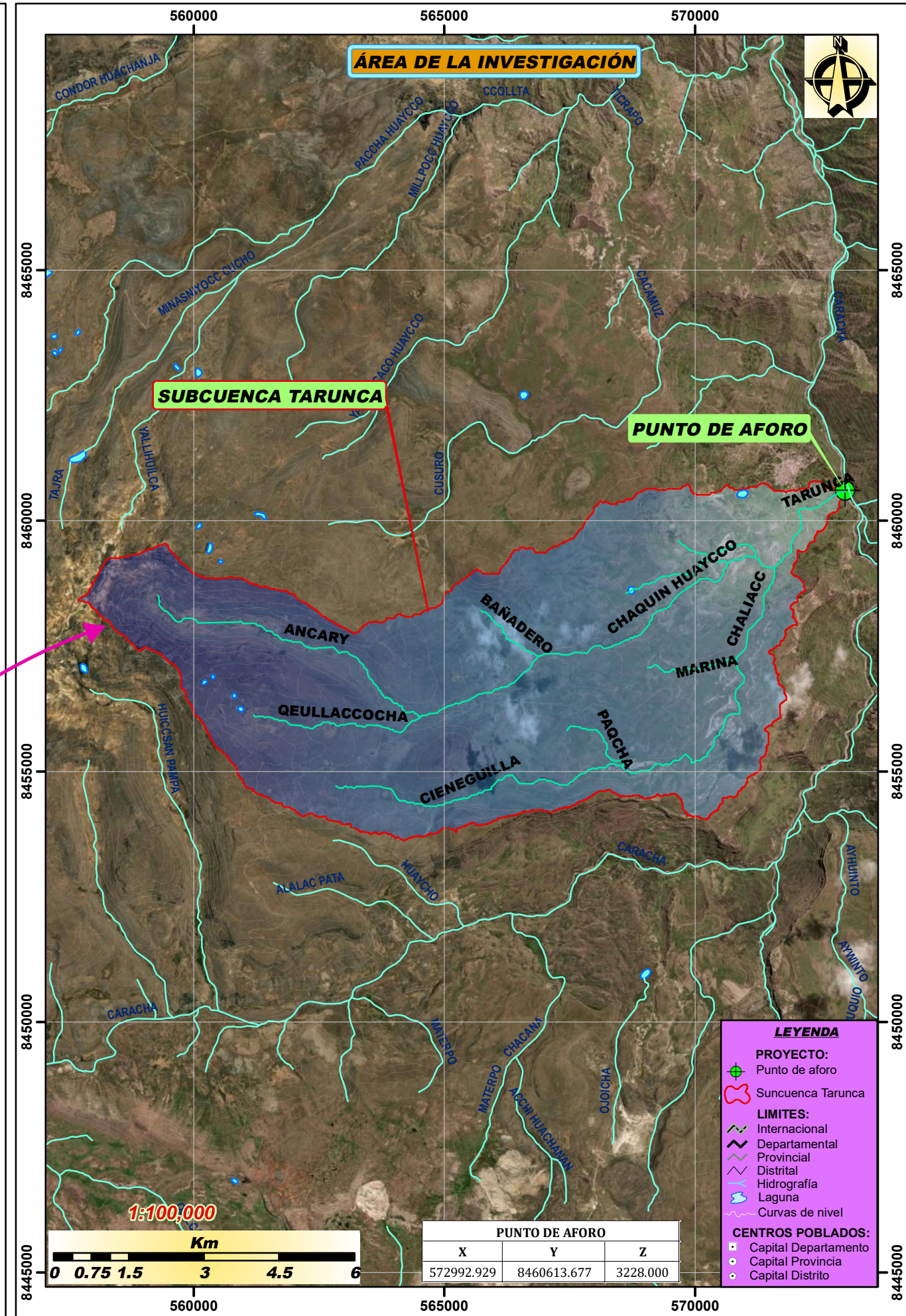
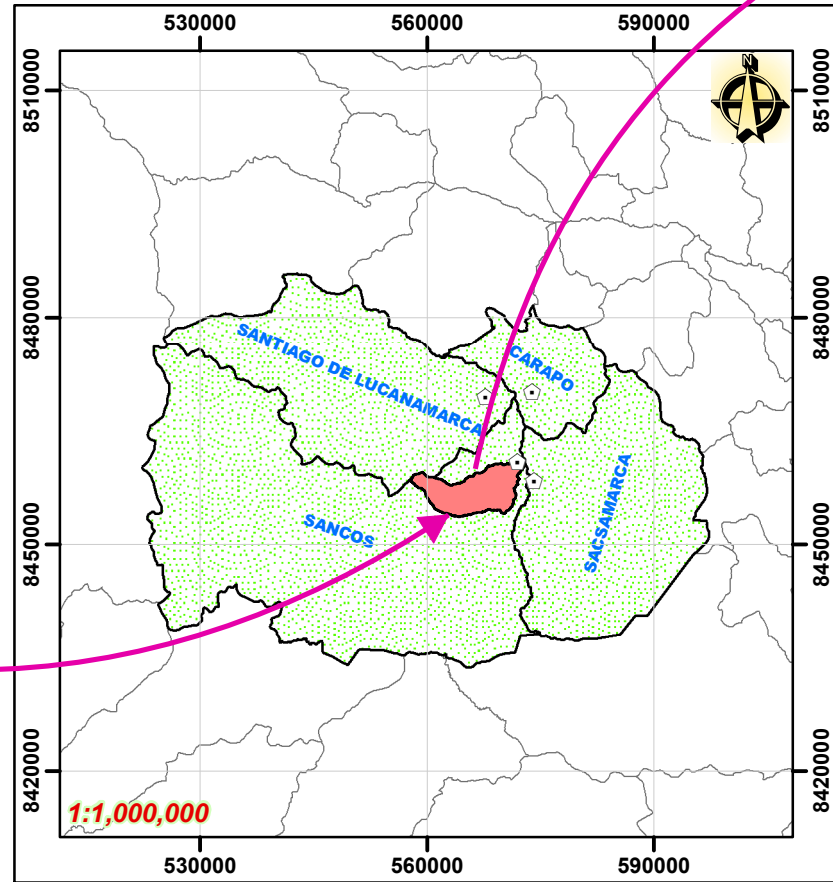
MAPA DEPARTAMENTAL

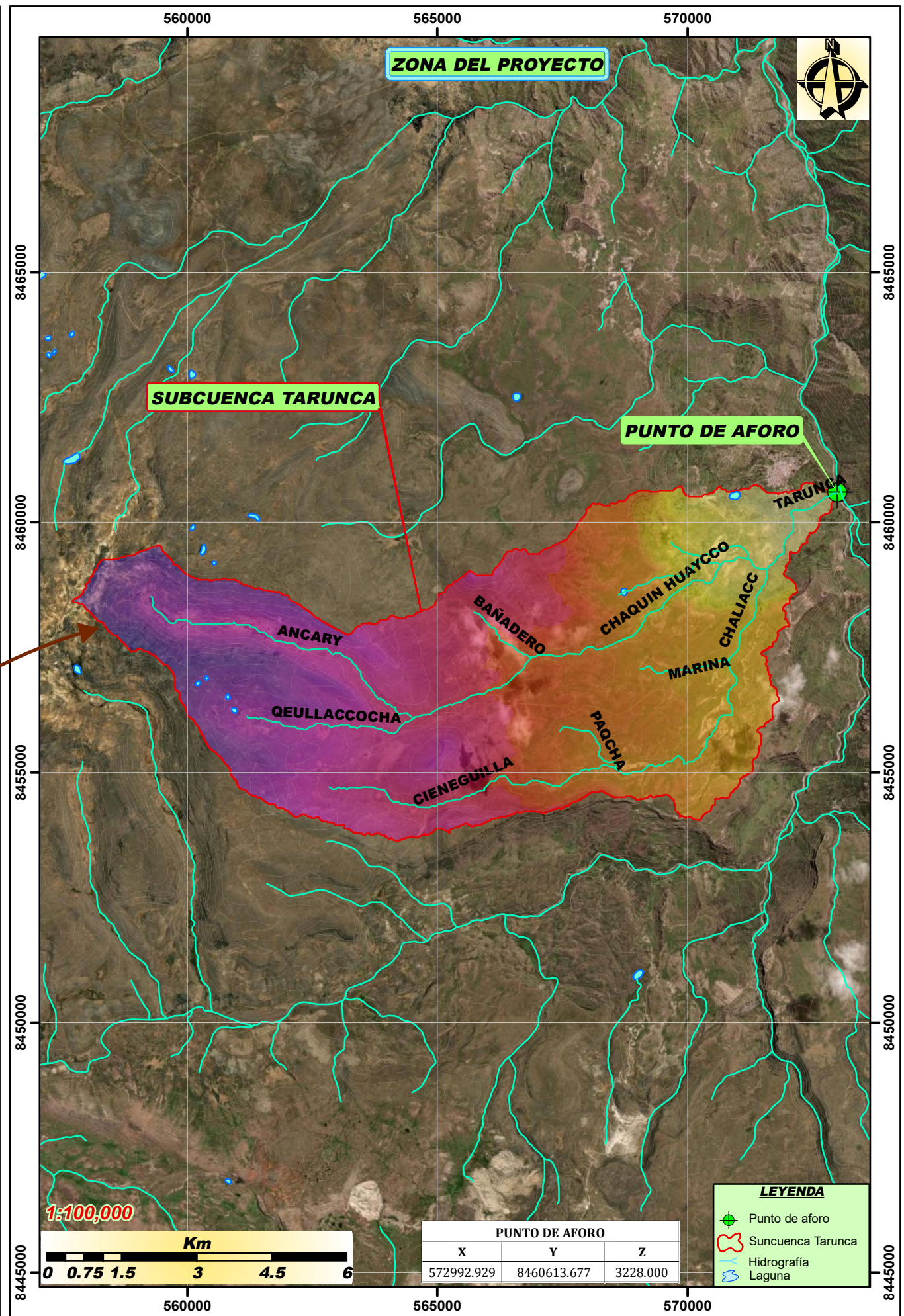
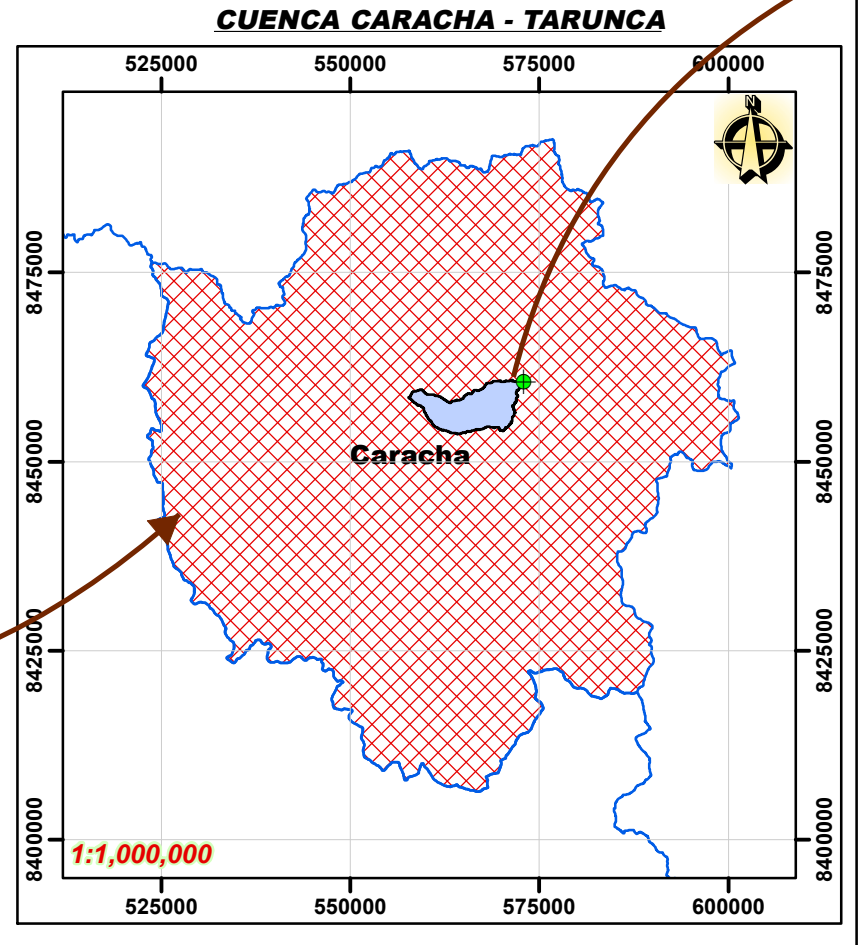
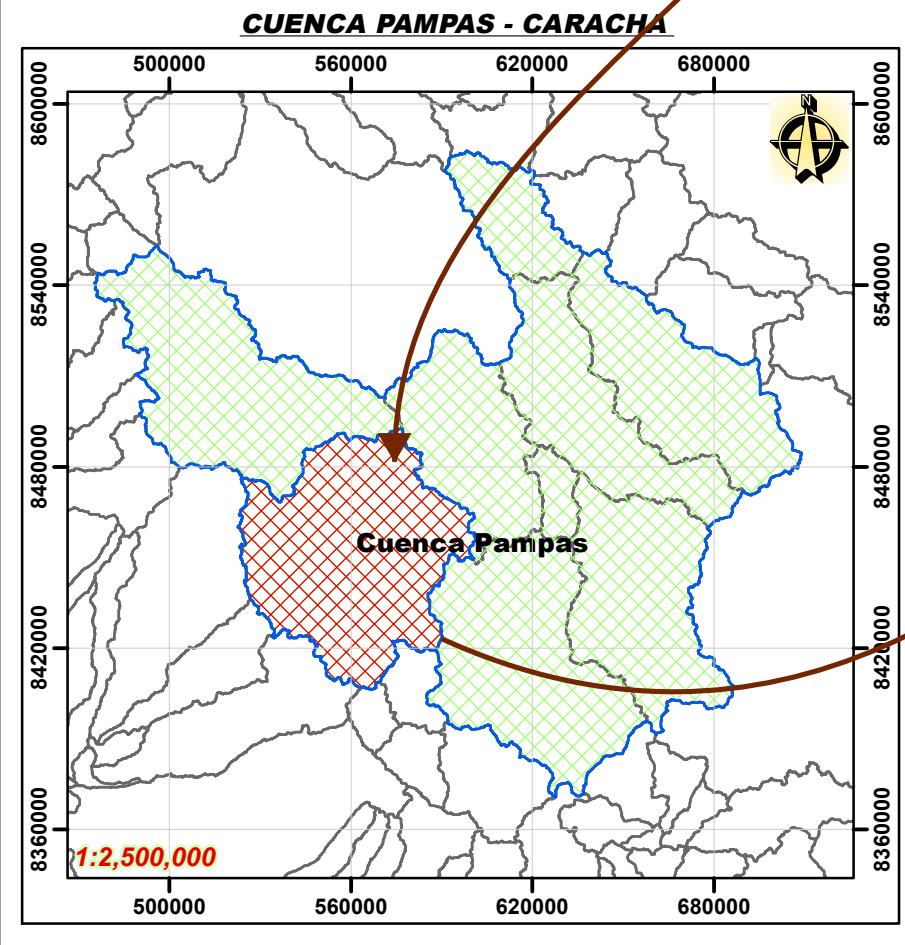
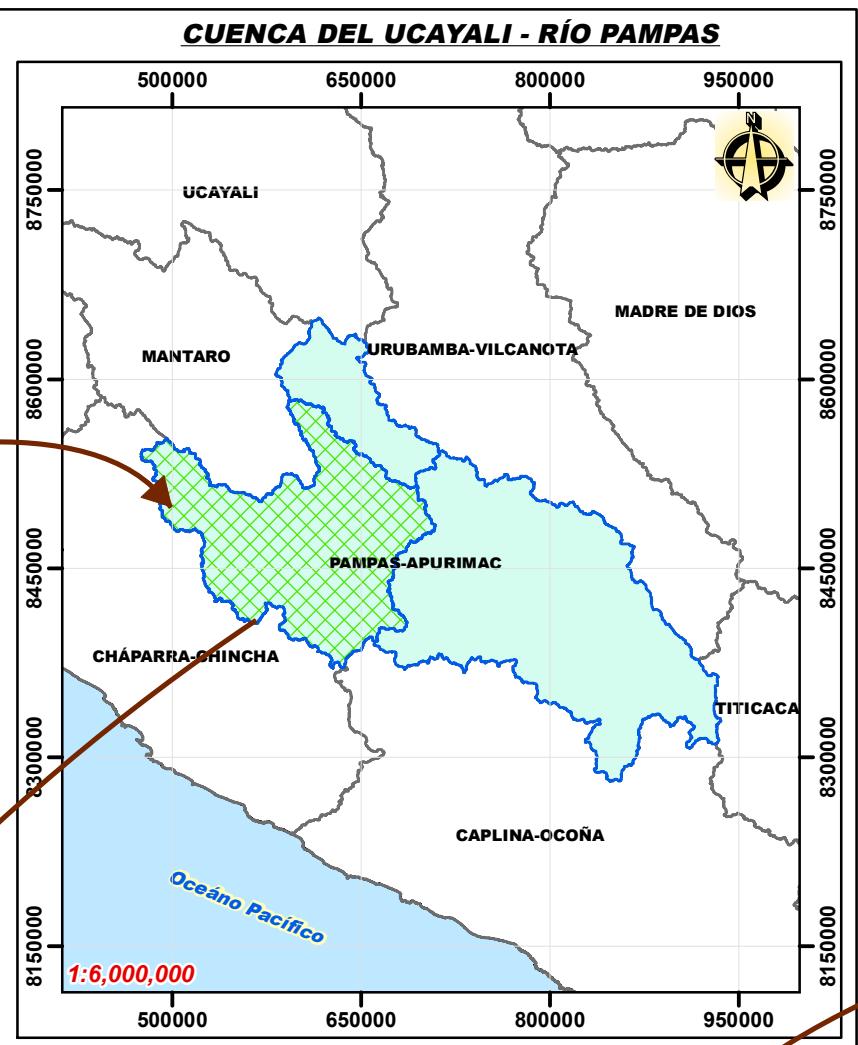
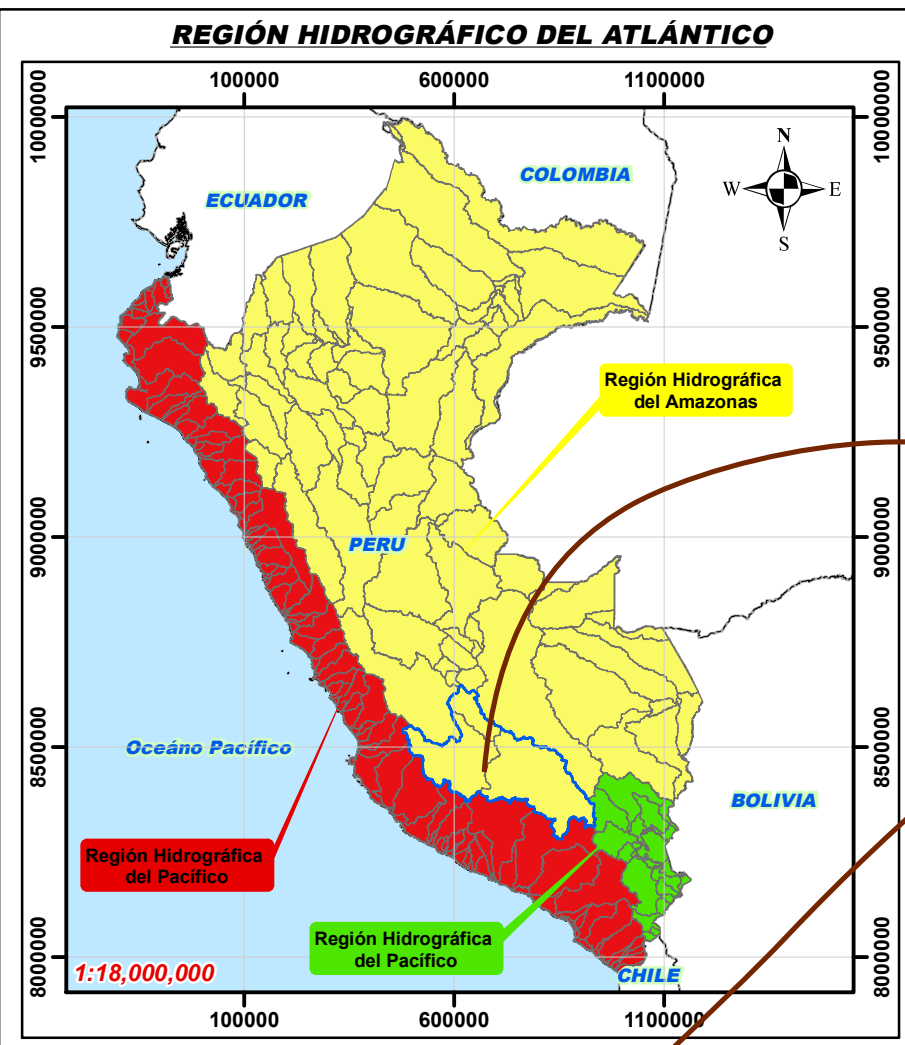


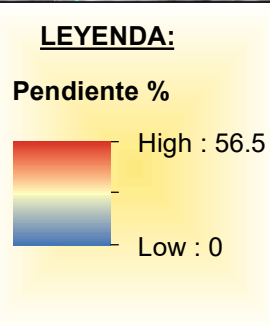
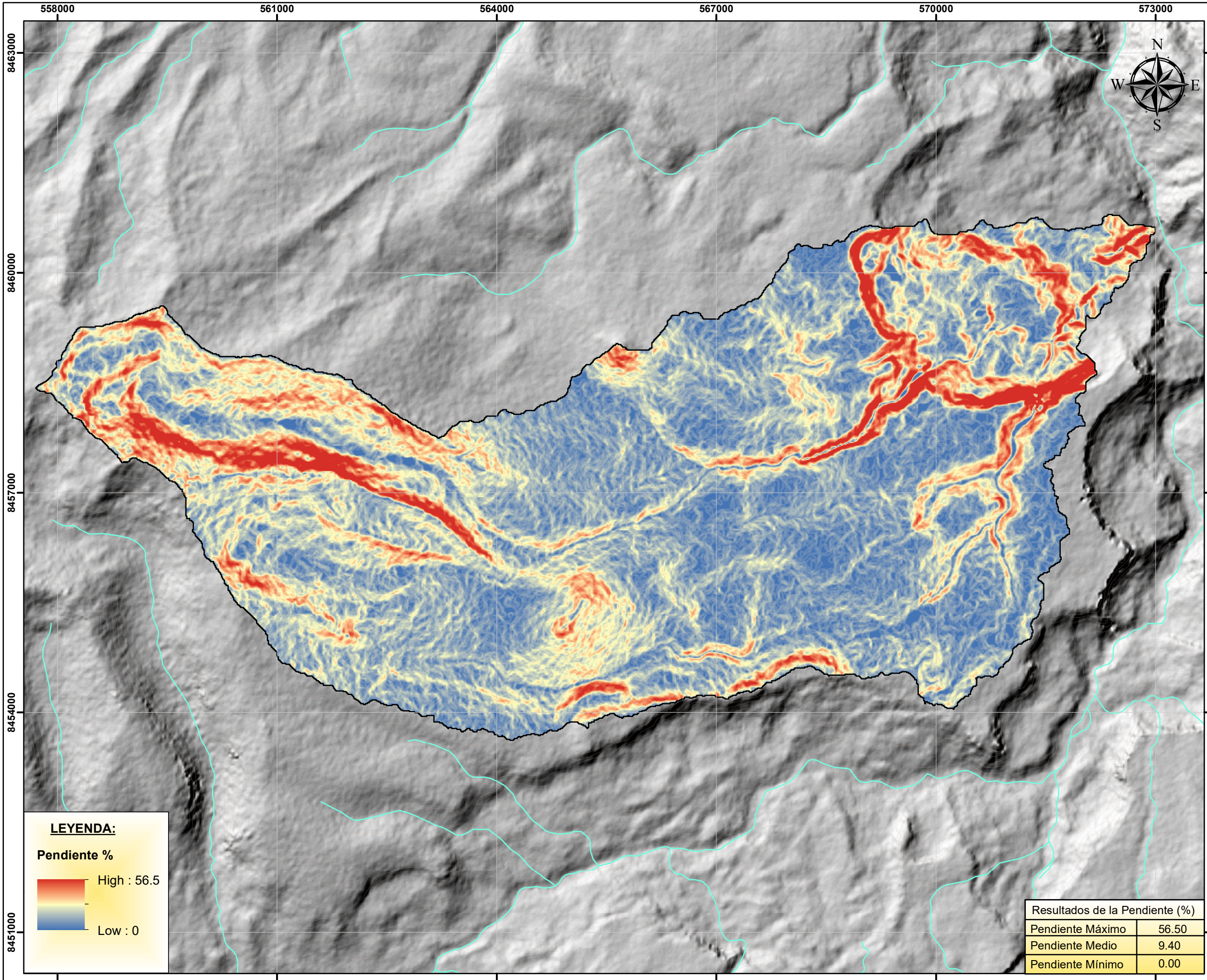
MAPA PROVINCIAL



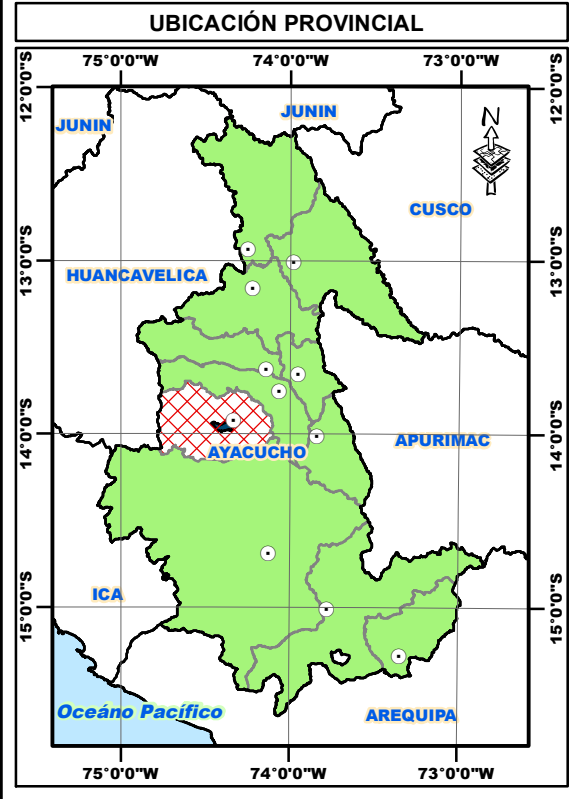
MAPA DISTRITAL





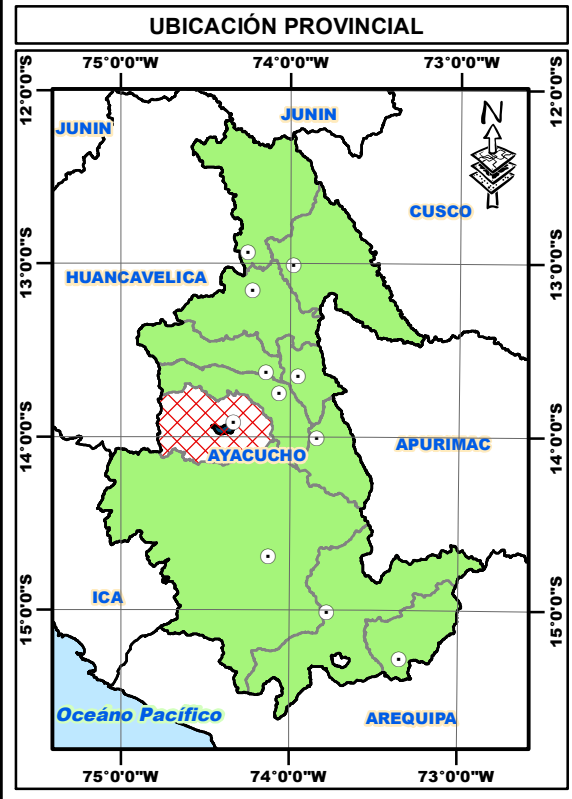
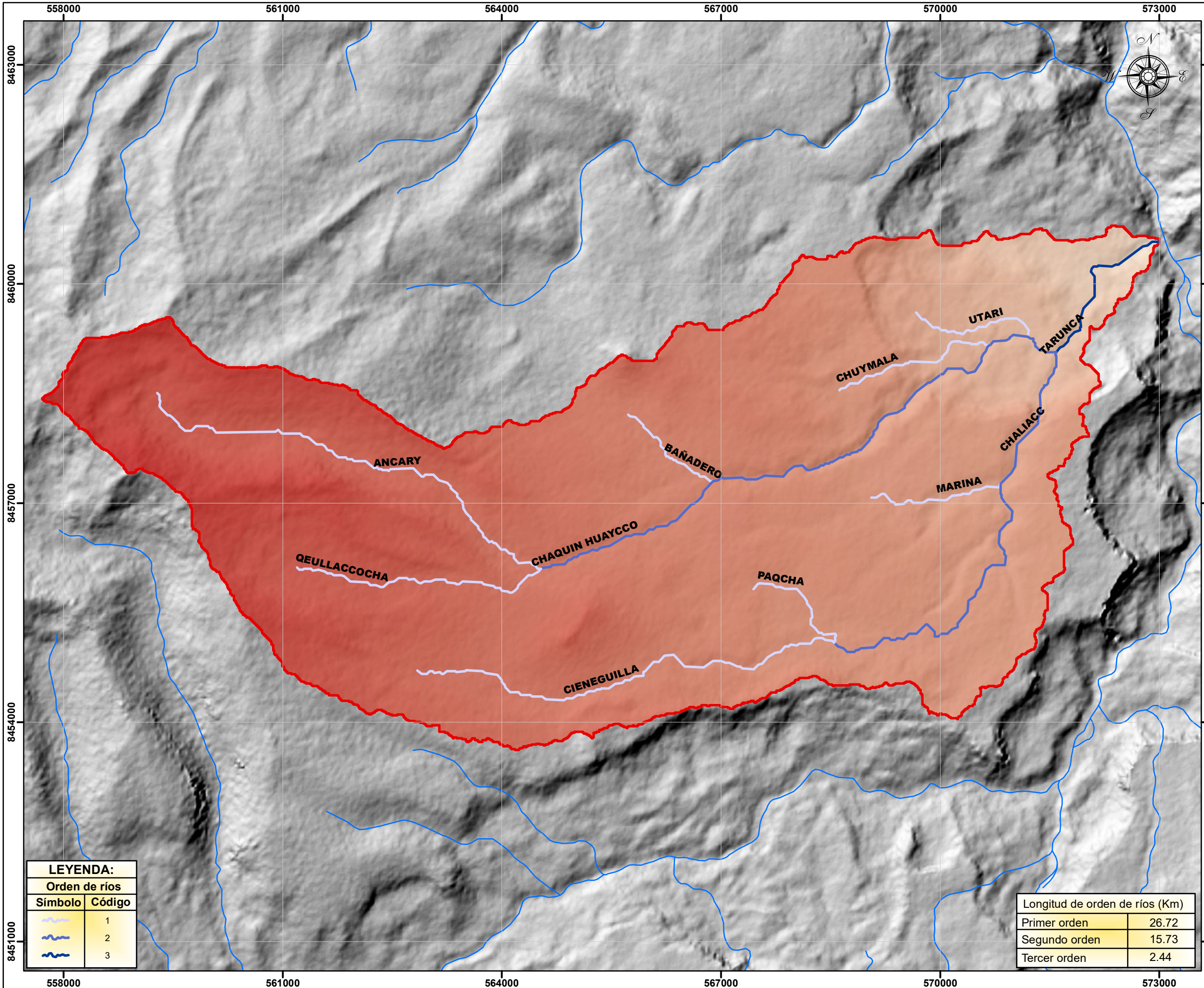


Resultados de la Pendiente (%)	
Pendiente Máximo	56.50
Pendiente Medio	9.40
Pendiente Mínimo	0.00



SIGNOS CONVENCIONALES

ÁREA DE ESTUDIO:	LIMITES:
<ul style="list-style-type: none"> ● Punto de aforo ⬭ Subcuenca Tarunca 	<ul style="list-style-type: none"> ⚡ Internacional ⚡ Departamental ⚡ Provincial ⚡ Distrital ⚡ Hidrografía ⚡ Laguna ⚡ Curvas de nivel
CENTROS POBLADOS:	
<ul style="list-style-type: none"> ⊠ Capital Departamento ⊙ Capital Provincia ⊙ Capital Distrito ○ Centro Poblado 	
AREA NATURAL PROTEGIDA:	
<ul style="list-style-type: none"> ⊕ Área Natural Protegida ⊕ Zona de Amortiguamiento ⊕ Área de Conservación Regional ⊕ Comunidades Nativas 	



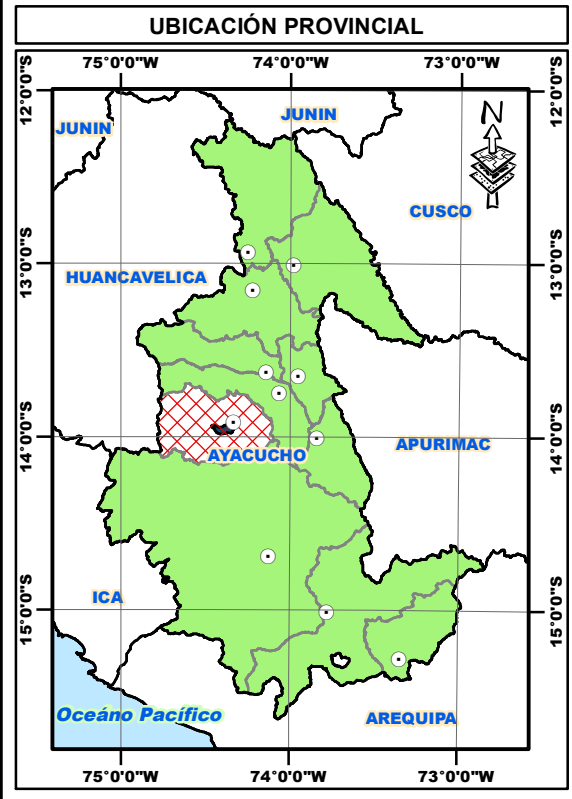
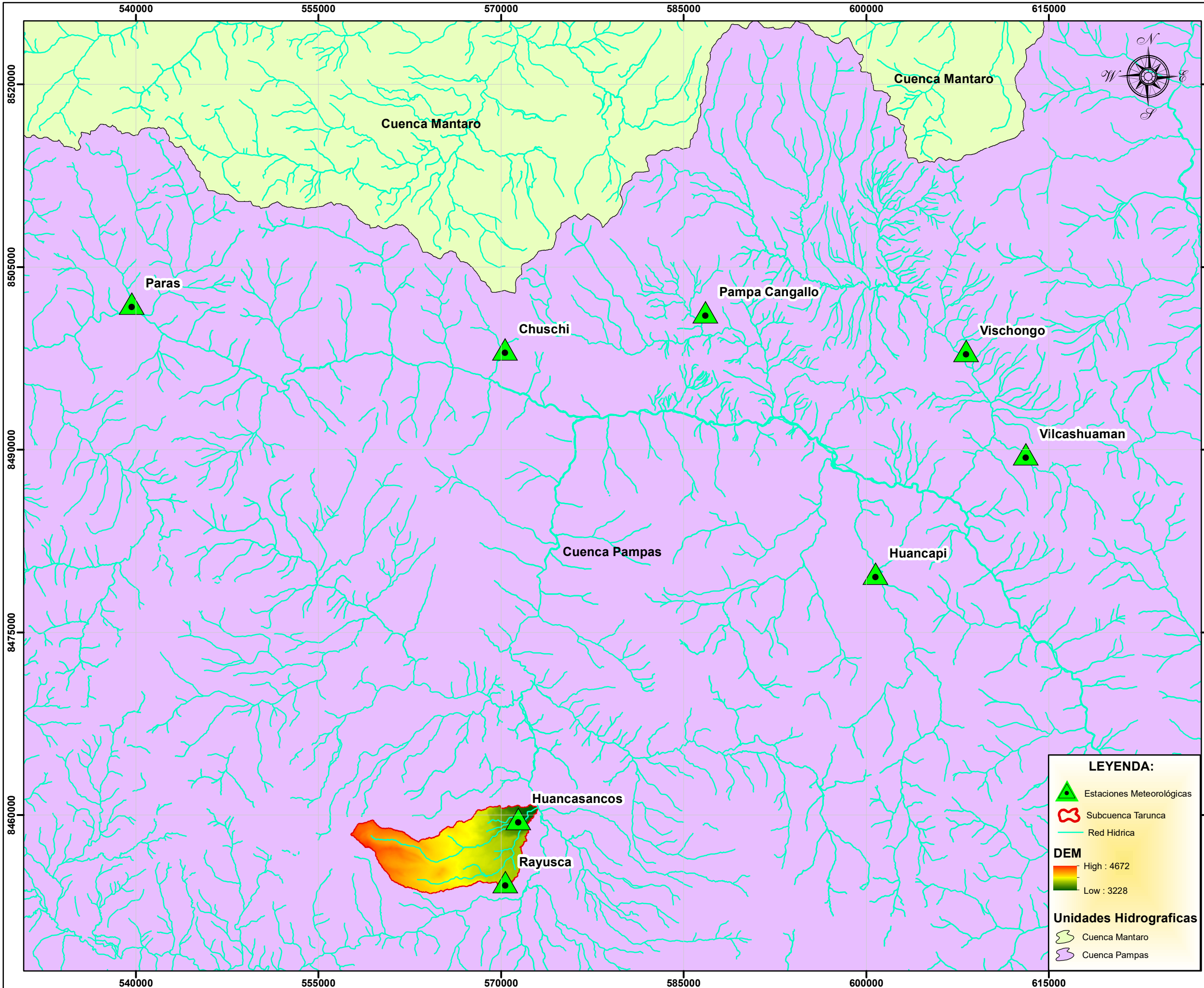
LEYENDA:

Orden de ríos	
Símbolo	Código
	1
	2
	3

Longitud de orden de ríos (Km)	
Primer orden	26.72
Segundo orden	15.73
Tercer orden	2.44

SIGNOS CONVENCIONALES

<p>ÁREA DE ESTUDIO:</p> <ul style="list-style-type: none"> Punto de aforo Subcuenca Tarunca 	<p>LIMITES:</p> <ul style="list-style-type: none"> Internacional Departamental Provincial Distrital Hidrografía Laguna Curvas de nivel
<p>CENTROS POBLADOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> Capital Departamento Capital Provincia Capital Distrito Centro Poblado 	<p>AREA NATURAL PROTEGIDA:</p> <ul style="list-style-type: none"> Área Natural Protegida Zona de Amortiguamiento Área de Conservación Regional Comunidades Nativas



LEYENDA:

- Estaciones Meteorológicas
- Subcuenca Tarunca
- Red Hidrica

DEM

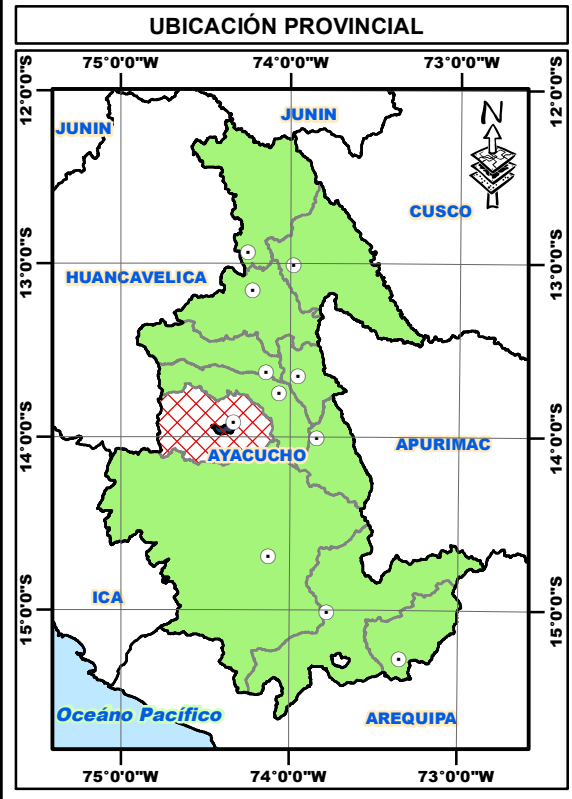
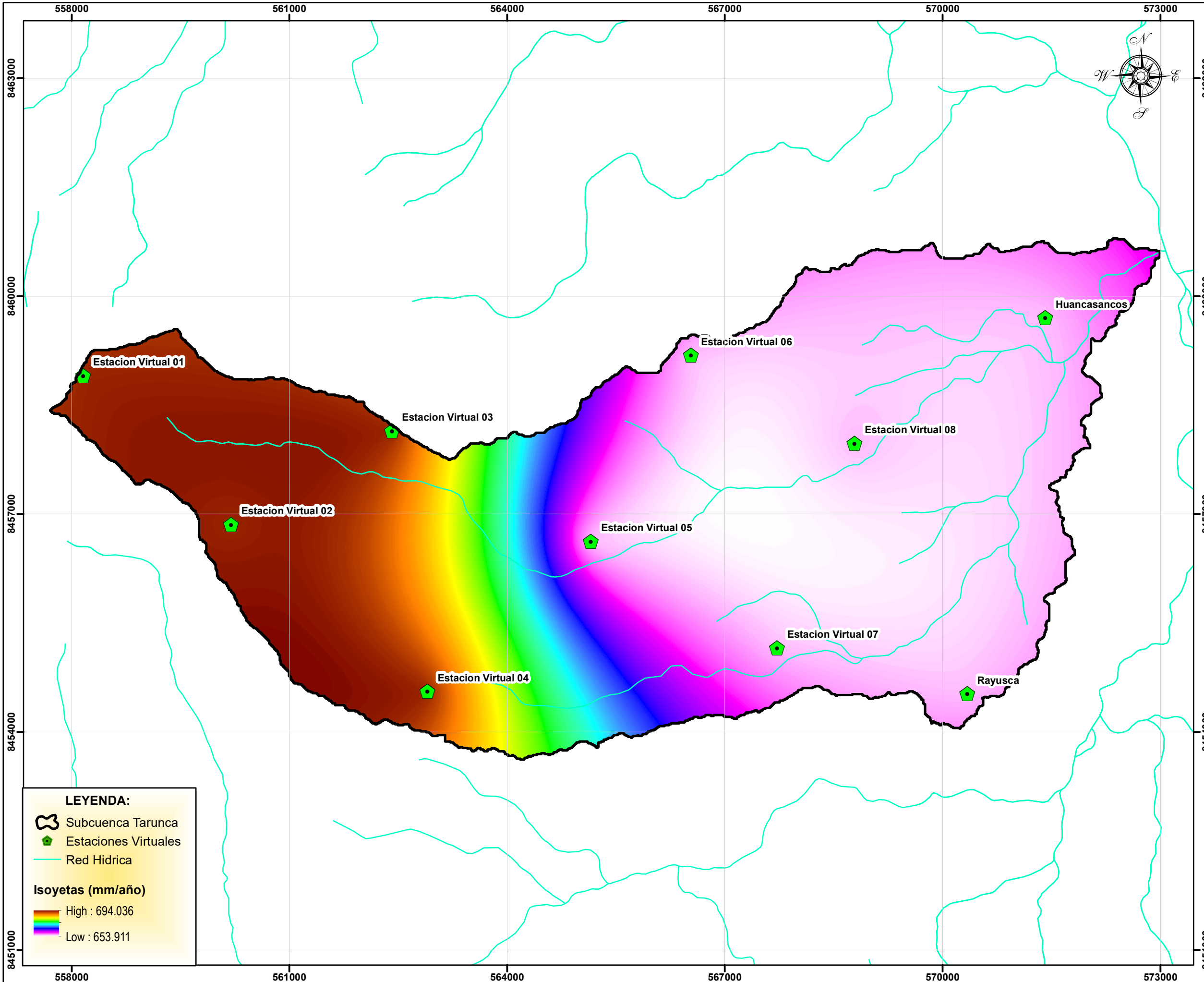
- High : 4672
- Low : 3228

Unidades Hidrograficas

- Cuenca Mantaro
- Cuenca Pampas

SIGNOS CONVENCIONALES

ÁREA DE ESTUDIO:	LIMITES:
Punto de aforo	Internacional
Subcuenca Tarunca	Departamental
	Provincial
CENTROS POBLADOS:	Distrital
Capital Departamento	Hidrografía
Capital Provincia	Laguna
Capital Distrito	Curvas de nivel
Centro Poblado	
AREA NATURAL PROTEGIDA:	
Área Natural Protegida	
Zona de Amortiguamiento	
Área de Conservación Regional	
Comunidades Nativas	



LEYENDA:

- Subcuenca Tarunca
- Estaciones Virtuales
- Red Hidrica

Isoyetas (mm/año)

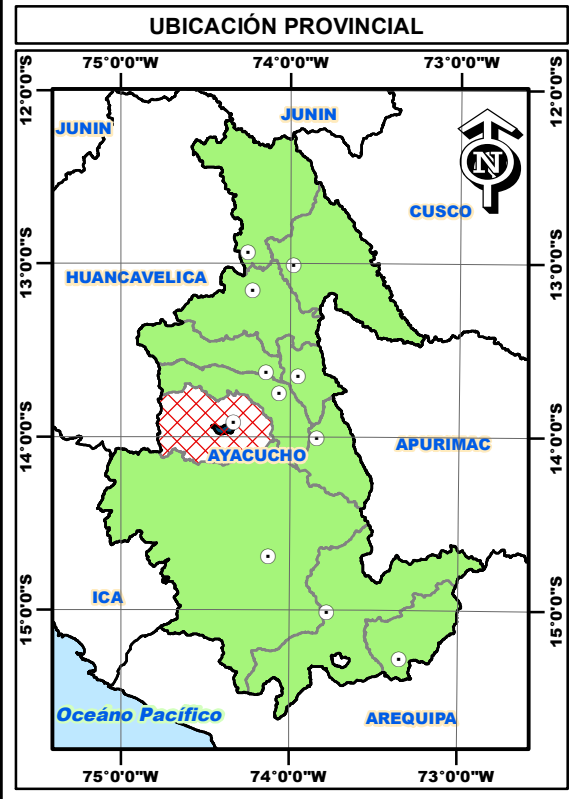
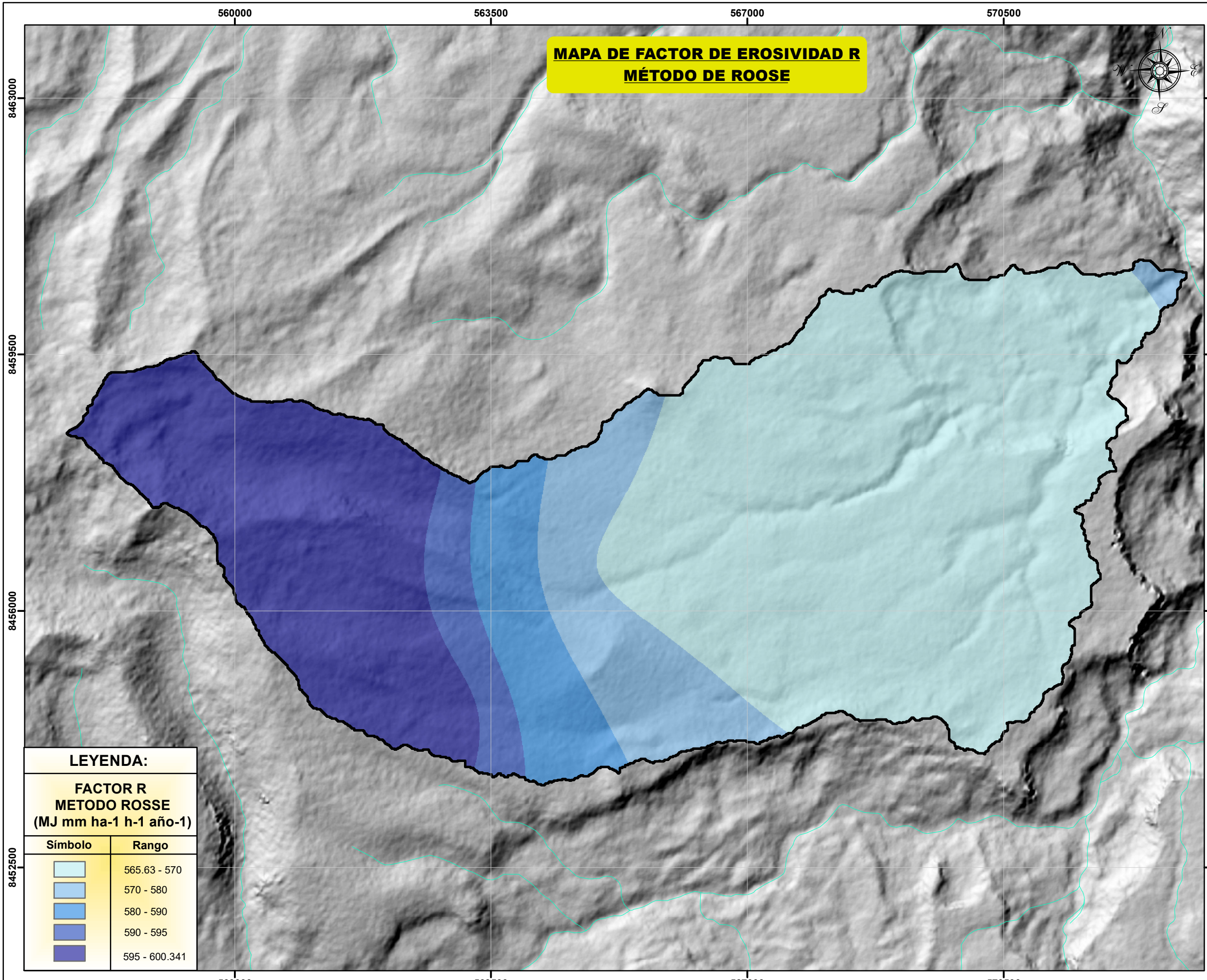
High : 694.036

Low : 653.911

SIGNOS CONVENCIONALES

<p>ÁREA DE ESTUDIO:</p> <ul style="list-style-type: none"> Punto de aforo Subcuenca Tarunca 	<p>LIMITES:</p> <ul style="list-style-type: none"> Internacional Departamental Provincial Distrital Hidrografía Laguna Curvas de nivel
<p>CENTROS POBLADOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> Capital Departamento Capital Provincia Capital Distrito Centro Poblado 	
<p>AREA NATURAL PROTEGIDA:</p> <ul style="list-style-type: none"> Área Natural Protegida Zona de Amortiguamiento Área de Conservación Regional Comunidades Nativas 	

MAPA DE FACTOR DE EROSIVIDAD R MÉTODO DE ROOSE



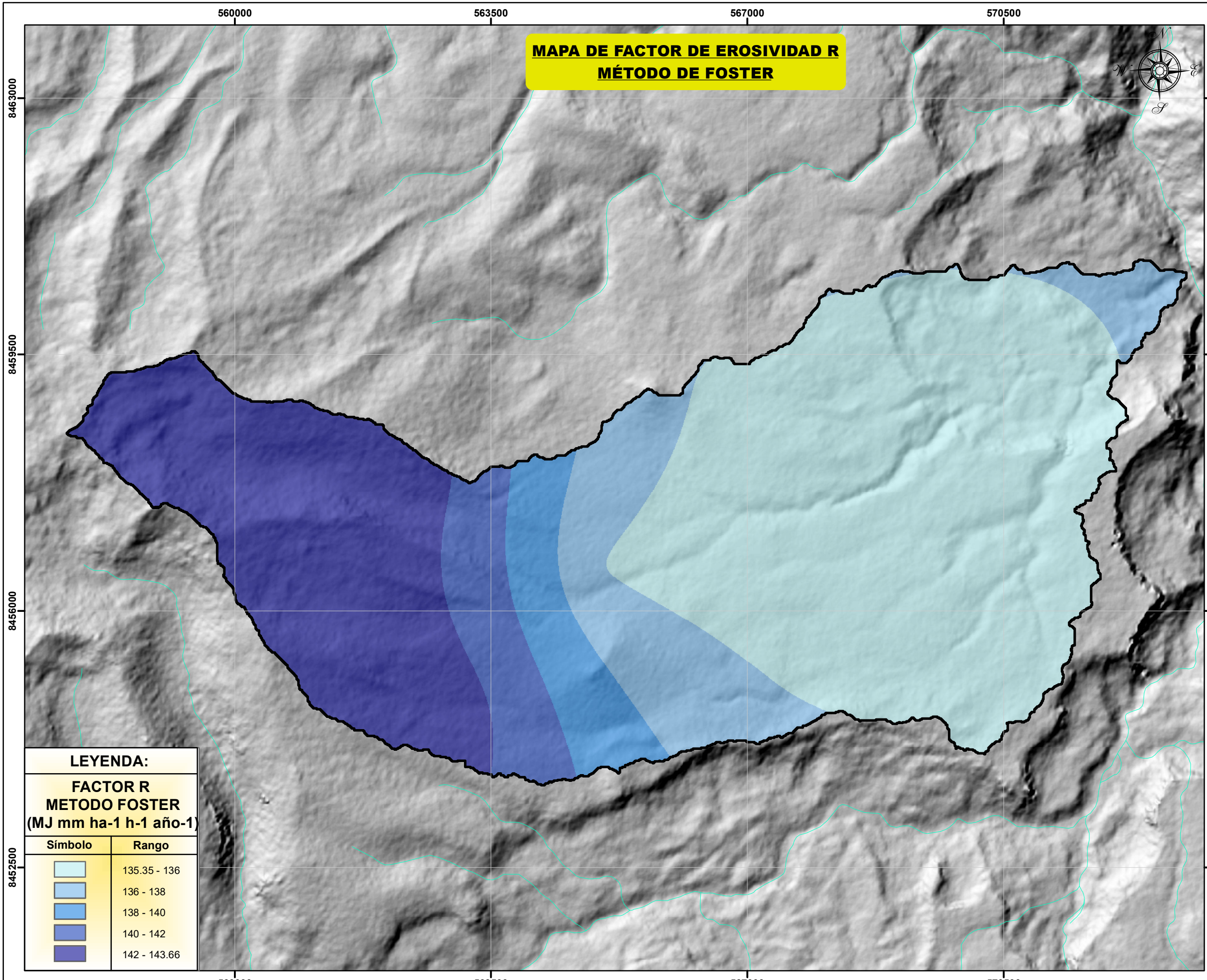
LEYENDA:

**FACTOR R
METODO ROSSE
(MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ año⁻¹)**

Símbolo	Rango
	565.63 - 570
	570 - 580
	580 - 590
	590 - 595
	595 - 600.341

SIGNOS CONVENCIONALES

ÁREA DE ESTUDIO:	LIMITES:
Punto de aforo	Internacional
Subcuenca Tarunca	Departamental
CENTROS POBLADOS:	Provincial
Capital Departamento	Distrital
Capital Provincia	Hidrografía
Capital Distrito	Laguna
Centro Poblado	Curvas de nivel
AREA NATURAL PROTEGIDA:	
Área Natural Protegida	
Zona de Amortiguamiento	
Área de Conservación Regional	
Comunidades Nativas	

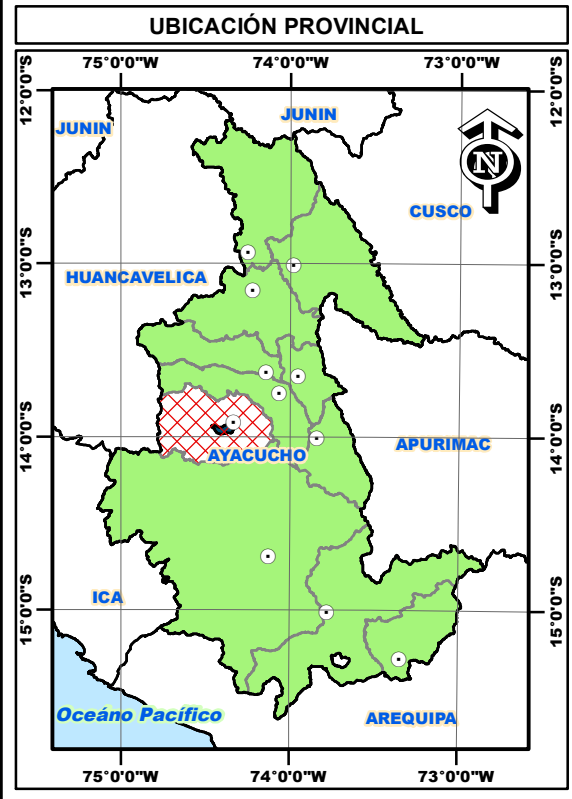


**MAPA DE FACTOR DE EROSIVIDAD R
MÉTODO DE FOSTER**

LEYENDA:

**FACTOR R
METODO FOSTER
(MJ mm ha-1 h-1 año-1)**

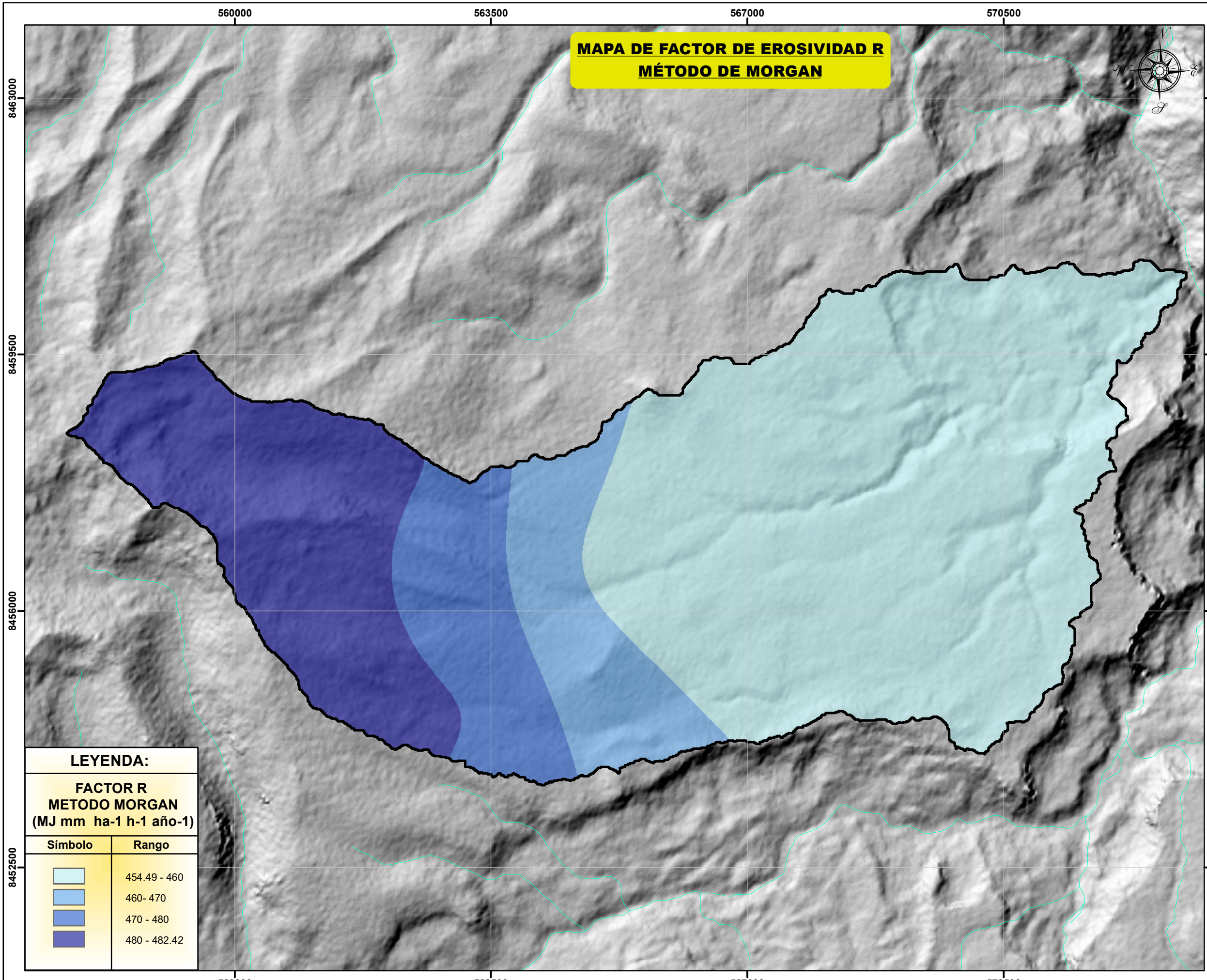
Símbolo	Rango
	135.35 - 136
	136 - 138
	138 - 140
	140 - 142
	142 - 143.66



SIGNOS CONVENCIONALES

ÁREA DE ESTUDIO:	LIMITES:
Punto de aforo	Internacional
Subcuenca Tarunca	Departamental
CENTROS POBLADOS:	Provincial
Capital Departamento	Distrital
Capital Provincia	Hidrografía
Capital Distrito	Laguna
Centro Poblado	Curvas de nivel
AREA NATURAL PROTEGIDA:	
Área Natural Protegida	
Zona de Amortiguamiento	
Área de Conservación Regional	
Comunidades Nativas	

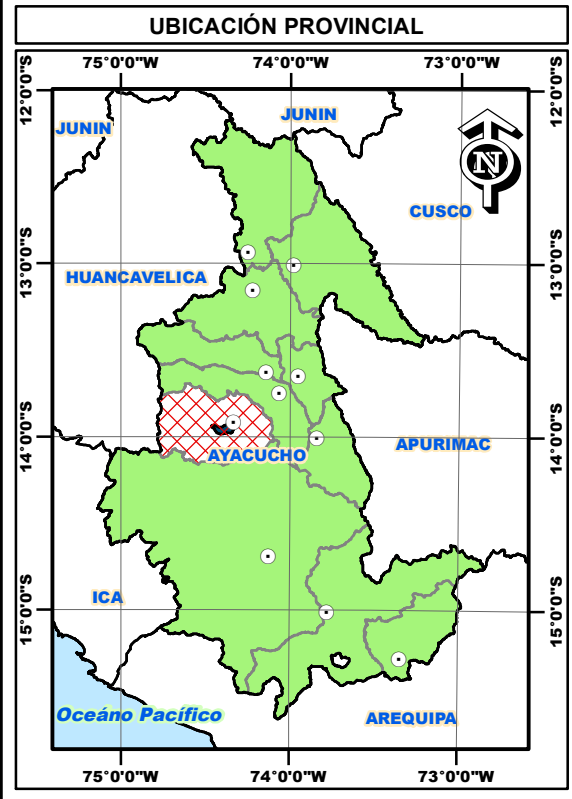
**MAPA DE FACTOR DE EROSIVIDAD R
MÉTODO DE MORGAN**



LEYENDA:

**FACTOR R
METODO MORGAN
(MJ mm ha-1 h-1 año-1)**

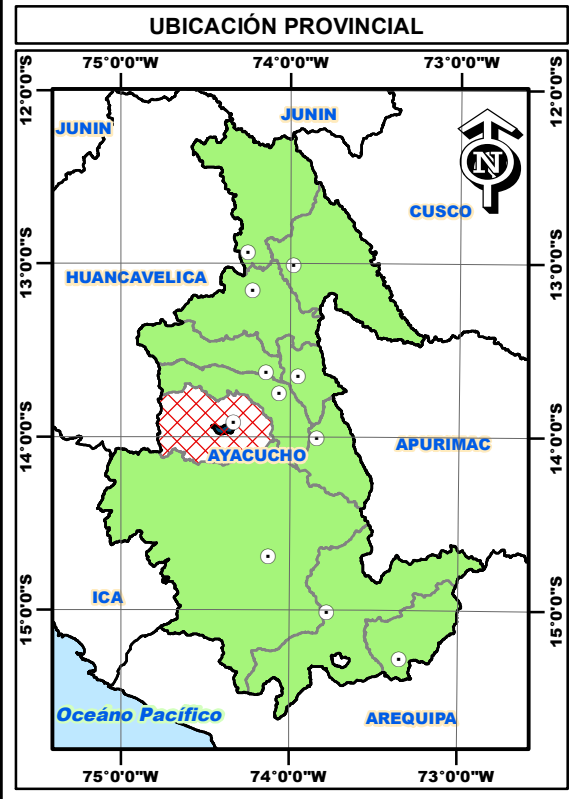
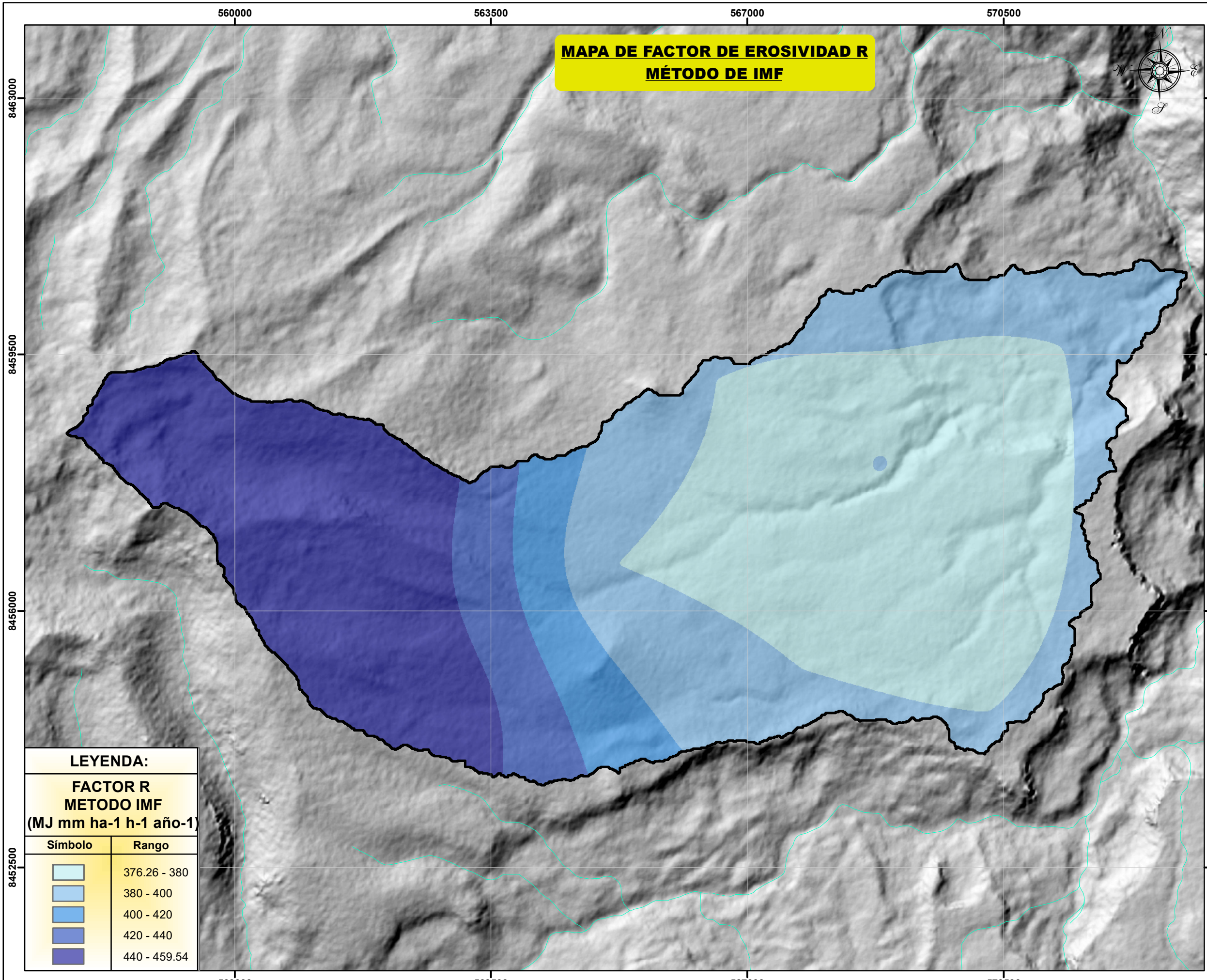
Símbolo	Rango
	454.49 - 460
	460 - 470
	470 - 480
	480 - 482.42



SIGNOS CONVENCIONALES

ÁREA DE ESTUDIO:	LIMITES:
Punto de aforo	Internacional
Subcuenca Tarunca	Departamental
CENTROS POBLADOS:	Provincial
Capital Departamento	Distrital
Capital Provincia	Hidrografía
Capital Distrito	Laguna
Centro Poblado	Curvas de nivel
AREA NATURAL PROTEGIDA:	
Área Natural Protegida	
Zona de Amortiguamiento	
Área de Conservación Regional	
Comunidades Nativas	

**MAPA DE FACTOR DE EROSIVIDAD R
MÉTODO DE IMF**



LEYENDA:

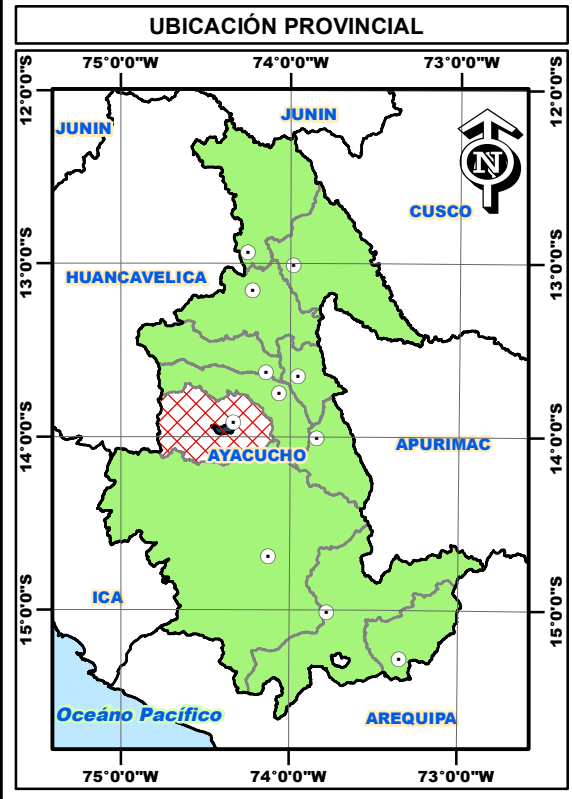
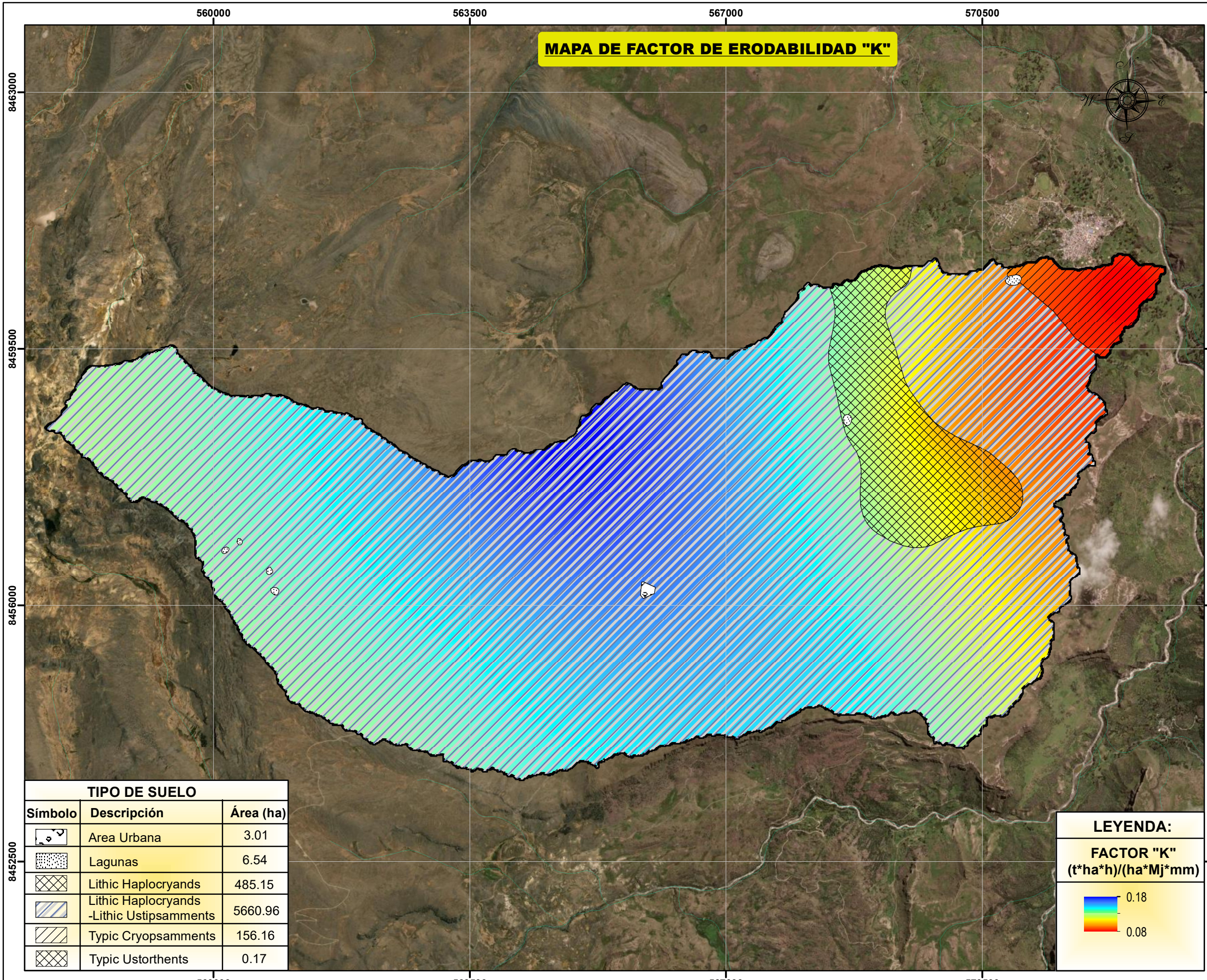
**FACTOR R
METODO IMF
(MJ mm ha-1 h-1 año-1)**

Símbolo	Rango
	376.26 - 380
	380 - 400
	400 - 420
	420 - 440
	440 - 459.54

SIGNOS CONVENCIONALES

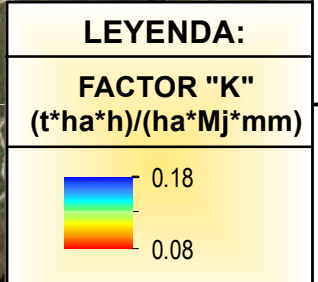
ÁREA DE ESTUDIO:	LIMITES:
Punto de aforo	Internacional
Subcuenca Tarunca	Departamental
CENTROS POBLADOS:	Provincial
Capital Departamento	Distrital
Capital Provincia	Hidrografía
Capital Distrito	Laguna
Centro Poblado	Curvas de nivel
AREA NATURAL PROTEGIDA:	
Área Natural Protegida	
Zona de Amortiguamiento	
Área de Conservación Regional	
Comunidades Nativas	

MAPA DE FACTOR DE ERODABILIDAD "K"



TIPO DE SUELO

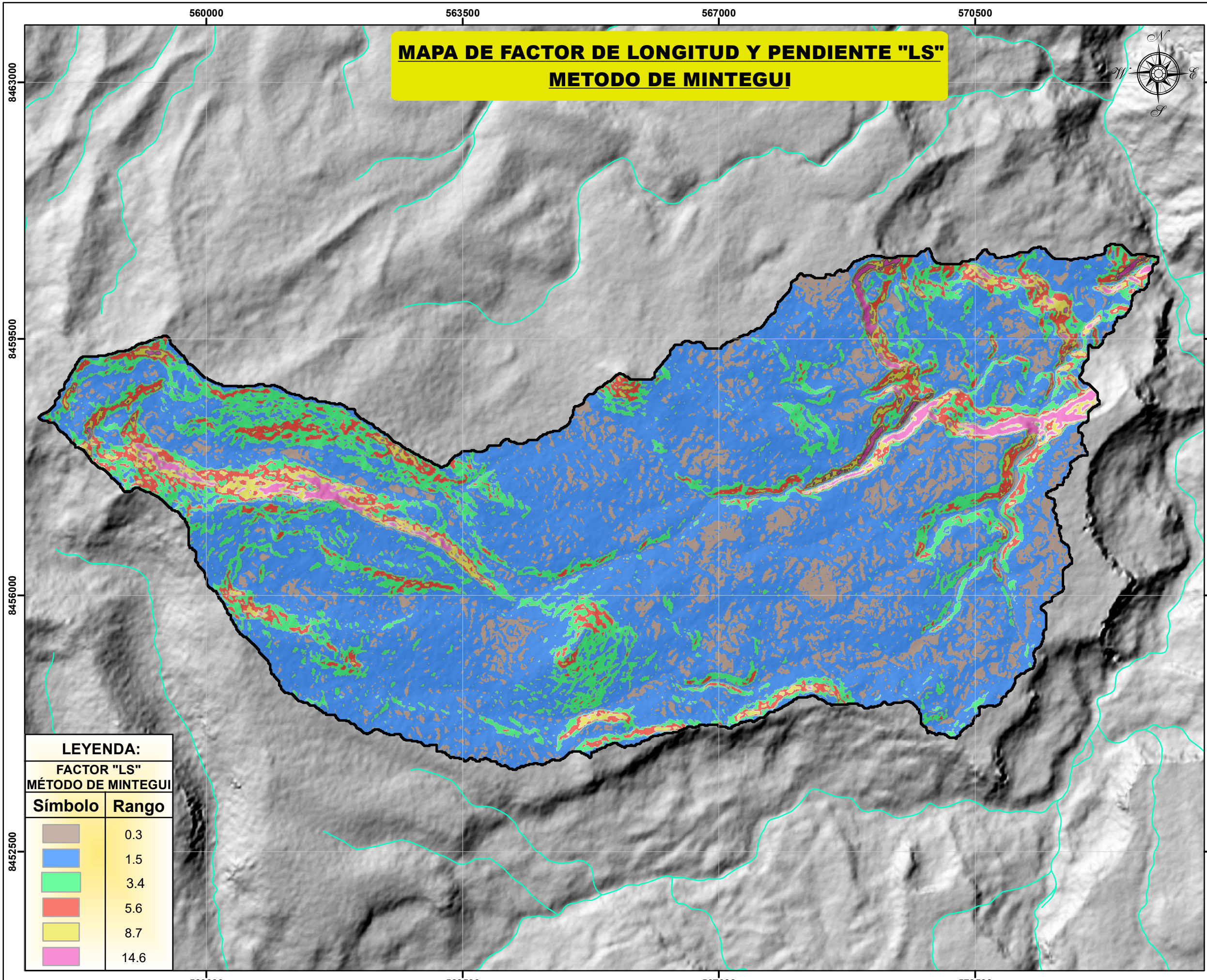
Símbolo	Descripción	Área (ha)
	Area Urbana	3.01
	Lagunas	6.54
	Lithic Haplocryands	485.15
	Lithic Haplocryands -Lithic Ustipsamments	5660.96
	Typic Cryopsamments	156.16
	Typic Ustorthents	0.17



SIGNOS CONVENCIONALES

ÁREA DE ESTUDIO:	LIMITES:
CENTROS POBLADOS:	
AREA NATURAL PROTEGIDA:	

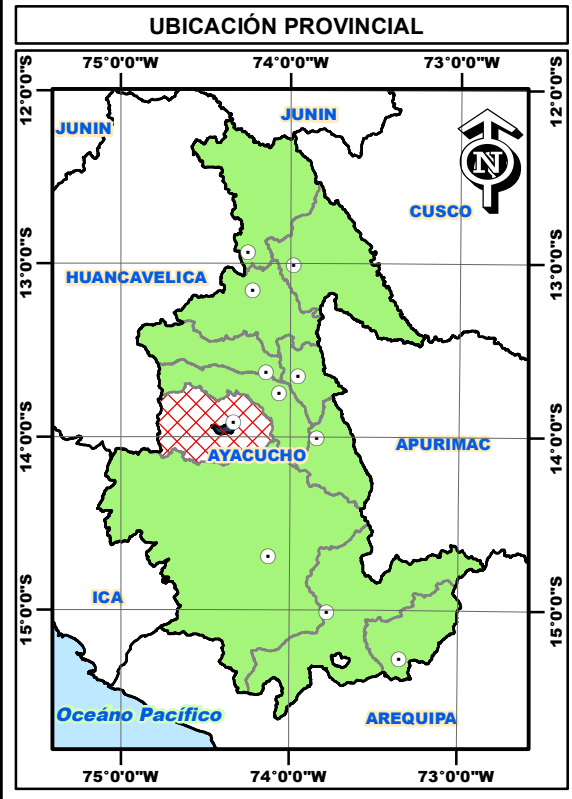
MAPA DE FACTOR DE LONGITUD Y PENDIENTE "LS" METODO DE MINTEGUI



LEYENDA:

**FACTOR "LS"
MÉTODO DE MINTEGUI**

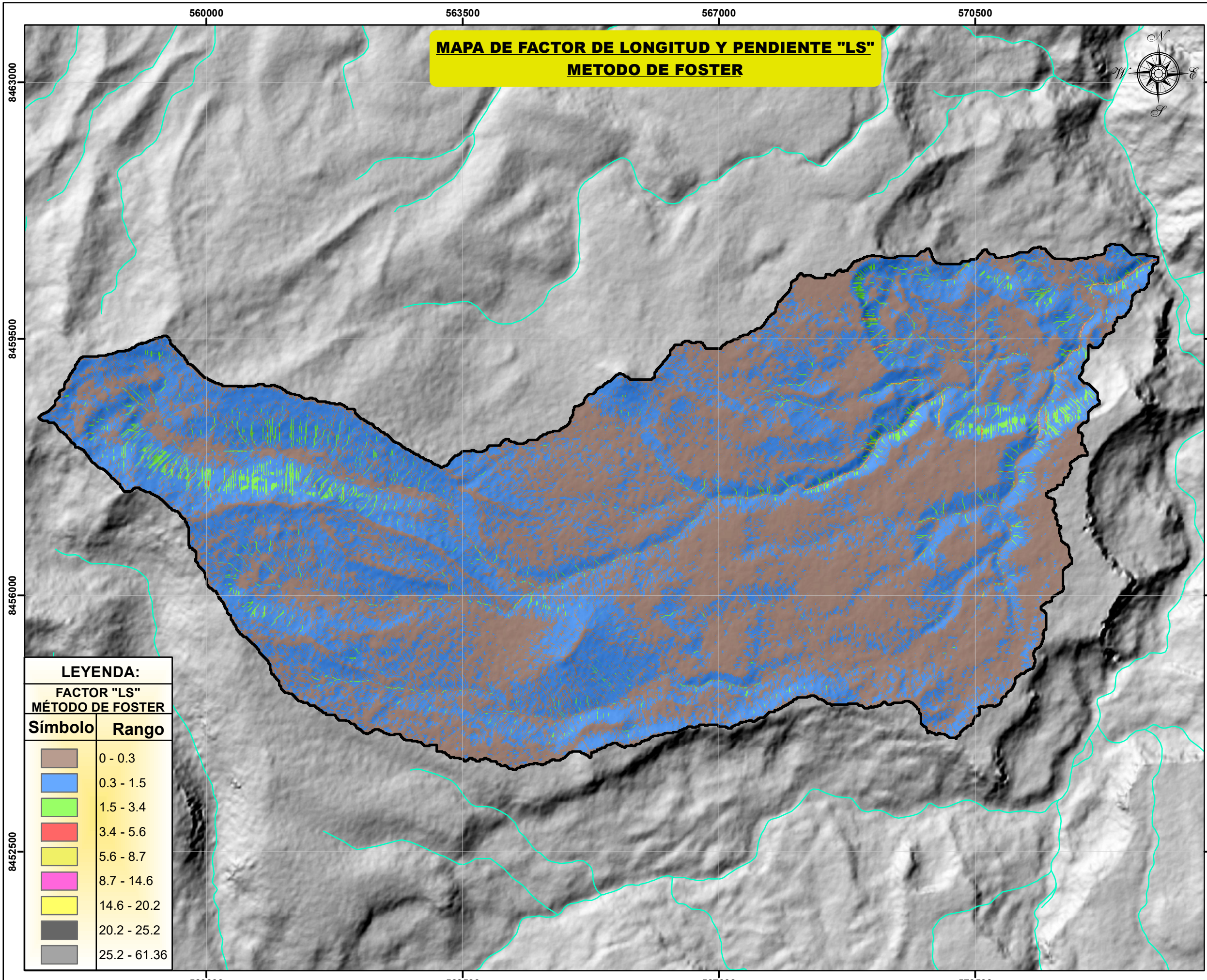
Símbolo	Rango
	0.3
	1.5
	3.4
	5.6
	8.7
	14.6



SIGNOS CONVENCIONALES

<p>ÁREA DE ESTUDIO:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Punto de aforo Subcuenca Tarunca 	<p>LIMITES:</p> <ul style="list-style-type: none"> Internacional Departamental Provincial Distrital — Hidrografía ~ Laguna — Curvas de nivel
<p>CENTROS POBLADOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> Capital Departamento Capital Provincia Capital Distrito Centro Poblado 	<p>AREA NATURAL PROTEGIDA:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✕ Área Natural Protegida ✕ Zona de Amortiguamiento ✕ Área de Conservación Regional ✕ Comunidades Nativas

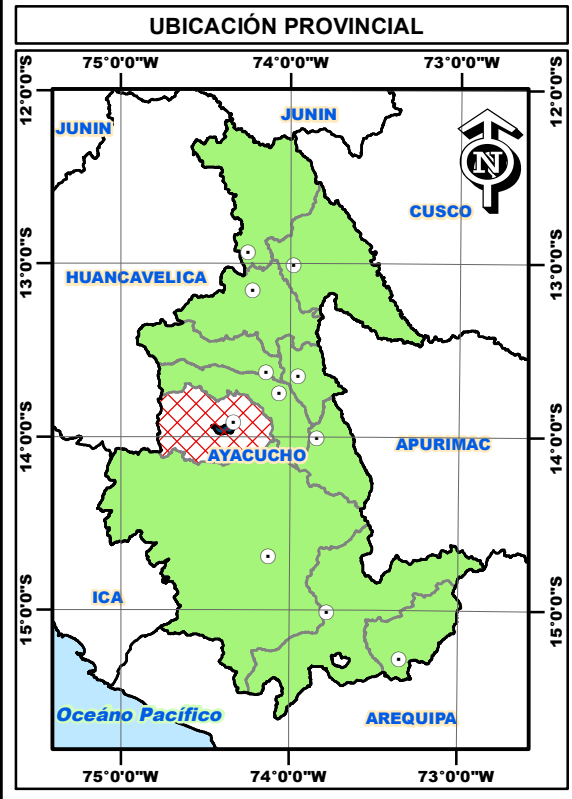
**MAPA DE FACTOR DE LONGITUD Y PENDIENTE "LS"
METODO DE FOSTER**



LEYENDA:

**FACTOR "LS"
MÉTODO DE FOSTER**

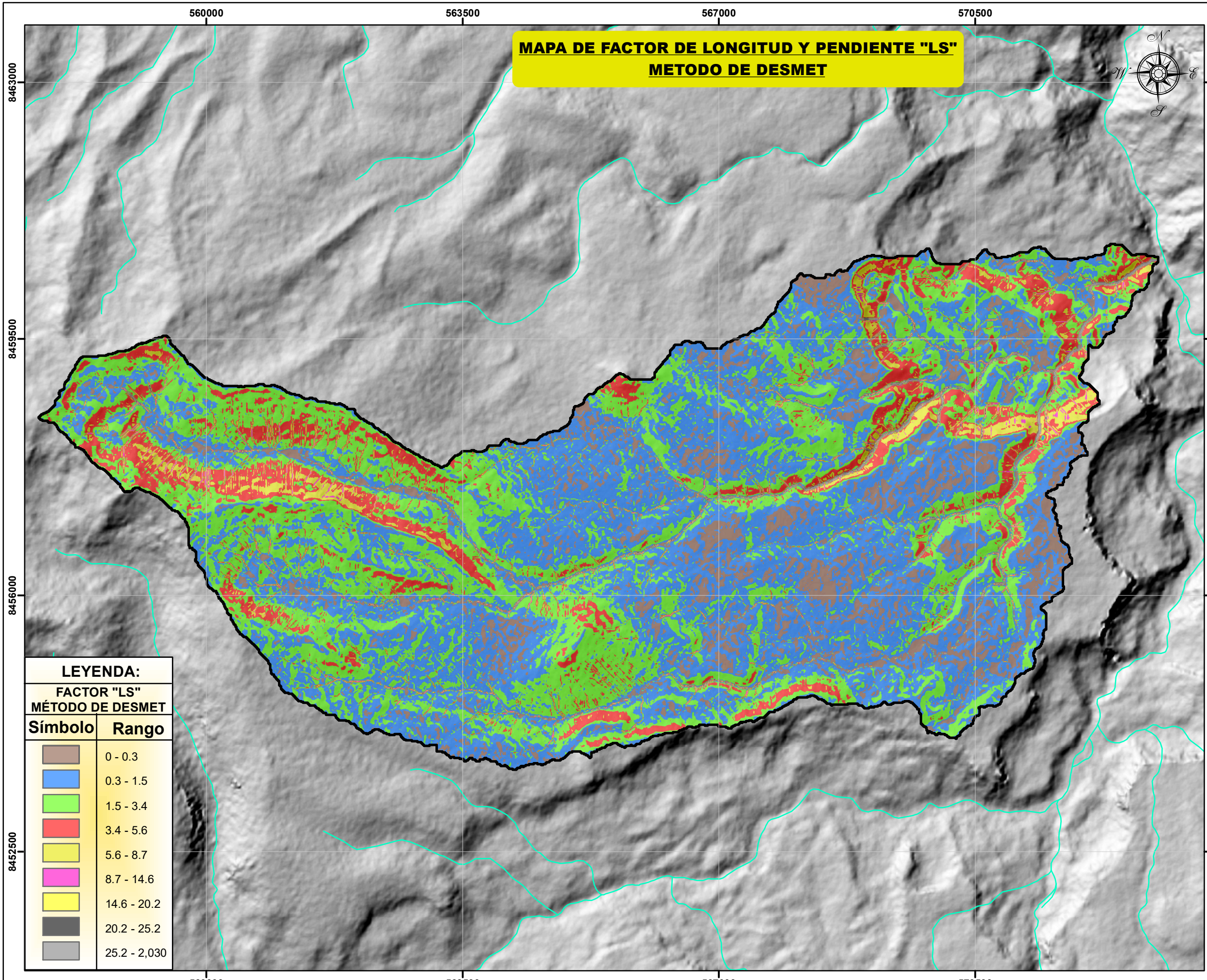
Símbolo	Rango
	0 - 0.3
	0.3 - 1.5
	1.5 - 3.4
	3.4 - 5.6
	5.6 - 8.7
	8.7 - 14.6
	14.6 - 20.2
	20.2 - 25.2
	25.2 - 61.36



SIGNOS CONVENCIONALES

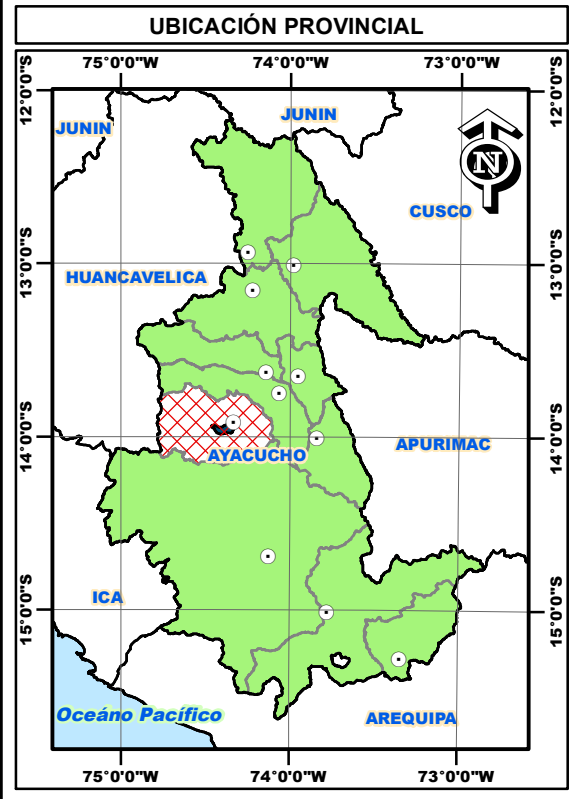
ÁREA DE ESTUDIO:	LIMITES:
Punto de aforo	Internacional
Subcuenca Tarunca	Departamental
CENTROS POBLADOS:	Provincial
Capital Departamento	Distrital
Capital Provincia	Hidrografía
Capital Distrito	Laguna
Centro Poblado	Curvas de nivel
AREA NATURAL PROTEGIDA:	
Área Natural Protegida	
Zona de Amortiguamiento	
Área de Conservación Regional	
Comunidades Nativas	

**MAPA DE FACTOR DE LONGITUD Y PENDIENTE "LS"
METODO DE DESMET**



LEYENDA:
**FACTOR "LS"
MÉTODO DE DESMET**

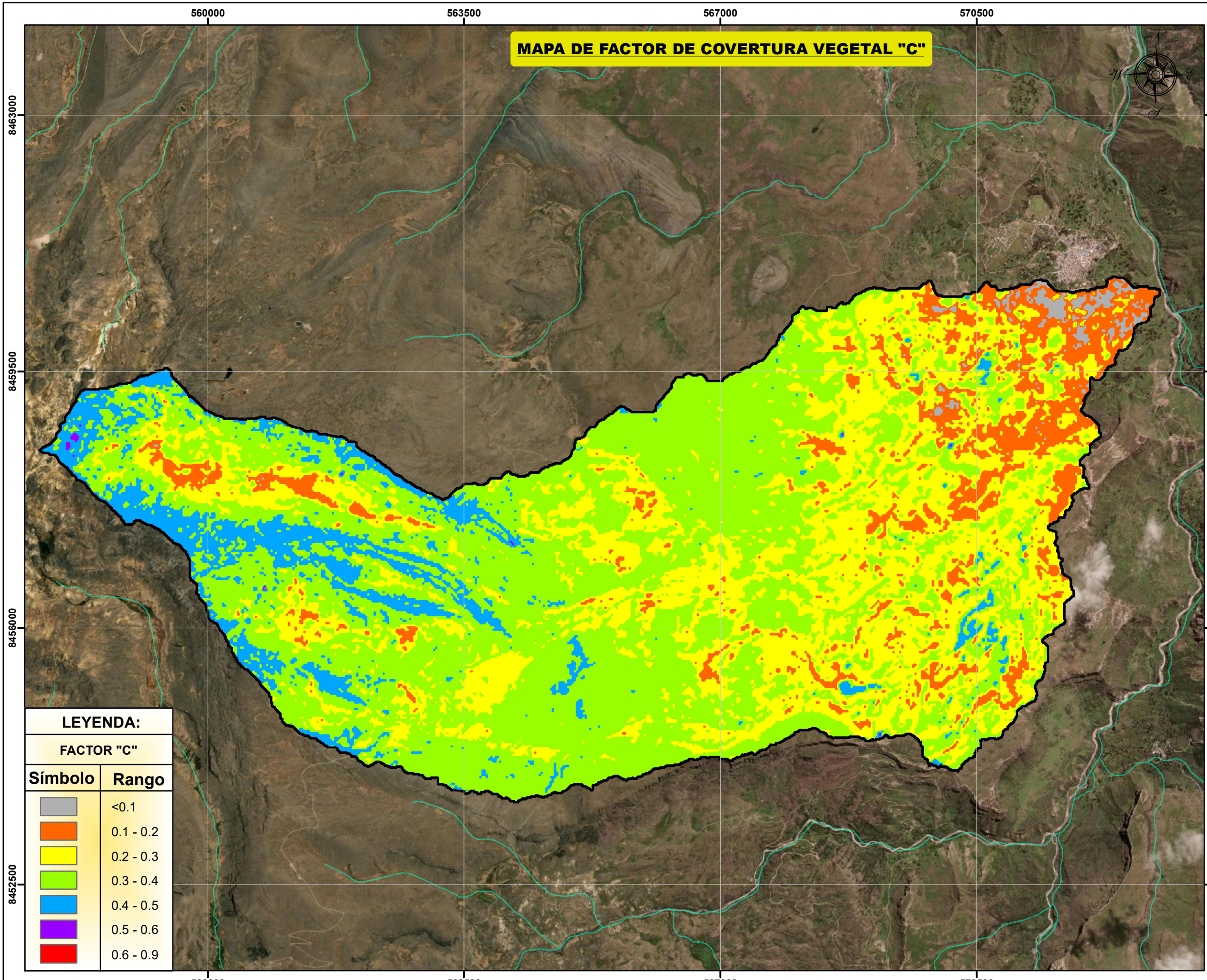
Símbolo	Rango
	0 - 0.3
	0.3 - 1.5
	1.5 - 3.4
	3.4 - 5.6
	5.6 - 8.7
	8.7 - 14.6
	14.6 - 20.2
	20.2 - 25.2
	25.2 - 2,030



SIGNOS CONVENCIONALES

ÁREA DE ESTUDIO:	LIMITES:
Punto de aforo	Internacional
Subcuenca Tarunca	Departamental
CENTROS POBLADOS:	Provincial
Capital Departamento	Distrital
Capital Provincia	Hidrografía
Capital Distrito	Laguna
Centro Poblado	Curvas de nivel
AREA NATURAL PROTEGIDA:	
Área Natural Protegida	
Zona de Amortiguamiento	
Área de Conservación Regional	
Comunidades Nativas	

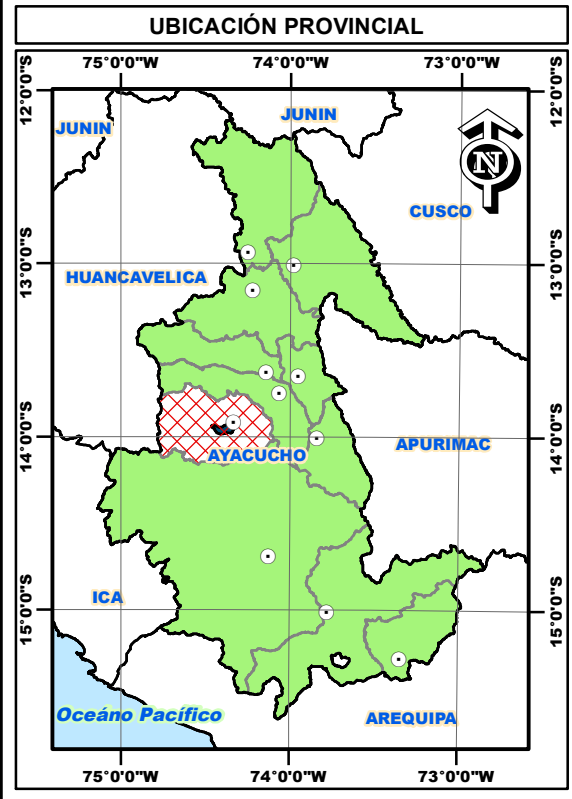
MAPA DE FACTOR DE COBERTURA VEGETAL "C"



LEYENDA:

FACTOR "C"

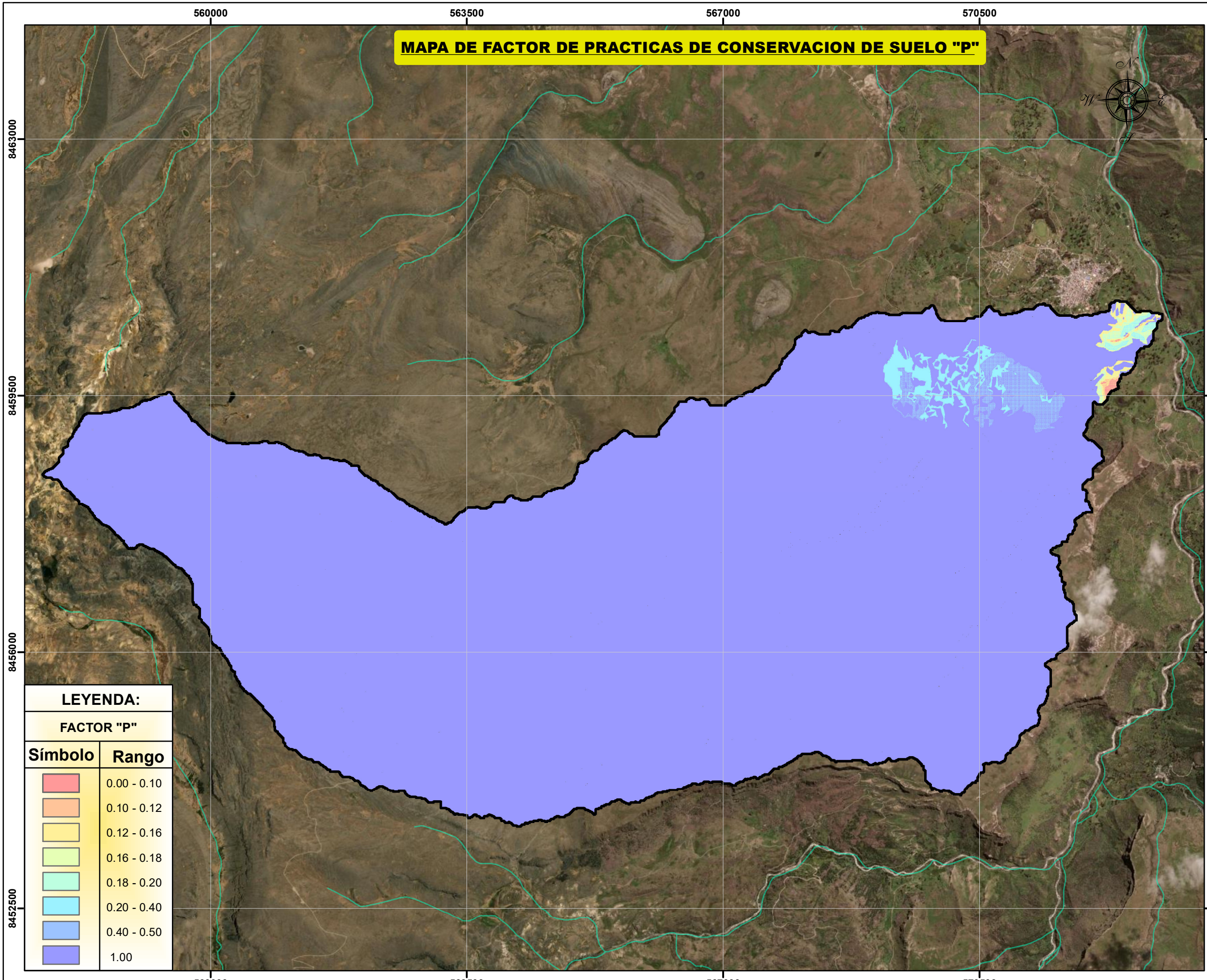
Símbolo	Rango
	<0.1
	0.1 - 0.2
	0.2 - 0.3
	0.3 - 0.4
	0.4 - 0.5
	0.5 - 0.6
	0.6 - 0.9



SIGNOS CONVENCIONALES

ÁREA DE ESTUDIO: Punto de aforo Subcuenca Tarunca	LIMITES: Internacional Departamental Provincial Distrital Hidrografía Laguna Curvas de nivel
CENTROS POBLADOS: Capital Departamento Capital Provincia Capital Distrito Centro Poblado	AREA NATURAL PROTEGIDA: Área Natural Protegida Zona de Amortiguamiento Área de Conservación Regional Comunidades Nativas

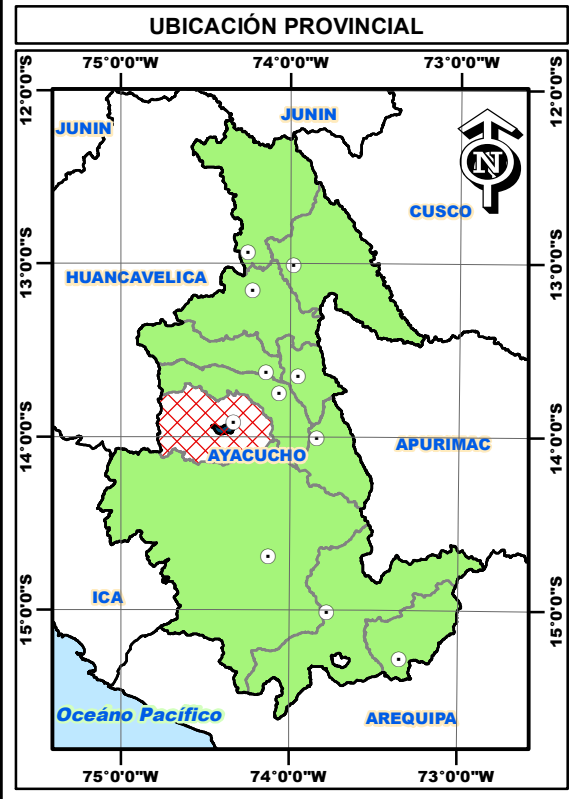
MAPA DE FACTOR DE PRACTICAS DE CONSERVACION DE SUELO "P"



LEYENDA:

FACTOR "P"

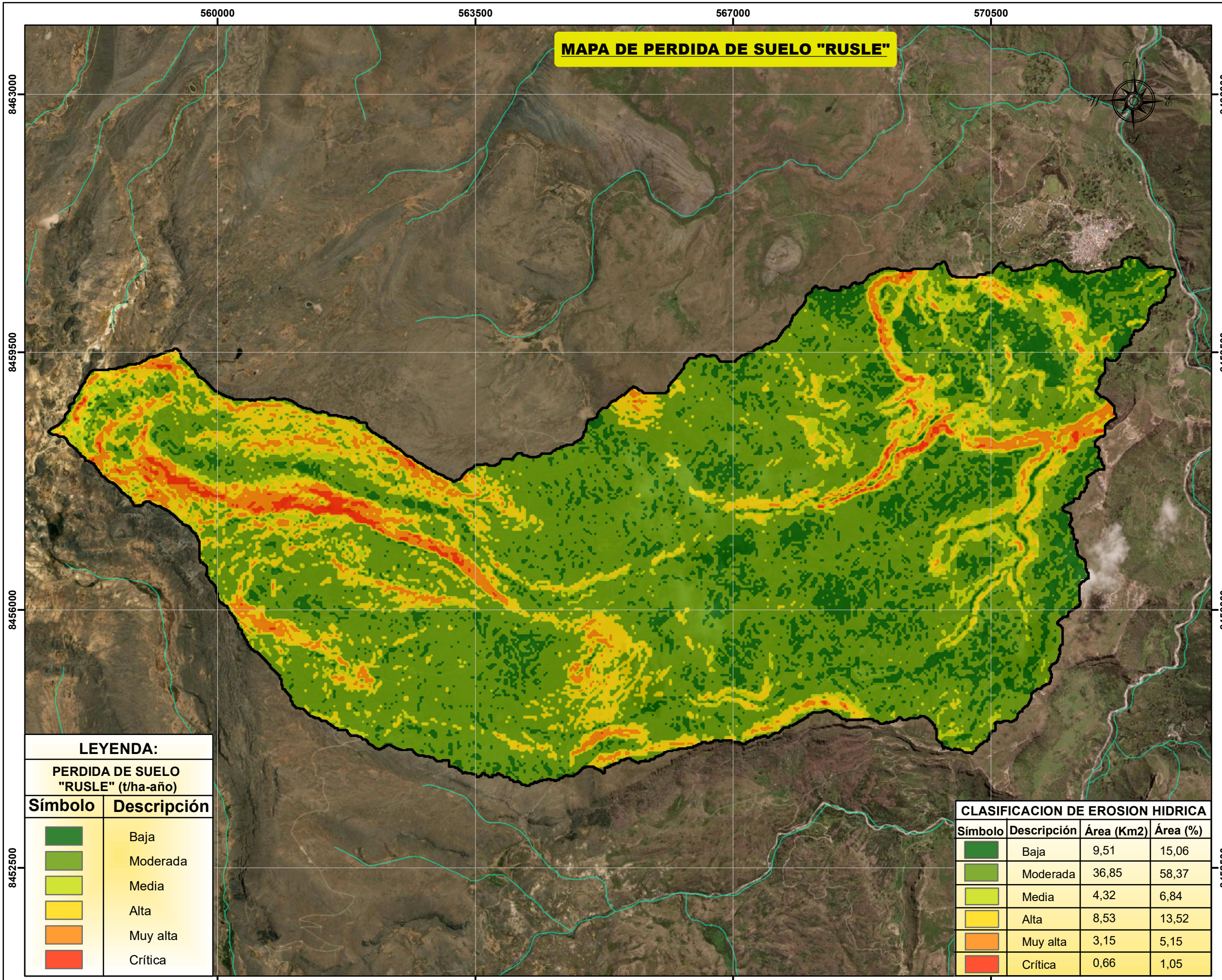
Símbolo	Rango
	0.00 - 0.10
	0.10 - 0.12
	0.12 - 0.16
	0.16 - 0.18
	0.18 - 0.20
	0.20 - 0.40
	0.40 - 0.50
	1.00



SIGNOS CONVENCIONALES

ÁREA DE ESTUDIO:	LIMITES:
Punto de aforo	Internacional
Subcuenca Tarunca	Departamental
CENTROS POBLADOS:	Provincial
Capital Departamento	Distrital
Capital Provincia	Hidrografía
Capital Distrito	Laguna
Centro Poblado	Curvas de nivel
AREA NATURAL PROTEGIDA:	
Área Natural Protegida	
Zona de Amortiguamiento	
Área de Conservación Regional	
Comunidades Nativas	

MAPA DE PERDIDA DE SUELO "RUSLE"



LEYENDA:

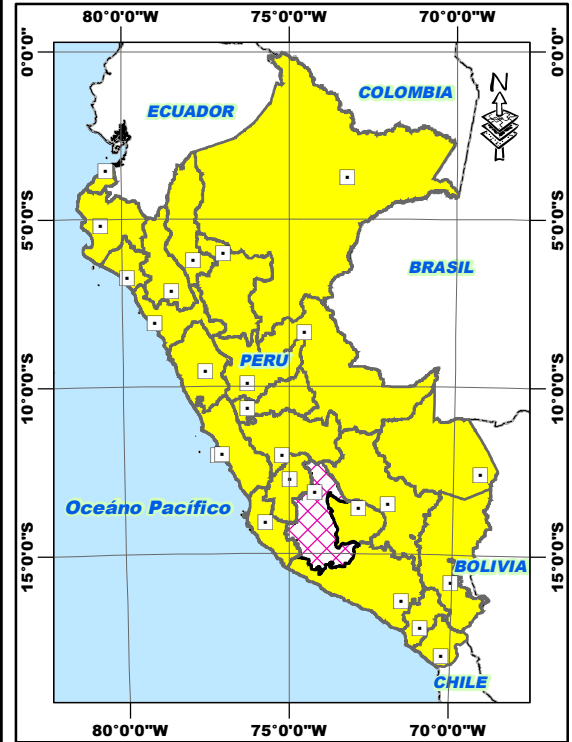
PERDIDA DE SUELO "RUSLE" (t/ha-año)

Símbolo	Descripción
	Baja
	Moderada
	Media
	Alta
	Muy alta
	Crítica

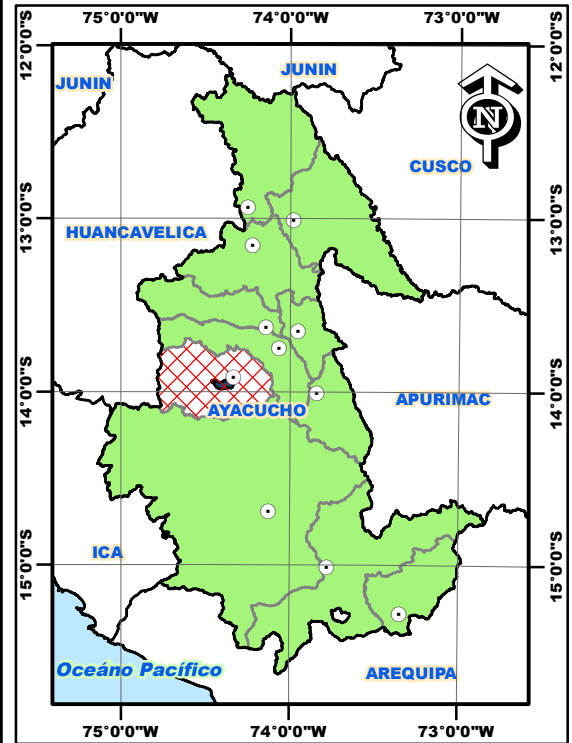
CLASIFICACION DE EROSION HIDRICA

Símbolo	Descripción	Área (Km2)	Área (%)
	Baja	9,51	15,06
	Moderada	36,85	58,37
	Media	4,32	6,84
	Alta	8,53	13,52
	Muy alta	3,15	5,15
	Crítica	0,66	1,05

UBICACIÓN DEPARTAMENTAL



UBICACIÓN PROVINCIAL



SIGNOS CONVENCIONALES

<p>ÁREA DE ESTUDIO:</p> <ul style="list-style-type: none"> Punto de aforo Subcuenca Tarunca 	<p>LIMITES:</p> <ul style="list-style-type: none"> Internacional Departamental Provincial Distrital Hidrografía Laguna Curvas de nivel
<p>CENTROS POBLADOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> Capital Departamento Capital Provincia Capital Distrito Centro Poblado 	<p>AREA NATURAL PROTEGIDA:</p> <ul style="list-style-type: none"> Área Natural Protegida Zona de Amortiguamiento Área de Conservación Regional Comunidades Nativas

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. CARLOS CAMANA QUISPE
R.D. N° 053-2025-UNSCH-FCA-D

En la ciudad de Ayacucho a los veintinueve días del mes de abril del año dos mil veinticinco, siendo las dieciocho horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Felipe Escobar Ramírez Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por Dr. Raúl José Palomino Marcatoma, Ph.D. Sandra Del Águila Ríos como asesora, Ing. Efraín Chuchón Prado y el Dr. Eleazar Chuchón Angulo; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Relación entre erosión hídrica, morfometría y clima con el manejo de suelos en la subcuenca Tarunca - Huancasancos - Ayacucho - 2023**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola presentado por el Bachiller **CARLOS CAMANA QUISPE**.

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 deliberacion y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
Dr. Raúl José Palomino Marcatoma	15	16	15	15
Ph.D. Sandra Del Águila Ríos	16	16	16	16
Ing. Efraín Chuchón Prado	15	16	16	16
Dr. Eleazar Chuchón Angulo	14	13	13	13
PROMEDIO GENERAL				15

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

.....
Dr. Raúl José Palomino Marcatoma
Presidente

.....
Ph.D. Sandra Del Águila Ríos
Asesora

.....
Ing. Efraín Chuchón Prado
Jurado

.....
Dr. Eleazar Chuchón Angulo
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;

Relación entre erosión hídrica, morfometría y clima con el manejo de suelos en la subcuenca Tarunca - Huancasancos - Ayacucho – 2023

Autor : Carlos CAMANA QUISPE

Asesor : Sandra DEL ÁGUILA RIOS

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 **nueve (9 %)** 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: 2697823671

Ayacucho, 11 de junio de 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ciencias Agrarias

Dr. Yuri Gálvez Gastelú
Coordinador de Control de Originalidad de

Relación entre erosión hídrica, morfometría y clima con el manejo de suelos en la subcuenca Tarunca - Huancasancos - Ayacucho - 2023

por Carlos CAMANA QUISPE

Fecha de entrega: 12-jun-2025 04:10p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2697823671

Nombre del archivo: 00._Tesis_Carlos_CQ_Final.pdf (14.91M)

Total de palabras: 43555

Total de caracteres: 211697

Relación entre erosión hídrica, morfometría y clima con el manejo de suelos en la subcuenca Tarunca - Huancasancos - Ayacucho - 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unas.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
2	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	1%
	Trabajo del estudiante	
3	1library.co	1%
	Fuente de Internet	
4	hdl.handle.net	1%
	Fuente de Internet	
5	repositorio.unap.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
6	repositorio.unsch.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
7	idoc.pub	<1%
	Fuente de Internet	
8	ri-ng.uaq.mx	<1%
	Fuente de Internet	

9	Jesús Mejía-Marcacuzco, Edwin Pino-Vargas, Edilberto Guevara-Pérez, Víctor Olivos-Alvites, Milagros Condori-Ventura. "Predicción espacial de la erosión del suelo en zonas áridas mediante teledetección. Estudio de caso: Quebrada del Diablo, Tacna, Perú", Revista Ingeniería UC, 2021 Publicación	<1 %
10	cybertesis.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	pdfcookie.com Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	riunet.upv.es Fuente de Internet	<1 %
15	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
16	ecopedia.cvc.gov.co Fuente de Internet	<1 %
17	orcid.org Fuente de Internet	<1 %

18	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
19	Submitted to ipn Trabajo del estudiante	<1 %
20	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
21	ribuni.uni.edu.ni Fuente de Internet	<1 %
22	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
23	dspace.unl.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
24	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
25	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
26	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
27	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo

Relación entre erosión hídrica, morfometría y clima con el manejo de suelos en la subcuenca Tarunca - Huancasancos - Ayacucho – 2023

Relationship between water erosion, morphometry, and climate with soil management in the Tarunca-Huancasancos-Ayacucho sub-basin – 2023

Carlos Camana Quispe¹

carlos.camana.21@unsch.edu.pe

Sandra Del Águila Rios²

sandra.delaguila@unsch.edu.pe

Áreas de investigación : Medio Ambiente

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

RESUMEN

La presente investigación aplicó un diseño descriptivo correlacional para analizar la relación entre la erosión hídrica y los parámetros morfométricos, climáticos y el manejo de suelos en la subcuenca Tarunca, que abarca una superficie de 63,12 km². La estimación de la pérdida de suelo se realizó aplicando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE), procesada en un entorno de Sistema de Información Geográfica (SIG) utilizando el software ArcGIS, a partir de datos de precipitación, muestreo de suelos y cartografía satelital. Los resultados indicaron pérdidas de suelo que oscilan entre 0 y 399,37 t/ha-año. El factor R (erosividad de la lluvia), determinado según la metodología de Morgan, presentó la mayor correlación con la erosión ($r = 0,5254$), mientras que el factor LS (longitud e inclinación de la pendiente) mostró una correlación baja ($r = 0,3640$). En cuanto al factor P (prácticas de conservación), con valores comprendidos entre 0,1 y 0,5, evidenció que en zonas con terrazas y barreras vivas la erosión fue baja a moderada. Se concluye que el factor R es el de mayor influencia en la erosión hídrica, la cual puede ser eficazmente mitigada mediante la implementación de prácticas adecuadas de manejo y conservación de suelos, representadas por el factor P.

Palabras clave: Erosión hídrica, morfometría, clima, manejo de suelos, subcuenca.

ABSTRACT

This study used a descriptive correlational design to analyze the relationship between water erosion and morphometric, climatic, and soil management parameters in the Tarunca subbasin, which covers an area of 63.12 km². Soil loss was estimated using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), processed in a Geographic Information System (GIS) environment using ArcGIS software, based on precipitation data, soil sampling, and satellite mapping. Results indicated soil losses ranging from 0 to 399.37 t/ha-year. The R factor (rainfall erosivity), determined according to the Morgan methodology, showed the highest correlation with erosion ($r = 0.5254$), while the LS factor (slope length and steepness) showed a low correlation ($r = 0.3640$). Regarding the P factor (conservation practices), with values ranging from 0.1 to 0.5, it was found that in areas with terraces and living barriers, erosion was low to moderate. It is concluded that the R factor has the greatest influence on water erosion, which can be effectively mitigated through the implementation of appropriate soil management and conservation practices, represented by the P factor.

Keywords:

Water erosion, morphometry, climate, soil management, sub-basin.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio global está generando alteraciones significativas en las condiciones ambientales, afectando a los elementos naturales, entre ellos el suelo, recurso fundamental para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de los ecosistemas. En las últimas décadas, la erosión hídrica ha incrementado de forma alarmante en América Latina, fenómeno directamente vinculado al deterioro ambiental y a los efectos del cambio climático, que conllevan a la pérdida de tierras agrícolas productivas. Esta problemática no solo degrada la calidad del suelo, sino que también incrementa la vulnerabilidad frente a desastres naturales, afecta negativamente a los ecosistemas y reduce la productividad agrícola (Pimentel & Kounang, 1998).

En ese sentido, nuevas investigaciones indican que la distribución y la cantidad de erosión están significativamente influenciadas por su interacción de su clima, los métodos de manejo del suelo y morfometría del terreno, a diferencia de la precipitación, que popularmente se cree es la causa principal de la erosión (García-Ruiz et al., 2013).

En la subcuenca Tarunca, situada en el distrito Sancos, provincia de Huancasancos, departamento de Ayacucho, las características fisiográficas del terreno, la baja cantidad de materia orgánica, el sobrepastoreo y la precipitación producen un ambiente favorable a la erosión, que impactada negativamente coadyubado al trabajo humano que alteran el medio ambiente. Por estas características, la subcuenca Tarunca es vulnerable a la erosión y es imprescindible aplicar técnicas sostenibles de manejo de suelos.

En este contexto, fue esencial evaluar el riesgo de erosión los factores climáticos (precipitación), parámetros morfométricos y el manejo de suelos. La evaluación permitirá aportar estrategias eficientes para mitigar la erosión y preservar el medio ambiente de la subcuenca.

Objetivo general

Determinar la relación que existe entre la erosión hídrica y los parámetros morfométricos, climáticos y el manejo de suelos en la subcuenca Tarunca - Huancasancos - Ayacucho.

Objetivos específicos

1. Analizar la relación entre los parámetros morfométricos de la subcuenca Tarunca y la erosión hídrica, considerando la pendiente, la forma de la cuenca y la densidad de drenaje.
2. Evaluar la influencia de la precipitación, en la erosión hídrica en la subcuenca Tarunca, determinando los patrones y la intensidad de la erosión.
3. Determinar la relación entre las prácticas de manejo de suelos y la erosión hídrica, identificando las técnicas de conservación existentes y su efectividad en la reducción de la pérdida de suelo.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación

La investigación se realizó en la subcuenca Tarunca, situada en el interior de la cuenca del río Caracha, distrito Sancos, provincia de Huancasancos, departamento de Ayacucho; comprende una extensión 63,12 km² y una altitud que varía entre 3228 a 4627 m.s.n.m.

2.1.1. Ubicación geográfica y coordenadas UTM

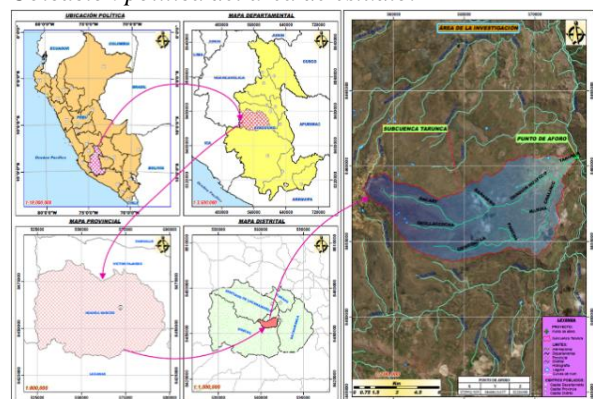
Tabla 1

Ubicación geográfica y coordenadas UTM.

Subcuenca Tarunca	UTM WGS-84 18S	Coordenadas Geográficas	Altitud
Este	566137,510 m	13°57'21,53" S	Más bajo 3228 m.s.n.m.
Norte	8457056,795 m	74°23'15,68" W	Más alto 4672 m.s.n.m.

Figura 1

Ubicación política del área de estudio.



2.1.2. Ubicación hidrográfica

Tabla 2

Ubicación hidrográfica del ámbito de estudio.

Nivel	Nombre de la unidad hidrográfica	Código	Área (Km ²)
	Región		
Nivel 1	Hidrográfica del Atlántico o Amazonas	4	6007483,30
Nivel 2	Cabecera del Amazonas	49	2240156,52
Nivel 3	Cuenca del Ucayali	499	348423,44
Nivel 4	Cuenca del río Pampas	4998	23113,03
Nivel 5	Cuenca del río caracha	49989	4264,96

Nota: Fuente, Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2009).

2.1.3. Ubicación administrativa

- Autoridad Administrativa del agua: XI – Pampas – Apurímac
- Autoridad Local de Aguas: ALA bajo Apurímac – Pampas

Figura 2

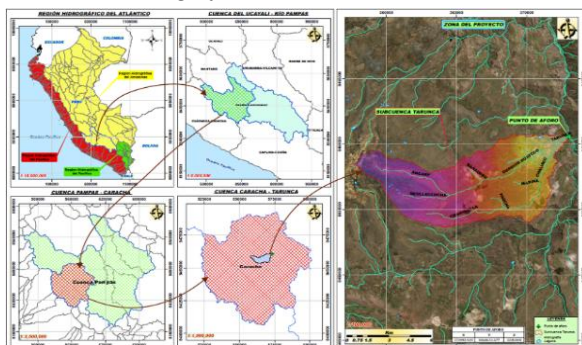
Ubicación administrativa de la subcuenca Tarunca.



Nota. La figura muestra en su extensión total de la cuenca pampas, a la cual pertenece la subcuenca Tarunca. Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2009).

Figura 3

Ubicación hidrográfica del área de estudio.



2.2. Materiales y equipos

2.2.1. Materiales

- Software ArcGis 10.5
- Extensiones y aplicaciones de ArcGis: ArcHydro 10.5 y Model Builder
- Software Google Earth Pro
- Software ENVI 5.6
- Software de Microsoft Word (proceso de datos de texto).
- Software de Microsoft Excel (proceso de hijas de cálculo y estadísticos).
- Estudio de suelos y el análisis respectivo.
- Información meteorológica (datos de precipitación).
- Imagen satelital.

2.2.2. Equipos

Equipos utilizados en campo

- GPS GARMIN 64s.
- Flexómetro de 5 m.
- Barreta.
- Pico.
- Pala.
- Bolsas.
- Cámara fotográfica.

2.2.3. Materiales para recopilación y recolección de datos

2.2.3.1 Muestreo y análisis de suelos

Se realizaron calicatas en diez puntos representativos ubicados en las zonas de Allpamanca, Paqcha, Vizcachayocc, Corinapampa, Jampato, Chuymala, Toropotrero, Utari, Sayllamocco y Tukuku. En cada sitio se excavó una calicata con dimensiones de 1,00 m de largo, 0,80 m de ancho y 0,30 m de profundidad, centrada en el horizonte superficial del suelo. Las muestras extraídas fueron almacenadas en bolsas debidamente identificadas y enviadas al laboratorio para determinar el % de limo, % de arena, % de arcilla y % de materia orgánica, variables requeridas para el cálculo del factor de erodabilidad K de la ecuación RUSLE.

2.2.3.2 Registro de precipitación

Se emplearon datos mensuales de precipitación de ocho estaciones meteorológicas (Figura 4), obtenidos de plataforma del SENAMHI y de

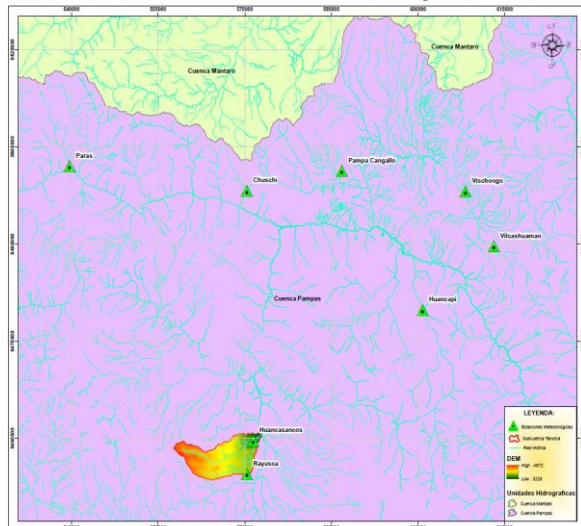
estudios hidrológicos locales, con altitudes que oscilan entre 3141 y 3735 m.s.n.m. y series históricas disponibles entre 1963 y 2018. Para el análisis se seleccionó el periodo común de 1996 a 2016 (16 años).

Del total de las estaciones, únicamente Huancasancos y Rayusca se ubican dentro de la subcuenca Tarunca, mientras que las restantes se localizan distancias que oscilan entre 35 a 55 km, lo que limita la representatividad espacial de los datos de precipitación.

Con el propósito de ampliar la representatividad espacial de los datos de precipitación en el área de estudio, se empleó la base de datos **PISCO-SENAMHI** (Peruvian Interpolated Data of SENAMHI Climatological and Hydrological Observations). Esta base integra registros observacionales de estaciones meteorológicas con métodos de interpolación espacio-temporal, lo que permite generar una estimación continua y espacialmente homogénea de la precipitación, especialmente útil en zonas con escasa densidad de estaciones.

Figura 4

Ubicación de las estaciones meteorológicas.

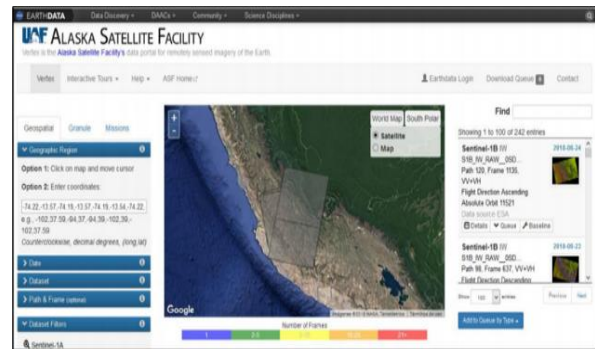


2.2.3.3 Material satelital

Se utilizó un Modelo de Elevación Digital (DEM) con resolución espacial de 12,5 x 12,5 metros, generado a partir de los datos del satélite avanzado ALOS PALSAR (Advanced Land Observing Satellite – Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar), con el fin de calcular el factor LS (longitud y pendiente del terreno) de la ecuación RUSLE.

Figura 5

DEM del ALOS PALSAR.

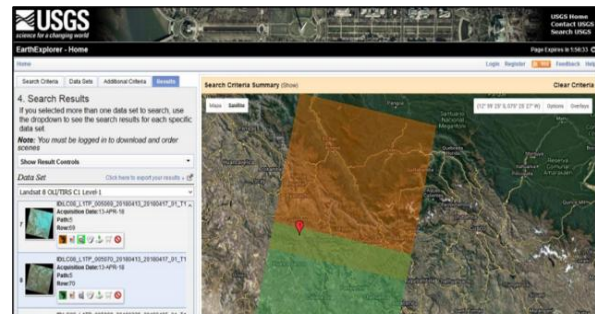


Nota. La figura muestra la página de descarga del Modelo de Elevación Digital con resolución espacial de 12,5m x 12,5m. Fuente: ALASKA SATELLITE FACILITY.

También se utilizó un Modelo de Elevación Digital (DEM) con resolución espacial de 30 x 30 metros, proporcionado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), entidad que opera los satélites Landsat y ofrece acceso a imágenes multispectrales históricas y actuales. Esta información fue empleada para el cálculo del factor C (cobertura y manejo del suelo) de la ecuación RUSLE.

Figura 6

DEM del LANDSAT.



Nota. La figura muestra la página de descarga del Modelo de Elevación Digital con resolución espacial de 30m x 30m. Fuente: USGS.

2.3. Fases metodológicas

2.3.1. Fase de pre campo

Consistió en la recolección de información relevante, como datos de fisiografía y tipos de suelo, según el Estudio de Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) del departamento de Ayacucho, y la revisión del enfoque metodológico de la Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo (RUSLE). Asimismo, se reunió información histórica de precipitación mensual y anual del SENAMHI y de estudios hidrológicos locales, complementada con fuentes secundarias como

tesis y expedientes técnicos vinculados al ámbito de estudio. En esta etapa también se planificó la recolección de diez muestras de suelo distribuidas en puntos representativos de la subcuenca Tarunca

2.3.2. Fase de campo

Se realizó un recorrido integral por la subcuenca Tarunca, siguiendo los puntos de muestreo previamente planificados durante la fase de pre campo, con el propósito de registrar evidencia fotográfica y recolectar muestras de suelo en sitios representativos. Las muestras fueron trasladadas al laboratorio, donde se determinaron la clase textural y el contenido de materia orgánica, parámetros esenciales para la caracterización edáfica y la estimación del factor K de (erodabilidad de suelo), factor clave de la ecuación RUSLE.

2.3.3. Fase gabinete

Se procesó la información recopilada durante las fases de pre campo y campo con el fin de estimar cuantitativamente la pérdida de suelo por erosión hídrica, aplicando la metodología de la Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo (RUSLE). Para ello, se integraron y analizaron las variables en un entorno de Sistemas de Información Geográfica (SIG), utilizando el software ArcGIS y su herramienta Model Builder, lo que permitió automatizar el procesamiento espacial y la modelación de los factores que intervienen en la estimación de la erosión.

2.3.4. Ruta metodológica

2.3.4.1 Determinación del factor R

Este factor es fundamental para calcular la cantidad de suelo que la lluvia puede erosionar en una zona específica (Figura 7).

Figura 7

Flujograma para la obtención del factor R.

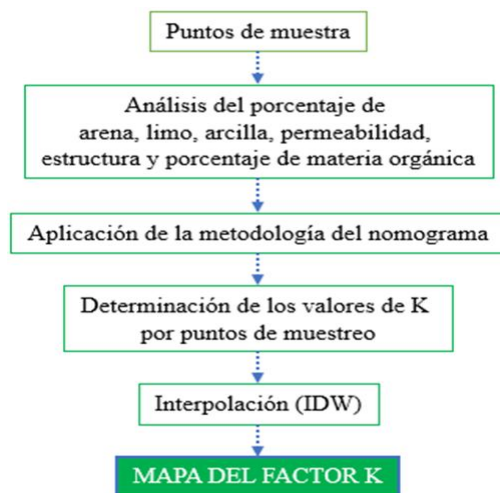


2.3.4.2 Determinación del factor K

Simboliza la erodabilidad del suelo, es decir, la sensibilidad de un tipo de suelo específico a ser erosionado por la lluvia y el escurrimiento superficial. Para su estimación, se utilizaron los resultados de laboratorio de las calicatas realizadas en el área de estudio, a partir de los cuales se obtuvo la distribución textural de las muestras recolectadas (Figura 8).

Figura 8

Flujograma para la obtención del factor K.



2.3.4.3 Determinación del factor LS

Este factor refleja la influencia de las características topográficas del terreno sobre la erosión, donde mayores longitudes y pendientes más pronunciadas incrementan la susceptibilidad a la pérdida de suelo. Su estimación se realizó a partir de un ráster de pendientes en grados (Figura 9) y en porcentaje (Figura 10), generado y procesado en el software ArcGIS.

Figura 9

Flujograma para la obtención del factor LS (Foster y Desmet).

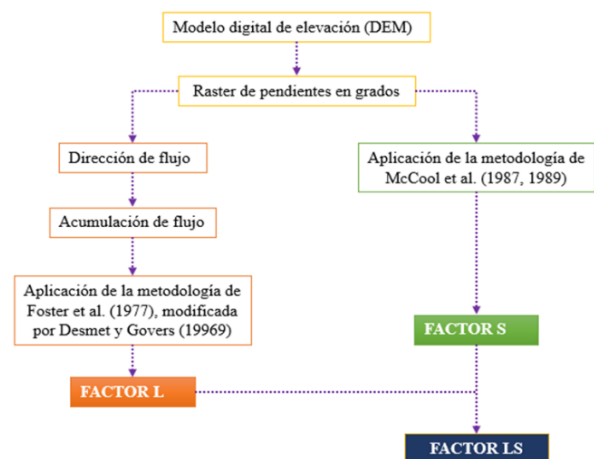
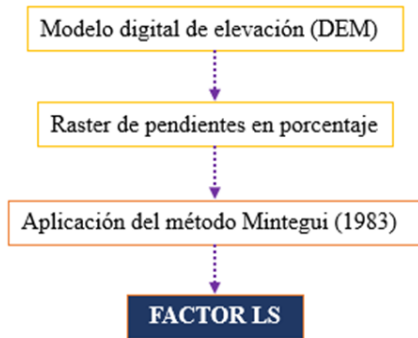


Figura 10

Flujograma para la obtención del factor LS (Mintegi).

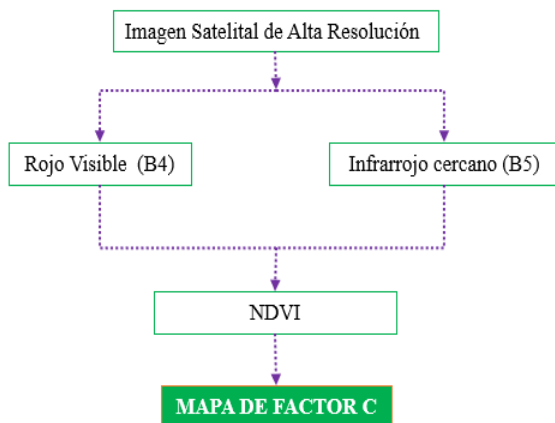


2.3.4.4 Determinación del factor C

Para el cálculo del factor C, se utilizó imágenes satelitales Landsat 8, las cuales tuvieron un tratamiento para su corrección radiométrica, para posteriormente realizar la clasificación de la cobertura vegetal mediante el cálculo del Índice de Vegetación d diferencia Normalizada (NDVI), que permitió asignar un valor de “C” (Figura 13).

Figura 11

Flujograma para la obtención del factor C.



2.3.4.5 Determinación del factor P

Se consideró la observación directa en campo, que permitió identificar zonas que contaban con algún tipo de práctica de conservación, se identificó cuatro zonas de las cuales dos presentaban plantaciones de arbustos de gran tamaño cumpliendo el rol de barreras vivas y las otras dos áreas contaban con un sistema de andenes y terrazas. Se consideró el valor de P igual a uno, para las áreas agrícolas que no contaban con prácticas de conservación de suelos.

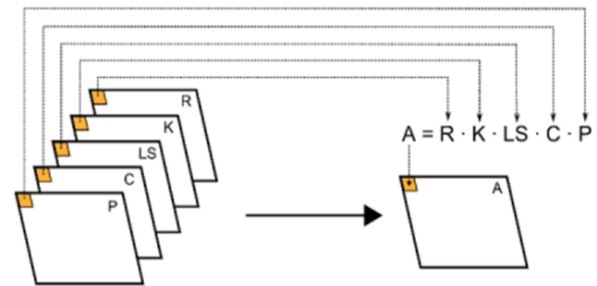
2.3.4.6 Cuantificación de la pérdida de suelo por erosión hídrica

La estimación de la pérdida de suelo se realizó mediante la ecuación RUSLE, que integra cinco

factores clave: R, K, LS, C y P. Estos factores fueron procesados en el entorno del software ArcGIS, empleando la herramienta Model Builder para estructurar y automatizar el flujo de trabajo (Figura 12). El resultado fue un mapa detallado y reproducible de la pérdida de suelo por erosión hídrica.

Figura 12

Ampliación del álgebra de mapas.



Nota. La figura muestra la RUSLE en un SIG para determinar la pérdida de suelo. Fuente: (Olaya 2014).

III. RESULTADOS

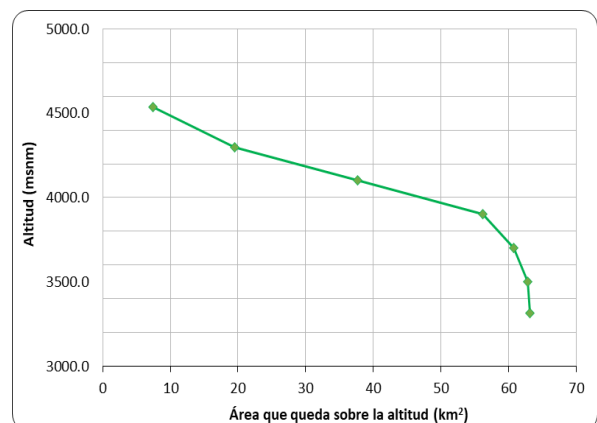
3.1. Análisis morfométrico de la cuenca

3.1.1. Características fisiográficas

La subcuenca Tarunca presenta una superficie de 63,12 km² y un perímetro de 55,85 km. El índice de compacidad (1,98) y el factor de forma (0,20) indican que la subcuenca posee una morfología alargada, según los parámetros morfométricos establecidos.

Figura 13

Curva hipsométrica de la subcuenca Tarunca.



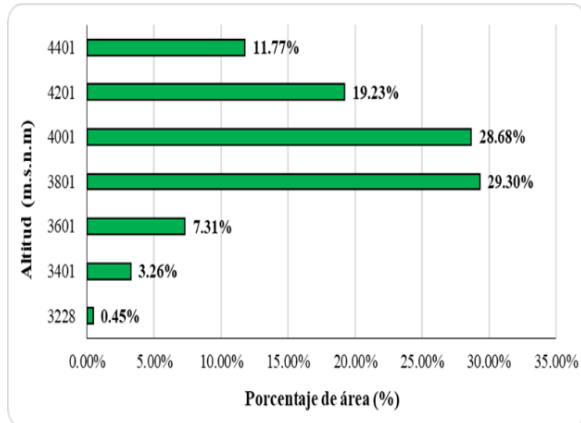
En la Figura 13 se observa que la altitud máxima alcanza aproximadamente los 4500 m s.n.m., descendiendo de forma progresiva hasta alcanzar una altitud mínima cercana a los 3500 msnm lo que refleja un gradiente altitudinal continuo a lo largo de la subcuenca.

3.1.2. Parámetros de altitud

La altitud media de la subcuenca Tarunca es de 4079,36 msnm lo que refleja una elevación considerable. La pendiente promedio es de 9,40 % (Figura 15), indicando que el relieve de la subcuenca es moderadamente inclinado.

Figura 14

Polígono de frecuencia.

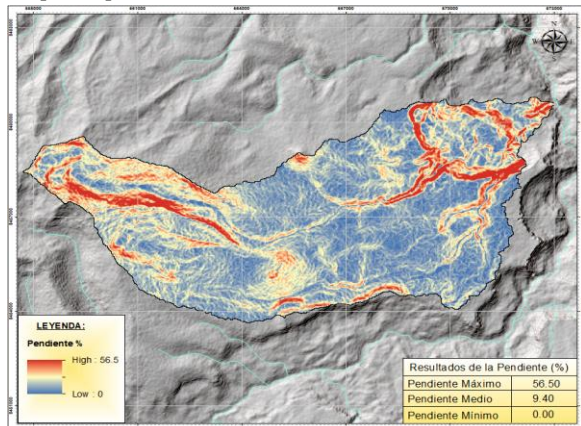


La Figura 14 muestra que la subcuenca Tarunca presenta una distribución altitudinal concentrado en el rango media alta, con el 57,98 % de su superficie ubicada entre los 3801 y 4200 msnm. Los rangos extremos, por debajo de 3400 m y por encima de 4400 m, comprenden una proporción reducida del área total, con 0,45 % y 11,77 %, respectivamente.

Las altitudes comprendidas entre 3801 y 4201 msnm, al ocupar la mayor parte de la subcuenca y presentar pendientes moderadas, son más propensas a procesos de escurrimiento y erosión, especialmente durante lluvias intensas. En cambio, las áreas por encima de 4201 msnm, aunque menos extensas, cumplen un papel clave en la regulación hídrica de la subcuenca.

Figura 15

Mapa de pendiente de la subcuenca Tarunca.



3.1.3. Parámetros de la red hídrica

La subcuenca Tarunca cuenta con una red hídrica de 44,50 km y un orden de ríos de nivel 3. Presenta una densidad de drenaje baja (0,71 km/km²), una pendiente promedio de 0,080 m/m y un tiempo de concentración de 1,74 horas. Estos valores reflejan una respuesta rápida al escurrimiento, lo que incrementa el riesgo de erosión hídrica, por lo que deben considerarse en la planificación de medidas de conservación.

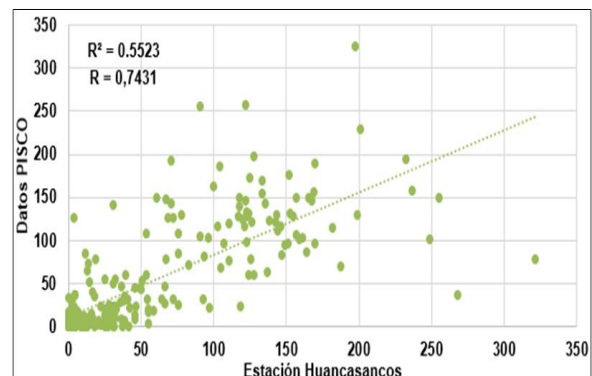
3.2. Tratamiento de la información meteorológica

Con el objetivo de validar la confiabilidad de los datos de precipitación de la base PISCO-SENAMHI, se llevó a cabo un análisis de correlación lineal, utilizando el coeficiente de Pearson. Este análisis comparó las series de precipitación de PISCO con los registros observados en estaciones meteorológicas convencionales, coincidiendo espacialmente en los mismos puntos.

La evaluación se centró en cuatro estaciones seleccionadas. Dos de ellas, Huancasancos y Rayusca, se encuentran dentro del área de estudio, mientras que las otras dos, Huancapi y Vilcashuamán, fueron consideradas por su proximidad geográfica, similitud en características topográficas y coincidencia en el período de registros. Esta selección permitió asegurar una comparación representativa.

Figura 16

Comparativo de la precipitación PISCO con el registro de la estación Huancasancos.

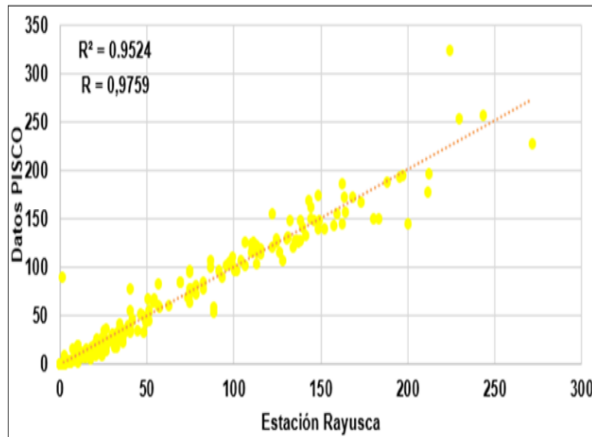


La Figura 16 muestra una correlación positiva moderada entre los datos de precipitación de PISCO-SENAMHI y la estación Huancasancos, con un $R = 0,7431$ y un $R^2 = 0,5523$, lo que indica una consistencia aceptable entre ambas fuentes.

El valor de R^2 señala que el 55,23 % de la variabilidad en los datos de PISCO puede ser explicada por los registros observados en la estación.

Figura 17

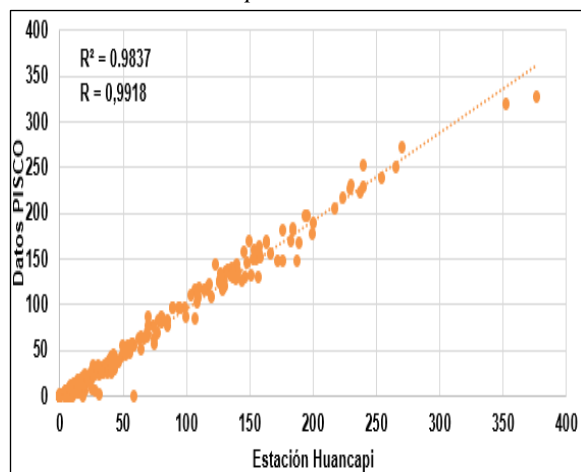
Comparativo de la precipitación PISCO con el registro de la estación Rayusca.



La Figura 17 muestra una correlación lineal alta entre los datos de precipitación mensual de PISCO-SENAMHI y la estación Rayusca, con un coeficiente de correlación (R) de 0,9759 y un coeficiente de determinación (R^2) de 0,9524. Este valor indica una alta consistencia entre ambas fuentes, donde el 95,24 % de la variabilidad en los datos de PISCO puede explicarse por los registros observados en la estación convencional.

Figura 18

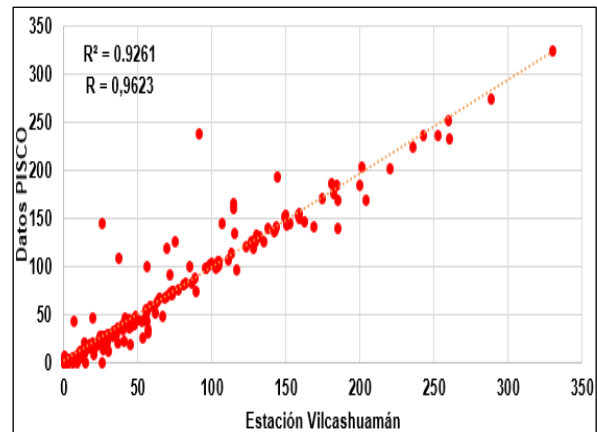
Comparativo de la precipitación PISCO con el registro de la estación Huancapi.



La Figura 18 evidencia una correlación lineal muy alta entre los datos de PISCO-SENAMHI y la estación Huancapi, con un $R = 0,9918$ y $R^2 = 0,9837$, indicando una excelente consistencia, donde el 98,37 % de la variabilidad de los datos de PISCO es explicada por los registros observados.

Figura 19

Comparativo de la precipitación PISCO con el registro de la estación Vilcashuamán.



La Figura 19 muestra una correlación fuerte entre PISCO-SENAMHI y la estación Vilcashuamán ($R=0,9623$; $R^2=0,9261$), indicando una alta consistencia, donde el 92,61 % de la variabilidad de PISCO es explicada por los datos observados. Las altas correlaciones entre PISCO-SENAMHI y las estaciones Huancasancos, Rayusca, Huancapi y Vilcashuamán respaldan su consistencia y confiabilidad. Esto justifica su uso para la estimación de precipitación y la generación de estaciones virtuales, mejorando la representación espacial en la subcuenca Tarunca.

Tabla 3

Estaciones pluviométricas virtuales en el área de estudio.

Estación	Altitud (m.s.n.m.)	Latitud	Longitud
Huancasancos	3440.00	-13.93	-74.34
Rayusca	3735.00	-13.98	-74.35
Estación Virtual 01	4572.61	-13.9394	-74.4616
Estación Virtual 02	4502.73	-13.9579	-74.4427
Estación Virtual 03	4406.41	-13.9462	-74.4222
Estación Virtual 04	4228.00	-13.9786	-74.4176
Estación Virtual 05	4130.84	-13.9599	-74.3968
Estación Virtual 06	4098.17	-13.9367	-74.3841
Estación Virtual 07	3961.50	-13.9731	-74.373
Estación Virtual 08	3911.22	-13.9476	-74.3632

Con las 10 estaciones virtuales distribuidas en la subcuenca Tarunca, se interpolaron los datos de precipitación mediante el método de Kriging en el software ArcGIS, seleccionado por su capacidad para considerar tanto la distancia como la variabilidad espacial de los datos. Este proceso permitió generar un ráster de precipitación y un mapa de isoyetas, utilizados como insumos para la estimación del factor R.

3.3. Resultados del análisis textural y materia orgánica de los suelos.

El análisis permitió determinar la textura y el contenido de materia orgánica, insumos esenciales para la caracterización edáfica y el cálculo del factor K en la estimación de la pérdida de suelo.

Tabla 4

Textura y contenido de materia orgánica.

Muestra	%Limo + Arena fina	%Arena	%Arcilla	%MO
Mancallpa	22.000	33.600	44.400	1.660
Paqcha	32.000	25.600	42.400	1.550
Vizcachayocc	16.000	75.600	8.400	1.330
Corinapampa	24.000	41.600	34.400	0.880
Jampato	16.000	31.600	52.400	1.440
Chuymala	26.000	57.600	16.400	1.600
Toropotrero	26.000	47.600	26.400	1.990
Utari	16.000	63.600	20.400	1.220
Sayllamocco	18.000	69.600	12.400	1.490
Tukuku	16.000	51.600	32.400	1.550

La variabilidad textural observada entre las muestras sugiere que los suelos de la subcuenca Tarunca presentan una diversidad significativa en sus propiedades físicas asociadas, lo que podría influir en la heterogeneidad de los procesos de erosión hídrica en la zona.

Las diferencias en el contenido de limo, arena, arcilla y materia orgánica indican que cada muestra tiene un potencial de erodabilidad distinto. En general, suelos con alto contenido de arena y bajo en arcilla y materia orgánica, como los de Vizcachayocc, pueden ser más susceptibles a la erosión, mientras que suelos con mayor arcilla y materia orgánica, como Jampato y Toropotrero, podrían tener una mayor resistencia a la erosión.

3.4. Determinación de los factores de la Ecuación universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE)

3.4.1. Factor R

El factor R se estimó a partir del ráster de precipitación utilizando las metodologías del Índice de Fournier Modificado (IMF) (Ecuación 1) y Morgan (Ecuación 2):

$$R = 2,56 * IMF^{1,0657} \dots\dots\dots\text{Ecuación 1}$$

$$R = \frac{I_{30} (9,28 P - 8,383)}{1000} \dots\dots\dots\text{Ecuación 2}$$

donde $I_{30} = 75$ mm/h, valor recomendado por Wischmeier para regiones sin información detallada de intensidad máxima de 30 minutos.

La representación espacial del factor R se realizó en el software ArcGIS utilizando la herramienta Model Builder y la Calculadora Raster.

Figura 20

Model Builder para el calculo del Factor de Erosividad (R).

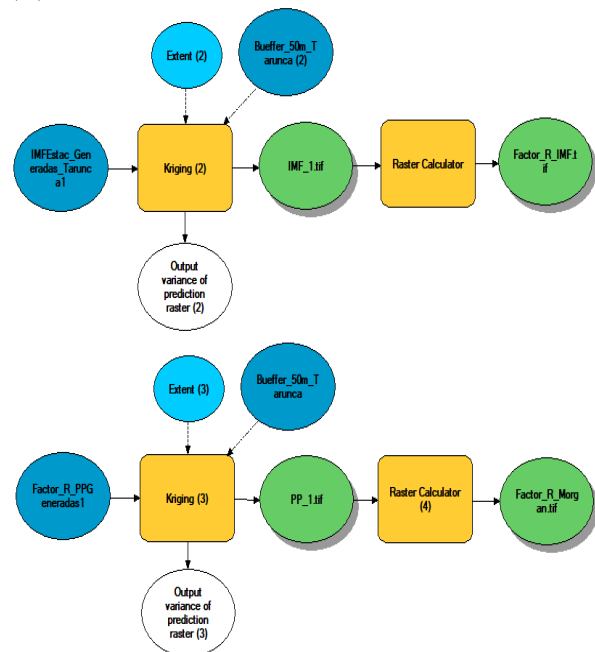


Figura 21

Mapa Factor de Erosividad (R)-Método IFM.

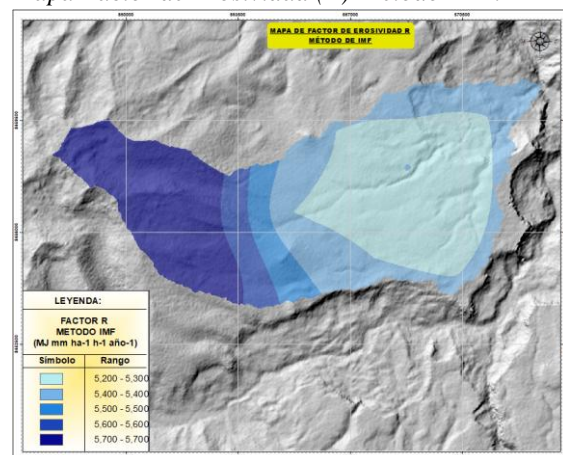
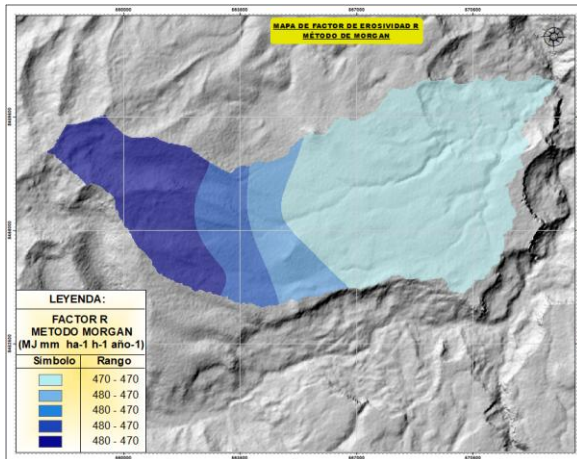


Figura 22

Mapa Factor de Erosividad (R)-Método Morgan.



Según las Figuras 21 y 22, los resultados de erosividad obtenidos mediante los métodos de IMF y Morgan presentan una correspondencia general en su distribución espacial. Sin embargo, se seleccionó el método de Morgan por ofrecer una representación más uniforme en las zonas bajas de la subcuenca, lo que mejora la consistencia en la estimación del índice de erosividad en esos sectores.

Tabla 5

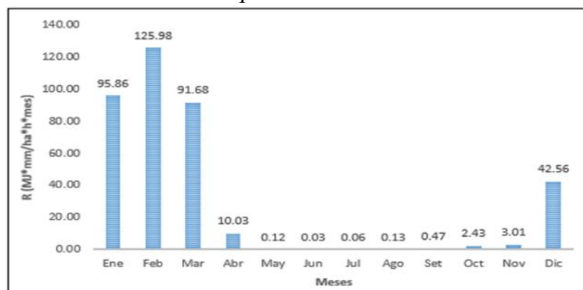
Valores anuales de “R” para la subcuenca Tarunca.

Metodología	R (MJ*mm/ha*h*año)	
	Límite inferior	Límite superior
IMF	376,261	459,542
Morgan	454,493	482,42

La Tabla 5 evidencia que el método Morgan ofrece valores de erosividad más altos y uniformes, justificando su elección para la subcuenca Tarunca.

Figura 23

Distribución mensual promedio del Factor “R”.



En la figura se muestra la agresividad de las lluvias para la subcuenca Tarunca a lo largo de un año promedio, donde se puede apreciar que en los meses de enero a marzo se obtuvieron los valores más altos del factor R dado que son los meses de mayor precipitación pluvial.

3.4.2. Factor K

Para estimar el factor de erodabilidad del suelo, se utilizaron los resultados de laboratorio de textura y materia orgánica de las muestras (Tabla 4). Estos datos fueron aplicados en el nomograma de Wischmeier y en la siguiente fórmula:

$$100 K = 0,1317 * \left[2,1 * \left(\frac{M^{1,14}}{10000} \right) * (12 - a) + 3,25 * (b - 2) + 2,5 * (c - 3) \right] \dots \dots \dots \text{Ecuación 3}$$

donde M = (% limo) * (100 - % arcilla) y los valores a, b y c corresponden al contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad del suelo, respectivamente. Esta ecuación permitió calcular el valor de K para cada punto muestreado.

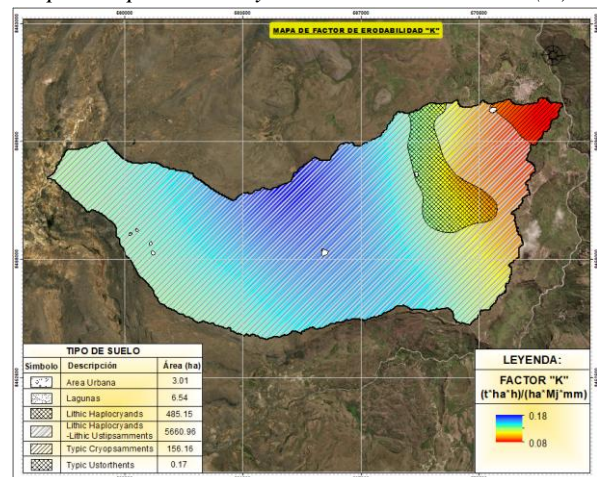
Tabla 6

Valores del factor K.

Muestra	Clase Textural	Clase de estructura	Clase de permeabilidad	K ($\frac{t \cdot ha \cdot h}{ha \cdot MJ \cdot mm}$)
Mancallpa	Arcilloso	1	6	0.100
Paqcha	Arcilloso	1	6	0.158
Vizcachayocc	Franco arenosos	3	2	0.121
Corinapampa	Franco arcillosos	3	4	0.143
Jampato	Arcilloso	2	6	0.066
Chuymala	Franco arenosos	3	2	0.184
Toropotrero	Franco arcillo	4	4	0.164
Utari	Franco arcillo	1	4	0.102
Sayllamocco	Franco arenosos	3	2	0.129
Tukuku	Franco arcillo	1	4	0.082

Figura 24

Mapa de tipo de suelo y Factor de Erodabilidad (K).



3.4.3. Factor LS

La estimación del factor LS se basó en el ráster de pendientes en porcentaje, aplicando la metodología propuesta por Mintegui. Para automatizar y sistematizar el proceso, se implementó un modelo en el software ArcGIS utilizando la herramienta Model Builder.

Figura 25

Model Builder para el cálculo del Factor Longitud y Pendiente (LS).

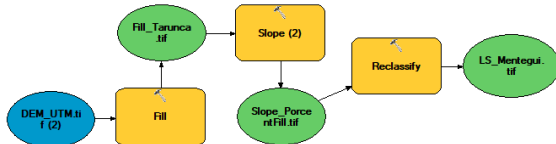
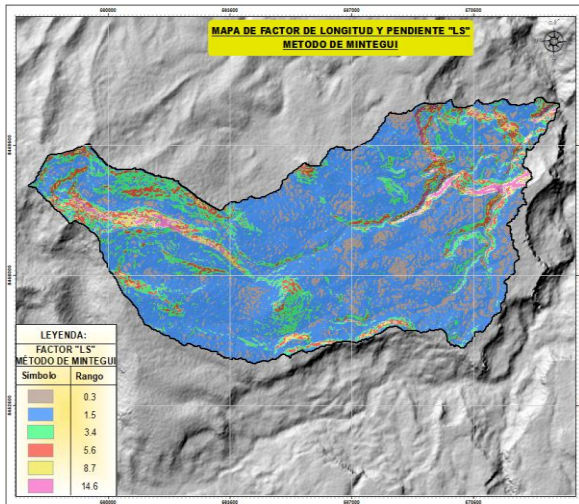


Figura 26

Mapa de Factor LS-Método Mintegui.



La figura 26 muestra la distribución del factor LS en la subcuenca Tarunca. Se observa una predominancia de valores bajos en sectores con pendientes suaves, mientras que los valores más altos, indicativos de mayor potencial erosivo, se concentran en laderas y zonas de fuerte pendiente, evidenciando una estrecha relación con la topografía del terreno.

3.4.4. Factor C

El factor C se calculó a partir del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), utilizando la expresión empírica:

$$C = \frac{1-NDVI}{2} \dots\dots\dots \text{Ecuación 4}$$

La estimación se sistematizó mediante un modelo automatizado en el software ArcGIS, empleando las herramientas Model Builder y Calculadora Raster, lo que facilitó la generación de un mapa continuo del factor C en toda la subcuenca Tarunca.

Figura 27

Model Builder para el cálculo del factor C.

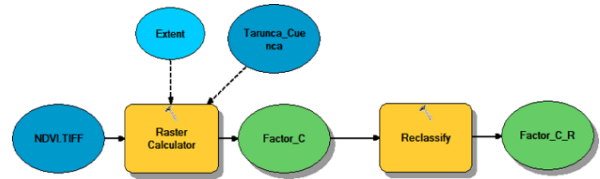


Tabla 7

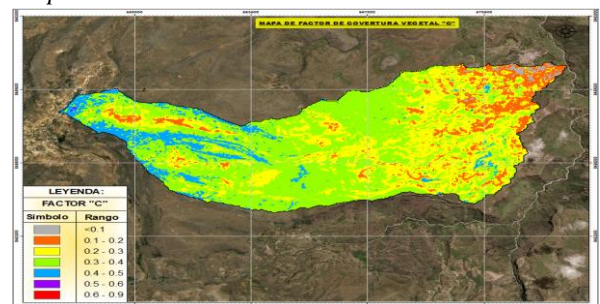
Valores de "C" obtenidos para la subcuenca Tarunca.

Clase de cobertura	C	Área (km ²)	%	C ponderado
Bosque y selva nublada	0,07	0,513	0,812	
Bosque, cultivos y pastizales	0,15	5,751	9,099	
Matorrales y pastizales	0,25	20,398	32,271	
Cultivos y pastoreo	0,35	31,259	49,454	0,31
Cultivos arbustales	0,45	5,261	8,324	
Vegetación escasa	0,54	0,025	0,040	
Vegetación semiárida y terrenos cultivos	1,00	0,001	0,001	

Según la tabla 7, la subcuenca Tarunca presenta una cobertura predominante de cultivos y pastoreo (49,45 %), seguida de matorrales y pastizales (32,27 %). Estas coberturas se reflejan en la figura 28, donde se representan en color verde y amarillo, respectivamente.

Figura 28

Mapa del Factor C.



Los valores del factor C en la subcuenca varían entre 0,07 y 0,9. Valores bajos indican una cobertura vegetal densa y prácticas de manejo efectivas, mientras que valores altos reflejan baja cobertura y mayor susceptibilidad a la erosión por uso inadecuado del suelo.

3.4.5. Factor P

El factor P se estimó a partir de las prácticas de conservación observadas en campo, considerando tablas que relacionan pendiente y tipo de protección (cultivos en contorno, barreras vivas, terrazas y curvas de nivel), asignando valores conforme a su eficacia para reducir la erosión en la subcuenca Tarunca.

Figura 29

Fotografías del sector Sayllamocco y Tukuku con presencia de andenes y terrazas.



Figura 30

Fotografías del sector Toropotrero y Utari con presencia arbustos.



Tabla 8

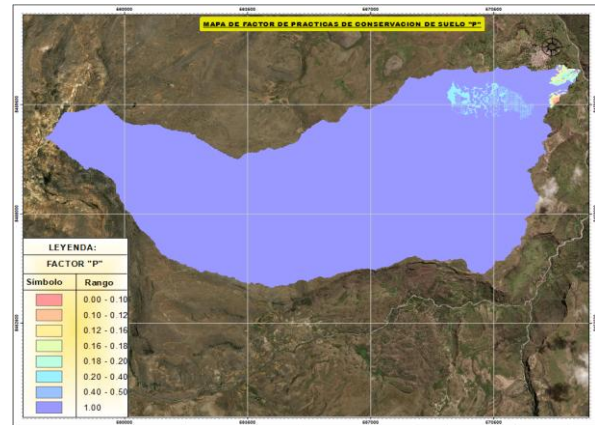
Valores del factor "P" obtenidos para la subcuenca Tarunca.

Sector	P
Toropotrero	0.20 – 0.50
Utari	0.20 – 0.50
Sayllamocco	0.10 – 0.18
Tukuku	0.10 – 0.20

Así mismo, cabe resaltar que se consideró un valor de P igual a 1 para las zonas donde no se presenta actividades conservadoras, los resultados del factor P se muestran en la siguiente figura 31.

Figura 31

Mapa del Factor P.



3.5. Pérdida de suelo en la subcuenca Tarunca

La estimación de la pérdida de suelo se realizó mediante la aplicación del modelo RUSLE, integrando los factores R obtenido por el método de Morgan, K, LS calculado con el enfoque de Mintegui, C y P. El procesamiento se realizó en el software ArcGIS utilizando la herramienta Model Builder, lo que permitió automatizar el cálculo espacial de la pérdida de suelo. Los resultados obtenidos muestran una pérdida estimada que varía entre 0 y 399,37 t/ha-año.

Figura 32

Model Builder para el cálculo de la pérdida de suelo.

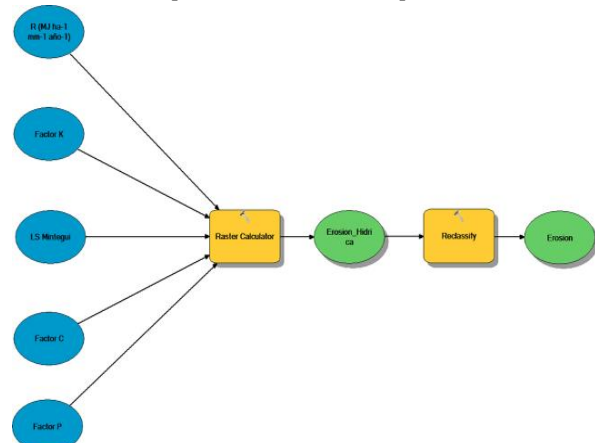


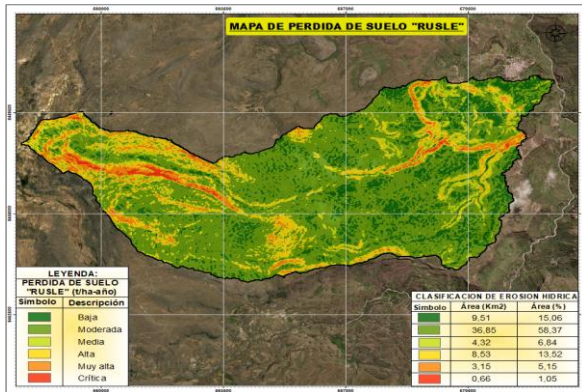
Tabla 9

Clasificación del riesgo de la erosión hídrica en la subcuenca Tarunca.

Pérdida de suelo	Área (Km ²)	% Área
Baja	9,51	15,06
Moderada	36,85	58,37
Media	4,32	6,84
Alta	8,53	13,52
Muy alta	3,25	5,15
Crítica	0,66	1,05

Figura 33

Mapa de pérdida de suelo en la subcuenca Tarunca.



3.6. Nivel de influencia de los factores del método RUSLE

Con el propósito de identificar el factor con mayor influencia en la estimación de la pérdida de suelo en la subcuenca Tarunca, se llevó a cabo un análisis de correlación entre los valores de erosión estimados y cada uno de los factores que integran la ecuación RUSLE. Para ello, se generaron puntos de muestreo aleatorios dentro del área de estudio, a los cuales se asignaron los valores correspondientes de los factores R, K, LS, C y P a partir de sus respectivos rásteres. A partir de estos datos, se construyeron diagramas de dispersión y se calculó el coeficiente de correlación de Pearson para evaluar la relación entre cada factor y la pérdida de suelo.

Figura 34

Factor R vs Pérdida de suelo.

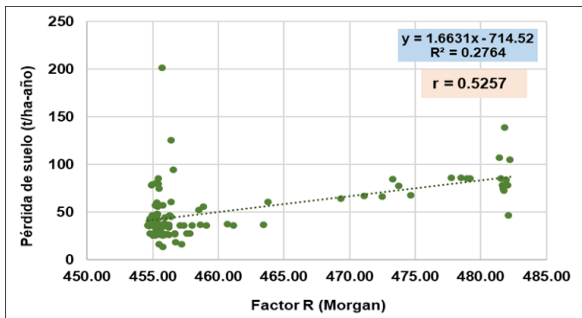


Figura 35

Factor LS vs Pérdida de suelo.

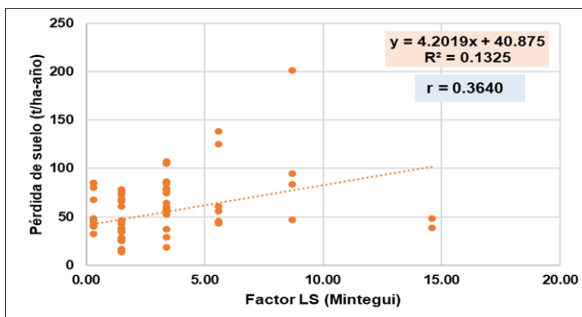


Figura 36

Factor K vs Pérdida de suelo.

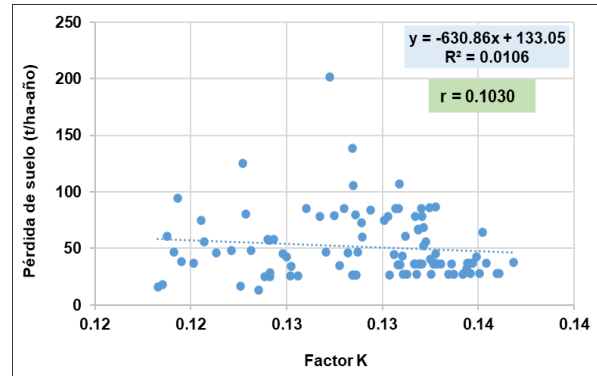


Figura 37

Factor C vs Pérdida de suelo.

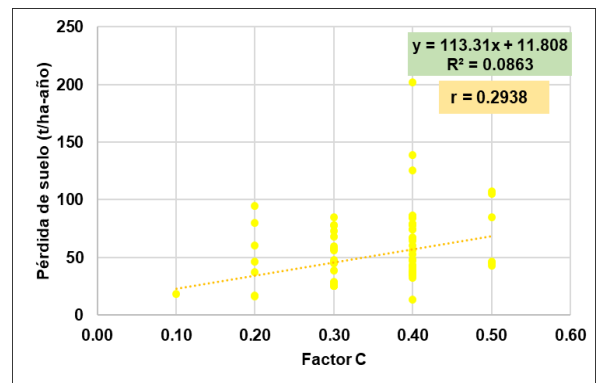
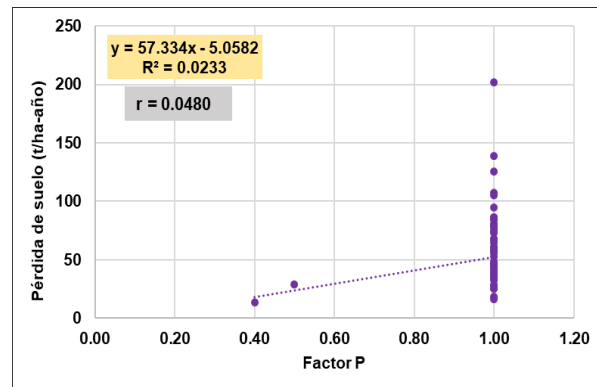


Figura 38

Factor P vs Pérdida de suelo.



El análisis de correlación (Figuras 34 a 38) evidenció que los factores R y LS son los factores con mayor influencia sobre la pérdida de suelo en la subcuenca Tarunca, con coeficientes de Pearson de 0,5257 y 0,3640, respectivamente. En cambio, los factores K, C y P mostraron menor influencia, con valores de 0,1030, 0,2938 y 0,0480. El factor R destacó como el más influyente, explicando el 27,64% de la variabilidad ($R^2 = 0,2764$), con una pendiente de regresión de 1,66 t/ha-año por unidad de R, lo que resalta su papel predominante en los procesos de erosión hídrica en la subcuenca.

Por otro lado, el factor LS respecto a la pérdida de suelo, muestra una relación positiva. El coeficiente de correlación de Pearson ($r = 0,3640$) indica una relación baja, mientras que el coeficiente de determinación ($R^2 = 0,1325$) señala que el factor LS explica solo el 13,25% de la variabilidad en la pérdida de suelo. La pendiente de la recta de regresión sugiere que por cada unidad que aumenta el Factor LS, la pérdida de suelo incrementa en 4,20 t/ha-año. Estos resultados evidencian que el factor LS tiene una influencia reducida en la erosión hídrica.

De manera similar, el factor K, muestra una influencia limitada debido a que los valores de erodabilidad son bastante uniformes en toda la subcuenca. Este rango reducido en la variabilidad del factor K sugiere que las diferencias en la composición y estructura del suelo no son lo suficientemente significativas como para generar grandes disparidades en la erosión.

En síntesis, los resultados indican que, si bien los factores K, C y P ejercen cierta influencia en la pérdida de suelo, el factor R es el principal determinante de la erosión hídrica, mientras que el factor LS tuvo menor influencia debido a la topografía relativamente homogénea.

A partir de la Figura 38, se observa que, aunque el factor P no presenta una relación lineal clara con la pérdida de suelo, las áreas con prácticas de conservación exhiben tasas de erosión notablemente menores en comparación con las zonas sin intervención, lo que confirma su efectividad en la mitigación del proceso erosivo.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los valores del factor R estimados para la subcuenca Tarunca, calculados mediante la metodología de Morgan, oscilaron entre 454,49 y 482,42 $\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, evidenciando un nivel moderado de erosividad hídrica. Esta magnitud está asociada a la energía cinética de las precipitaciones, la cual actúa como agente primario en la desagregación y transporte de partículas del suelo. La correlación entre el factor R y la pérdida de suelo ($r = 0,5257$; $R^2 = 0,2764$) indica una influencia significativa dentro del modelo RUSLE, siendo el factor de mayor

influencia en la estimación del riesgo de erosión. Este comportamiento es consistente con los hallazgos de Álvarez (2020), quien aplicó RUSLE en la subcuenca del río Ichu (Huancavelica) y concluyó que los valores elevados de R están directamente vinculados a eventos de precipitación de alta intensidad, lo que incrementa el potencial erosivo, especialmente en cuencas con pendientes moderadas a fuertes. Asimismo, Atauje (2018), en la cuenca Huatatas (Ayacucho), determinó que el factor R fue el principal condicionante de la pérdida de suelo, superando a la topografía y al uso del suelo, aun en presencia de prácticas conservacionistas y coberturas vegetales. Estos estudios refuerzan los resultados obtenidos en la subcuenca Tarunca, confirmando que la erosividad de la lluvia es el principal impulsor del proceso erosivo en entornos andinos con características fisiográficas similares.

Los valores del factor LS mostraron una correlación baja con la pérdida de suelo ($r = 0,3640$; $R^2 = 0,1325$), lo que indica que su influencia en la erosión hídrica fue débil en la subcuenca Tarunca. Este resultado, considerando que la subcuenca presenta características topográficas que suelen asociarse con mayor escorrentía, como su forma alargada (índice de forma = 0,20), un coeficiente de compacidad de 1,98 y una pendiente media del 9,40 %. Esta débil relación se atribuye a la distribución uniforme de pendientes y a la cobertura vegetal con prácticas de conservación que mitigan el efecto de la pendiente sobre la erosión. Este patrón coincide con lo reportado por Barboza et al. (2024) en la microcuenca Jucusbamba (Amazonas), donde, a pesar de estimarse una pérdida anual de 23,24 t/ha-año mediante RUSLE, se identificó que el impacto del factor LS es atenuado en presencia de manejo edáfico adecuado y cobertura vegetal densa. Por tanto, aunque la configuración morfométrica de Tarunca favorece condiciones erosivas desde un punto de vista topográfico, el papel del factor LS en la modelación de la pérdida de suelo es menos relevante que el de otros factores, como la precipitación (R) o la cobertura del suelo (C y P), especialmente cuando se implementan prácticas que mejoran la estabilidad del terreno.

Los resultados evidencian que las prácticas de conservación del suelo (factor P) implementadas en la subcuenca Tarunca tienen un impacto en la reducción de la pérdida de suelo, especialmente en los sectores donde se observaron técnicas como andenes, terrazas, barreras vivas y cultivos. Esto se refleja en los valores bajos del factor P (entre 0,1 y 0,5), los cuales están directamente relacionados con tasas menores de erosión hídrica. Este comportamiento concuerda con lo señalado por Wischmeier y Smith (1978), quienes establecieron que el factor P puede reducir significativamente la pérdida de suelo cuando se aplican prácticas adecuadas de manejo y conservación. Asimismo, el estudio de Atauje (2018) en la cuenca Huatatas (Ayacucho) corroboró que la implementación efectiva de prácticas de conservación permite mitigar los efectos erosivos, incluso en cuencas con pendientes pronunciadas o alta erosividad. En este contexto, la evidencia recopilada en la subcuenca Tarunca refuerza la importancia de fortalecer las estrategias de manejo del suelo, incorporando técnicas tradicionales y adaptativas, en concordancia con el enfoque de gestión integrada de cuencas.

CONCLUSIONES

1. La subcuenca Tarunca, de forma alargada y densidad de drenaje de 0,71 km/km², presenta condiciones que favorecen la escorrentía superficial. Sin embargo, el factor LS mostró una correlación baja con la pérdida de suelo ($r = 0,3640$), lo que sugiere que, pese a la morfología y red de drenaje, la topografía tiene una influencia reducida en la erosión hídrica en comparación con el factor R.
2. El factor R evidenció ser el más influyente en la estimación de la pérdida de suelo, con un coeficiente de correlación de Pearson ($r = 0,5257$), lo que indica una relación moderada. Esta relación muestra que la cantidad e intensidad de lluvia tiene un papel determinante en los procesos de erosión en la subcuenca Tarunca, siendo el factor que más contribuye a las pérdidas de suelo dentro del modelo RUSLE.

3. El factor P mostró una influencia moderadora en la pérdida de suelo, con valores entre 0,1 y 0,5 en áreas donde se implementaron prácticas de conservación como terrazas, andenes y barreras vivas. Estas medidas contribuyen a reducir la susceptibilidad a la erosión, evidenciando la efectividad del manejo adecuado del suelo en la subcuenca Tarunca.

REFERENCIAS

- Alaska Satellite Facility. (s.f.). NASA Earthdata Search – Vertex. <https://vertex.dacc.ast.alaska.edu/>
- Álvarez, T. A. (2019). *Análisis temporal del nivel de la erosión hídrica de la subcuenta del río Ichu 2013 y 2017*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://repositorio.unh.edu.pe/items/5f12bfcf-72ca-414c-8fee-360243117b22>
- Atauje C. D. E. (2018). *Estimación de la erosión hídrica para la conservación de suelos en la cuenca Huatatas, Ayacucho*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <https://repositorio.unsch.edu.pe/handle/20.500.13077/1824>
- Autoridad Nacional del Agua (ANA), (2009). *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú*. Ediciones ANA. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/1880>
- Barboza, E., Raymundo, A. A., Valqui, L., & Salas, R. (2024). *Estimation of soil loss using RUSLE model and GIS tools: Case study in the Jucusbamba Micro-Watershed (Amazonas, NW Peru)*. *Revista Ambiente e Água*, 19, e2998. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2998>
- García-Ruiz, J. M., Nadal-Romero, E., Lana-Renault, N., & Beguería, S. (2013). *Erosion in Mediterranean landscapes: Changes and future challenges*. *Geomorphology*, 198, 20–36. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.05.050>
- Olaya, V. (2014). *Sistema de Información Geográfica*. <https://upn.edu.pe/sistemas-de-informacion-geografica>

- Pimentel, D., & Kounang, N. (1998). *Ecology of soil erosion in ecosystems*. *Ecosystems*, 1(5), 416–426.
<https://doi.org/10.1007/s100219900035>
- U.S. Geological Survey. (s.f.). *EarthExplorer*.
<https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537. *USDA/Science and Education Administration, US. Govt. Printing Office, Washington, DC. 58pp.*
<http://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>