

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**“USO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA
LA CUANTIFICACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA
POTENCIAL EN LA CUENCA CHAMACHA – LIMA”**

Presentada por:

MIGUEL FRANCISCO TACO AGRAMONTE

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Lima - Perú

2021

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**“USO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA
LA CUANTIFICACIÓN DE LA EROSIÓN POTENCIAL
HÍDRICA EN LA CUENCA CHAMACHA – LIMA”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

MIGUEL FRANCISCO TACO AGRAMONTE

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

**Dr. Víctor Peña Guillen
PRESIDENTE**

**Mg.Sc. Juan Guerrero Barrantes
ASESOR**

**Dr. Néstor Montalvo Arquíñigo
MIEMBRO**

**Mg.Sc. Sebastián Santayana Vela
MIEMBRO**

**A MI QUERIDA MADRE, CON
TODO MI CARIÑO Y GRATITUD**

A MIS HERMANAS

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Mg. Sc. Juan Antonio Guerrero Barrantes por su valiosa colaboración en la realización del presente trabajo.

Al ing. Mg. Sc. Sebastián Santayana, por sus acertadas sugerencias.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 ANTECEDENTES	3
2.2 EROSIÓN HÍDRICA	3
2.2.1 Erosión Laminar	4
2.2.2 Erosión por Surcos	4
2.2.3 Erosión por Cárcavas.....	4
2.3 DINÁMICA DE LA EROSIÓN HÍDRICA	4
2.4 LA MAGNITUD DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN EL PERÚ	5
2.4.1 Erosión muy ligera	5
2.4.2 Erosión ligera.....	5
2.4.3 Erosión Moderada	5
2.4.4 Erosión Severa.....	5
2.5 MODELOS FÍSICOS TEÓRICOS	8
2.6 MODELOS PARAMÉTRICOS	8
2.7 FACTOR R.....	10
2.8 FACTOR K	13
2.9 FACTOR LS.....	20
2.10 FACTOR C.....	21
2.11 FACTOR P.....	23
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	25
3.1.1 Ubicación Geográfica	25
3.1.2 Ubicación Hidrográfica	25
3.1.3 Ubicación Política	25
3.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	25
3.2.1 Política.....	25
3.2.2 Hidrografía y Cuencas	26
3.2.3 Geología	27
3.2.4 Pendientes.....	29

3.2.5 Geomorfología.....	29
3.2.6 Fisiografía.....	30
3.2.7 Zonas de Vida.....	32
3.2.8 Suelos	34
3.2.9 Pisos Altitudinales	35
3.2.10 Cobertura y Uso Actual de la Tierra.....	37
3.3 MATERIALES Y EQUIPOS	40
3.3.1 Materiales y Equipos de Campo.....	40
3.3.2 Materiales y Equipos de Gabinete	41
3.3.3 Imágenes de Satélite	41
3.3.4 Información cartográfica	42
3.3.5 Producto PISCOp	42
3.4 METODOLOGÍA.....	43
3.4.1 Delimitación de la cuenca Chamacha.....	43
3.4.2 Acondicionamiento de la Información Temática	44
3.4.3 Determinación del Factor de Erosividad de la lluvia, R.....	45
3.4.4 Determinación del Factor de Erodabilidad, K.....	47
3.4.5 Determinación del Factor LS.....	48
3.4.6 Determinación del grado de cobertura vegetal, C	48
3.4.7 Determinación del Factor P	49
3.4.8 Determinación del riesgo de erosión hídrica, A	49
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
4.1 RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO DE LAS VARIABLES	51
4.1.1 Factor R (Erosividad de la lluvia)	51
4.1.2 Factor K (Erodabilidad del Suelo).....	52
4.1.3 Factor LS	53
4.1.4 Factor C	54
4.1.5 Factor P.....	57
4.1.6 Erosión Hídrica Potencial.....	58
V. CONCLUSIONES.....	60
VI. RECOMENDACIONES	62
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
VIII. ANEXOS	72

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Intensidad de la Erosión por Regiones	6
Cuadro 2: Superficie afectada por erosión por proceso y agente erosivo, 2002	6
Cuadro 3: Clasificación de IFM para Latinoamérica.	12
Cuadro 4: Valores del código USDA para la estructura del suelo	14
Cuadro 5: Valores del código USDA para permeabilidad del perfil.....	15
Cuadro 6: Valores del índice de Erodabilidad del suelo aproximado en base a la textura y a la materia orgánica del suelo superficial	16
Cuadro 7: Valores del Factor K según la Litología del suelo.....	16
Cuadro 8: Indicadores de la magnitud general del factor K de erodabilidad del suelo.....	18
Cuadro 9: Factor de erodabilidad del suelo (Factor K) de acuerdo al contenido de materia orgánica y textura del horizonte superficial	19
Cuadro 10: Clasificación de los grados de erodabilidad según USDA (1962).	19
Cuadro 11: Valores del factor LS en función de la pendiente.....	21
Cuadro 12: Valores del Factor C por Sistema de Uso de Tierra	21
Cuadro 13: Índices del Factor de Cobertura Vegetal C.....	22
Cuadro 14: Valores de C para cobertura vegetal.....	23
Cuadro 15: Valores experimentales de P.....	23
Cuadro 16: Valores de P para barreras con la distancia máxima entre obras.....	24
Cuadro 17: Características de la Imagen de Satélite LandSat8 utilizada.	41
Cuadro 18: Rangos de pérdida de suelos debido a erosión hídrica.	50
Cuadro 19: Resultados obtenidos del Factor R	51
Cuadro 20: Calificación del Factor R (IMF)	52
Cuadro 21: Resultados obtenidos del Factor K	52
Cuadro 22: Calificación del Factor K.....	53
Cuadro 23: Resultados obtenidos del Factor LS	53
Cuadro 24: Calificación del Factor LS	54
Cuadro 25: Datos de Campo de Cobertura y Uso Actual.....	54
Cuadro 26: Datos de Cobertura y Uso Actual adaptados para el Cálculo del Factor C	56

Cuadro 27: Niveles del Factor C	57
Cuadro 28: Tipo de Prácticas de Conservación.....	57
Cuadro 29: Cuantificación del Factor Prácticas de Conservación	58
Cuadro 30: Calificación del Factor Prácticas de Conservación	58
Cuadro 31: Cuantificación y Calificación de la Erosión Hídrica Potencial	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Precipitación VS Altitud	13
Figura 2: Secuencia metodológica de la delimitación de la cuenca Chamacha	43
Figura 3: Modelo en ArcGIS para delimitación de la cuenca	44
Figura 4: Secuencia de Elaboración y/o Acondicionamiento de Información Temática	44
Figura 5: Proceso para la determinación del Factor R.....	47
Figura 6: Proceso para la determinación del Factor K	47
Figura 7: Proceso para la determinación del Factor LS.....	48
Figura 8: Proceso para la determinación del Factor C.....	49
Figura 9: Proceso de Determinación del Factor P	49

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: DATOS DE PRECIPITACIÓN	73
Anexo 1.1 Estaciones meteorológicas	73
Anexo 1.2 Datos de Precipitación media mensual desde 1981 hasta 2016.....	74
Anexo 1.3 Datos de Precipitación (P) Acumulada por año desde 1981 hasta 2016.....	76
Anexo 1.4 Datos de cálculo del Factor R	82
ANEXO 2: MAPAS	83
Anexo 2.1 Mapa de Ubicación	83
Anexo 2.2 Mapa Político	84
Anexo 2.3 Mapa de Cuencas	85
Anexo 2.4 Mapa Geológico.....	86
Anexo 2.5 Mapa de Pendientes	87
Anexo 2.6 Mapa Geomorfológico	88
Anexo 2.7 Mapa Fisiográfico	89
Anexo 2.8 Mapa de Zonas de Vida	90
Anexo 2.9 Mapa de Suelos	91
Anexo 2.10 Mapa de Pisos Altitudinales	92
Anexo 2.11 Mapa de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo (Según datos de Campo).	93
Anexo 2.12 Mapa de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo (Adaptado).....	94
Anexo 2.13 Mapa de Erosividad de la Lluvia (Factor R).....	95
Anexo 2.14 Mapa del Factor de Erodabilidad del Suelo (Factor K).	96
Anexo 2.15 Mapa del Factor Topográfico (Factor LS).....	97
Anexo 2.16 Mapa del Factor de Cobertura (Factor C).....	98
Anexo 2.17 Mapa del Factor Prácticas de Conservación de Suelos (Factor P).....	99
Anexo 2.18 Mapa de Erosión Hídrica Potencial (A).....	100

ANEXO 3: PANEL FOTOGRÁFICO	101
Anexo 3.1 Suelos con erosión alta.....	101
Anexo 3.2 Suelos con erosión moderada.....	101
Anexo 3.3 Suelos con erosión nula o ligera	102
Anexo 3.4 Afloramiento Lítico	102
Anexo 3.5 Lagunas o Reservorios	103
Anexo 3.6 Planicie Fluvial de quebrada Intermitente	103
Anexo 3.7 Ciudad de Antioquia	104
Anexo 3.8 Ciudad de San Andrés de Tupicocha	104

RESUMEN

El objetivo general del presente trabajo es estimar el grado de erosión hídrica en la cuenca de la quebrada Chamacha, la misma que pertenece a la cuenca del río Lurín, distritos de Antioquía y San Andrés de Tupicocha, provincia de Huarochirí, región Lima, utilizando el Sistema de Información Geográfica. Para determinar la erosión hídrica potencial se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos Revisada (RUSLE), y se aplicó un modelo geoespacial con el empleo de las herramientas SIG (Sistema de Información Geográfica), mediante el cual se identificó las zonas potenciales de erosión hídrica según la clasificación de la FAO, y que fue plasmada en un mapa temático, que muestra los diversos niveles de erosión hídrica, donde se pudo concluir que las áreas con Erosión Hídrica Potencial Alta (de 50 a 200 toneladas por hectárea año) abarcan una extensión de 267.96 hectáreas (3.02 por ciento del ámbito de estudio) y se ubican principalmente en la parte alta de la cuenca (que es donde ocurren mayores precipitaciones), preferentemente en zonas de mayor pendiente y cobertura vegetal escasa. Finalmente, de acuerdo a cada zona de erosión hídrica potencial determinada se propuso medidas de control de la erosión.

Palabras clave: Erosión, Ecuación Universal, Pérdida de Suelos, Sistema de Información Geográfica, Cuenca, Perú.

ABSTRACT

The general objective of this work is to estimate the degree of water erosion in the Chamacha stream basin, which belongs to the Lurín river basin, Antioquia and San Andres of Tupicocha districts, Huarochirí province, Lima region, using the Geographic information system. To determine the potential water erosion, the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) was used, and a geospatial model was applied with the use of GIS (Geographic Information System) tools, through which the potential erosion zones were identified. according to the FAO classification, and which was reflected in a thematic map, which shows the various levels of water erosion, where it could be concluded that the areas with High Potential Water Erosion (from 50 to 200 tons per hectare/year) cover a extension of 267.96 hectares (3.02 percent of the study area) and are located mainly in the upper part of the basin (which is where the greatest rainfall occurs), preferably in areas with steeper slopes and scarce vegetation cover. Finally, according to each determined potential water erosion zone, erosion control measures were proposed.

Keywords: Erosion, Universal Equation, Soil Loss, Geographic Information System, Basin, Perú.

I. INTRODUCCIÓN

La erosión hídrica es un proceso de destrucción del suelo por la acción del agua de lluvia. En general, la erosión es un proceso que consiste en la desagregación de las partículas del suelo y arrastre de las mismas. Al respecto Kirkby y Morgan (1980), definen la erosión como remoción de material superficial del suelo por acción del viento o agua.

La disminución de la cobertura vegetal debido al sobrepastoreo y las prácticas inadecuadas de cultivo exponen al suelo a un efecto más erosivo de la precipitación que puede hacer bajar la capacidad productiva del suelo, de ahí que la erosión es uno de los problemas ambientales más importantes presentes en todo el mundo (Oldeman *et al.* 1991). La erosión es la principal amenaza económica para mantener la productividad a largo plazo de tierras agrícolas, de uso pecuario y forestal.

En el Perú la erosión hídrica severa afecta un total de 8 millones de hectáreas, de las cuales 1,9 corresponden a la costa, 5,8 a la sierra y 0,3 a la selva (INRENA 1996); siendo la región sierra la más afectada.

Existen diferentes métodos para evaluar la magnitud de la erosión hídrica, directos e indirectos, de los cuales se destaca, por su mayor difusión en el mundo, la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo (USLE) desarrollada en Estados Unidos por Wischmeier y Smith (1978), que es un modelo matemático que agrupa seis parámetros que permiten predecir la generación promedio anual de pérdida de suelo en una determinada área de estudio. Los parámetros en mención son: erosividad (potencia erosiva de las lluvias), erodabilidad (susceptibilidad del suelo a la erosión), longitud de la pendiente, inclinación de la pendiente, cobertura vegetal y prácticas de conservación de suelos.

Posteriormente, el Modelo USLE fue mejorado dando lugar al RUSLE, el cual es una versión revisada del modelo original USLE (Renard *et al.* 1994). RUSLE es conveniente para estimar la erosión media anual de una pendiente y se emplea para calcular la pérdida de suelo por erosión laminar y erosión en surcos (no para erosión en cárcavas) (Renard *et al.* 1997).

En el Perú la erosión hídrica de los suelos en la sierra es uno de los principales problemas que afectan a las cuencas hidrográficas (INRENA 1996, citado por INEI 2013; SENAMHI 2017).

En la sierra, que es una región con lluvias estacionales, la erosión hídrica se produce, principalmente, en zonas con pendientes pronunciadas y donde se realizan prácticas inadecuadas de cultivos, como por ejemplo el cultivo con surcos en la misma dirección de la pendiente o donde se realiza el sobrepastoreo de pasturas naturales, por mencionar algunos ejemplos (Ocampo *et al.* 1996, citado por Álvarez 2019; Vásquez 2011).

La erosión trae como consecuencia la pérdida de fertilidad del suelo, baja productividad de los cultivos, baja producción de pasturas y forrajes para el ganado, bajos ingresos, problemas sociales, migración, colmatación y sedimentación de embalses (Zink 2005, citado por Ramírez *et al.* 2009; Segarra 2014).

El problema de degradación de suelos por erosión hídrica en la sierra peruana varía desde ligera, moderada, severa y extremadamente severa de acuerdo a la cuantificación realizada por la ONERN (1982), a una escala general a nivel país; pero, a nivel local aún se desconoce el estado actual, la intensidad y el riesgo potencial de la erosión hídrica, como es el caso de la cuenca Chamacha, motivo de la presente investigación.

El objetivo general del presente trabajo es estimar el grado de erosión hídrica en la cuenca de la quebrada Chamacha, la misma que pertenece a la cuenca del río Lurín, utilizando el Sistema de Información Geográfica.

Los objetivos específicos son: (a) estimar cuantitativamente las pérdidas por erosión hídrica en la cuenca de la quebrada Chamacha; (b) elaborar un mapa de riesgo potencial de erosión usando técnicas de SIG; y, (c) identificar zonas que requieran prácticas de conservación de suelos en la cuenca de la quebrada Chamacha.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

Dourojeanni (1967), utilizó por primera vez la Ecuación Universal de pérdida de suelo en el Perú, aplicándola en el planeamiento del uso de las tierras agrícolas.

Barrios y Quiñonez (2000), efectuaron estudios para determinar la erosión utilizando el modelo (R)USLE, con apoyo SIG. Aplicaron a una microcuenca de los andes venezolanos.

Röder *et al.* (2006), elaboraron un estudio aplicando la ecuación universal de pérdida de suelo “USLE” en SIG para estimar el riesgo potencial de erosión en el área protegida “Sierra de Quila”, Jalisco, México.

Flores (2016), estimó la pérdida de suelo por erosión hídrica en tres cuencas de la república mexicana, utilizando la ecuación universal de pérdida de suelo.

Gaitán *et al.* (2017), estimaron la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina.

López (2017), estimó la Erosión hídrica en la unidad hidrográfica del río Ambato, en un escenario de cambio climático, mediante el modelo USLE/RUSLE. Ecuador.

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú SENAMHI, 2017. Desarrolló el Atlas de erosión de Suelos por regiones Hidrológicas del Perú.

2.2 EROSIÓN HÍDRICA

Erosión hídrica es la pérdida selectiva, recurrente y progresiva de la capa superficial del suelo por acción del agua.

La erosión hídrica constituye uno de los principales procesos de pérdida de suelos y representa una de las formas más completas de degradación, englobando tanto la degradación física del suelo como química y biológica (De Regoyos 2003 citando a Colomer 2001).

Las principales formas de erosión hídrica son: Erosión Laminar, erosión por surcos y erosión por cárcavas.

2.2.1 Erosión Laminar

Es la erosión superficial de una capa fina y uniforme de toda la superficie del suelo. Es la forma más peligrosa de erosión hídrica porque es imperceptible al principio y solo será visible cuando pasado un tiempo aumente su intensidad y queden expuestas las raíces de las plantas, aparezcan piedras que antes no había y comiencen a evidenciarse cambios en el color del suelo de marrón a amarillo o rojo (el sub suelo queda expuesto).

2.2.2 Erosión por Surcos

Es fácilmente perceptible debido a formación de surcos irregulares favoreciendo remoción de parte superficial del suelo. Este tipo de erosión puede ser controlada caso contrario llega a la etapa de cárcava. La profundidad de los surcos de erosión es hasta 50 cm.

2.2.3 Erosión por Cárcavas

Consiste en la pérdida de grandes masas de suelo formando surcos con una profundidad mayor de 1 m. las cuales no se pueden desaparecer con las actividades normales de labranza, comienzan a desarrollarse de la parte baja de la ladera hacia arriba. Cuando las laderas se encuentran degradadas por cárcavas se denominan “*Bad lands*”.

2.3 DINÁMICA DE LA EROSIÓN HÍDRICA

Al caer las precipitaciones pluviales en suelos descubiertos de cobertura vegetal o mulch, el agua que no se infiltra en el suelo se mueve por la superficie llevando consigo partículas de limo y arcilla produciendo erosión laminar, esta erosión es más intensa a medida que aumenta la pendiente del terreno. Con el transcurrir del tiempo si no se toman las medidas oportunas de control de la erosión se van a formar en el terreno una serie de surcos irregulares por donde va a circular el agua de escorrentía y va a favorecer la remoción superficial del suelo produciéndose la erosión por surcos. La erosión por surcos puede ser controlada caso contrario pasa a la etapa de cárcava que son surcos más grandes en forma de pequeños riachuelos por donde va a circular el agua de escorrentía llevando consigo todo el material erosionado.

Los suelos de ladera son más propensos a la acción de la erosión hídrica que los terrenos planos debido a la acción de la gravedad que favorece el rodamiento y transporte de partículas por acción de las precipitaciones fluviales. Siendo los terrenos con escasa cobertura vegetal más vulnerables a la erosión hídrica.

2.4 LA MAGNITUD DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN EL PERÚ

El INRENA en 1996 elaboró un Mapa de Erosión de Suelos del Perú, y cartográficamente lo plasmó en cuatro niveles de intensidad de erosión de suelos los cuales son: Erosión Muy ligera, Erosión Ligera, Erosión Moderada y Erosión Severa.

2.4.1 Erosión muy ligera

Se observa síntomas de erosión laminar imperceptible y laminar incipiente, que se caracterizan por una remoción y arrastre imperceptible de partículas de suelo y problemas de decantación. Abarca una superficie aproximada de 53'188,030 hectáreas (41.40 por ciento del territorio nacional); correspondiendo 1'672,110 hectáreas (1,30 por ciento) a la costa, 1'519,660 ha (1.20 por ciento) a la sierra y 49'996,260 hectáreas (38,90 por ciento) a la selva.

2.4.2 Erosión ligera

Se observa síntomas de erosión laminar evidente, caracterizada por la remoción y arrastre laminar casi imperceptible de partículas de suelo. Hay presencia de escasos surcos. Asimismo, pueden presentarse procesos erosivos como: movimientos en masa ocasionales, inundaciones esporádicas periglaciares, derrubiación y aspersion eólica. Abarca una superficie de 35'179,480 hectáreas (27,40 por ciento del territorio nacional), correspondiendo 6'571,880 hectáreas (5.10 por ciento) a la costa, 14'146,590 hectáreas (11.00 por ciento) a la sierra y 14'461,010 hectáreas (11.30 por ciento) a la selva.

2.4.3 Erosión Moderada

Se observa síntomas de erosión laminar intensa, surcos comunes y cárcavas escasas. Asimismo, se presentan otros procesos erosivos como: movimientos en masa ocasionales, inundación frecuente y mantos de arena. Abarca una superficie aproximada de 31'337,470 hectáreas, equivalente al 24,40 por ciento del territorio nacional, correspondiendo 4'106,170 hectáreas (3.20 por ciento) a la costa, 14'730,640 hectáreas (11.50 por ciento) a la sierra y 12'500,160 hectáreas (9.70 por ciento) a la selva.

2.4.4 Erosión Severa

Se observa síntomas de erosión a través de surcos y cárcavas comunes o abundantes, movimientos en masa frecuentes y actividad eólica intensa. Abarca una superficie de 8'240,810 hectáreas, equivalente al 6.4 por ciento del territorio nacional; correspondiendo

2'520,650 hectáreas (2,00 por ciento) a la costa, 5'413,840 hectáreas (4.20 por ciento) a la sierra y 306 320 hectáreas (0,20 por ciento) a la selva. Ver Cuadro 1.

Cuadro 1: Intensidad de la Erosión por Regiones

Símbolo	Intensidad de los procesos erosivos	Costa		Sierra		Selva		Total	
		Superficie		Superficie		Superficie		Superficie	
		ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
I	Muy Ligera	1'672,110	1.30	1'519,660	1.20	49'996,260	38.90	53'188,030	41.40
II	Ligera	6'571,880	5.10	14'146,590	11.00	14'461,010	11.30	35'179,480	27.40
III	Moderada	4'106,670	3.20	14'730,640	11.50	12'500,160	9.70	31'337,470	24.40
IV	Severa	2'520,650	2.00	5'413,840	4.20	306,320	0.20	8'240,810	6.40
Total por Regiones		14'871,310	11.60	35'810,730	27.90	77'263,750	60.10	27'945,790	99.60
Lago Titicaca – Lagunas – Ríos								575,770	0.40
Total Nacional								28'521,560	100.00

FUENTE: Brack (2000), citado por Rodríguez (2012)

En el Cuadro 1 se aprecia que la erosión severa afecta a 8'240,810 hectáreas (6.4 por ciento) del territorio nacional, siendo la sierra la región más afectada 5'413,840 hectáreas (4.2 por ciento).

Cuadro 2: Superficie afectada por erosión por proceso y agente erosivo, 2002

Agente y proceso erosivo	Intensidad	Superficie (ha)
Total		127'945,790
Pluvial		70'576,610
Escurrimiento superficial no concentrado		46'586,690
Laminar imperceptible	muy ligera	39'569,090
Laminar incipiente	muy ligera	2'266,410
Laminar evidente	Ligera	4'006,800
Laminar intenso	moderada	744,390
Escurrimiento superficial concentrado		23'989,920
Surcos escasos	Ligera	10'168,600
Surcos comunes	moderada	6'220,320
Surcos y cárcavas escasos	moderada	4'590,800
Surcos y cárcavas comunes	Severa	2'911,940
Surcos y cárcavas abundantes	Severa	98,260

«continuación»

Pluvial y gravitacional		23'051,380
Esguerrimiento superficial no concentrado y movimientos en masa		19'479,940
Laminar imperceptible, soliflucción y deslizamientos	Ligera	10'725,060
Laminar imperceptible, soliflucción y deslizamientos	moderada	7'174,630
Laminar intenso, y deslizamientos ocasionales	moderada	1'275,380
Laminar intenso, y deslizamientos frecuentes	Severa	304,870
Esguerrimiento superficial concentrado actividad torrencial y movimientos en masa		3'571,440
Surcos y cárcavas escasos y deslizamientos ocasionales	moderada	92,090
Surcos comunes y huaycos	moderada	223,920
Surcos y cárcavas escasos y aluviones	Severa	1'553,860
Surcos y cárcavas abundantes, aluviones, derrumbes y	Severa	1'301,650
Aluviones y derrubiación	moderada	399,920
Fluvial		19'030,500
Acumulación e inundación fluvial		19'030,500
Decantación	muy ligera	11'352,530
Inundación ocasional	Ligera	3'461,490
Inundación frecuente	moderada	4'216,480
Glacial y eólica		4'059,720
Periglaciares, glaciares, esguerrimiento superficial y/o deflación		4'059,720
Gelifracción y mantos de arena	Ligera	260,320
Gelifracción, deglaciación y surcos comunes	moderada	3'799,400
Gravitacional y eólica		5'707,780
Meteorización y deflación		5'707,780
Derrubiación	Ligera	4'301,500
Derrubiación y aspersion eólica	Ligera	1'406,280
Eólica		5'519,800
Deflación		5'519,800
Pavimento desértico	Ligera	849,430
Mantos de arena	moderada	2'600,140
Mantos de arena y dunas	severa	856,460
Dunas	severa	1'213,770

FUENTE: MINAG (2002), citado por INEI (2013).

Del Cuadro 2 se puede apreciar que la erosión laminar, es el proceso erosivo que afecta una mayor superficie del territorio nacional haciendo un total de 46'586,690 hectáreas. Seguida

de la erosión por surcos y cárcavas que afecta un total de 23'989,920 hectáreas. Por último, la erosión laminar y los movimientos en masa influenciados por la gravedad afectan un total de 19'479,940 hectáreas (MINAG 2002).

Dada la elevada magnitud en que es afectado el suelo por los procesos erosivos, es necesario emprender en el país una política de conservación de suelos que contemple la explotación racional y sostenible de este recurso.

2.5 MODELOS FÍSICOS TEÓRICOS

Este tipo de modelos incorpora en su análisis leyes de conservación de masa y energía, utilizando la ecuación de continuidad para representar un estado de la conservación de la materia y su transformación en el espacio y tiempo (De Regoyos 2003).

Water Erosion Prediction Project (WEPP). El Modelo de Simulación del Servicio de Conservación de suelos de USA, es un método para la medida de la erosión y está plasmado en un programa de ordenador que toma en cuenta los múltiples procesos que intervienen en la erosión en base a conceptos teóricos de climatología, hidrología, física de suelos y agronomía. Este método permite calcular la erosión laminar y en surcos a lo largo de una ladera y en una cuenca.

EUROSEM. El Modelo de Simulación de la Unión Europea, es un método físico teórico para la medida de la erosión, similar al WEPP pero creado para los requerimientos de la zona europea.

2.6 MODELOS PARAMÉTRICOS

Son modelos basados en la lógica inductiva y por lo general se aplican en aquellas condiciones en las que han sido calibrados (García 2005).

USLE

La ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) fue el resultado de un enorme esfuerzo de recopilación y análisis de datos se extiende desde la década de 1930 hasta la década de 1970 y que culminó con el Manual de Agricultura N° 537 (Wischmeier y Smith 1978). Esta ecuación permite estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica en t/ha/año. La ecuación es la siguiente:

$$A = RKLSCP$$

Donde:

A es la pérdida de suelo por unidad de superficie (t/ha/año)

R es el factor erosividad de la lluvia (MJ*cm/ha*h)

K es el factor de erodabilidad del suelo (t*ha*h*/MJ*ha*cm)

L es el factor longitud de la pendiente (adimensional)

S es el factor de inclinación de la pendiente del suelo (adimensional)

C es el factor de cobertura vegetal del suelo (adimensional)

P es el factor de prácticas de conservación de suelos (adimensional)

RUSLE

RUSLE fue desarrollado como una actualización de la USLE, con el trabajo de desarrollo a partir de finales de 1980. La necesidad de una actualización de USLE se hizo evidente ya que los usuarios demandaban una mayor flexibilidad en el modelado de la erosión para las nuevas condiciones, que claramente no funcionan bien dentro de la USLE estándar (Wischmeier 1976). Además, las nuevas investigaciones y análisis científicos siempre con el poder de mejorar el desempeño de la USLE para ambos esquemas nuevos y viejos de manejo del suelo (Renard *et al.* 1991; Renard *et al.* 1994; Renard *et al.* 1997).

La RUSLE (USLE revisada) tiene el mismo propósito que la USLE y se formula igual, pero incorpora importantes diferencias en la manera de estimar cada uno de los parámetros, así para el factor “R” se incorporan nuevos mapas de isolíneas para el índice de erosividad; “K” incorpora aspectos relacionados con procesos de heladas; “LS” se estiman según nuevas fórmulas; “C” incluye nuevos sub-factores y “P” incluye nuevas consideraciones de prácticas agrícolas.

La metodología RUSLE fue desarrollada para superar algunas de las limitaciones de USLE.

Sus avances incluyen:

- Computarización de algoritmos para facilitar los cálculos.
- Nuevos valores de erosividad de lluvias-escurrimientos (R) en el oeste de los Estados Unidos (condiciones áridas), basado en más de 1200 localidades.
- Desarrollo de un término de susceptibilidad del suelo a la erosión estacionalmente variable (K) y métodos alternativos de estimación de K cuando el nomograma no es aplicable.
- Un nuevo método para calcular el factor cubierta-manejo (C), utilizando subfactores que incluyen uso previo de la tierra, cubierta de cultivos, cubierta vegetal del suelo (incluyendo fragmentos de roca en la superficie), y rugosidad del terreno.

- Nuevas formas de estimar los factores de largo y magnitud de la pendiente (LS) que consideran porcentajes de erosión en surcos e íter-surcos.
- La capacidad de ajustar el LS para pendientes de forma variable; y
- Nuevos valores de prácticas de conservación (P) para cultivo en fajas alternadas, uso de drenaje subterráneo, y praderas.

RUSLE aún está siendo desarrollado, y tal vez se introduzcan otras modificaciones. Al igual que la USLE, RUSLE no fue diseñado para estimar rendimientos de sedimentos en pendientes complejas donde puede ocurrir sedimentación, ni en grandes cuencas.

MUSLE

La MUSLE (USLE modificada) se formula de manera diferente a la USLE pues su propósito difiere de forma sustancial (Williams *et al.* 1996): ya no se trata de hacer una estimación promediada a largo plazo, sino de calcular el aporte de sedimento para un evento singular. Su expresión es la siguiente:

$$Y = 11,8(Q*qp)^{0,6}KCPLS$$

Donde:

“Y” es la cantidad de sedimentos que se producen durante una tormenta singular (en toneladas métricas, t).

“Q” es el volumen de escorrentía (m³).

“qp” es el caudal instantáneo máximo (m³/s).

y el resto de factores son los mismos que para la USLE.

RUSLE2

Modelo que pretende sustituir a la USLE, pero está diseñado exclusivamente para trabajar con base de datos exclusivos del territorio de los Estados Unidos.

2.7 FACTOR R

Representa la capacidad potencial de las lluvias para generar erosión y está en función de las características físicas de las mismas (intensidad, duración, velocidad y tamaño de las gotas). Se define como el producto de la energía cinética (E) de un aguacero y su máxima intensidad en un intervalo de 30 minutos (I). El factor R resulta de promediar totales anuales de E*I para un período de por lo menos 20 años.

$$R = \sum E * I_{30}$$

Índice de Fournier

Fue definido por el francés Frédéric Fournier, popularizado en su honor como “índice de Fournier”, es un índice de erosividad de la lluvia más rústico y menos exigente en la precisión de los datos que el utilizado por Wischmeier y Smith en Estados Unidos, en base a la intensidad de las lluvias, dicho índice se expresa de la manera siguiente:

$$IF = \frac{p^2}{P}$$

Donde:

IF = Índice de Fournier.

p = Precipitación del mes más lluvioso (en mm).

P = Precipitación anual (en mm).

La información básica necesaria es la pluviometría total mensual. Este índice fue empleado para llevar a cabo el programa europeo CORINE-SOIL EROSION <DG XI>.

Índice Modificado de Fournier

El índice modificado de Fournier, elaborado por Arnoldus (1977) se especifica como:

$$IMF = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P}$$

Donde:

P_i = Precipitación del mes i

P = Precipitación anual

Arnoldus (1978) basado en trabajos de Fournier (1960) utiliza una formula obtenida por regresión lineal en el cual correlaciono valores conocidos de R con las lluvias medias anuales.

$$R = a * \left(\sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P} \right) + b$$

Donde:

R = Factor de erosividad de las lluvias

P_i = Precipitación media mensual del mes i .

P = Precipitación media anual.

a y b = Son constantes que consideran las condiciones climáticas locales.

Para las regiones con precipitaciones mayores a 200 mm anuales se adoptará las constantes climáticas de USA $a = 4,17$ y $b = -152$.

Para las regiones con precipitaciones menores a 200 mm anuales se adoptará las constantes climáticas de USA $a = 0.66$ y $b = -3$ (Ramírez 2010).

Rámirez (2010), menciona que, este índice fue utilizado por la FAO en la elaboración del mapa universal de degradación de suelos. Las principales ventajas que muestra son el empleo de datos meteorológicos simples y una buena correlación con valores medidos del factor R . Esta ecuación se probó en diferentes regiones del mundo obteniéndose en general un alto grado de correlación (0,89).

Según Arnoldus (1980) y Hoyos *et al.* (2005), citados por Ramírez *et al.* (2007), establecieron que el IMF es considerado como un buen estimador de la erosividad de las lluvias para el modelamiento de los procesos erosivos en zonas tropicales.

Ramírez *et al.* (2007), indican que en la zona cafetera colombiana se evaluó la erosividad de las lluvias mediante el índice de erosión pluvial de Fournier y se correlacionó con el factor de erosividad propuesto por Wischmeier y Smith (1965), y como resultado se encontró una regresión lineal alta ($R^2 = 0,92$), entre estos dos factores.

Cuadro 3: Clasificación de IFM para Latinoamérica.

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

FUENTE: Lobo *et al.* (2006), citado por RAMIREZ *et al.* (2007).

Relación entre Precipitación y Altitud

Existe una relación entre precipitación y altitud tratándose de una misma cuenca, la cual puede traducirse en una Ecuación de Regionalización de Precipitación, como es el caso de la Ecuación Regional de Precipitación para la Cuenca del Río Lurín:

$$PP = 0.181 * \text{Altitud} - 231.73$$

Donde:

PP = Precipitación total anual (mm)

Altitud = Altitud sobre el nivel del mar (m.s.n.m.)

Cuya representación gráfica se aprecia en la Figura 1.

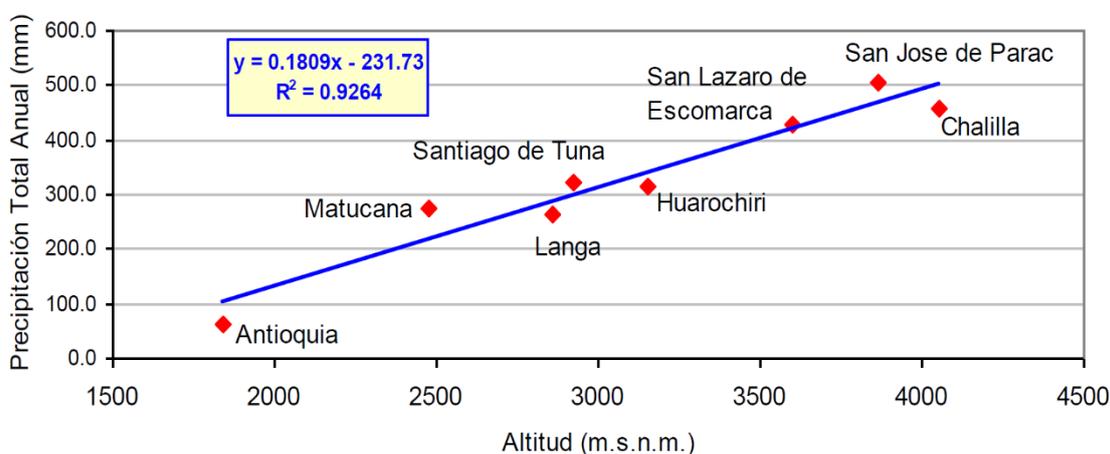


Figura 1: Precipitación VS Altitud

FUENTE: INRENA-ATDR Chillón – Rímac – Lurín (2004)

2.8 FACTOR K

El Factor erodabilidad del suelo K, representa la pérdida de suelo por unidad de índice de erosión pluvial, cuando todos los demás factores toman valor de 1, e indica la susceptibilidad del suelo a la erosión.

El Factor “K” depende de propiedades intrínsecas del suelo tales como: textura, estructura, materia orgánica y permeabilidad. En un principio el Factor K se determinaba experimentalmente (Smith y Wischmeier 1962), años después (Wischmeier y Mannering 1969) obtienen una ecuación empírica basándose en las características del suelo obtenidas en el campo y en el laboratorio; posteriormente, Wischmeier *et al.* (1971) proponen la utilización de un sencillo nomograma para su estimación, en función de cinco parámetros

del suelo: porcentaje de limo + arena muy fina (0,002 - 0,1 mm), porcentaje de arena (0,1 - 0,2 mm), porcentaje de materia orgánica, estructura y permeabilidad.

Para el cálculo del Factor K del suelo se utiliza una ecuación de regresión, en función de las variables representativas de sus propiedades físicas. La regresión establecida viene expresada por la ecuación:

$$100K = 10^{-4} * 2.71 * M^{1.14} * (12-a) + 4.20 (b-2) + 3.23(c-3)$$

Siendo:

M = (100 - % arcilla) (% limo + arena fina)

a: % materia orgánica

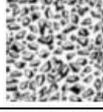
b: Número correspondiente a la estructura del suelo según:

- 1: Gránulo muy fino y grumo muy fino (< 1 mm)
- 2: Gránulo fino y grumo fino (1 - 2 mm)
- 3: Gránulo y grumo medio (2 - 5 mm) y gránulo grueso (5 - 10 mm)
- 4: Gránulo liso, prismático, columnar y muy grueso (> 10 mm)

Los valores de textura, materia orgánica y estructura se refieren a los 15 - 20 cm superiores del suelo, y los de permeabilidad a todo su perfil.

Los valores del código USDA para la estructura del suelo y la permeabilidad del perfil se han establecido cualitativamente a partir de la descripción de campo y de los valores de la granulometría (Cuadro 4 y 5).

Cuadro 4: Valores del código USDA para la estructura del suelo

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

«continuación»

4	Masiva	
----------	---------------	---

FUENTE: Mancilla (2008)

c: Clase de permeabilidad del perfil, según la siguiente codificación del USDA *Soil Survey Manual*:

- 1: Rápida a muy rápida
- 2: Medianamente rápida
- 3: Moderada
- 4: Moderadamente lenta
- 5: Lenta
- 6: Muy lenta

Cuadro 5: Valores del código USDA para permeabilidad del perfil

Código USLE	Permeabilidad	Textura
1	Muy rápida	Arena franca gruesa y arenas
1	Rápida	Arena franca
2	Moderadamente rápida	Franco arenoso
3	Moderada	Franco limoso, Franco, Franco arcillo arenoso
4	Moderadamente lenta	Franco arcillo limoso, Franco arcilloso, Arcillo arenoso, limoso
5	Lenta	Arcillas, Arcillo limoso
6	Muy lenta	Arcillas finas

FUENTE: Soil Survey Manual (1993)

Otra alternativa para determinar el Factor K es tomar sus valores correlacionados con el tipo de suelo (textura y porcentaje de materia orgánica), o con el tipo de material original (litología) (Cuadro 6 y 7).

- Según la textura del suelo

Cuadro 6: Valores del índice de Erodabilidad del suelo aproximado en base a la textura y a la materia orgánica del suelo superficial

Clases texturales	Contenido de materia orgánica		
	0.5%	2%	4%
	<i>K</i>	<i>K</i>	<i>K</i>
Arena	0.07	0.04	0.03
Arena Fina	0.21	0.18	0.13
Arena muy fina	0.55	0.47	0.36
Arena franca	0.16	0.13	0.10
Arena fina franca	0.31	0.26	0.21
Arena muy fina franca	0.57	0.49	0.39
Franco Arenoso	0.31	0.31	0.25
franco arenoso fino	0.46	0.39	0.31
franco arenoso muy fino	0.61	0.53	0.43
Franco	0.49	0.44	0.38
franco limoso	0.62	0.55	0.43
franco arcillo arenoso	0.35	0.33	0.27
franco arcilloso	0.36	0.33	0.27
franco arcillo limoso	0.48	0.42	0.34
Limo	0.78	0.68	0.55
arcillo arenoso	0.18	0.17	0.16
arcillo limoso	0.33	0.30	0.25
Arcilla		0.17-0.38	

FUENTE: ARS (1973) citado por Kirkby y Morgan (1994).

- Según la litología del suelo

Cuadro 7: Valores del Factor K según la Litología del suelo

Factor K	Litología
0.2	"SC 1 Conglomerados"
0.2	"SC 1-2 Conglomerados y areniscas"
0.2	"SC 1-2-4 Conglomerados, areniscas y arcillas"
0.2	"SC 1-4 Conglomerados y arcillas"
0.2	"SC 1-10 Conglomerados y margas"

«continuación»

0.3	"SC 2 Areniscas"
0.3	"SC 2-4 Areniscas y arcillas"
0.3	"SC 2-10 Areniscas y margas"
0.4	"SC 4 Arcillas"
0.4	"SC 4-2 Arcillas y areniscas"
0.4	"SC 4-10 Arcillas y margas"
0.3	"SC 5 Calcáreas"
0.3	"SC 5-2 Calcáreas y areniscas"
0.3	"SC 5-6 Calcáreas y calcarenitas"
0.3	"SC 5-7 Calcáreas y calcáreas margosas"
0.3	"SC 5-9 Calcáreas y dolomías"
0.3	"SC 5-10 Calcáreas y margas"
0.3	"SC 6 Calcarenitas"
0.3	"SC 6-10 Calcarenitas y margas"
0.3	"SC 7 Calcáreas margosas"
0.3	"SC 7-10 Calcáreas margosas y margas"
0.3	"SC 8 Calcáreas tovacias"
0.3	"SC 9 Dolomías"
0.3	"SC 9-5 Dolomías y calcáreas"
0.3	"SC 9-10 Dolomías y margas"
0.5	"SC 10 Margas"
0.5	"SC 10-2 Margas y areniscas"
0.6	"SC 12 Arcillas, margas y yesos"
0.2	"SI 2 Cantos y gravas"
0.2	"SI 2-3 Cantos, gravas y arenas"
0.2	"SI 2-3-4 Cantos, gravas, arenas y limos"
0.2	"SI 2-3-5 Cantos, gravas, arenas y arcillas"
0.2	"SI 2-4 cantos, gravas y limos"
0.2	"SI 2-5 Cantos, gravas y arcillas"
0.2	"SI 3 Arenas"
0.2	"SI 3-2 Arenas, gravas y cantos"
0.2	"SI 3-4 Arenas y limos"
0.2	"SI 3-5 Arenas y arcillas"
0.5	"SI 4 Limos"
0.5	"SI 4-2 Limos, gravas y cantos"
0.5	"SI 4-3 Limos y arenas"

«continuación»

0.5	"SI 4-5 Limos y arcillas"
0.4	"SI 5 Arcillas"
0.4	"M-1 Pizarras y cuarzitas"
0.4	"M-2 Rocas carbonatadas y filitas"
0.4	"M-3 Metabasitas"
0.2	"V-1 Basaltos"
0.2	"V-2 Ofitas"
0.2	"V-3 Brechas y tovas volcánicas"

FUENTE: Gisbert e Ibáñez (2003).

Cuadro 8: Indicadores de la magnitud general del factor K de erodabilidad del suelo

Indicaciones de la magnitud general del factor K de erodabilidad del suelo			
Clase de textura	Contenido de materia orgánica		
	0.5 por ciento	2 por ciento	4 por ciento
	K	K	K
Arena	0.05	0.03	0.02
Arena fina	0.16	0.14	0.10
Arena muy fina	0.42	0.36	0.28
Arena migajosa	0.12	0.10	0.08
Arena fina migajosa	0.24	0.20	0.16
Arena muy fina migajosa	0.44	0.38	0.30
Migajón arenoso	0.27	0.24	0.19
Migajón arenoso fino	0.35	0.30	0.24
Migajón arenoso muy fino	0.47	0.41	0.33
Migajón	0.38	0.34	0.29
Migajón limoso	0.48	0.42	0.33
Limo	0.60	0.52	0.42
Migajón arcilloso arenoso	0.27	0.25	0.21
Migajón arcilloso	0.28	0.25	0.21
Migajón arcilloso limoso	0.37	0.32	0.26
Arcilla arenosa	0.14	0.13	0.12
Arcilla limosa	0.25	0.23	0.19
Arcilla		0.13-0.29	

FUENTE: Gisbert *et al.* (2012).

Cuadro 9: Factor de erodabilidad del suelo (Factor K) de acuerdo al contenido de materia orgánica y textura del horizonte superficial

Clase textural	Materia orgánica (%)			
	0,5	2	4	8
Arenoso	0,05	0,03	0,02	0,05
Arenoso fino	0,16	0,14	0,10	0,07
Arenoso muy fino	0,42	0,36	0,28	0,19
Areno-franco	0,12	0,10	0,08	0,06
Areno-franco fino	0,24	0,20	0,16	0,12
Areno-franco muy fino	0,44	0,38	0,30	0,20
Franco-arenoso	0,27	0,24	0,19	0,12
Franco-arenoso fino	0,35	0,30	0,24	0,19
Franco-arenoso muy fino	0,47	0,41	0,33	0,24
Franco	0,38	0,34	0,29	0,24
Franco-limoso	0,48	0,42	0,33	0,23
Limoso	0,60	0,52	0,42	0,30
Franco-arenoso arcilloso	0,27	0,25	0,21	0,14
Franco-arcilloso	0,28	0,25	0,21	0,16
Franco-limo arcilloso	0,37	0,32	0,26	0,18
Arcillo-arenoso	0,14	0,13	0,12	0,11
Arcillo-limoso	0,25	0,23	0,19	0,14

FUENTE: Stewart *et al.* (1975).

La erodabilidad del suelo puede ser clasificada de acuerdo a su grado, según cuadro propuesto por USDA (1962) (Cuadro 10).

Cuadro 10: Clasificación de los grados de erodabilidad según USDA (1962).

Valor de K (T acre H/T-P acre PG.)	Valor de K (T ha. H/TM MM ha.)	Clasificación
< 0.06	< 0.0775	Muy poco erodable.
0.06 – 0.13	0.0775 – 0.1680	Débilmente erodable.
0.13 – 0.25	0.1680 – 0.3230	Medianamente erodable.
0.26 – 0.52	0.3230 – 0.6784	Fuertemente erodable.
0.52 – 0.78	0.6784 - 1	Extremadamente erodable.

FUENTE: Amezcua (1990).

2.9 FACTOR LS

Metodología de Renard *et al.* (1997)

Factor L

La longitud de la pendiente se define como la distancia horizontal desde donde se origina el flujo superficial al punto donde comienza la deposición o donde la escorrentía fluye a un canal definido (Foster *et al.* 1977, citado por Barrios y Quiñonez 2000).

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m, \quad m = \frac{1}{1+F}, \quad F = \frac{\sin \beta / 0.0896}{3(\sin \beta)^{0.8} + 0.56}$$

Donde:

L = Factor L

λ = Longitud de la pendiente

m = Exponente de la longitud de la pendiente

β = Ángulo de la pendiente

El factor L con el área de drenaje aportadora (Desmet & Govers 1996, citado por Velásquez 2008).

$$L_{(i,j)} = \frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{x^m * D^{m+2} * (22.13)^m}$$

Donde:

$A_{(i,j)}$ = Área aportadora unitaria a la entrada de un pixel

D = Longitud del pixel

x = Factor de corrección de forma (x = 1 para sistemas pixelados)

Factor S

El factor S: El ángulo β se toma como el ángulo medio a todos los grids en la dirección de mayor pendiente (McCool *et al.* 1987,1989, citado por Barrios y Quiñonez 2000).

$$S_{(i,j)} = \begin{cases} 10.8 * \sin \beta_{(i,j)} + 0.03 & \text{si: } \tan \beta_{(i,j)} < 0.09 \\ 16.8 * \sin \beta_{(i,j)} - 0.5 & \text{si: } \tan \beta_{(i,j)} \geq 0.09 \end{cases}$$

Velásquez (2008), menciona, cuando se aplica esta fórmula en el Ráster Calculator de ArcGis se debe tomar en cuenta que el ángulo deberá ser convertido a radianes (1 grado sexagesimal = 0,01745 radianes), para que pueda ser multiplicado por los demás componentes de las ecuaciones.

Método de Mintegui (1983).

García (2005) informa que, este método fue elaborado por la cátedra de Hidráulica e Hidrología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de Madrid, mediante correlación con el mapa de pendientes. Este estudio permitió la elaboración de una tabla que asigna directamente el valor del factor LS en función de la pendiente (RAMOS 2001).

Cuadro 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

FUENTE: Método Mintegui (1983), citado por Ramos (2001) y García (2005).

2.10 FACTOR C

El Factor representa o miden el grado de protección ejercida por los cultivos y la vegetación natural en el proceso de erosión. Para la determinación del Factor C, muchos autores proponen el uso de tablas de valores de C para diversos usos del suelo (Cuadro 12 y 13).

Cuadro 12: Valores del Factor C por Sistema de Uso de Tierra

Sistema de uso de la tierra	Valor C anual representativo
Cultivo limpio	1
Bosque o sistema de cultivo con alta paja de mulch	0.001
Pasto sin uso	0.01

«continuación»

Cubierta cultivo (planta crecimiento lento)	
- Primer año	0.3 – 0.8
- Segundo año	0.1
Cubierta cultivos (crecimiento rápido)	0.1
Maíz, Sorgo, Millo	0.3 – 0.9
Arroz (cultivo intensivo, segundo periodo de cultivo)	0.1 – 0.2
Algodón, Tabaco (segundo periodo de cultivo)	0.5
Groundnut (nuez de tierra)	0.4 – 0.8
Yuca (primer año)	0.2 – 0.8
Palma, Café, Cacao (con cubierta cultivo)	0.1 – 0.3

FUENTE: Roose (1977), citado por Reining (1992).

Cuadro 13: Índices del Factor de Cobertura Vegetal C

Cultivo y práctica	Media anual del factor C
Suelo desnudo	1
Bosque o matorral denso (alto mulch)	0.001
Pradera herbácea en buenas condiciones	0.01
Pradera sobre pastoreada	0.1
Pradera herbácea	0.01 – 0.025
Arbolado denso	0.01 – 0.003
Arbolado forestal clareado	0.003 – 0.009
Matorral con buena cobertura	0.003 – 0.013
Matorral ralo y eriales	0.20 – 0.013
Cultivos anuales y herbáceos	0.25
Pasturas	0.15
Cubierta escasa (60 por ciento)	0.15 – 0.09
Cubierta inapreciable	0.45

FUENTE: Wischmeier (1978), citado por Zúñiga (2017).

El factor C también puede determinarse en función de la clase y calidad de la cobertura, la cual puede oscilar desde un mínimo de 0.003, para coberturas densas y 0.45 para coberturas sin vegetación (Cuadro 14), el cual ha sido elaborado por distintos autores.

Cuadro 14: Valores de C para cobertura vegetal

Tipo y altura de la cobertura	Porcentaje de cubrimiento del suelo					
	Coeficiente C					
	0	20	40	60	80	95-100
Cobertura de pastos bajos	0.45	0.2	0.1	0.042	0.013	0.003
Cobertura de pastos y hierbas (0.5m)	0.36	0.17	0.09	0.038	0.012	0.003
Arbustos (2m)	0.40	0.18	0.09	0.040	0.013	0.003
Árboles (4m)	0.42	0.19	0.10	0.041	0.013	0.003

FUENTE: Suarez (2001).

2.11 FACTOR P

El Factor P, prácticas de conservación de suelos, evalúa la eficacia del control de la erosión de distintas medidas de conservación de suelos tales como: terrazas, cultivo a nivel y otros. En los Cuadros: 15 y 16 se puede apreciar los valores del Factor P que adquieren las distintas prácticas de conservación de suelos.

Cuadro 15: Valores experimentales de P

Práctica de conservación	Factor P
Cultivo a nivel $s = 0 - 1^\circ$	0.50
Cultivo a nivel $s = 2 - 5^\circ$	0.50
Cultivo a nivel $s = 6 - 7^\circ$	0.60
Cultivo a nivel $s = 8 - 9^\circ$	0.70
Cultivo a nivel $s = 10 - 11^\circ$	0.80
Cultivo a nivel $s = 12 - 14^\circ$	0.90
Bancales a nivel	0.14
Bancales a contra pendiente	0.05
Bancales con pendiente, siguiendo la pendiente	0.35
Bancales a nivel con referencia de agua	0.01
Caballones enlazados	0.10 - 0.20

FUENTE: Ramos (2001).

Cuadro 16: Valores de P para barreras con la distancia máxima entre obras

Gradiente de Pendiente	Barreras		Distancia (m)
	Vivas	Muertas	
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

FUENTE: Wischmeier y Smith (1978), citado por Ineter (2005).

En caso que no existiera ninguna practica de conservación de suelos, al Factor P se le asigna el valor 1.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1.1 Ubicación Geográfica

El ámbito de estudio de la cuenca Chamacha se encuentra ubicada entre las coordenadas UTM 18 Sur que va desde 335472.32 a 345314.91 Longitud Oeste; y 8663829.69 a 8677670.52 Latitud Sur. Presentando altitudes que van desde 1550 a 4610 msnm, ocupando una superficie de 8868.49 hectáreas.

3.1.2 Ubicación Hidrográfica

La cuenca Chamacha está ubicada en la parte media de la cuenca del río Lurín (margen derecha del mismo). Anexo 2.1 Mapa de Ubicación.

3.1.3 Ubicación Política

La cuenca Chamacha abarca gran parte de los distritos de Antioquia y San Andrés de Tupicocha, ambos pertenecientes a la Provincia de Huarochirí del departamento de Lima, pero también comprende en muchísima menor proporción parte de los distritos de Santiago de Tuna, San Damián y Lahuaytambo, todos ellos pertenecientes a la Provincia de Huarochirí. Anexo 2.2 Mapa Político.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.2.1 Política

La cuenca Chamacha Tiene una extensión de 8,868.49 hectáreas y desde el punto de vista político administrativo en encuentra dividido en cinco distritos: San Andrés de Tupicocha con una superficie de 6,015.04 hectáreas (67.82 por ciento), Antioquia con una superficie de 2,824.19 hectáreas. (31.85 por ciento), San Damián con una superficie de 15.50 hectáreas (0.17 por ciento), Santiago de Tuna con una superficie de 9.33 hectáreas (0.11 por ciento) y Lahuaytambo con una superficie de 4.43 hectáreas (0.05 por ciento).

La accesibilidad a la parte media y alta de la cuenca se realiza desde la carretera central, entrando por el poblado de Cocachacra, siguiendo hacia Santiago de Tuna y por ultimo llegando a San Andrés de Tupicocha.

La accesibilidad a la parte baja se realiza por la vía que va paralelo al río Lurín hasta llegar a la ciudad de Antioquia.

Dentro de los principales poblados tenemos en su parte baja a la ciudad de Antioquia y el poblado de Payacache, Y en su parte media y alta a la ciudad de San Andrés de Tupicocha y los poblados de San Juan de Pacota, Cullpe y parte de San Cosme. Anexo 2.2 Mapa Político.

3.2.2 Hidrografía y Cuencas

La cuenca Chamacha, cuyo colector principal es la quebrada Chamacha (distrito de Antioquia) y que aguas arriba se denomina Tupicocha (distrito de San Andrés de Tupicocha), es el ámbito de estudio del presente trabajo y tiene una extensión de 8868.49 hectáreas. De acuerdo al análisis hidrográfico se aprecia que la cuenca Chamacha está conformado por cinco subcuencas:

a) Subcuenca Chamacha

La Quebrada Chamacha nace a partir de la unión de la quebrada Lanzaza con la quebrada Tupicocha y finaliza en el río Lurín. La subcuenca Chamacha tiene una extensión de 2821.74 hectáreas (31.82 por ciento) y está conformado dos unidades hidrográficas cuyas aguas desembocan directamente en la Quebrada Chamacha: Intercuenca Chamacha, conformado por varias quebradas secas cuyas aguas desembocan directamente en ambos márgenes de la quebrada Chamacha, ocupa una extensión de 1226.47 hectáreas (13.83 por ciento); y, Microcuenca Yucuri, cuyo colector principal es la quebrada Yucuri, ocupa una extensión de 1595.28 hectáreas (17.99 por ciento).

b) Subcuenca Lanzaza

Cuyo colector principal es la quebrada Lanzaza, ocupa una extensión de 142.36 hectáreas (1.61 por ciento). Y está formado por una sola unidad, la microcuenca Lanzaza.

c) Subcuenca Tupicocha

Cuyo colector principal es la quebrada Tupicocha el cual nace a partir de la unión de la quebrada Pallacache con la quebrada Casama y finaliza al llegar a la altura de la quebrada lanzaza, la sub cuenca Tupicocha ocupa una extensión de 3256.14 hectáreas (36.72 por ciento). Se encuentra conformado por seis unidades hidrográficas: Intercuenca Tupicocha, ocupa una extensión de 548.61 hectáreas (6.19 por ciento); Microcuenca Ñacantacha, ocupa una extensión de 230.65 hectáreas (2.60 por ciento); Intercuenca Cantajoayque, ocupa una

extensión de 624.02 hectáreas (7.04 por ciento); Microcuenca Yanasiri, ocupa una extensión de 629.98 hectáreas (7.10 por ciento); Microcuenca Cantajoayque, ocupa una extensión de 855.28 hectáreas (9.64 por ciento); y, Microcuenca Turco, ocupa una extensión de 367.60 hectáreas (4.15 por ciento).

d) Subcuenca Pallacache

Cuyo colector principal es la quebrada Pallacache, ocupa una extensión de 1450.02 hectáreas (16.35 por ciento) y se encuentra conformado por cinco unidades hidrográficas: Intercuenca Pallacache, ocupa una extensión de 545.40 hectáreas (6.15 por ciento); Microcuenca Mayani, ocupa una extensión de 245.90 hectáreas (2.77 por ciento); Microcuenca Queñihua, ocupa una extensión de 126.56 hectáreas (1.43 por ciento); Microcuenca S/N, ocupa una extensión de 48.13 hectáreas (0.54 por ciento); Microcuenca Vichipampa, ocupa una extensión de 484.03 hectáreas (5.46 por ciento).

e) Subcuenca Casama

Cuyo colector principal es la quebrada Casama, ocupa una extensión de 1163.56 hectáreas (13.12 por ciento) y se encuentra conformado por tres unidades hidrográficas: Microcuenca Casama, ocupa una extensión de 688.46 hectáreas (7.76 por ciento); Microcuenca Pilta Pilta, ocupa una extensión de 112.69 hectáreas (1.27 por ciento); Microcuenca Shoge, ocupa una extensión de 362.41 hectáreas (4.09 por ciento).

Planicie Fluvial

Viene a ser el cauce del río por donde discurre la quebrada intermitente Chamacha y Tupicocha, ocupa una extensión de 34.66 hectáreas (0.39 por ciento). Anexo 2.3 Mapa de Cuencas.

3.2.3 Geología

De acuerdo a la información presentada por GEOCATMIN en su servicio web, se aprecia que la variable geológica presenta nueve unidades:

a) Formación Huarochiri (Ts-h)

Unidad geológica de la era Cenozoico, periodo Terciario, de Época Superior, tipo de roca Volcánica-Sedimentaria, de litología: Tobas riolíticas, areniscas, limolitas, aglomerados, tobas. Ocupa una extensión 4,312.77 hectáreas (48.63 por ciento).

b) Grupo Rímac (Ti-ri)

Unidad geológica de la era Cenozoico, periodo Terciario, Época Inferior, tipo de roca Volcánica-Sedimentaria, de Litología: Andesitas, Flujos de brechas, Tobas andesíticas, Areniscas tobáceas. Ocupa una extensión 3453.63 hectáreas (38.94 por ciento).

c) Roca Ígnea intrusiva (Ts-di)

Unidad geológica de la era Cenozoico, periodo Terciario, tipo de roca Plutónica, de Litología: Diorita. Ocupa una extensión 271.16 hectáreas (3.06 por ciento).

d) Grupo Casma - Fm. Quilmana (Kis-c)

Unidad geológica de la era Mesozoico, periodo Cretáceo, de época Inferior/Superior, tipo de roca Volcánica-Sedimentaria, de Litología: Andesita, Riolita, Calizas, Areniscas. Ocupa una extensión de 260.95 hectáreas (2.94 por ciento).

e) Superunidad Santa Rosa (Ks-tgd-sr)

Unidad geológica de la era Mesozoico, periodo Cretáceo, época Superior, tipo de roca Plutónica, de litología: Tonalita, Granodiorita. Ocupa una extensión de 217.15 hectáreas (2.45 por ciento).

f) Depósito coluvial (Q-col)

Unidad geológica de la era Cenozoico, periodo Cuaternario, tipo de roca Sedimentaria, de Litología: Gravas y bloques subangulosos con matriz areniscosa y limosa. Ocupa una extensión de 165.91 hectáreas (1.87 por ciento).

g) Depósito coluvio-deluvial (Q-cd)

Unidad geológica de la era Cenozoico, periodo Cuaternario, tipo de roca Sedimentaria, de litología: Gravas y bloques subangulosos con matriz areniscosa y arcillosa. Ocupa una extensión de 47.67 hectáreas (0.54 por ciento).

h) Depósito aluvial (Q-al)

Unidad geológica de la era Cenozoico, periodo Cuaternario, época Reciente, tipo de roca Sedimentaria, de litología: Arenas, Gravas, Arcillas. Ocupa una extensión de 104.59 hectáreas (1.18 por ciento).

i) Depósito fluvial (Q-al)

Unidad geológica de la era Cenozoico, periodo Cuaternario, época Reciente, tipo de roca Sedimentaria, de Litología: Arenas, Gravas, Limo. Ocupa una extensión de 34.66 hectáreas (0.39 por ciento). Anexo 2.4 Mapa Geológico.

3.2.4 Pendientes

De acuerdo al análisis de pendientes realizado mediante el modelo digital de elevación (DEM) y las curvas de nivel de la carta nacional, se aprecia que la cuenca Chamacha tiene seis grupos de pendientes:

a) Inclinado (de 4 a 8 por ciento)

Ocupa una extensión de 45.17 hectáreas y representa el (0.51 por ciento) del territorio.

b) Fuertemente Inclinado (de 8 a 15 por ciento)

Ocupa una extensión de 314.55 hectáreas y representa el (3.55 por ciento) del territorio.

c) Moderadamente Empinado (de 15 a 25 por ciento)

Ocupa una extensión de 938.58 hectáreas y representa el (10.58 por ciento) del territorio.

d) Empinado (de 25 a 50 por ciento)

Ocupa una extensión de 4,144.07 hectáreas y representa el (46.73 por ciento) del territorio.

e) Muy Empinado (de 50 a 75 por ciento)

Ocupa una extensión de 2,952.42 hectáreas y representa el (33.29 por ciento) del territorio.

f) Extremadamente Empinado (mayor a 75 por ciento)

Ocupa una extensión de 473.69 hectáreas y representa el (5.34 por ciento) del territorio.

Anexo 2.5 Mapa de Pendientes.

3.2.5 Geomorfología

De acuerdo a la información presentada por GEOCATMIN en su servicio web, se aprecia que el ámbito de estudio presenta ocho unidades geomorfológicas las cuales son las siguientes:

a) Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at)

Ubicado en la parte baja de la cuenca y cercano a la ribera de las quebradas Chamacha y Tupicocha, con pendientes de 0 a 15 por ciento, viene a ser un primer nivel donde se desarrollan procesos de erosión fluvial principalmente. Ocupa un área de 139.25 hectáreas (1.57 por ciento).

b) Vertiente coluvial de detritos (V-d)

ubicado en los conos de deyección y piedemontes cercanos a la Planicie aluvial, con una pendiente que va de 15 a 25 por ciento, se desarrollan procesos de flujos de masas, ocupan un área de 165.91 hectáreas (1.87 por ciento).

c) Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd)

depósitos ubicados en la parte media de la cuenca Chamacha en laderas de pendiente que van de 15 a 25 por ciento donde se desarrollan procesos de erosión laminar, ocupan un área de 47.67 hectáreas (0.54 por ciento).

d) Colina y lomada en roca intrusiva (RCL-ri)

ubicadas en la parte media de la cuenca Chamacha y forman parte de la zona de colinas y lomadas, tienen una pendiente que va de 15 a 25 por ciento y ocupan un área de 5.56 hectáreas (0.06 por ciento).

e) Colina y lomada en roca volcano-sedimentaria (RCL-rvs)

ubicadas en la parte media de la cuenca Chamacha, tienen una pendiente que va de 15 a 50 por ciento, conforman un segundo nivel donde se desarrollan procesos de erosión laminar, ocupando un área de 1337.19 hectáreas (15.08 por ciento).

f) Montaña en roca intrusiva (RM-ri)

ubicadas en la parte baja y media de la cuenca Chamacha, con pendientes que van de 25 a 75 por ciento, ocupando un área de 482.75 hectáreas (5.44 por ciento).

g) Montaña en roca volcano-sedimentaria (RM-rvs)

ubicada en la parte baja, media y alta de la cuenca Chamacha, con pendientes que van de 25 a 75 por ciento; en la parte baja se desarrollan procesos de caída de rocas, en la parte media se desarrollan procesos de erosión laminar, en la parte alta se desarrollan procesos de erosión laminar y erosión por surcos y cárcavas, esta unidad geomorfológica ocupa un área de 6416.37 hectáreas (72.35 por ciento).

h) Colina y lomada en roca volcano-sedimentaria (RCL-rvs)

ubicada en la cima de montaña de la parte más alta de la cuenca Chamacha con pendientes que van de 15 a 25 por ciento, viene a ser un tercer nivel debido a que continua más allá del ámbito de la cuenca, en dicho nivel se desarrollan procesos denudacionales, ocupan un área de 273.79 hectáreas (3.09 por ciento). Anexo 2.6 Mapa Geomorfológico.

3.2.6 Fisiografía

De acuerdo al análisis fisiográfico realizado en el ámbito de estudio se han encontrado ocho unidades fisiográficas a nivel de Paisajes los cuales son los siguientes:

a) Planicie Fluvial (PF)

Se encuentra ubicada en el cauce de las quebradas intermitentes Chamacha y Tupicocha, en dicha unidad el río viene realizando el modelado con el arrastre y aporte de material, tiene una pendiente que va de 0 a 8 por ciento, ocupa una extensión de 34.66 hectáreas (0.39 por ciento).

b) Planicie Aluvial (PA)

Se encuentra ubicada cerca al cauce de las quebradas intermitentes Chamacha y Tupicocha, en dicha unidad hubo anteriormente aportes de material y la acción del río es menor debido a que se encuentran ubicadas a mayor altura, tiene una pendiente que va de 0 a 15 por ciento, ocupa una extensión de 104.59 hectáreas (1.18 por ciento).

c) Montaña con Deposito Coluvial (MCo)

Se encuentra ubicada en los conos de deyección y piedemontes cercanos a la planicie aluvial, pero también en áreas allanadas debajo de fuertes estribaciones que posibilitan el arrastre de material y cierta acumulación, ocupan una extensión de 165.91 hectáreas (1.87 por ciento).

d) Montaña con Deposito Coluvio-Deluvial (MCoDe)

Se encuentra ubicada en áreas allanadas debajo de áreas de fuerte pendiente que aunado a la presencia de lluvias posibilitaron el arrastre de material y acumulación del mismo, ocupa una extensión de 47.67 hectáreas (0.54 por ciento).

e) Colina Intrusiva (CI)

Se encuentra conformando parte de la zona de colinas, ocupa una extensión de 5.56 hectáreas (0.06 por ciento).

f) Colina Volcánica Sedimentaria (CVS)

Se encuentra ubicada en la parte media y alta de la cuenca; en la parte media se encuentra ubicada en zonas medio allanadas de Colinas y lomadas y en la parte alta se encuentra ubicada en la cima de montaña de la parte más alta la cual forma parte de un sistema colinoso y de lomadas que continua más allá del ámbito de la cuenca, ocupa una extensión de 1610.98 hectáreas (18.17 por ciento).

g) Montaña Intrusiva (MI)

Se encuentra ubicada en la parte baja y media de la cuenca; en la parte baja posee laderas disectadas, y hay relativa presencia de afloramientos líticos, en la parte media la disectación

y los afloramientos líticos disminuyen, esta unidad ocupa una extensión de 482.75 hectáreas (5.44 por ciento).

h) Montaña Volcánica Sedimentaria (MVS)

Se encuentra ubicada en la parte baja, media y alta de la cuenca; en la parte baja se nota la presencia de laderas disectadas y con relativa presencia de afloramientos líticos, en la parte media las laderas tienen una disectación ligera y la presencia de afloramientos líticos disminuye, en la parte alta la disectación de las laderas disminuye, la presencia de afloramientos líticos se encuentra de manera localizada en las partes más altas de la cuenca, esta unidad ocupa una extensión de 6416.37 hectáreas (72.35 por ciento). Anexo 2.7 Mapa Fisiográfico.

3.2.7 Zonas de Vida

De acuerdo al Sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge se han encontrado siete unidades en el ámbito de estudio las cuales son las siguientes:

a) matorral desértico – Premontano Tropical (md-PT)

Se caracteriza por tener una precipitación promedio anual mínima de 125 mm, precipitación promedio anual máxima de 250 mm y una precipitación promedio anual media de 188 mm, Provincia de Humedad Árido, biotemperatura media anual mínima de 17°, biotemperatura media anual máxima de 24°, biotemperatura media anual promedio de 21°, formación ecológica matorral desértico, Piso altitudinal Premontano, Región Latitudinal Tropical, ocupa una extensión de 649.02 hectáreas (7.32 por ciento).

b) matorral desértico - Montano Bajo Tropical (md-MBT)

Se caracteriza por tener una precipitación promedio anual mínima de 125 mm, precipitación promedio anual máxima de 250 mm, precipitación promedio anual media de 188 mm, Provincia de humedad Árido, biotemperatura media anual mínima de 12°, biotemperatura media anual máxima de 17°, biotemperatura media anual promedio de 15°, formación ecológica matorral desértico, Piso altitudinal Montano Bajo, Región Latitudinal Tropical, ocupa una extensión de 1255.55 hectáreas (14.16 por ciento).

c) estepa espinosa - Montano Bajo Tropical (ee-MBT)

Se caracteriza por tener una precipitación promedio anual mínima de 250 mm, precipitación promedio anual máxima de 500, precipitación promedio anual media de 375 mm, Provincia de humedad Semiárido, Biotemperatura media anual mínima de 12°, biotemperatura media

anual máxima de 17°, biotemperatura media anual promedio de 15°, Formación ecológica estepa espinosa, Piso altitudinal Montano Bajo, Región Latitudinal Tropical, ocupa una extensión de 1231.30 hectáreas (13.88 por ciento).

d) estepa - Montano Tropical (e-MT)

Se caracteriza por tener una precipitación promedio anual mínima de 250 mm, precipitación promedio anual máxima de 500, precipitación promedio anual media de 375 mm, Provincia de humedad Subhúmedo, biotemperatura media anual mínimo 6°, biotemperatura media anual máximo de 12°, biotemperatura media anual promedio de 9°, Formación Ecológica estepa, Piso altitudinal Montano, Región Latitudinal Tropical, ocupa una extensión de 1875.90 hectáreas (21.15 por ciento).

e) bosque húmedo - Montano Tropical (bh-MT)

Se caracteriza por tener una precipitación promedio anual mínima de 500, precipitación promedio anual máxima de 1000, precipitación promedio anual media de 750 mm, Provincia de humedad Húmedo, biotemperatura media anual mínimo de 6°, biotemperatura media anual máximo de 12°, biotemperatura media anual promedio de 9°, Formación ecológica bosque húmedo, Piso altitudinal Montano, Región latitudinal Tropical, ocupa una extensión de 1826.65 hectáreas (20.60 por ciento).

f) páramo muy húmedo - Subalpino Tropical (pmh-SaT)

Se caracteriza por tener una precipitación promedio anual mínima de 500 mm, precipitación promedio anual máxima de 1000 mm, precipitación promedio anual media 750 mm, Provincia de humedad Perhúmedo, biotemperatura media anual mínima de 3°, biotemperatura media anual máxima de 6°, biotemperatura media anual promedio de 5°, Formación ecológica páramo muy húmedo, Piso Altitudinal Subalpino, Región Latitudinal Tropical, ocupa una extensión de 1742.40 hectáreas (19.65 por ciento).

g) tundra pluvial - Alpino Tropical (tp-AT)

Se caracteriza por tener una precipitación promedio anual mínima de 500 mm, precipitación promedio anual máxima de 1000, precipitación promedio anual media de 750 mm, Provincia de humedad Superhúmedo, biotemperatura media anual mínima de 1.5°, biotemperatura media anual máxima de 3°, biotemperatura media anual promedio de 2.25°, Formación ecológica tundra pluvial, Piso Altitudinal Alpino, Región Latitudinal Tropical, ocupa una extensión de 287.67 hectáreas (3.24 por ciento). Anexo 2.8 Mapa de Zonas de Vida.

3.2.8 Suelos

De acuerdo al Sistema Americano de clasificación de suelo (SOIL TAXONOMY, 2014) se han encontrado cinco Sub Grupos en el ámbito de estudio las cuales son las siguientes:

a) Typic Ustifluents

Son suelos ubicados en la planicie aluvial y fluvial de la quebrada intermitente Chamacha y Tupicocha, son de origen aluvial, se caracterizan por tener una profundidad que va de profundo a moderadamente profundo, Textura Arena Franca, materia orgánica que va de 0.5 a 2 por ciento, ocupando una extensión de 139.77 hectáreas (1.58 por ciento).

b) Lithic Ustorhents

Son suelos ubicados principalmente en laderas de Montaña, caracterizan por tener presencia de lecho rocoso y profundidad superficial, de Textura: Arena franca, Franco Arenoso o Franco, materia orgánica que va de 0.5 a 2 por ciento, ocupan una extensión de 6027.64 hectáreas (67.97 por ciento).

c) Typic Ustorhents

Son suelos ubicados principalmente en laderas de Colinas y lomadas, se caracterizan por tener una profundidad moderadamente profundo, de Textura: Arena franca, Franco Arenoso o Franco, materia orgánica que va de 0.5 a 2 por ciento, ocupando una extensión de 1569.57 hectáreas (17.70 por ciento).

d) Lithic Cryorthents

Son suelos ubicados laderas de montañas o colinas, pero de clima frio, caracterizan por tener presencia de lecho rocoso y tener una profundidad superficial, de Textura: Franco, materia orgánica de 2 por ciento, ocupan una extensión de 841.16 hectáreas (9.48 por ciento).

e) Typic Haplocryands

Son suelos ubicados en laderas de montañas o colinas de clima frio, son de origen volcánico, se caracterizan por tener una profundidad moderadamente profundo, de Textura: Franco arenoso, materia orgánica de 0.5 por ciento, ocupan una extensión de 290.35 hectáreas (3.27 por ciento). Anexo 2.9 Mapa de Suelos.

3.2.9 Pisos Altitudinales

De acuerdo a las regiones altitudinales propuestas por Javier Pulgar Vidal, las Zonas de Vida según el Sistema Holdridge y salidas técnicas de campo se pudo apreciar que la variable Piso altitudinal presenta diez rangos altitudinales diferenciados los cuales son los siguientes:

a) Rango altitudinal de 1495 a 2000 msnm

Este rango altitudinal pertenece a la Región Yunga, su Zona de vida es Matorral Desértico Premontano Tropical (md-PT), la cobertura vegetal predominante es de tipo Matorral Desértico con densidad Ralo, presenta los siguientes cultivos permanentes: Lúcumá, Chirimoya, Palto, Manzano, Durazno, Tuna, ocupando un área de 546.86 hectáreas (6.17 por ciento).

b) Rango altitudinal de 2000 – 2500 msnm

Este rango altitudinal pertenece a la Región Yunga, su Zona de vida es Matorral Desértico Montano Bajo Tropical (md-MBT), la cobertura vegetal natural predominante es de tipo Matorral Desértico con densidad media, los cultivos permanentes principales son: Palto, Manzano, Durazno y Tuna, ocupando un área de 1223.27 hectáreas (13.79 por ciento).

c) Rango altitudinal de 2500 – 2800 msnm

Este rango altitudinal pertenece a la Región Quechua, de zona de vida: Estepa Espinosa Montano Bajo Tropical (ee-MBT), la cobertura vegetal natural predominante es: Matorral Arbustivo con menor presencia de Matorral Desértico, los cultivos permanentes predominantes son: Manzano, Durazno y Ciruelo, ocupando una superficie de 810.40 hectáreas (9.14 por ciento).

d) Rango altitudinal de 2800 – 3000 msnm

Este rango altitudinal pertenece a la Región Quechua, de zona de vida: Estepa Espinosa Montano Bajo Tropical (ee-MBT), la cobertura vegetal natural predominante es de tipo Matorral Arbustivo, el cultivo permanente es el Ciruelo, los cultivos transitorios principales son: Habas y Alverja, este rango altitudinal tiene una extensión de 514.89 hectáreas (5.81 por ciento).

e) Rango altitudinal de 3000 – 3500 msnm

Este rango altitudinal pertenece a la Región Quechua, de zona de vida: Estepa Montano Tropical (e-MT), la cobertura vegetal natural predominante es de tipo Matorral Arbustivo, no hay cultivos permanentes de frutales, pero hay plantaciones forestales de Pino y

Eucalipto, los cultivos transitorios predominantes son: Habas y Alverja, este rango altitudinal ocupa una extensión de 2000.23 hectáreas (22.55 por ciento).

f) Rango altitudinal de 3500 – 3650 msnm

Este rango altitudinal pertenece a la Región Suní, de zona de vida Bosque Húmedo Montano Tropical (bh-MT), la cobertura vegetal natural es de tipo Matorral Arbustivo denso, presenta plantaciones forestales de Pino y Eucalipto, los cultivos transitorios predominantes son: Papa y Cebada, este rango altitudinal ocupa una extensión de 982.38 hectáreas (11.08 por ciento).

g) Rango altitudinal de 3650 – 3800 msnm

Este rango altitudinal pertenece a la Región Suní, de zona de vida Bosque Húmedo Montano Tropical (bh-MT), la cobertura vegetal natural predominante es Matorral Arbustivo Denso, presenta plantaciones forestales de Eucalipto y Pino, los cultivos transitorios predominantes son: Cebada y Oca, este rango altitudinal ocupa una extensión de 703.87 hectáreas (7.94 por ciento).

h) Rango altitudinal de 3800 – 4000 msnm

Este rango altitudinal pertenece a la Región Suní, de zona de vida Paramo muy Húmedo Subalpino Tropical (pmh-ST), no presenta plantaciones forestales ni cultivos transitorios significativos, la cobertura vegetal natural predominante son pasturas alto andinas, este rango altitudinal ocupa una extensión de 906.96 hectáreas (10.23 por ciento).

i) Rango altitudinal de 4000 – 4500 msnm

Este rango altitudinal pertenece a la Región Puna, de zona de vida Paramo muy Húmedo Subalpino Tropical (pmh-ST), no presenta plantaciones forestales ni cultivos transitorios, la cobertura vegetal predominante son pasturas alto andinas, este rango altitudinal ocupa una extensión de 1118.75 hectáreas (12.61 por ciento).

j) Rango altitudinal de 4500 – 4800 msnm

Este rango altitudinal pertenece a la Región Puna, de zona de vida Tundra Pluvial Alpino Tropical (tp-AT), la cobertura vegetal predominante son pasturas alto andinas, pero con una altura y densidad mucho menor, este rango altitudinal ocupa una extensión de 60.88 hectáreas (0.69 por ciento). Anexo 2.10 Mapa de Pisos Altitudinales.

3.2.10 Cobertura y Uso Actual de la Tierra

De acuerdo Suarez (2001) las coberturas vegetales se agrupan en cuatro grupos, los otros dos grupos siguientes no están relacionados a coberturas vegetales. Los seis grupos de Cobertura y Uso Actual de la Tierra son los siguientes:

a) Cobertura de pastos y hierbas (0.5 m)

Este grupo se ubica en la parte media y alta de la cuenca y ocupa una extensión de 4175.08 ha. (47.08 por ciento) y se compone de diez unidades identificadas en campo los cuales son las siguientes:

- **Pastizal y Arbustal**
Ocupa una extensión de 1591.92 hectáreas (17.95 por ciento)
- **Pastizal**
Ocupa una extensión de 1127.82 hectáreas (12.72 por ciento)
- **Cultivo en Limpio**
Ocupa una extensión de 498.28 hectáreas (5.62 por ciento)
- **Pastizal y Cultivo en Limpio**
Ocupa una extensión de 448.43 hectáreas (5.06 por ciento)
- **Cultivo en Limpio y Pastizal**
Ocupa una extensión de 403.14 hectáreas (4.55 por ciento)
- **Cultivo en Limpio y Bosque**
Ocupa una extensión de 37.35 hectáreas (0.42 por ciento)
- **Pastizal Ralo y Arbustal**
Ocupa una extensión de 31.27 hectáreas (0.35 por ciento)
- **Cultivo en Limpio y Arbustal**
Ocupa una extensión de 17.55 hectáreas (0.20 por ciento)
- **Cultivo en Limpio y Plantación Frutal**
Ocupa una extensión de 10.61 hectáreas (0.12 por ciento)
- **Pastizal Ralo y Arbustal Ralo**
Ocupa una extensión de 8.71 hectáreas (0.10 por ciento)

b) Arbustos (2m)

Este grupo se ubica en la parte media de la cuenca y ocupa una extensión de 2126.93 hectáreas (23.98 por ciento) y se compone de once unidades identificadas en campo las cuales son las siguientes:

- **Arbustal y Pastizal**
Ocupa una extensión de 1687.22 hectáreas (19.02 por ciento)
- **Plantación Frutal**
Ocupa una extensión de 205.93 hectáreas (2.32 por ciento)
- **Arbustal**
Ocupa una extensión de 92.84 hectáreas (1.05 por ciento)
- **Arbustal y Bosque**
Ocupa una extensión de 70.97 hectáreas (0.80 por ciento)
- **Plantación Frutal y Arbustal**
Ocupa una extensión de 35.72 hectáreas (0.40 por ciento)
- **Monte Ribereño y Matorral Desértico Ralo**
Ocupa una extensión de 24.41 hectáreas (0.28 por ciento)
- **Arbustal y Suelo Degradado**
Ocupa una extensión de 4.75 hectáreas (0.05 por ciento)
- **Arbustal y Cultivo en Limpio**
Ocupa una extensión de 2.04 hectáreas (0.02 por ciento)
- **Plantación Frutal Ralo**
Ocupa una extensión de 1.97 hectáreas (0.02 por ciento)
- **Plantación Frutal y Cultivo en Limpio**
Ocupa una extensión de 0.71 hectáreas (0.01 por ciento)
- **Arbustal Ralo**
Ocupa una extensión de 0.38 hectáreas (0.004 por ciento)

c) Cobertura de pastos bajos

Este grupo se ubica en la parte baja (en la zona árida) y en la parte más alta de la cuenca (donde el clima es frígido y los suelos son de mala calidad), ocupa una extensión de 1798.42 hectáreas (20.28 por ciento) y se compone de cuatro unidades identificadas en campo las cuales son los siguientes:

- **Matorral Desértico**
Ocupa una extensión de 824.67 hectáreas (9.30 por ciento)
- **Matorral Desértico Ralo**
Ocupa una extensión de 584.31 hectáreas (6.59 por ciento)
- **Pastizal Ralo**
Ocupa una extensión de 293.25 hectáreas (3.31 por ciento)
- **Pastizal y Matorral Desértico**
Ocupa una extensión de 96.20 hectáreas (1.08 por ciento)

d) Arboles (4m)

Este grupo se ubica en la parte media de la cuenca (en la zona húmeda) o en algunas zonas de la parte baja bajo riego, ocupa una extensión de 51.98 hectáreas (0.59 por ciento) y se compone de siete unidades identificadas en campo las cuales son los siguientes:

- **Bosque**
Ocupa una extensión de 24.54 hectáreas (0.28 por ciento);
- **Plantación Frutal Denso**
Ocupa una extensión de 11.06 hectáreas (0.12 por ciento)
- **Monte Ribereño**
Ocupa una extensión de 8.43 hectáreas (0.10 por ciento)
- **Bosque y Arbustal**
Ocupa una extensión de 3.77 hectáreas (0.04 por ciento)
- **Bosque y Cultivo en Limpio**
Ocupa una extensión de 2.98 hectáreas (0.03 por ciento)
- **Bosque y Pastizal**
Ocupa una extensión de 0.68 hectáreas (0.01 por ciento)
- **Bosque Ralo**
Ocupa una extensión de 0.51 hectáreas (0.01 por ciento)

e) Suelo Desnudo

Este grupo se ubica en la parte media de la cuenca ocupa una extensión de 18.68 hectáreas (0.21 por ciento).

f) Otras Unidades

Este grupo está compuesto por unidades que se encuentran fuera del escenario de erosión, ocupa una extensión de 4175.08 hectáreas (47.08 por ciento) y se compone de seis unidades identificadas en campo:

- **Afloramiento Lítico**
Viene a ser los afloramientos rocosos, son unidades no edáficas y ocupan una extensión de 615.69 hectáreas (6.94 por ciento).
- **Planicie Fluvial de Quebrada Intermitente**
Viene a ser el cauce donde discurre el agua de la quebrada la cual se encuentra en constante modelado debido a la acción de arrastre y acarreo de nuevos materiales, ocupa una extensión de 28.41 hectáreas (0.32 por ciento).
- **Masa de Agua**
Se refiere a las lagunas o Reservorios existentes en la cuenca, ocupa una extensión de 11.29 hectáreas (0.13 por ciento).
- **Área Urbana**
Es el área urbana consolidada, ocupa una extensión de 30.19 hectáreas (0.34 por ciento).
- **Área Urbana Discontinua**
Es el área urbana que se halla menos consolidada (más dispersa), ocupa una extensión de 11.44 hectáreas (0.13 por ciento).
- **Infraestructura**
Ocupa una extensión de 0.37 hectáreas. (0.004 por ciento). Anexo 2.11 Mapa de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo (según datos de campo); y Anexo 2.12 Mapa de Cobertura Vegetal (Adaptado).

3.3 MATERIALES Y EQUIPOS

3.3.1 Materiales y Equipos de Campo

- GPS
- Cámara Digital
- Mapa del ámbito de estudio
- Cuaderno de Campo
- Wincha

3.3.2 Materiales y Equipos de Gabinete

- Laptop Core i7
- Impresora a color
- USB
- Útiles de Escritorio
- Software ArcGIS v10.3
- Software Rstudio v1.1.456
- Software Sas Planet v16
- Software Google Earth

3.3.3 Imágenes de Satélite

a) DEM

Se usó el Modelo Digital de Elevación ASTER GDEM 2 (Global Digital Elevation Model) de 30 m de resolución espacial, producido por el Ministerio de Economía, e Industria de Japón (METI) y la Administración Nacional Aeronáutica Espacial (NASA).

b) Imagen de Satélite LandSAT8

Imágenes de Satélite Land Sat 8 proporcionada por el Servicio Geológico de los Estados Unidos de fecha: 02/09/2018, están compuestas por diferentes bandas espectrales, que sirven para estudios de cobertura terrestre: vegetación, suelos, forestación, nieve agua, etc., a continuación, se detalla las características de la imagen utilizada:

Cuadro 17: Características de la Imagen de Satélite LandSat8 utilizada.

Imagen	Sensor	Banda	Resolución Espacial	Escena	Fecha de la Imagen	Localización
LandSat8	OLI_TIRS	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10 y 11	30 m.	007-068	02/09/2018	Lima - Junín
LandSat8	OLI_TIRS	8	15 m.	007-068	02/09/2018	Lima - Junín

FUENTE: Metadato de la imagen de satélite utilizada.

c) Imagen *Bing Maps - satélite*

Imágenes de *Bing Maps – satellite* de fecha: 09/06/2009 a 03/07/2016 y 0.29 m de resolución espacial, descargado mediante el programa Sas Planet a un Zoom de 20 en formato ECW, georeferenciada en el Sistema de Coordenadas Geográficas WGS84. Utilizado como apoyo para el acondicionamiento de la información recopilada.

3.3.4 Información cartográfica

Se recopiló la siguiente información cartográfica:

- Mapa Base 1:25 000 PSAD56 (IGN)
- Mapa Base 1:100 000 WGS84 (IGN)
- Mapa Geológico 1:100 000 (GEOCATMIN)
- Mapa Geológico 1: 50 000 (GEOCATMIN)
- Mapa Geomorfológico: 1: 250 000 (GEOCATMIN)
- Mapa Fisiográfico 1: 100 000 (MINAM)
- Zonas de Vida 1: 250 000 (MINAM)
- Mapa de Suelos 1: 250 000 (MINAM)

Se generó la siguiente información cartográfica:

- **Mapa de Pendientes**

Se utilizó el DEM, para generar el mapa de pendientes, con apoyo de las curvas de nivel de la Carta Nacional 1/25 000 y la Imagen Bing Maps - satélite.

- **Mapa de Pisos Altitudinales**

Generado mediante el DEM, consta de franjas altitudinales establecidas en base a los cambios en el tipo de cobertura vegetal, precipitación y temperatura en relación a su variación altitudinal.

3.3.5 Producto PISCOp

El SENAMHI ha generado la base de datos PISCO (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations) por sus siglas en inglés. El producto PISCO de precipitación (PISCOp) en su versión diaria (PISCOpd) y mensual (PISCOpm) es el resultado de la combinación de datos de estaciones terrenas con climatologías, reanálisis y productos satelitales de estimación de lluvias para obtener una base de datos grillada a nivel nacional de alta resolución espacial (~ 5*5 km); los datos grillados abarcan una serie temporal que se inicia el 1ro de enero 1981 hasta el 31 de diciembre del 2016, facilitando de este modo mayor disponibilidad de los datos de precipitación.

Para la generación de PISCO precipitación diario (PISCOpd) y PISCO precipitación mensual (PISCOpm) se tuvieron que dar siguientes subprocesos:

- Control de calidad de la información pluviométrica de las estaciones.
- Análisis exploratorio de la información satelital de precipitaciones (CHIRPS mensual y diario).

- Mezcla de la información pluviométrica de las estaciones con la información satelital de precipitaciones modificada (CHIRPM).
- Validación del producto PISCOp.

Disponibilidad del producto PISCO

El producto PISCOp con una resolución ~ 5 Km está disponible en la página web del SENMAHI en formato NETCDF. (<http://www.senamhi.gob.pe>). Para más detalles de la metodología de PISCOp se está elaborando un artículo científico para su publicación en los próximos meses. Además, las versiones anteriores de PISCOp se pueden tener en el link ftp mostrado: “<http://www.senamhi.gob.pe/?p=observacion-de-inundaciones>”.

3.4 METODOLOGÍA

3.4.1 Delimitación de la cuenca Chamacha

Para la delimitación de la cuenca se siguió la siguiente secuencia metodológica:

- Descarga del Modelo Digital de Elevación
- Corte del ámbito aproximado de Estudio con buffer de seguridad
- Corrida del Modelo de Delimitación de la cuenca mediante el programa ArcGIS.
- Remapeo de la cuenca con el apoyo de información externa (Curvas de Nivel e imágenes BingMaps).
- Salida de Campo principalmente para validar los límites de la parte baja cercanos a la desembocadura de la quebrada Chamacha.
- Elaboración del Mapa de la cuenca Chamacha con los Límites definitivos.

El bosquejo de la secuencia metodológica para la delimitación de la cuenca se puede apreciar en la Figura 2 y 3.

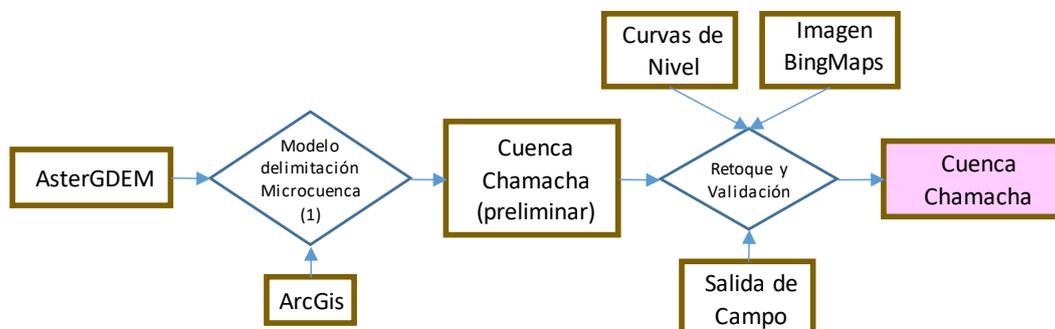


Figura 2: Secuencia metodológica de la delimitación de la cuenca Chamacha

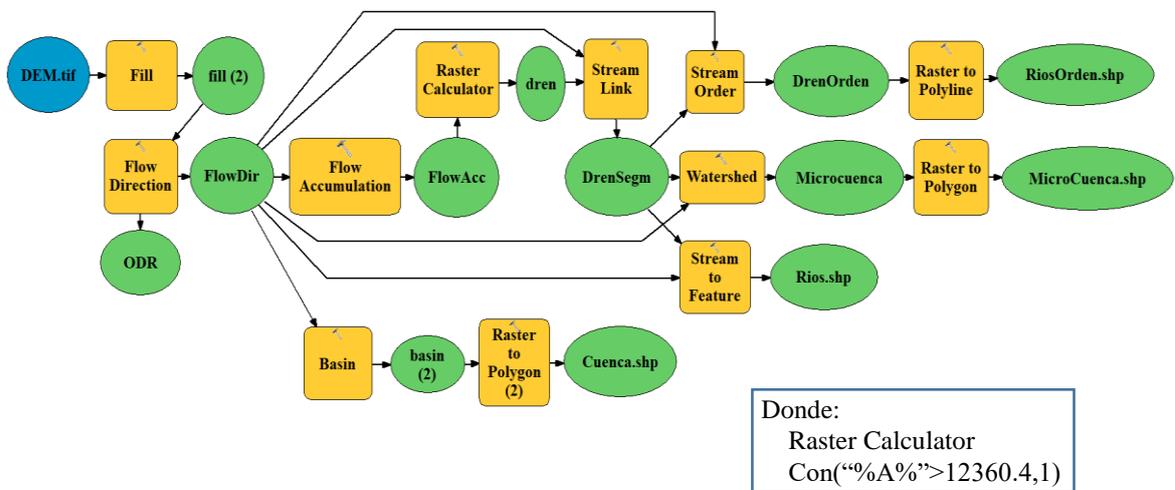


Figura 3: Modelo en ArcGIS para delimitación de la cuenca

3.4.2 Acondicionamiento de la Información Temática

La información cartográfica recopilada fue revisada, analizada y acondicionados con la finalidad de lograr la consistencia y concordancia cartográfica y de base de datos adecuadas para su posterior utilización en la realización del presente estudio de erosión potencial. Dichos procedimientos fueron realizados siguiendo la secuencia metodológica mostrada en la Figura 4.

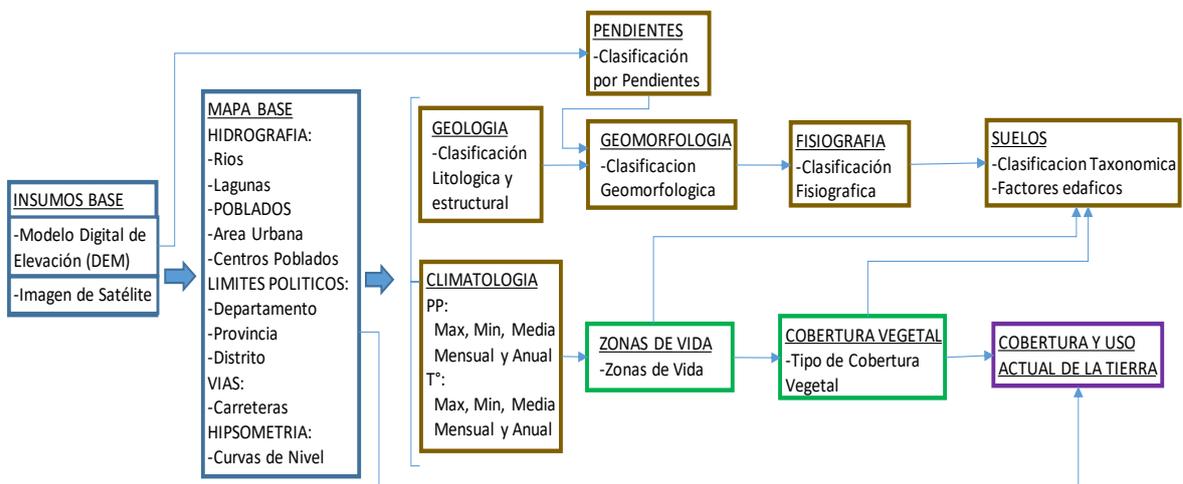


Figura 4: Secuencia de Elaboración y/o Acondicionamiento de Información Temática

FUENTE: Elaboración propia,

3.4.3 Determinación del Factor de Erosividad de la lluvia, R

Para la determinación del Factor R se siguieron los siguientes pasos:

a) Definición de datos de Precipitación Pluvial a utilizarse en el estudio.

SENAMHI es el ente competente y oficial de la información meteorológica y de precipitación en el Perú. La información de precipitación que provee podría agruparse en dos clases: Los datos de precipitación de las estaciones meteorológicas y los datos de precipitación del producto PISCO.

Se optó por utilizar los datos provenientes del producto PISCO de precipitación (PISCOp) debido a que ofrece las siguientes ventajas:

- Los datos de Precipitación han tenido un proceso de control de calidad de la información.
- Los datos de Precipitación han sido integrados con los datos CHIRPM lo cual ha producido una mejora de la información.
- El producto final de esta integración PISCOp, está validado.
- El grillado de PISCOp tiene una resolución espacial de 0.05° el cual es mayor a la derivada de las estaciones meteorológicas.
- La serie temporal de Precipitación de PISCOp se halla completa desde 01/01/1981 hasta el 31/12/2016 (36 años).
- El producto PISCO tiene la Nota Técnica 001 SENAMHI-DHI-2017 para el uso del mismo y se observa que para fines del presente estudio procede su uso.

b) Descarga de datos de Precipitación

Los datos de precipitación fueron descargados del Programa PISCO precipitación (PISCOp) el mismo que consiste en información grillada ($0.05^\circ \sim 5\text{km}$) de precipitación (mensual y diaria) en el periodo 1981-2016 a nivel nacional. Datos que se encuentran en formato “nc”, los mismos que se encuentran disponibles en la página web del SENAMHI.

c) Extracción de Datos

Para determinar el Factor R de la cuenca, se optó por considerar un total de 42 centroides del grillado de PISCOp relacionados al ámbito de estudio (Anexo 1.1). El centroide de cada grilla (pixel), es el punto más representativo del mismo. Cada centroide vendría a representar una estación meteorológica.

Para extraer los datos de precipitación en formato “nc” se utilizó el script en lenguaje de programación R proporcionado por el programa PISCO, el cual lo extrae en formato CSV. Ver Anexo 1.2 y Anexo 1.3.

d) Cálculos

Los Centroides descargados en formato CSV conteniendo los datos de precipitación fueron convertidos a Excel, programa en el cual se realizaron los cálculos para determinar: la Precipitación media mensual y la precipitación media anual que sirvió para determinar el Factor R erosividad de las precipitaciones mediante la Formula de Arnoldus (1978).

$$R = a * \left(\sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P} \right) + b$$

Donde:

R = es el factor de erosividad de las lluvias

p^2 = Precipitación media mensual.

P = Precipitación media anual.

a y b = constantes que consideran las condiciones climáticas locales.

Para las regiones con precipitaciones mayores a 200 mm anuales se adoptará las constantes climáticas de USA a = 4,17 y b = -152.

Para las regiones con precipitaciones menores a 200 mm anuales se adoptará las constantes climáticas de USA a = 0.66 y b = - 3 (Ramírez, 2010). Ver Anexo 1.4

e) Interpolación

Los Centroides en Excel con los valores calculados de R fueron pasados a puntos en ArcGIS, programa con el cual se realizó la interpolación mediante la herramienta *ArcToolbox* “*Krigings*”. Obteniéndose finalmente un producto en formato “*Raster*”.

f) Clip

El área del “*Raster*” se recortó en función al ámbito de estudio.

g) Clasificación

El “*Raster*” del factor R fue clasificado trece niveles tomando para ello como referencia las unidades de los pisos altitudinales presentes en la cuenca. Ver Anexo 2.10

En la Figura 5 se puede apreciar de una manera resumida el proceso que se realizó para determinar el Factor R.

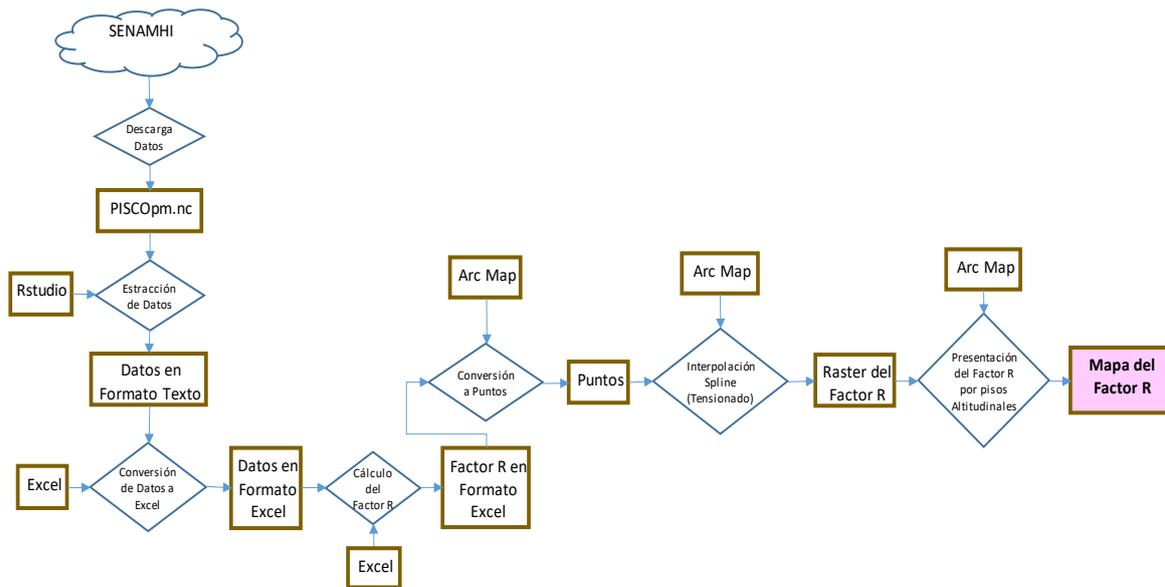


Figura 5: Proceso para la determinación del Factor R

3.4.4 Determinación del Factor de Erodabilidad, K

Para determinar el Factor de erodabilidad del suelo se tuvo que realizar previamente un acondicionamiento del estudio de suelos recopilado, a la escala del presente trabajo de investigación (1/25,000), ver Figura 4 y Anexo 2.9. Cuya información sirvió junto con los datos tomados en campo para generar los mapas de Textura del Suelo y de Materia Orgánica del Suelo. Los cuales a su vez sirvieron para determinar la erodabilidad del suelo en función de la Textura y Materia Orgánica del Suelo (Cuadro 8).

En la Figura6 se aprecia el proceso para la determinación del Factor K.

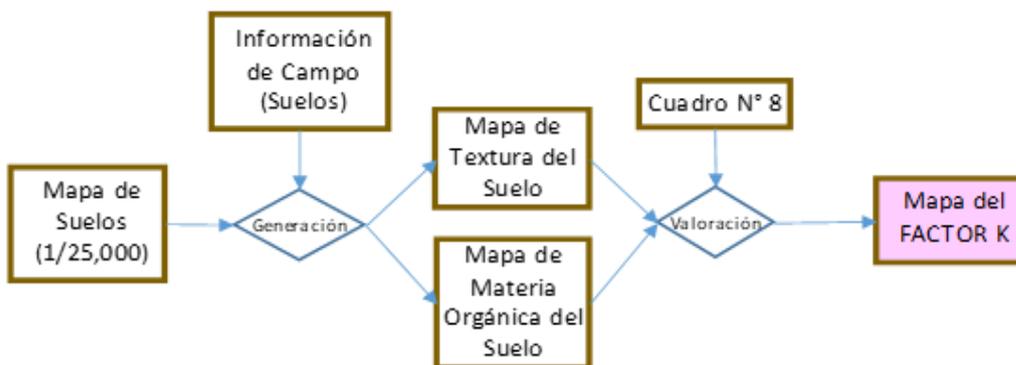


Figura 6: Proceso para la determinación del Factor K

3.4.5 Determinación del Factor LS

Para determinar el Factor LS (Factor de Longitud y Gradiente de la Pendiente) se utilizó el Método de Mintegui (1983), que es el que relaciona la Pendiente con el Factor LS directamente (Cuadro 11).

En la Figura 7 se puede apreciar de una manera resumida el proceso que se realizó para determinar el factor LS.

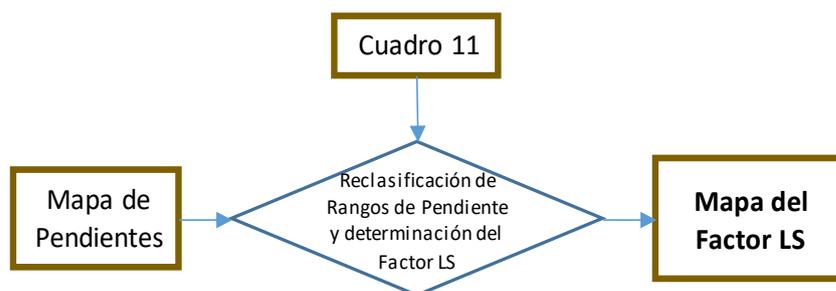


Figura 7: Proceso para la determinación del Factor LS

3.4.6 Determinación del grado de cobertura vegetal, C

Para determinar el Factor C (Factor de Cobertura y Uso del Suelo) se generó el mapa de Cobertura y Uso de la tierra siguiendo la secuencia metodológica propuesta en el ítem 3.4.2 (Figura 4). Luego se realizó el análisis de cobertura mediante las imágenes de satélite LandSat8, las imágenes BingMaps y la toma de datos en campo, obteniéndose el Mapa de Cobertura y Uso del Suelo (con datos de campo), ver Anexo 2.11. Paso seguido se realizó una adaptación del mapa de Cobertura y Uso del Suelo agrupándolos de acuerdo a los tipos y alturas de cobertura propuestos en el Cuadro 14 del ítem 2.10, obteniéndose el Mapa de Cobertura y Uso del Suelo (Adaptado), ver Anexo 2.12. Con cuyo mapa se realizó la determinación del Factor C aplicándose los valores propuestos en el Cuadro 14. Ver Anexo 2.16 y Cuadros: 25 y 26.

En la Figura 8 se puede apreciar el proceso para la determinación del Factor C.

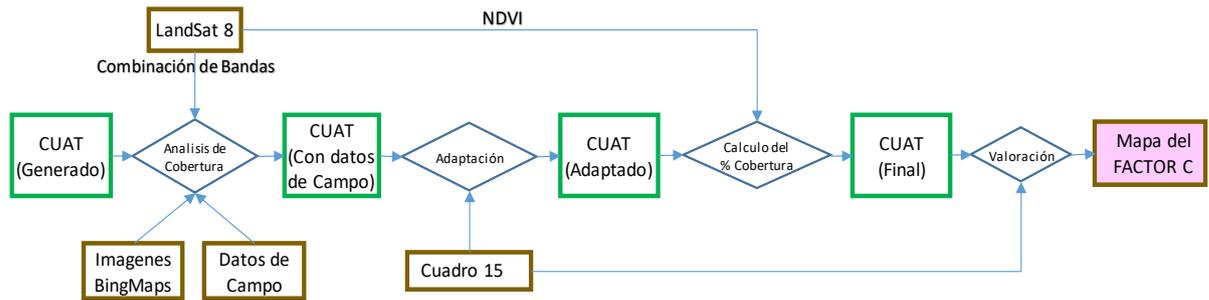


Figura 8: Proceso para la determinación del Factor C

Dónde: CUAT es Cobertura y Uso Actual de la Tierra

3.4.7 Determinación del Factor P

El factor P depende de las medidas de conservación de suelos que se están tomando en la cuenca para reducir la erosión de suelos. La cuenca Chamacha presenta prácticas de conservación de suelos: Terrazas de formación lenta y Zanjas de infiltración (Anexo 2.17). Para determinar el factor P se utilizó los cuadros: 15 y 16.

En la Figura 9 se puede apreciar el proceso de determinación del Factor P.

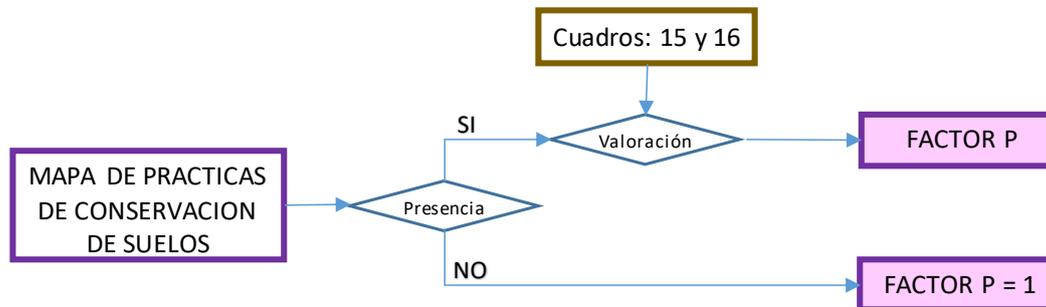


Figura 9: Proceso de Determinación del Factor P

3.4.8 Determinación del riesgo de erosión hídrica, A

Para la Determinación del riesgo potencial de erosión hídrica, se utilizó los siguientes factores de acuerdo a lo explicado en párrafos anteriores:

- Factor R (Erosividad de la lluvia)
- Factor K (Erodabilidad del suelo)
- Factor LS (Longitud y Gradiente de la pendiente)
- Factor C (Cobertura Vegetal)
- Factor P (Prácticas de conservación de suelos)

A través de la utilización de una matriz de multicriterio se procedió a realizar el modelo SIG para integrar estos cinco factores cuyo resultado final fue la determinación del mapa de riesgo potencial de erosión hídrica en un territorio.

El modelo conceptual utilizado de estos seis factores para determinar el mapa de riesgo por erosión hídrica fue el siguiente:

$$A = R * K * LS * C * P$$

Donde:

A = Pérdida potencial de suelo en toneladas / ha / año

Los valores obtenidos de pérdida máxima estimada de suelo por erosión hídrica se agruparon de acuerdo a su intensidad. Ver Cuadro 31.

Asimismo, se realizó el mapa de la Erosión Potencial, aplicando la representación gráfica tomada de la FAO.

Clasificación de los niveles de Erosión Hídrica

La FAO clasifica los niveles de erosión como se muestra en el cuadro siguiente.

Cuadro 18: Rangos de pérdida de suelos debido a erosión hídrica.

Categoría	Pérdida de suelo (t/ha/año)
Ninguna o ligera	< 10
Moderada	10 – 50
Alta	50 – 200
Muy Alta	> 200

FUENTE: FAO (1980) citado por Ramos (2001), Guanica (2010).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO DE LAS VARIABLES

4.1.1 Factor R (Erosividad de la lluvia)

Después de procesar la información de precipitación del Producto PISCOp y determinar los valores del Factor de erosividad de la lluvia aplicando el proceso metodológico mencionado en el ítem 3.4.3, se obtuvo el mapa de erosividad de la lluvia, que luego fue calificado de acuerdo a su nivel de erosividad obteniendo el mapa de niveles de erosividad de la lluvia.

En el mapa de erosividad de la lluvia se aprecia que el factor R se incrementa a medida que aumenta la altitud en la cuenca. Por otro lado, áreas de una misma altitud pueden tener diferencias respecto a los valores del factor R debido a la influencia que ejerce la proximidad a regiones más secas o más húmedas. (Cuadro 19).

Cuadro 19: Resultados obtenidos del Factor R

Rango Altitudinal (m)	Factor R (MJ*cm/ha*h)	Área (ha)	%
1495 - 2000	11.24	546.86	6.17
2000 - 2500	16.03	1223.27	13.79
2500 - 2800	18.71	810.40	9.14
2800 - 3000	23.11	514.89	5.81
3000 - 3500	35.60	2000.23	22.55
3500 - 3650	51.55	961.77	10.84
3500 - 3650	47.38	20.61	0.23
3650 - 3800	52.99	703.87	7.94
3800 - 4000	55.55	906.96	10.23
4000- 4500	17.75	50.84	0.57
4000- 4500	75.34	1067.91	12.04
4500 - 4800	82.79	6.92	0.08
4500 - 4800	101.44	53.96	0.61

En el mapa de niveles de erosividad de la lluvia se aprecia que hay tres rangos de valores: Muy Bajo, Bajo y Moderado. Ocupando el valor moderado solo el 0.61 por ciento de la cuenca con lo que se puede concluir que el factor erosividad de la lluvia en esta cuenca no es muy determinante (Cuadro 20).

Cuadro 20: Calificación del Factor R (IMF)

Calificación	Rango de R (MJ*cm/ha*h)	Área (ha)	%
Muy Bajo	< 60	7,739.70	87.27
Bajo	60 - 90	1,074.83	12.12
Moderado	90 - 120	53.96	0.61
TOTAL		8,868.49	100.00

FUENTE: Lobo et al. (2006), citados por Ramírez et al. (2007)

4.1.2 Factor K (Erodabilidad del Suelo)

Luego de procesar la información recopilada en campo con respecto a las unidades edáficas y sus clases texturales, aplicando la metodología propuesta en el ítem 3.4.4 se obtuvo el mapa de erodabilidad del suelo, que luego fue calificado de acuerdo a su nivel de erodabilidad obteniendo el mapa de niveles de erodabilidad del suelo.

En el mapa de erodabilidad del suelo se aprecia que los valores más altos del factor K se encuentran en zonas de texturas medias mientras que los valores más bajos están en zonas de texturas más gruesas. Asimismo, se aprecia que la textura del suelo influye más que la materia orgánica del suelo en el valor final de la erodabilidad del suelo. (Cuadro 21).

Cuadro 21: Resultados obtenidos del Factor K

Suelo	Textura	% Materia Orgánica	Valor del Factor K (t*ha*h/MJ*ha*cm)	Área (ha)	%
Typic Ustifluvents	Arena	0.50	0.05	34.66	0.39
Typic Ustifluvents	Arena franca	2.00	0.10	47.30	0.53
Typic Ustifluvents	Arena franca	0.50	0.12	57.81	0.65
Lithic Ustorthents	Arena franca	0.50	0.12	1,593.94	17.97
Lithic Ustorthents	Franco arenoso	2.00	0.24	2,767.38	31.20
Lithic Ustorthents	Franco arenoso	0.50	0.27	18.82	0.21
Lithic Ustorthents	Franco	2.00	0.34	1,647.49	18.58
Typic Ustorthents	Arena franca	0.50	0.12	21.67	0.24
Typic Ustorthents	Franco arenoso	2.00	0.24	470.17	5.30
Typic Ustorthents	Franco	2.00	0.34	1,077.73	12.15
Lithic Cryorthents	Franco	2.00	0.34	841.16	9.48
Typic Haplocryands	Franco arenoso	0.50	0.27	290.35	3.27
Total					100.00

En el Cuadro 22 se aprecia que hay cuatro rangos de valores de calificación del Factor K: Muy poco erodable, Débilmente erodable, Medianamente erodable y Fuertemente erodable. Debido a que el nivel del factor K: “Fuertemente erodable”, ocupa el 40.21 por ciento de la cuenca, se puede concluir que el factor erodabilidad del suelo en esta cuenca es relevante.

Cuadro 22: Calificación del Factor K

Calificación del Factor K	Valor de K (t*ha*h/MJ*ha*cm)	Área (ha)	%
Muy poco erodable	< 0.0775	34.66	0.39
Débilmente erodable	0.0775 - 0.1680	1,720.71	19.40
Medianamente erodable	0.1680 - 0.3230	3,546.74	39.99
Fuertemente erodable	0.3230 - 0.6784	3,566.38	40.21
Total		8,868.49	100.00

FUENTE: USDA (1962); Amezcuita (1990).

4.1.3 Factor LS

Después de generar el mapa de pendientes y determinar los valores del factor LS aplicando el proceso metodológico mencionado en el ítem 3.4.5, se obtuvo el mapa del factor LS, que luego fue calificado por rangos de valores obteniendo el mapa de niveles del factor LS.

En el mapa del factor LS se aprecia que el factor LS tiene valores altos en la mayor parte de la cuenca, debido a que presenta bastantes áreas con topografía accidentada.

Cuadro 23: Resultados obtenidos del Factor LS

Pendiente	Factor LS	Área (ha)	%
3 - 12 %	1.50	119.26	1.34
12 - 18 %	3.40	625.47	7.05
18 - 24 %	5.60	487.88	5.50
24 - 30 %	8.70	777.07	8.76
30 - 60 %	14.60	4452.82	50.21
60 - 70 %	20.20	1312.14	14.80
70 - 100 %	25.20	1062.89	11.98
> 100 %	28.50	30.96	0.35
Total		8868.49	100.00

En el mapa de niveles del factor LS se aprecia que hay cuatro rangos de valores: Bajo, Moderado, Muy Alto y Alto. Siendo el valor alto el que más superficie ocupa en la cuenca. Se puede concluir que el factor LS en esta cuenca es muy relevante.

Cuadro 24: Calificación del Factor LS

Calificación	Pendiente (Grados)	Área (ha)	%
Bajo	3	119.26	1.34
Moderado	3 - 5	625.47	7.05
Alto	5 - 7	487.88	5.50
Muy Alto	> 7	7635.88	86.10
Total		8868.49	100.00

FUENTE: Ramírez *et al.* (2009).

4.1.4 Factor C

Después de determinar el Factor de Cobertura del Suelo (Factor C), utilizando la metodología descrita en el ítem 3.4.6 se obtuvo el mapa del factor de cobertura del Suelo (Factor C), que luego fue calificado por rangos de valores obteniendo el mapa de niveles del factor C.

En el mapa del factor C se aprecia que el factor C tiene valores más bajos (mayor cobertura), en la parte media y alta (primera mitad) de la cuenca, que es donde hay mejores características de suelo y clima para el desarrollo de la vegetación natural.

En el Cuadro 25 se puede apreciar los resultados obtenidos de Cobertura y Uso Actual con los datos de Campo.

Cuadro 25: Datos de Campo de Cobertura y Uso Actual

Cobertura y Uso Actual (Datos de Campo)	Cobertura y Uso Actual (Datos adaptados para calcular el Factor C)	Área (ha)	%
Arbustal	Arbustos (2m)	92.84	1.05
Arbustal ralo	Arbustos (2m)	0.38	0.00
Arbustal y bosque	Arbustos (2m)	70.97	0.80
Arbustal y cultivo en limpio	Arbustos (2m)	2.04	0.02
Arbustal y pastizal	Arbustos (2m)	1687.22	19.02
Arbustal y suelo degradado	Arbustos (2m)	4.75	0.05
Monte ribereño y matorral desértico ralo	Arbustos (2m)	24.41	0.28

«continuación»

Plantación frutal	Arbustos (2m)	205.93	2.32
Plantación frutal ralo	Arbustos (2m)	1.97	0.02
Plantación frutal y arbustal	Arbustos (2m)	35.72	0.40
Plantación frutal y cultivo en limpio	Arbustos (2m)	0.71	0.01
Bosque	Arboles (4m)	24.54	0.28
Bosque ralo	Arboles (4m)	0.51	0.01
Bosque y arbustal	Arboles (4m)	3.77	0.04
Bosque y cultivo en limpio	Arboles (4m)	2.98	0.03
Bosque y pastizal	Arboles (4m)	0.68	0.01
Monte ribereño	Arboles (4m)	8.43	0.10
Plantación frutal denso	Arboles (4m)	11.06	0.12
Cultivo en limpio	Cobertura de pastos y hierbas (0.5 m)	498.28	5.62
Cultivo en limpio y arbustal	Cobertura de pastos y hierbas (0.5 m)	17.55	0.20
Cultivo en limpio y bosque	Cobertura de pastos y hierbas (0.5 m)	37.35	0.42
Cultivo en limpio y pastizal	Cobertura de pastos y hierbas (0.5 m)	403.14	4.55
Cultivo en limpio y plantación Frutal	Cobertura de pastos y hierbas (0.5 m)	10.61	0.12
Pastizal	Cobertura de pastos y hierbas (0.5 m)	1127.82	12.72
Pastizal ralo y arbustal	Cobertura de pastos y hierbas (0.5 m)	31.27	0.35
Pastizal ralo y arbustal ralo	Cobertura de pastos y hierbas (0.5 m)	8.71	0.10
Pastizal y arbustal	Cobertura de pastos y hierbas (0.5 m)	1591.92	17.95
Pastizal y cultivo en limpio	Cobertura de pastos y hierbas (0.5 m)	448.43	5.06
Matorral desértico	Cobertura de pastos bajos	824.67	9.30
Matorral desértico ralo	Cobertura de pastos bajos	584.31	6.59
Pastizal ralo	Cobertura de pastos bajos	293.25	3.31
Pastizal y matorral desértico	Cobertura de pastos bajos	96.20	1.08
Suelo desnudo	Suelo Desnudo	18.68	0.21
Afloramiento lítico	Afloramiento Lítico	615.69	6.94
Planicie fluvial	Planicie Fluvial de Qda. intermitente	28.41	0.32
Masa de agua	Laguna / Reservorio	11.29	0.13
Área urbana	Área Urbana	30.19	0.34
Área urbana discontinua	Área Urbana Discontinua	11.44	0.13
Infraestructura	Infraestructura	0.37	0.00
Total		8868.49	100.00

Para calcular el Factor C se tuvo que hacer una adaptación de los datos de Cobertura y Uso Actual al formato del Cuadro 14 según metodología propuesta en el ítem 3.4.6.

En el Cuadro 26 se puede apreciar los datos adaptados de Cobertura y Uso Actual de la Tierra con los resultados del Factor C.

Cuadro 26: Datos de Cobertura y Uso Actual adaptados para el Cálculo del Factor C

Cobertura y Uso Actual	% Cobertura	Factor C	Calificación del Factor C	Área (ha)	%
Arboles (4m)	20 - 40 %	0.19	Bajo	2.05	0.02
Arboles (4m)	40 - 60 %	0.10	Moderado	4.76	0.05
Arboles (4m)	60 - 80 %	0.04	Alto	14.81	0.17
Arboles (4m)	80 - 95 %	0.01	Muy Alto	17.58	0.20
Arboles (4m)	95 - 100 %	0.00	Muy Alto	12.78	0.14
Arbustos (2m)	0 - 20 %	0.40	Muy Bajo	3.55	0.04
Arbustos (2m)	20 - 40 %	0.18	Bajo	504.35	5.69
Arbustos (2m)	40 - 60 %	0.09	Moderado	1080.01	12.18
Arbustos (2m)	60 - 80 %	0.04	Alto	368.72	4.16
Arbustos (2m)	80 - 95 %	0.01	Muy Alto	131.90	1.49
Arbustos (2m)	95 - 100 %	0.00	Muy Alto	38.40	0.43
Cobertura de pastos bajos	0 - 20 %	0.45	Muy Bajo	759.71	8.57
Cobertura de pastos bajos	20 - 40 %	0.20	Bajo	1022.28	11.53
Cobertura de pastos bajos	40 - 60 %	0.10	Moderado	12.19	0.14
Cobertura de pastos bajos	60 - 80 %	0.04	Alto	4.25	0.05
Cobertura de pastos y hierbas (0.5 m)	20 - 40 %	0.17	Bajo	352.43	3.97
Cobertura de pastos y hierbas (0.5 m)	40 - 60 %	0.09	Moderado	1979.15	22.32
Cobertura de pastos y hierbas (0.5 m)	60 - 80 %	0.04	Alto	1518.04	17.12
Cobertura de pastos y hierbas (0.5 m)	80 - 95 %	0.01	Muy Alto	310.16	3.50
Cobertura de pastos y hierbas (0.5 m)	95 - 100 %	0.00	Muy Alto	15.30	0.17
Suelo Desnudo		1.00	Muy Bajo	18.68	0.21
Afloramiento Lítico		1.00	Muy Bajo	615.69	6.94
Planicie Fluvial de Qda. intermitente		0.00	Sin Evaluar	28.41	0.32
Reservorio / Laguna		0.00	Sin Evaluar	11.29	0.13
Área Urbana		0.00	Sin Evaluar	30.19	0.34
Área Urbana Discontinua		0.00	Sin Evaluar	11.44	0.13
Infraestructura		0.00	Sin Evaluar	0.37	0.004
Total				8868.49	100.00

En el mapa de niveles del factor de Cobertura del Suelo se aprecia que hay cinco rangos de valores: Muy Bajo, Bajo, Moderado, Alto y Muy Alto. Siendo el valor moderado el que más superficie ocupa en la cuenca. Se puede concluir que el factor C en esta cuenca es relevante.

En el Cuadro 27 se puede apreciar los resultados del Factor C, agrupados en rangos y su calificación respecto a la protección contra la erosión que brinda.

Cuadro 27: Niveles del Factor C

Rango del Factor C	Calificación del Factor C	Área (ha)	%
> 0.300	Muy Bajo	1397.63	15.76
0.150 - 0.300	Bajo	1881.11	21.21
0.050 - 0.150	Moderado	3076.10	34.69
0.025 - 0.050	Alto	1905.82	21.49
0.001 - 0.025	Muy Alto	526.13	5.93
Sin Evaluar	Sin Evaluar	81.71	0.92
Total		8868.49	100.00

4.1.5 Factor P

Después de determinar el Factor de Prácticas de Conservación del Suelo (Factor P), utilizando la metodología descrita en el ítem 3.4.7 se obtuvo el mapa del factor de Prácticas de Conservación del Suelo (Factor P), que luego fue calificado por rangos de valores obteniendo el mapa de niveles del factor P.

En el mapa del factor P se aprecia que buena parte de la cuenca carece de prácticas de conservación de suelo. Solo el 4.56% posee prácticas de conservación de suelos. Dentro de las principales prácticas de conservación de suelos presentes en la cuenca Chamacha tenemos a las Zanjas de Infiltración (0.88%) y las Terrazas de formación lenta (3.68%).

Cuadro 28: Tipo de Prácticas de Conservación

Tipo de Práctica de Conservación	Área (ha)	%
Terrazas de Formación Lenta	326.58	3.68
Zanjas de Infiltración	78.14	0.88
Ninguna	8463.77	95.44
Total	78.14	100.00

Cuadro 29: Cuantificación del Factor Prácticas de Conservación

Tipo de Práctica de Conservación	Pendiente %	Factor P	Área (ha)	%
Zanjas de Infiltración	> 36 %	0.90	29.17	0.33
Zanjas de Infiltración	31 - 35 %	0.80	17.33	0.20
Zanjas de Infiltración	26 - 30 %	0.75	1.99	0.02
Zanjas de Infiltración	21 - 25 %	0.70	6.70	0.08
Zanjas de Infiltración	17 - 20 %	0.65	4.67	0.05
Zanjas de Infiltración	13 - 16 %	0.60	13.63	0.15
Zanjas de Infiltración	9 - 12 %	0.55	4.28	0.05
Zanjas de Infiltración	6 - 8 %	0.50	0.36	0.004
Terrazas de Formación Lenta		0.35	326.58	3.68
Ninguna		1.00	8463.77	95.44
Total			8868.49	100.00

En el mapa de niveles del factor de Conservación del Suelo se aprecia que hay tres rangos de valores: Muy Bajo, Bajo y Moderado. Siendo el valor moderado el más recurrente en la superficie de la cuenca donde se desarrollan prácticas. Se puede concluir que el factor P en esta cuenca es poco relevante.

Cuadro 30: Calificación del Factor Prácticas de Conservación

Tipo de Práctica de Conservación	Rango de Pendiente	Rango del Factor P	Calificación del Factor P	AREA (ha)	%
Zanjas de Infiltración	> 30%	0.75 - 0.95	Muy Bajo	46.50	0.52
Zanjas de Infiltración	13 - 30%	0.55 - 0.75	Bajo	26.99	0.30
Zanjas de Infiltración	6 - 12%	0.30 - 0.55	Moderado	4.64	0.05
Terrazas de Formación Lenta	-	0.30 - 0.55	Moderado	326.58	3.68
Ninguna			Ninguna	8463.77	95.44
Total				8868.49	100.00

4.1.6 Erosión Hídrica Potencial

Después de calcular los factores: R, K, LS, C y P que intervienen en la ecuación de RUSLE, se calculó la Erosión Hídrica Potencial, siguiendo la metodología descrita en el ítem 3.4.8, se obtuvo el mapa de Erosión Hídrica Potencial, que luego fue calificado por rangos de valores obteniendo el mapa de niveles de erosión hídrica potencial.

En el mapa de Erosión Hídrica Potencial se aprecia que la zona de máxima erosión hídrica potencial se encuentra ubicada en la parte más alta de la cuenca, donde hay mayores precipitaciones y localizadas en zonas donde la cobertura vegetal del suelo es escasa y con pendientes empinadas.

En el mapa de niveles de Erosión Hídrica Potencial se aprecia que hay cuatro rangos de erosión hídrica potencial: Erosión nula o ligera, Erosión moderada, Erosión alta y Erosión muy Alta. Siendo la erosión moderada, seguida de la erosión nula o ligera los que más superficie ocupan en la cuenca. En el Cuadro 31 se aprecia los resultados de la Erosión Hídrica Potencial.

Cuadro 31: Cuantificación y Calificación de la Erosión Hídrica Potencial

Rango de valores de Erosión Hídrica Potencial (t/ha/año)	Calificación de la Erosión Hídrica Potencial	Área (ha)	%
< 10	Erosión nula o ligera	3465.10	39.07
10 - 50	Erosión moderada	4437.81	50.04
50 - 200	Erosión alta	267.96	3.02
> 200	Erosión muy alta	0.22	0.003
No Evaluado (Afloramiento Lítico)		615.69	6.94
No Evaluado (Masa de Agua)		11.29	0.13
No Evaluado (Planicie Fluvial de Qda. intermitente)		28.41	0.32
No Evaluado (Área Urbana)		42.01	0.47
Total		8868.49	100.00

V. CONCLUSIONES

- El Factor de erosividad de la lluvia (R), en la zona de estudio ha obtenido valores que van de 11.24 en la cota 1495-2000 msnm hasta 101.44 en la cota 4500-4800 msnm y se observa que hay un incremento del valor del Factor R a medida que aumenta la altitud en la cuenca.
- El Factor de erodabilidad del suelo (K), ha obtenido valores van de 0.05 (con Textura arenosa y Materia Orgánica de 0.05 por ciento) hasta 0.34 (con Textura Franca y Materia Orgánica de 2.00 por ciento). Se observa que hay un incremento del valor del Factor K a medida que la Textura se aproxima a texturas medias; y un incremento del valor del Factor K a medida que disminuye el porcentaje de Materia Orgánica en el suelo.
- El Factor Topográfico (LS), ha obtenido valores que van de 1.5 (para pendientes de 3 a 12 por ciento) hasta 28.5 (para pendientes mayores a 100 por ciento). Se observa que el valor del Factor LS se incrementa a medida que aumenta el grado de la pendiente.
- El Factor de Cobertura (C), ha obtenido valores que van de 0.003 (para una cobertura vegetal del suelo del 95 al 100 por ciento) hasta 0.45 (para una cobertura vegetal del suelo del 0 a 20 por ciento). Se observa que el valor del factor C se incrementa a medida que disminuye el porcentaje de Cobertura Vegetal en el suelo.
- El Factor Practicas de Conservación de Suelos (P), ha obtenido valores para Terrazas de Formación Lenta de 0.35; y para Zanjas de Infiltración los valores oscilan desde 0.5 (en zonas con pendiente de 6 a 8 por ciento) hasta 0.90 (en zonas con pendiente mayor a 36 por ciento).
- Las Practicas de Conservación de Suelos presentes en la cuenca Chamacha son las Terrazas de Formación Lenta con una extensión de 326.58 hectáreas (3.68 por ciento) y Zanjas de Infiltración con una extensión de 78.14 hectáreas (0.88 por ciento). Siendo dentro de estas las Terrazas de Formación Lenta la que mejor resultado ofrecen para el control de la erosión (El Factor P es de 0.35 por ciento).
- Las zonas con mayores riesgos de Erosión Hídrica Potencial están donde hay una confluencia de factores con valores altos. Es decir, en zonas con fuertes pendientes, escasa cobertura vegetal, suelos de mala calidad, altas precipitaciones y ausencia de prácticas de conservación de suelos. Estas zonas se encuentran ubicadas en laderas y cimas de montaña de la parte alta de la cuenca Chamacha, terrenos de la comunidad San Andrés de Tupicocha.

- Todos los factores tienen un grado de influencia en el resultado final de la Erosión Hídrica Potencial. Sin embargo, de acuerdo a las características de cada ámbito de estudio algunos factores tienen una mayor relevancia que otros. Para el caso de la cuenca Chamacha, los factores: LS, C y R son los que tienen una mayor relevancia en el resultado Final de la Erosión Hídrica Potencial.
- El mapa de riesgo potencial de erosión hídrica identificó las diferentes áreas de erosión las cuales son las siguientes: Áreas con Erosión nula o ligera (Erosión Hídrica Potencial menor a 10 toneladas por hectárea año) tienen una extensión de 3465.10 hectáreas (39.07 por ciento); Áreas con Erosión moderada (Erosión Hídrica Potencial de 10 a 50 toneladas por hectárea año) tienen extensión de 4437.81 hectáreas (50.04 por ciento); Áreas con Erosión alta (Erosión Hídrica Potencial de 50 a 200 toneladas por hectárea año) tienen extensión de 267.96 hectáreas (3.02 por ciento); Áreas con Erosión muy alta (Erosión Hídrica Potencial mayor a 200 toneladas por hectárea año) tienen extensión de 0.22 hectáreas (0.003 por ciento); y las Áreas de: Afloramiento Lítico, Cuerpo de agua, Planicie Fluvial y Área Urbana, ocupan una extensión de 697.40 hectáreas (7.86 por ciento). Llegando a la conclusión que el nivel de erosión hídrica potencial predominante en la cuenca Chamacha es la Erosión moderada, seguido de la Erosión nula o ligera.
- Se identificó las zonas prioritarias que requieren prácticas de conservación de suelos en la cuenca Chamacha las cuales son las áreas que han sido calificadas por tener una Erosión hídrica potencial muy alta (mayor a 200 t/ha/año) y una Erosión hídrica potencial alta (de 50 a 200 t/ha/año). En las zonas con Erosión hídrica potencial moderada (de 10 a 50 t/ha/año) se recomienda implementar prácticas de conservación de suelos en la medida en que aumente la intensidad de uso agropecuario del terreno.

VI. RECOMENDACIONES

- De acuerdo a los resultados del presente trabajo de investigación se cuantifico y obtuvo los diversos niveles de erosión hídrica potencial. Para tal efecto se recomienda implementar prácticas de conservación de suelos priorizando las zonas que presenten un mayor potencial erosivo.
- En zonas con muy alta, alta y moderada erosión hídrica potencial que se encuentren ubicados en Pisos Altitudinales superiores a 3800 msnm se recomienda implementar zanjas de infiltración acompañadas de cobertura verde a fin de evitar la erosión y retener la humedad.
- En zonas con muy alta, alta y moderada erosión hídrica potencial que se encuentren ubicados en Pisos Altitudinales inferiores a 3800 msnm y de uso agrícola se recomienda implementar las terrazas de formación lenta, las mismas que deberán ir acompañados de cobertura verde a fin de evitar la erosión.
- En áreas con pendientes pronunciadas donde exista suficientes niveles de humedad se recomienda instalar macizos forestales a fin evitar la erosión y movimientos en masa que pudieran producirse.
- En los bordes de linderos de los predios agrícolas se recomienda reforestar o colocar muros de piedra a fin de cortar la pendiente.
- En terrenos de cultivos con pendientes mayores a 15 por ciento se recomienda sembrar en surcos en contornos para disminuir la erosión.
- En áreas agrícolas se recomienda instalar sistemas de riego tecnificado por goteo a fin de ahorrar el recurso hídrico y evitar la escorrentía superficial.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarez T, A. 2019. Análisis temporal del nivel de la erosión hídrica de la subcuenca del río Ichu 2013 y 2017. Tesis de Magister. Universidad Nacional de Huancavelica. Perú. 150 p.

Agricultural Research Service United States Department of Agriculture. 1973. Summary of reservoir sediment deposition surveys made in the United States Trough 1970. Miscellaneous Publications N° 1266. 82 p.

Almorox Alonso, J.; Garcia R. de A.; Saa Requejo, A.; Diaz Alvarez, MC; Gasco Montes, JM. 1994. Métodos de estimación de la erosión hídrica. Ed. Agrícola Española. Madrid. ES. 152 p.

Álvarez Rodríguez, J. 2011. Estimación de la distribución espacial de la precipitación en zonas montañosas mediante métodos geoestadísticos. Tesis Doctoral. Madrid. ES. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos. (UPM). 283 p.

Amézquita, E. 1990. El agua y la erodabilidad de los suelos. Fundamentos para la Interpretación de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas para riego. Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 128-136 p.

Argueta Medina, JC, 2010. Estimación de los riesgos y niveles de erosión hídrica en la microcuenca del río Negro, Chimaltenango. Universidad San Carlos de Guatemala. Rio Negro, Chimaltenango, Guatemala. 87 p.

Arnoldus, H.M.J., 1977. Predicting soil losses due to sheet and rill erosion. FAO Conservation Guide N° 1: Guidelines for watershed management, pág. 99-123.

Arnoldus, H.M.J. 1978. An approximation of the rainfall factor in the universal soil loss equation. In assessment of Erosion. M.de Boodt and D. Gabrields (eds.) John Willey and Son, New York. pp. 127- 132.

Arnoldus, H.M.J., 1980. An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. In: De Boodt, M.; Gabriels, D. (Eds.), Assessment of Erosion. John Wiley & Son, Chichester, England, pp. 127–132.

Aybar C, C.; Lavado C, W.; Huerta J, A.; Fernández P, C.; Vega J, F.; Sabino R, E. & Felipe O, OG. (2017). Uso del Producto Grillado “PISCO” de precipitación en Estudios, Investigaciones y Sistemas Operacionales de Monitoreo y Pronóstico Hidrometeorológico. Nota Técnica 001 SENAMHI-DHI-2017, Lima-Perú. 21 p.

Barrios R, AG. y Quiñonez, E. 2000. Evaluación de la erosión utilizando el Modelo RUSLE, con apoyo del SIG. Aplicación en una microcuenca de los andes venezolanos. Revista Forestal Venezolana. Trujillo - Venezuela. 44 (1) 2000, 65-71 p.

Boyi Jiang. 2013. GIS-BASED time series study of soil erosion risk using the revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) model in a micro-catchment on Mount Elgon, Uganda. Master degree thesis. Lund University. Suecia. 51 p.

Brack E, A. 2000. Perú y Ambiente uno de los desafíos del siglo XXI. Lima: Asociación Nacional de Centros, IV Conades-PNUD; 2000

Colomer, MJC. 2001. Desarrollo de un sistema de información de suelos para el ámbito mediterráneo valenciano. Disertación doctoral, Universidad de Valencia.

Colque V, MI. 2015. Categorización de la Erosión Hídrica en la microcuenca de Ranrahirca, aplicando la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE), Yungay-Ancash-2014. Tesis Ingeniero, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz, Perú. 75 p.

Córdova E, YE. 2015. Estimación de la tasa de erosión hídrica en la microcuenca de la quebrada Chaye Grande de la subcuenca del río Yapatera (Usando Sistemas de información Geográfica-ArcGIS 10.1). Tesis Ing. Agrícola. Universidad Nacional de Piura. Piura, Perú. 108 p.

De Regoyos, M. 2003. Metodología para la evaluación de la erosión hídrica con Modelos Informáticos. Aplicación del Modelo Geoweb a dos pequeñas cuencas en Madrid. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 421 p.

D’Amarío F, MJ. 2016. Evaluación del riesgo de erosión hídrica, su distribución espacial y el efecto de la cobertura vegetal en el proceso erosivo, en la cuenca hidrográfica del Río Tunuyán Superior (Mendoza). Tesis de Grado. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina. 60 p.

Del Aguila A, M. 2010. Aplicación del Modelo USLE/RUSLE para estimar la pérdida de suelos por erosión hídrica en la Microcuenca Puente Pérez – Tingo María. Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 148 p.

Dourojeanni Ricordi, A., 1967. La ecuación universal de pérdida de suelo y su aplicación al planeamiento del uso de las tierras agrícolas. Estudio del factor de las lluvias en el Perú (No. HD111 D6-T). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Perú). Facultad de Ingeniería Agrícola.

Dumas S, A. 2012. Riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica del río Mundo. Trabajo de Fin de Master en Tecnología de la Información Geográfica. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España. 48 p.

Efthimiou, N.; Lykoudi, E. ; Karavitis, C. 2014. Soil erosion assessment using the RUSLE model and GIS. Greece. European Water. 47 2014, 15-30 p.

FAO-PNUMA-UNESCO. 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo de la Agricultura y la Alimentación (FAO), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Organización de las Naciones para el Medio Ambiente (UNESCO). Roma, Italia.

Flores I, E. 2016. Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en tres cuencas de la república mexicana, utilizando la ecuación universal de pérdida de suelo. Tesis ing. Civil. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Cd. México. 136 p.

Fortuño I, J. 2014. Estudio de la erosión en cuencas naturales mediante kineros 2. Tesina de Especialidad. Escuela técnica superior de ingeniería de caminos, canales y puertos. UPC BARCELONATECH. Barcelona, España. 91 p.

Foster, G.R. ; Wischmeier, W., 1974. Evaluating irregular slopes for soil loss prediction. Trans ASAE Gen Ed Am Soc Agric Eng.

Fournier, F., 1960. Climat et Erosión. Presses Universitaires de Franca. Edit. Li musa, Paris. Francia. 201 p.

Gaitán, J.J.; Navarro, M.F.; Tenti Vuegen, L.M.; Pizarro, M.J.; Carfagno, P.; Rigo, S. 2017. Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina. 1ª. ed. – Buenos Aires: Ediciones INTA, 2017. 65 p.

García, J., 2005. Modelos paramétricos. Modelos USLE. Modelos RUSLE. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 51 p.

Gisbert Blanquer, J.M., Ibáñez Asensio S. (2003). Procesos erosivos en la provincia de Alicante. Generalitat Valenciana, Conselleria de Medi Ambient, 400pp+ mapas.

Gisbert Blanquer, J.M.; Ibáñez Asensio, S.; Moreno Ramón, H. 2012. El Factor K de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE); Universidad Politécnica de València: Valencia, España.

Gómez T, GEL. 2017. Evaluación de los niveles de vulnerabilidad física de la cuenca del río Nepeña 2017. Tesis ing. Agrícola. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz, Perú. 116 p.

Guanca, AV. 2010. Determinación de la Erosión Hídrica de los Suelos de la Cuenca del Río Pilcomayo - Salta. Tesina de Grado de IRN y MA. Universidad Nacional de Salta. 146 p.

Hoyos, N.; Waylen, P. R.; Jaramillo, Á. 2005. Seasonal and spatial patterns of erosivity in a tropical watershed of the Colombian Andes. Journal of hydrology, 314(1), 177–191.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). 2013. Anuario de estadísticas ambientales. Disponible en:

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1140/Libro.pdf

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), Agencia Suiza Para el Desarrollo y la Cooperación. 2005. Erosión Hídrica: mapa de amenazas. Managua – Nicaragua. 52 p.

Instituto Nacional de Recursos Naturales INRENA. 1996. Mapa de erosión de suelos del Perú.

Instituto Nacional de Recursos Naturales INRENA. 2004. Estudio Hidrológico de la Cuenca del río Lurín. Administración Técnica del Distrito de Riego. Chillón - Rímac - Lurín. 141 p.

ISRIC - World Soil Information (Centro Internacional de Información y Referencia de Suelos). Global Assessment of Human-induced Soil Degradation (GLASOD). 1991. Mapa mundial del estado de la degradación antropogénica de los suelos. Disponible en: <https://data.isric.org/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/metadata/9e84c15e-cb46-45e2-9126-1ca38bd5cd22>

Jayo J, PS. 2011. Modelación de la relación Precipitación Escorrentía en la cuenca del río Mala, mediante el modelo Precaud v.1.0. Tesis ing. Agrícola. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 277 p.

Kirkby, MJ; Morgan, RPC. 1980. Erosión de Suelos. México, Limusa. 375 p.

Kirkby, MJ; Morgan, RPC. 1994. Erosión de Suelos. 3 ed. México, Limusa. 375 p.

Lianes R, E. 2008. Estudio del Factor Vegetación “C” de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Revisada “RUSLE” en la cuenca del río BIRRÍS (Costa Rica). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 173 p.

López P, JA. 2017. Erosión hídrica en la unidad hidrográfica del río Ambato, en un escenario de cambio climático, mediante el modelo USLE/RUSLE. Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. 74 p.

Lored O, C. 2005. Prácticas para la conservación del suelo y agua en zonas áridas y semiáridas. INIFAP-CIRNE-Campo Exp. San Luis. Libro técnico No. 1. San Luis Potosí, S.L.P. México. 187 p.

Mancilla E, GA. 2008. Uso de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE) en el campo forestal. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 64 p.

MINAG. 2002. Mapa de erosión de suelos del Perú.

Ministerio de Agricultura. 2009. Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor DS-017-2009 AG.

Morales A, MC. 2014. Estimación de la erosión laminar y sedimentación con modelos hidrológicos para la selección de prácticas de conservación de suelos y cambios de cobertura en la Unidad Hidrográfica de Aquin/Saint-Louis Du Sud- Haití. Tesis Magister. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 82 p.

Nakaya B, DE. 2018. Estimación de la Pérdida de Suelo Media Anual Mediante el Modelo R.U.S.L.E., En La Cuenca Del Río Tingo – Cajamarca. Tesis ing. Ambiental. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 131 p.

Oldeman, L. R., R. T. Hakkeling, and G. Sombroek. 1991. World map of the status of human-induced soil degradation. an explanatory note. Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD). (I. S. (ISRIC), & U. N. (UNEP), Hrsg.) Wageningen.

ONERN. 1982. Clasificación de las tierras del Perú. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. Lima – Perú. 170 pp.

Padrón, P.A.; González, M.C.; Hernández, L.A.; Jiménez, C.C.; Ortega, M.J.; Rodríguez, A.; Torres, J.M. ; Vargas, G.E., 1991. Erosividad de las lluvias en las Islas Canarias Occidentales. XVIII Reunión Nacional de Suelos, Dpto. de Edafología y Geología, Universidad de La Laguna, pp.459-470.

Peralta U, AD. 2015. Aplicación del Modelo RUSLE para el cálculo de la erosión hídrica en la microcuenca río Cubí. Tesis ing. Agrónomo. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. 62 p.

Ramírez O., F.A.; Hincapié G., E.; Sadeghian Kh, S.; Pérez G., U. 2007. Erosividad de las lluvias en la zona cafetera central y occidental del departamento de Caldas. Colombia. *Cenicafé* 58(1):40-52.

Ramírez O., F.A.; Hincapié G., E.; Sadeghian K., S. 2009. Erodabilidad de los suelos de la zona central cafetera del departamento de Caldas. Colombia. *Cenicafé* 60(1) 58-71.

Ramírez, L. L. 2010. Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Juramento-Salta. Salta, Argentina. Tesis ing. Rec. Nat. y Medio Ambiente. Universidad Nacional de Salta. Argentina. 103 p.

Ramos, C. 2001. Modelamiento ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del río Cañete y determinación del mapa de erosión. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú. Artículo. 26 p.

Reining, L. 1992. Erosion in Andean hillside farming: characterization and reduction of soil erosion by water in small scale cassava cropping systems in the southern Central Cordillera of Columbia. Verlag Josef Margaf.

Renard, K.G.; Foster, G.R.; Weesies, G.A. ; Porter, J.P., 1991. RUSLE: Revised universal soil loss equation. *Journal of soil and Water Conservation*, 46(1), pp.30-33.

Renard, K.G.; Foster, G.R.; Yoder, D.C. ; McCool, D.K., 1994. RUSLE revisited: status, questions, answers, and the future. *Journal of soil and water conservation*, 49(3), pp.213-220.

Renard, K. G.; Foster, G. R.; Weesies, G. A.; McCool, D. K.; Yoder, D. C. 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). US Department of Agriculture, Agriculture Handbook 703: 404.

Röder, J.; Villavicencio G, R.; & Zarazúa V, P. 2006. Aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo “USLE” en SIG para estimar el riesgo potencial de erosión en el área protegida “Sierra de Quila”. XVII Sistema de la investigación científica. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Zapopan, Jalisco. Artículo. 7 p.

Rodriguez I, RM, 2012. “Prácticas Agronómicas para la conservación de los suelos agrícolas en Pacasmayo – La Libertad”. Tesis grado. Universidad Nacional de Trujillo. Perú. 90 p.

Roose, E. 1977. Erosión et ruissellement en Afrique del l'Ouest: Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. *Travaux et documents L'ORSTOM N° 78*, ORSTOM, Paris.

Sánchez, J.; Ríos, C.; Pérez-Chacón, E. ; Suárez, C. 1995. Cartografía del potencial del medio natural de Gran Canaria. Cabildo Insular de Gran Canaria. Universidad de Valencia (Estudios generales), Universidad de las Palmas de Gran Canaria.

Santibáñez, F.; Santibáñez, P.; Hernández, J.; Montaner, D. 2008. Análisis de vulnerabilidad del sector silvoagropecuario, recursos hídricos y edáficos de Chile frente a escenarios de Cambio Climático. Capítulo Impactos en los recursos edáficos de Chile frente a cambios climáticos. AGRIMED (Centro de Agricultura y Medio Ambiente) Universidad de Chile. Santiago, Chile. 98 p.

Segarra, P. 2014. Sinergias entre degradación de la tierra y cambio climático en los paisajes agrarios del Ecuador. Mecanismo Mundial de la CNUCLD–Ministerio del Ambiente–ECOPAR. Quito–Ecuador.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. 2016. Estudio de Vulnerabilidad Climática de Los Recursos Hídricos en Las Cuencas de Los Ríos Chillón, Rímac, Lurín y Parte Alta del Mantaro / Resumen Ejecutivo, Ediciones SENAMHI, Lima, Perú, 250 pp.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú SENAMHI, 2017. Atlas de erosión de Suelos por regiones Hidrológicas del Perú. Lima, Perú. 130 p.

Smith, D.D. ; Wischmeier, W.H., 1962. Rainfall erosion. In Advances in agronomy (Vol. 14, pp. 109-148). Academic Press.

Stewart, B.A.; Woolhiser, D.A.; Wischmeier, W.H.; Caro, J.H.; Frere, M.H. 1975. Control of Pollution from Cropland. Vol. 1, A manual for guideline development; Vol. 2, An overview. U.S Dep. Agric., ARS-H-5 and ARS-H-2, Washington, DC.

Suarez. J. 2001. Control de la erosión en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, CO. 545 p.

UNESCO. 2009. Propuesta de un modelo de estimación de erosión hídrica para la región de Coquimbo, Chile. Documento Técnico del PHI-LAC, N°18. Montevideo, Uruguay.

USDA, 1962. Soil Survey, Séptima. ed. Soil conservation service in cooperation with California Agricultural Experiment Station, California.

USDA. 1993. Soil survey division staff (ssds). Soil survey manual. Handbook No.18. United States Department of Agriculture (USDA). Washington D. C.

Valdez T, EH. 2014. “Análisis de pérdida de Suelos por erosión hídrica en la subcuenca Conduriri mediante la metodología RUSLE, 1980-2014”. Tesis grado. Universidad Nacional del Altiplano. Puno PE. 140 p.

Vázquez, M. I.; López, S.; Zambrano, S. J.; Palacios, S. RJ.; Vaca, G. RA.; López, B. W. 2012. Potencial erosivo en la Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas, México. LACANDONIA, año 6, vol. 6, no. 2: 101-106, diciembre de 2012.

Vasquez V, A. 2011. Sistema de captación del agua de lluvia en laderas semiáridas de la sierra y su impacto en el proceso de desertificación y cambio climático. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 146 p.

Williams, J.; Nearing, M.; Nick, A.; Skidmore, E.; Valentin, C.; King, K.; Savabi, R. 1996. Using soil erosion models for global change studies. *Journal of Soil and Water Conservation*. 51 (5), p. 381-385.

Wischmeier, W.H. and Smith, D.D., 1965. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: Guide for selection of practices for soil and water conservation (No. 282). Agricultural Research Service, US Department of Agriculture.

Wischmeier, W.H. ; Mannering, J.V., 1969. Relation of soil properties to its erodibility. *Soil Science Society of America Journal*, 33(1), pp.131-137.

Wischmeier, W.H.; Johnson, C.B. ; Cross, B.V., 1971. Soil erodibility nomograph for farmland and construction sites.

Wischmeier, W.H., 1976. Use and misuse of the universal soil loss equation. *J Soil Water Conserv*, 31(1), pp.5-9.

Wischmeier, W. H. ; Smith, D. D. 1978 . Predicting Rainfall Erosion Losses. A guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537.

Yali S, RM. (2018). Modelo de erosión RUSLE y coeficiente de aporte de sedimentos (SDR) para la estimación del volumen muerto de reservorios, caso de estudio: Reservorio Gallito Ciego. Tesis ing. Geógrafo. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Perú. 112 p.

Zavala-Cruz, J; Palma-Lopez, DJ; Fernandez C, CR; López C, A; Shirma T, E. 2011. Degradación y conservación de suelos en la cuenca del Río Grijalva, Tabasco. Colegio de Postgraduados. Secretaria de Recursos Naturales y Protección Ambiental y PEMEX. Villahermosa, Tabasco, México. 90 p.

Zuñiga H, JE, 2017. Erosión de Suelos en la Cuenca Aportante Aguada Blanca. Tesis Magister. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú. 134 p.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: DATOS DE PRECIPITACIÓN

ANEXO 2: MAPAS

ANEXO 3: PANEL FOTOGRÁFICO

ANEXO 1: DATOS DE PRECIPITACIÓN

Anexo 1.1 Estaciones meteorológicas

Estación	Longitud	Latitud
X1	-76.57499846	-11.87500092
X2	-76.52499846	-11.87500092
X3	-76.47499846	-11.87500092
X4	-76.42499846	-11.87500092
X5	-76.37499846	-11.87500092
X6	-76.32499846	-11.87500092
X7	-76.57499846	-11.92500092
X8	-76.52499846	-11.92500092
X9	-76.47499846	-11.92500092
X10	-76.42499846	-11.92500092
X11	-76.37499846	-11.92500092
X12	-76.32499846	-11.92500092
X13	-76.57499846	-11.97500092
X14	-76.52499846	-11.97500092
X15	-76.47499846	-11.97500092
X16	-76.42499846	-11.97500092
X17	-76.37499846	-11.97500092
X18	-76.32499846	-11.97500092
X19	-76.57499846	-12.02500093
X20	-76.52499846	-12.02500093
X21	-76.47499846	-12.02500093
X22	-76.42499846	-12.02500093
X23	-76.37499846	-12.02500093
X24	-76.32499846	-12.02500093
X25	-76.57499846	-12.07500093
X26	-76.52499846	-12.07500093
X27	-76.47499846	-12.07500093
X28	-76.42499846	-12.07500093
X29	-76.37499846	-12.07500093
X30	-76.32499846	-12.07500093
X31	-76.57499846	-12.12500093
X32	-76.52499846	-12.12500093
X33	-76.47499846	-12.12500093
X34	-76.42499846	-12.12500093
X35	-76.37499846	-12.12500093
X36	-76.32499846	-12.12500093
X37	-76.57499846	-12.17500093
X38	-76.52499846	-12.17500093
X39	-76.47499846	-12.17500093
X40	-76.42499846	-12.17500093
X41	-76.37499846	-12.17500093
X42	-76.32499846	-12.17500093

Anexo 1.2 Datos de Precipitación media mensual desde 1981 hasta 2016

Estación	Pmm Enero	Pmm Febrero	Pmm Marzo	Pmm Abril	Pmm Mayo	Pmm Junio	Pmm Julio	Pmm Agosto	Pmm Setiembre	Pmm Octubre	Pmm Noviembre	Pmm Diciembre	Suma de Pmm
X1	40.50	38.27	42.32	6.10	0.24	0.10	0.01	0.08	0.55	1.74	3.25	11.58	144.74
X2	43.84	56.74	58.06	8.92	0.24	0.05	0.03	0.12	0.88	2.72	4.22	19.68	195.50
X3	42.11	67.69	73.60	11.40	0.34	0.04	0.16	0.45	1.31	3.25	5.76	26.72	232.83
X4	49.49	74.72	93.86	17.30	0.67	0.15	0.33	0.89	1.79	5.70	9.50	37.18	291.58
X5	66.39	95.87	121.13	23.89	1.82	0.53	0.49	1.42	3.12	9.01	16.46	46.77	386.90
X6	90.09	124.30	134.26	29.88	4.16	1.32	0.75	2.07	4.52	13.89	27.54	58.95	491.73
X7	33.55	32.73	31.40	3.80	0.16	0.20	0.01	0.05	0.46	1.37	2.38	8.32	114.43
X8	45.96	55.65	53.13	5.11	0.14	0.18	0.04	0.08	0.74	2.13	3.10	13.22	179.48
X9	39.59	68.57	74.57	8.50	0.28	0.09	0.14	0.29	1.31	2.36	4.90	20.97	221.55
X10	55.19	76.54	96.46	15.44	0.56	0.22	0.37	0.73	2.00	4.40	8.50	32.17	292.58
X11	74.19	96.73	122.82	21.85	1.40	0.62	0.61	1.13	2.62	6.82	12.54	41.15	382.49
X12	158.39	137.97	157.86	28.96	3.87	1.30	0.82	1.77	3.84	10.96	23.81	54.95	584.50
X13	23.94	23.35	20.65	2.97	0.05	0.06	0.04	0.04	0.29	0.67	1.72	5.04	78.79
X14	34.53	44.06	41.80	4.24	0.03	0.30	0.11	0.05	0.50	1.51	2.63	9.24	138.99
X15	36.02	52.70	64.18	8.53	0.18	0.07	0.22	0.15	0.80	1.76	4.34	15.70	184.65
X16	52.05	77.24	91.55	14.32	0.47	0.19	0.37	0.48	1.29	3.25	7.35	28.72	277.28
X17	78.61	110.67	136.40	23.80	1.63	0.56	0.55	1.02	2.24	5.83	11.78	34.87	407.96
X18	172.72	141.71	169.19	31.29	3.79	1.06	0.80	1.62	3.50	9.13	17.29	54.63	606.75
X19	14.45	17.42	13.37	2.01	0.00	0.07	0.08	0.04	0.20	0.53	1.23	3.74	53.14
X20	18.30	32.68	27.14	3.69	0.01	0.13	0.13	0.05	0.35	0.86	2.06	6.78	92.17
X21	28.12	44.87	49.55	7.07	0.08	0.15	0.19	0.08	0.58	1.54	3.50	11.49	147.22
X22	46.71	69.05	82.03	13.79	0.29	0.21	0.26	0.32	1.07	2.98	6.15	20.12	243.01
X23	75.85	103.08	131.67	21.89	1.01	0.38	0.48	0.85	1.81	5.30	11.03	33.18	386.54
X24	165.53	146.05	175.28	32.51	3.57	0.88	0.76	1.52	3.22	9.26	18.16	55.20	611.94
X25	8.68	13.58	11.05	2.08	0.02	0.10	0.11	0.04	0.18	0.51	1.23	3.30	40.88

X26	11.27	24.17	20.93	3.39	0.04	0.06	0.09	0.04	0.28	0.81	1.78	5.81	68.66
X27	21.89	47.12	42.97	7.34	0.13	0.17	0.17	0.06	0.52	1.58	3.32	11.44	136.71
X28	35.71	67.57	71.59	13.31	0.29	0.15	0.19	0.20	0.89	2.88	5.72	19.33	217.83
X29	68.06	100.04	120.23	20.74	0.97	0.20	0.24	0.61	1.49	4.93	10.14	33.40	361.05
X30	106.26	135.73	169.40	33.49	3.29	0.48	0.49	1.16	2.79	8.62	17.74	58.68	538.14
X31	6.53	11.36	9.36	1.75	0.23	0.19	0.13	0.04	0.20	0.58	1.30	3.02	34.69
X32	11.42	22.31	17.93	3.10	0.31	0.15	0.08	0.05	0.28	0.95	2.24	5.83	64.64
X33	20.97	39.66	35.94	6.08	0.31	0.22	0.11	0.06	0.51	1.77	4.05	11.84	121.53
X34	35.75	62.70	65.54	14.72	0.27	0.11	0.15	0.13	0.89	3.17	6.83	22.50	212.78
X35	53.74	84.46	108.94	21.71	0.99	0.15	0.19	0.45	1.44	5.29	11.32	39.88	328.57
X36	89.68	119.33	148.87	33.09	2.80	0.20	0.35	0.72	2.48	8.24	17.42	60.77	483.94
X37	6.39	9.99	8.42	1.63	0.38	0.23	0.09	0.07	0.21	0.68	1.43	2.89	32.41
X38	10.68	18.41	15.27	2.59	0.47	0.14	0.05	0.06	0.29	1.07	2.29	5.56	56.90
X39	19.44	31.42	29.51	5.28	0.42	0.19	0.05	0.07	0.52	1.94	4.14	11.21	104.19
X40	29.43	42.21	50.55	9.14	0.37	0.07	0.08	0.13	0.81	3.02	6.94	19.26	162.02
X41	47.94	66.69	98.94	21.39	1.19	0.06	0.15	0.33	1.40	5.44	12.07	39.10	294.71
X42	68.60	97.47	142.48	33.23	2.50	0.12	0.24	0.48	2.30	8.15	17.80	63.57	436.94

Anexo 1.3 Datos de Precipitación (P) Acumulada por año desde 1981 hasta 2016

Estación	P 1981	P 1982	P 1983	P 1984	P 1985	P 1986	P 1987	P 1988	P 1989	P 1990	P 1991	P 1992	P 1993	P 1994	P 1995
X1	127.68	136.12	162.32	195.42	104.48	155.05	121.19	133.74	251.22	51.81	90.09	29.65	151.09	174.94	83.59
X2	180.40	169.63	219.37	291.07	144.02	198.37	145.66	162.25	355.37	70.95	118.42	36.29	208.86	230.16	113.71
X3	216.37	166.81	244.86	346.23	176.85	228.23	158.81	198.35	379.74	97.34	142.64	43.68	271.84	274.73	149.19
X4	270.82	167.40	284.21	422.19	231.82	292.06	195.47	258.00	391.84	138.92	180.10	64.32	367.46	349.68	208.14
X5	366.07	220.30	350.07	578.27	318.45	404.83	266.71	353.51	461.71	198.57	250.59	105.17	487.91	462.34	299.45
X6	473.39	321.60	412.78	757.24	407.59	548.66	367.56	462.85	556.70	279.20	311.37	147.80	597.72	587.52	397.55
X7	95.17	99.54	118.68	145.21	82.59	117.53	99.10	118.01	205.19	47.67	74.30	23.77	119.41	143.88	69.84
X8	152.35	156.03	174.20	243.87	125.50	175.89	136.56	181.38	353.93	77.12	113.13	26.55	202.28	239.38	112.71
X9	188.17	156.15	213.52	305.37	157.93	201.96	142.91	217.29	400.91	105.89	138.77	30.83	270.40	283.73	148.07
X10	252.01	163.26	275.58	404.97	219.95	279.44	192.56	274.12	440.21	147.59	181.08	52.33	360.71	376.04	204.82
X11	340.49	220.94	338.18	549.30	293.93	392.46	260.64	349.41	500.65	196.97	235.74	83.28	465.39	493.80	285.36
X12	540.51	412.98	468.02	848.93	448.54	661.09	468.65	541.26	715.80	331.17	351.74	147.51	679.94	752.34	459.74
X13	63.17	66.66	78.50	95.58	58.82	81.56	67.77	94.74	135.76	38.24	55.89	17.15	90.54	106.65	48.43
X14	108.27	109.76	134.39	179.84	96.05	136.98	106.25	153.64	248.06	71.69	96.33	22.43	165.78	191.91	89.07
X15	146.73	114.98	178.56	237.73	130.07	171.49	123.67	197.82	306.41	104.47	124.97	27.01	234.34	248.98	126.35
X16	231.70	168.70	254.93	375.91	206.25	261.85	182.93	280.51	411.07	156.53	176.77	47.93	351.89	375.37	198.19
X17	352.12	252.69	353.96	571.32	307.16	419.51	275.43	378.79	566.49	210.98	256.57	83.04	501.69	555.42	305.79
X18	539.23	431.83	486.93	848.03	447.34	683.80	485.82	561.81	779.78	343.41	361.47	139.46	706.84	830.73	473.66
X19	37.48	42.40	50.19	63.16	38.24	53.49	41.11	66.87	86.34	30.12	38.78	12.00	63.31	74.24	31.88
X20	67.27	70.42	87.22	121.56	65.13	90.28	61.79	105.35	146.63	53.46	67.58	16.35	116.32	127.94	53.43
X21	112.10	91.65	138.95	189.25	102.88	141.33	95.39	160.38	217.79	88.11	106.64	25.05	188.53	208.02	94.70
X22	193.84	164.05	221.68	320.35	174.92	239.16	155.59	243.33	348.54	137.00	162.60	45.16	310.16	337.81	172.92

Estación	P 1996	P 1997	P 1998	P 1999	P 2000	P 2001	P 2002	P 2003	P 2004	P 2005	P 2006	P 2007	P 2008	P 2009	P 2010
X1	146.68	98.53	243.44	205.63	175.38	184.42	137.15	120.90	97.51	71.57	209.73	145.65	170.12	219.33	93.17
X2	180.24	139.17	348.72	269.62	243.03	248.45	181.40	159.59	144.66	115.54	300.31	205.51	225.68	290.06	140.85
X3	208.82	173.20	395.35	327.53	274.64	302.71	219.49	195.44	182.99	149.47	366.90	260.56	274.40	355.92	186.27
X4	252.16	227.40	437.21	424.64	332.50	389.58	279.26	245.66	232.03	180.88	458.53	323.41	336.65	453.44	245.98
X5	347.58	299.69	499.08	548.21	451.29	519.79	379.77	338.19	329.96	242.93	597.82	422.39	438.06	589.47	347.73
X6	464.56	392.90	552.94	651.15	596.73	660.22	493.05	448.96	463.04	331.83	725.28	528.68	547.22	736.64	484.97
X7	113.38	76.85	195.22	158.08	138.39	144.83	110.84	89.90	70.30	43.75	159.60	105.48	142.00	175.76	72.27
X8	179.29	128.34	325.48	253.31	199.51	228.43	162.02	129.01	110.30	79.30	249.02	173.98	224.50	273.69	122.57
X9	206.92	162.52	394.61	314.20	236.82	288.77	203.16	166.36	152.16	117.45	321.81	234.97	277.57	345.84	170.75
X10	260.91	221.09	462.23	429.95	325.11	397.02	269.04	232.99	204.49	150.59	452.69	313.01	363.30	458.17	241.96
X11	358.47	295.83	522.05	546.24	446.95	528.62	359.55	325.16	292.31	219.25	602.86	422.54	466.27	586.58	345.35
X12	621.07	480.49	658.34	761.83	735.97	822.91	541.97	537.16	481.56	392.88	886.91	651.59	705.70	853.93	584.06
X13	81.36	54.23	128.29	100.58	92.69	99.65	79.51	61.46	46.88	23.72	108.33	68.27	101.12	120.69	48.72
X14	143.16	99.49	245.70	185.15	154.98	182.95	132.53	101.97	85.49	45.29	192.88	127.25	185.60	216.97	92.47
X15	179.75	136.05	323.59	256.04	198.45	247.69	172.23	141.90	119.83	71.43	271.78	190.59	249.42	297.27	141.43
X16	275.99	215.20	441.51	387.71	312.16	377.32	254.21	227.40	192.42	127.21	424.99	292.09	363.97	434.52	234.19
X17	417.93	311.01	566.81	575.68	470.76	571.07	377.86	349.28	308.59	218.51	635.72	451.82	520.10	622.15	368.42
X18	683.91	506.24	692.32	803.40	747.57	860.45	547.23	575.02	468.96	399.84	941.87	686.82	761.85	875.02	599.43
X19	55.59	35.05	86.62	67.02	60.04	67.52	59.13	40.57	31.58	13.09	72.00	42.78	70.15	81.81	32.52
X20	94.05	64.02	161.23	123.15	100.56	120.18	97.17	69.33	58.71	22.96	128.31	79.40	127.58	148.69	60.50
X21	151.98	105.85	252.54	203.73	161.32	203.83	145.50	119.04	97.90	44.71	219.40	146.64	211.28	244.68	112.78
X22	258.66	183.20	385.75	342.89	269.78	338.28	226.20	206.08	167.22	96.84	373.02	256.33	336.31	391.51	204.83

Estación	P 2011	P 2012	P 2013	P 2014	P 2015	P 2016	Pma 1981-2016
X1	155.83	195.37	130.89	184.17	180.15	76.72	144.74
X2	224.26	255.93	176.44	217.34	220.82	105.99	195.50
X3	278.33	307.76	211.71	234.13	250.58	130.06	232.83
X4	335.75	382.87	299.44	313.71	338.48	185.02	291.58
X5	440.32	496.29	414.28	415.00	429.33	257.24	386.90
X6	589.73	605.84	504.31	495.78	477.03	321.82	491.73
X7	127.29	156.71	109.50	153.71	152.29	63.55	114.43
X8	220.62	230.35	166.93	212.19	221.80	99.84	179.48
X9	278.35	291.60	212.84	239.36	265.11	132.57	221.55
X10	341.74	380.44	301.06	335.97	375.39	190.93	292.58
X11	437.45	482.39	400.38	420.64	449.96	254.40	382.49
X12	708.75	682.19	554.28	616.03	581.50	354.76	584.50
X13	89.26	108.53	72.24	103.35	105.46	42.81	78.79
X14	163.88	183.42	131.35	167.61	176.33	78.82	138.99
X15	225.00	248.91	169.30	199.78	229.52	103.92	184.65
X16	324.60	359.26	263.72	293.70	335.22	164.14	277.28
X17	462.21	511.41	402.27	432.16	463.13	258.86	407.96
X18	732.55	695.29	549.67	634.34	610.22	350.68	606.75
X19	62.44	73.88	53.52	71.10	75.94	31.22	53.14
X20	103.69	123.67	94.09	110.19	124.88	55.12	92.17
X21	166.92	200.33	134.66	152.78	182.90	80.54	147.22
X22	272.24	318.29	220.32	249.33	287.46	136.63	243.01

Estación	P 1981	P 1982	P 1983	P 1984	P 1985	P 1986	P 1987	P 1988	P 1989	P 1990	P 1991	P 1992	P 1993	P 1994	P 1995
X23	332.19	266.96	329.63	518.39	269.87	389.22	253.87	357.92	541.31	220.70	252.77	80.54	477.24	538.10	293.28
X24	537.10	472.03	489.62	829.77	415.88	662.97	462.46	552.52	792.00	365.43	371.98	135.88	707.51	850.32	478.14
X25	27.56	31.15	38.99	48.67	28.87	39.89	27.58	53.25	63.88	27.62	32.32	10.04	53.25	54.90	25.74
X26	48.40	47.62	65.66	88.03	47.61	66.43	41.01	84.24	101.57	45.35	53.20	13.87	90.11	91.75	40.96
X27	101.89	89.12	128.72	174.96	94.07	127.66	79.63	154.43	192.10	87.13	101.12	29.83	173.73	189.35	85.74
X28	172.46	154.25	198.48	284.71	151.18	205.60	126.33	212.52	315.94	134.37	149.06	53.55	275.95	305.39	156.07
X29	311.43	259.48	313.01	472.31	237.80	350.04	222.95	320.94	526.18	230.14	238.49	91.24	434.08	519.88	278.12
X30	491.88	390.15	447.92	722.62	361.94	544.24	346.96	467.12	717.34	348.43	330.26	132.66	613.60	760.62	427.52
X31	23.44	30.84	32.99	41.60	21.33	34.75	22.37	44.68	53.65	24.87	30.03	10.65	48.72	45.12	23.20
X32	45.49	54.52	59.49	81.07	41.40	62.98	40.07	78.42	97.26	47.14	51.35	17.64	82.94	85.54	41.53
X33	89.86	88.89	110.02	149.85	74.63	111.96	71.85	133.13	176.27	87.92	90.38	35.27	148.87	165.79	81.82
X34	167.86	152.21	184.52	270.31	129.02	186.57	115.15	187.65	337.30	161.98	145.93	83.64	260.39	298.36	155.74
X35	292.82	226.15	289.75	420.59	207.01	304.16	171.87	273.84	492.70	252.68	210.11	106.76	375.88	478.75	264.39
X36	463.90	349.59	426.69	639.19	315.27	478.37	273.69	396.52	632.62	358.97	289.32	135.12	517.91	709.23	393.11
X37	20.88	28.56	29.50	39.65	20.59	33.22	19.19	40.74	53.52	27.41	29.06	10.74	43.51	43.00	22.35
X38	41.27	47.04	52.07	69.03	36.96	54.19	31.97	65.39	91.05	46.11	45.98	16.97	68.65	76.10	38.97
X39	80.33	73.71	95.28	123.78	63.59	92.82	55.67	107.41	162.06	84.88	78.32	31.55	117.69	142.61	74.65
X40	139.60	101.71	145.53	194.82	95.32	139.86	83.28	143.79	253.62	137.49	114.58	52.82	181.60	227.76	127.90
X41	293.52	188.08	280.10	366.66	173.45	263.84	144.07	231.85	421.29	259.56	196.65	99.62	311.82	421.50	243.38
X42	478.30	287.15	418.58	561.35	272.08	409.02	218.00	335.04	546.90	359.40	267.51	128.14	437.55	619.18	358.82

Estación	P 1996	P 1997	P 1998	P 1999	P 2000	P 2001	P 2002	P 2003	P 2004	P 2005	P 2006	P 2007	P 2008	P 2009	P 2010
X23	418.88	293.72	532.18	543.41	452.94	540.75	355.73	346.10	290.88	200.54	605.43	426.76	514.02	589.37	352.54
X24	713.67	506.69	702.75	825.55	761.42	891.80	553.66	591.29	473.11	401.18	967.91	684.75	794.94	884.42	603.46
X25	40.53	27.05	65.06	50.01	42.94	50.07	47.46	31.23	24.75	9.32	52.03	32.44	53.64	65.05	25.17
X26	68.33	48.07	114.64	90.36	70.85	85.99	73.65	53.02	44.25	14.41	92.57	57.40	95.21	112.60	45.33
X27	141.23	99.87	224.93	184.31	152.15	182.00	139.33	116.57	98.13	38.33	198.61	129.30	195.13	226.74	104.41
X28	229.56	165.95	343.32	302.50	247.14	293.57	209.06	197.44	163.28	88.90	326.61	220.00	303.56	346.02	185.20
X29	396.77	282.73	495.36	502.58	427.52	496.62	335.07	339.52	280.21	201.06	554.96	376.55	480.65	535.39	325.86
X30	592.45	442.17	630.36	748.42	663.82	750.60	513.32	545.04	445.05	366.28	852.03	593.67	692.34	768.33	530.65
X31	33.23	24.20	53.22	41.15	35.17	41.84	41.89	27.62	22.78	9.44	42.04	27.18	45.55	57.67	23.51
X32	63.67	46.43	103.96	84.76	69.17	80.94	69.93	52.14	43.53	17.24	83.43	52.45	88.56	107.94	46.21
X33	120.99	91.47	194.23	164.58	138.87	161.23	124.21	112.55	89.29	43.25	175.22	108.22	171.86	201.89	97.28
X34	213.95	158.61	319.52	285.91	252.85	281.66	209.54	217.32	164.38	111.30	320.54	200.08	281.87	333.37	182.55
X35	338.21	253.75	436.87	446.64	392.93	426.75	316.36	359.22	263.55	223.21	507.47	328.13	420.16	479.83	308.62
X36	529.39	400.24	553.90	663.64	600.78	657.54	470.67	533.18	410.85	376.71	763.42	513.09	610.98	676.72	489.71
X37	27.79	23.68	49.27	36.51	34.12	37.58	37.99	25.51	20.85	11.35	36.91	24.82	41.63	55.69	23.37
X38	51.96	42.77	88.30	72.63	61.42	69.43	62.24	47.35	39.54	20.45	70.67	43.67	76.20	96.70	42.54
X39	97.56	82.57	160.05	139.63	119.66	134.95	110.23	98.18	78.77	49.27	147.73	86.49	142.84	175.43	87.20
X40	156.22	129.84	239.26	225.78	192.88	212.10	163.61	169.24	120.74	98.02	239.31	140.08	213.98	253.77	143.77
X41	303.83	225.34	371.95	413.08	345.79	366.72	296.34	345.41	243.59	230.98	447.28	273.79	362.84	422.36	289.05
X42	471.23	345.09	486.15	624.73	528.58	561.89	441.15	526.71	383.30	385.05	687.00	437.50	536.57	599.49	458.94

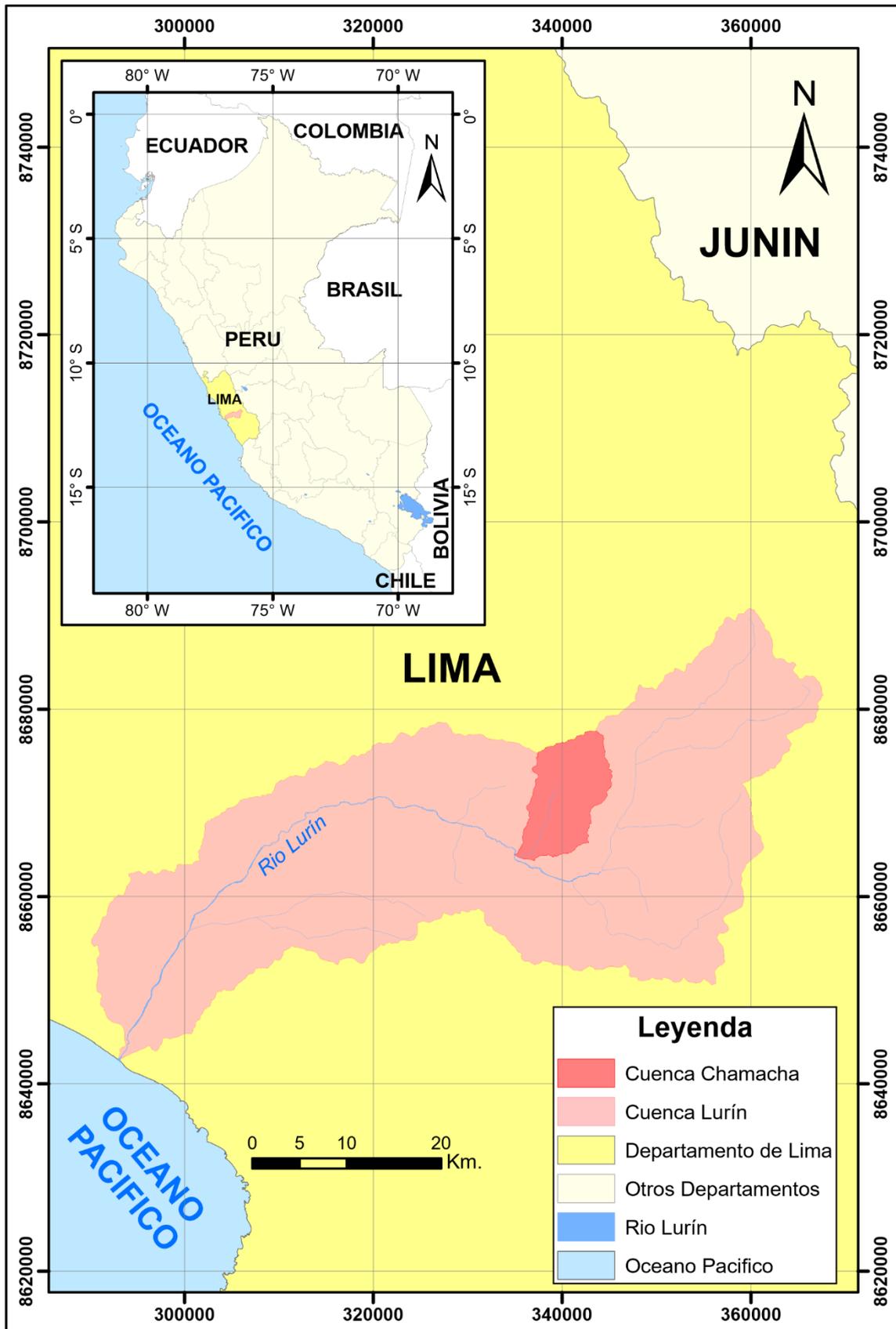
Estación	P 2011	P 2012	P 2013	P 2014	P 2015	P 2016	Pma 1981-2016
X23	439.60	488.64	357.33	395.01	425.11	224.51	386.54
X24	738.05	707.23	533.13	623.73	622.17	325.39	611.94
X25	47.24	55.84	43.55	55.84	62.01	26.75	40.88
X26	74.03	90.50	74.65	88.89	105.40	45.67	68.66
X27	144.83	180.18	137.70	150.25	184.59	83.41	136.71
X28	225.69	276.73	204.33	227.79	262.58	126.65	217.83
X29	390.28	436.22	332.12	383.87	407.62	210.63	361.05
X30	604.48	637.15	483.84	553.89	561.62	294.20	538.14
X31	40.52	43.97	35.72	44.13	48.28	21.55	34.69
X32	71.35	80.01	67.50	78.75	91.08	41.07	64.64
X33	127.84	147.60	120.60	136.26	158.09	73.03	121.53
X34	217.34	251.16	196.03	240.63	258.37	126.31	212.78
X35	340.84	386.42	298.45	365.58	376.00	192.07	328.57
X36	526.25	561.08	427.17	514.21	504.91	257.86	483.94
X37	37.27	37.45	33.63	43.23	45.76	20.35	32.41
X38	61.21	64.30	60.29	75.22	81.65	37.93	56.90
X39	109.63	120.43	102.64	123.47	135.13	64.49	104.19
X40	163.78	182.80	152.57	193.22	204.81	97.28	162.02
X41	292.44	331.72	270.21	357.73	351.69	172.12	294.71
X42	439.47	500.25	401.07	496.08	479.77	242.79	436.94

Anexo 1.4 Datos de cálculo del Factor R

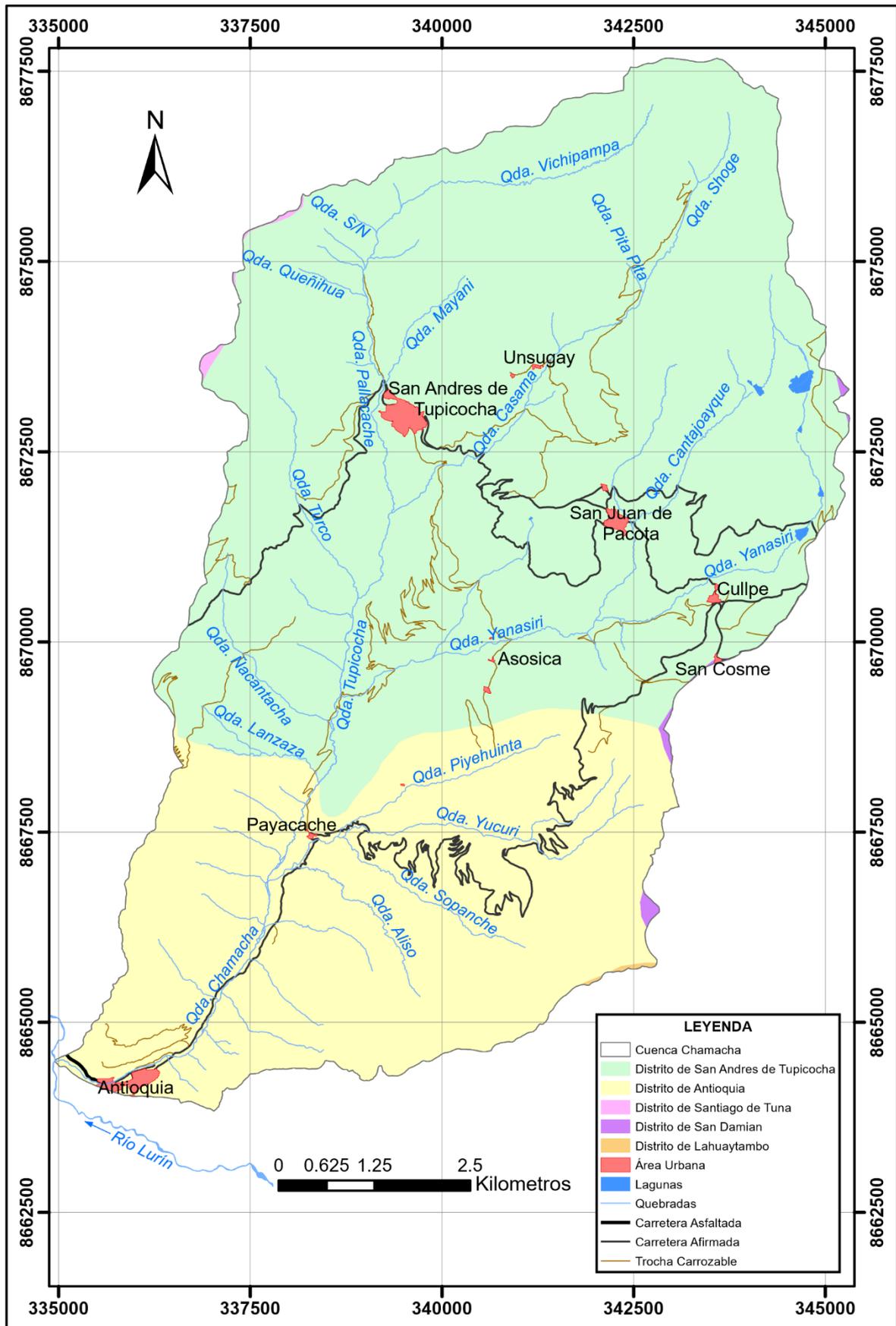
Estación	Pma 1981-2016	Valores del Factor R para P mayor a 200 mm	Valores del Factor R para P menor a 200 mm	Factor R
X1	144.74	-5.61	20.17	20.17
X2	195.50	40.07	27.40	27.40
X3	232.83	74.78	32.89	74.78
X4	291.58	114.73	39.22	114.73
X5	386.90	186.40	50.56	186.40
X6	491.73	246.20	60.03	246.20
X7	114.43	-32.68	15.88	15.88
X8	179.48	39.63	27.33	27.33
X9	221.55	80.88	33.86	80.88
X10	292.58	127.05	41.17	127.05
X11	382.49	200.49	52.79	200.49
X12	584.50	373.25	80.13	373.25
X13	78.79	-68.26	10.25	10.25
X14	138.99	-2.20	20.71	20.71
X15	184.65	40.76	27.51	27.51
X16	277.28	120.99	40.21	120.99
X17	407.96	246.61	60.09	246.61
X18	606.75	417.89	87.20	417.89
X19	53.14	-96.21	5.83	5.83
X20	92.17	-52.29	12.78	12.78
X21	147.22	2.57	21.46	21.46
X22	243.01	93.79	35.90	93.79
X23	386.54	230.45	57.53	230.45
X24	611.94	420.41	87.60	420.41
X25	40.88	-111.33	3.44	3.44
X26	68.66	-79.22	8.52	8.52
X27	136.71	-7.27	19.91	19.91
X28	217.83	69.28	32.02	69.28
X29	361.05	203.40	53.25	203.40
X30	538.14	339.17	74.74	339.17
X31	34.69	-119.11	2.21	2.21
X32	64.64	-87.53	7.20	7.20
X33	121.53	-31.85	16.02	16.02
X34	212.78	49.58	28.90	49.58
X35	328.57	154.00	45.43	154.00
X36	483.94	275.53	64.67	275.53
X37	32.41	-123.00	1.59	1.59
X38	56.90	-98.45	5.48	5.48
X39	104.19	-55.50	12.27	12.27
X40	162.02	-4.88	20.28	20.28
X41	294.71	112.60	38.88	112.60
X42	436.94	230.20	57.49	230.20

ANEXO 2: MAPAS

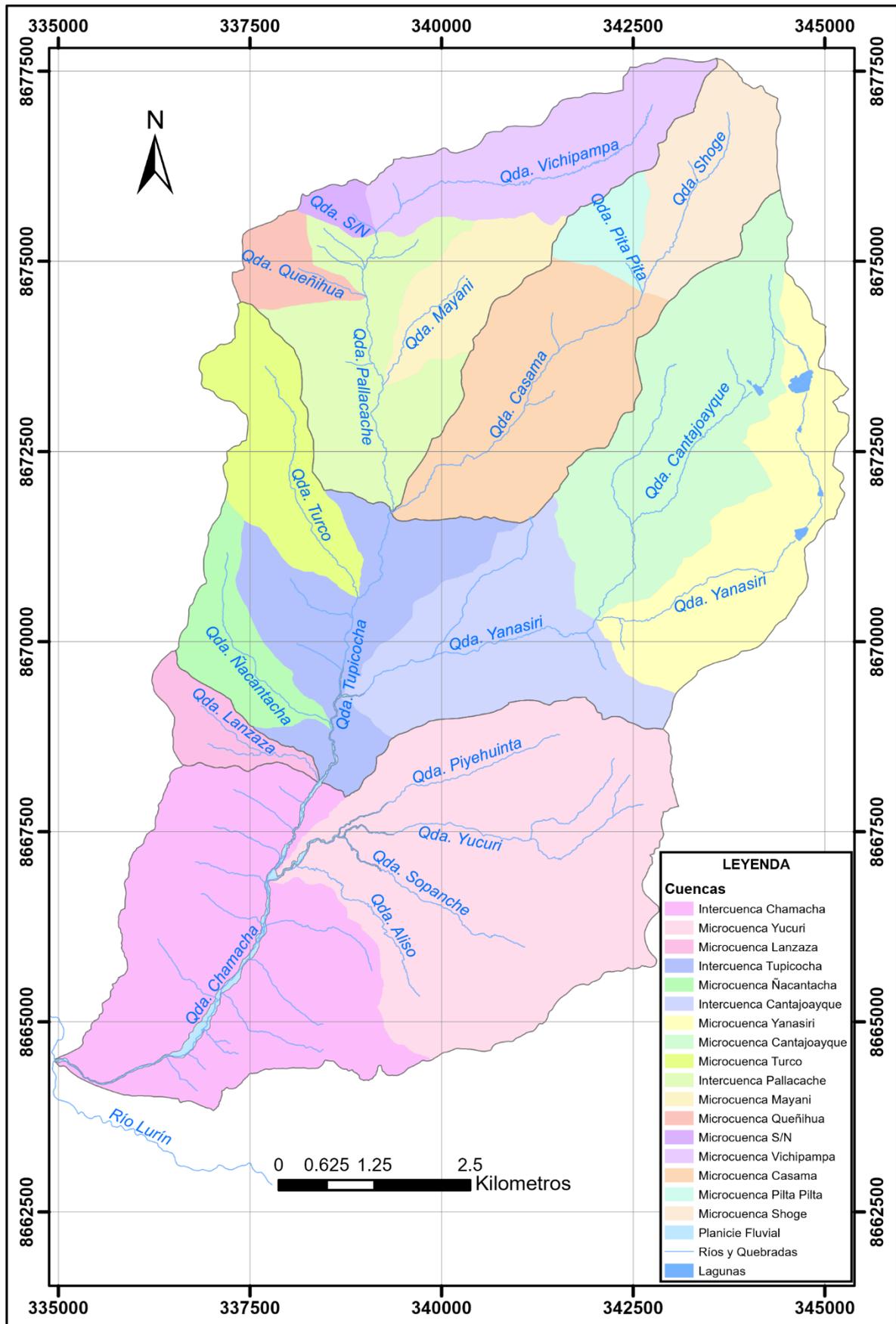
Anexo 2.1 Mapa de Ubicación



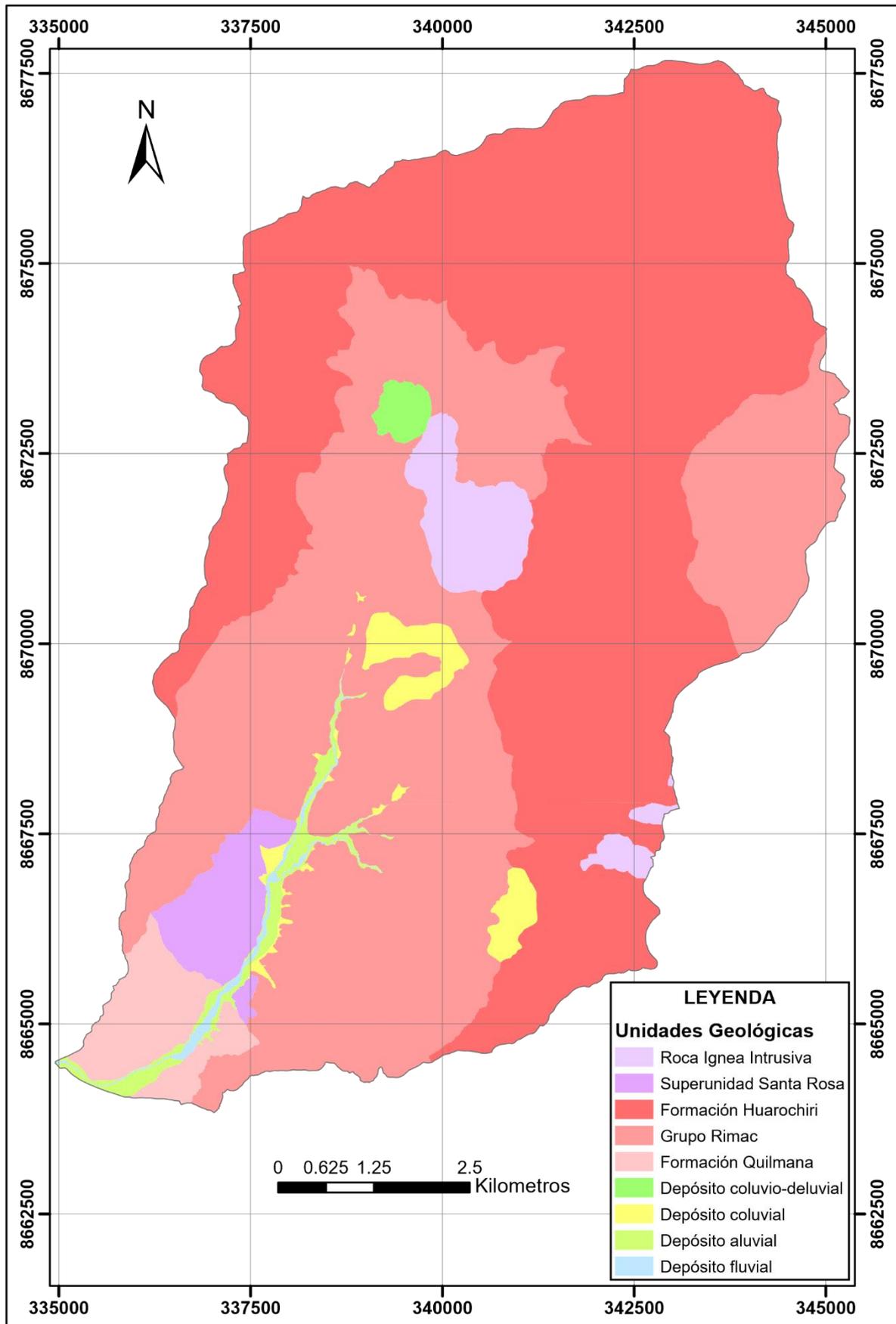
Anexo 2.2 Mapa Político



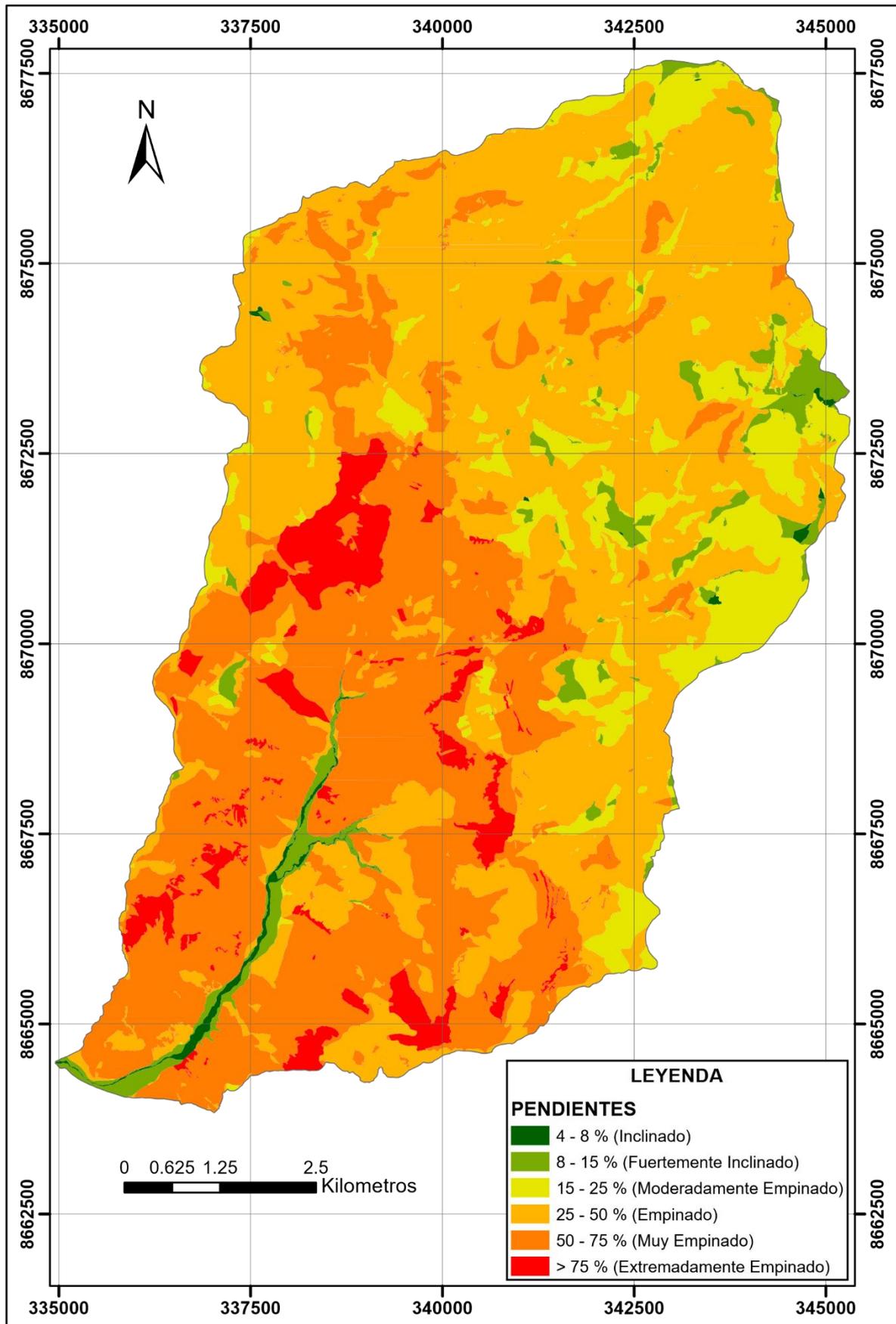
Anexo 2.3 Mapa de Cuencas



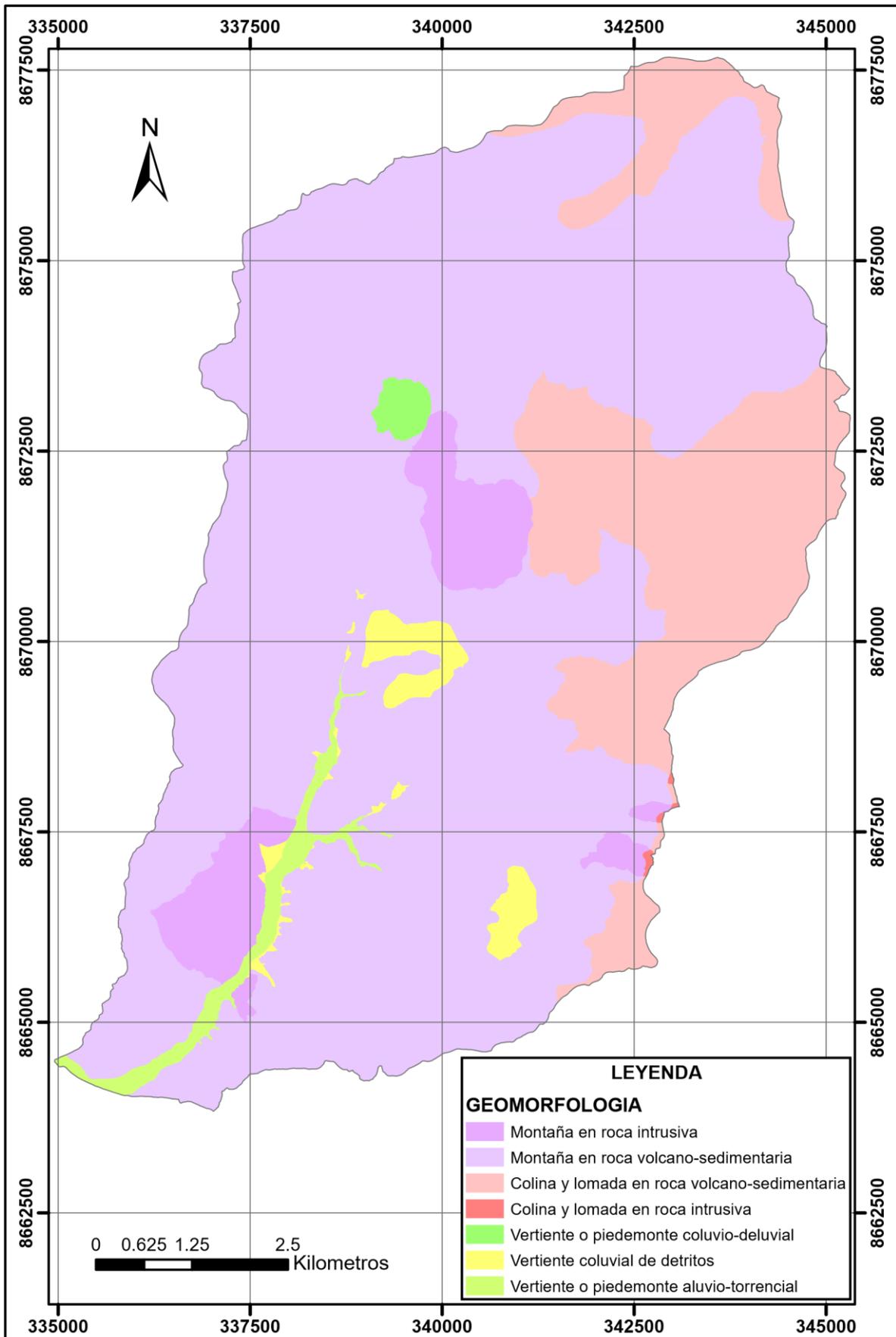
Anexo 2.4 Mapa Geológico



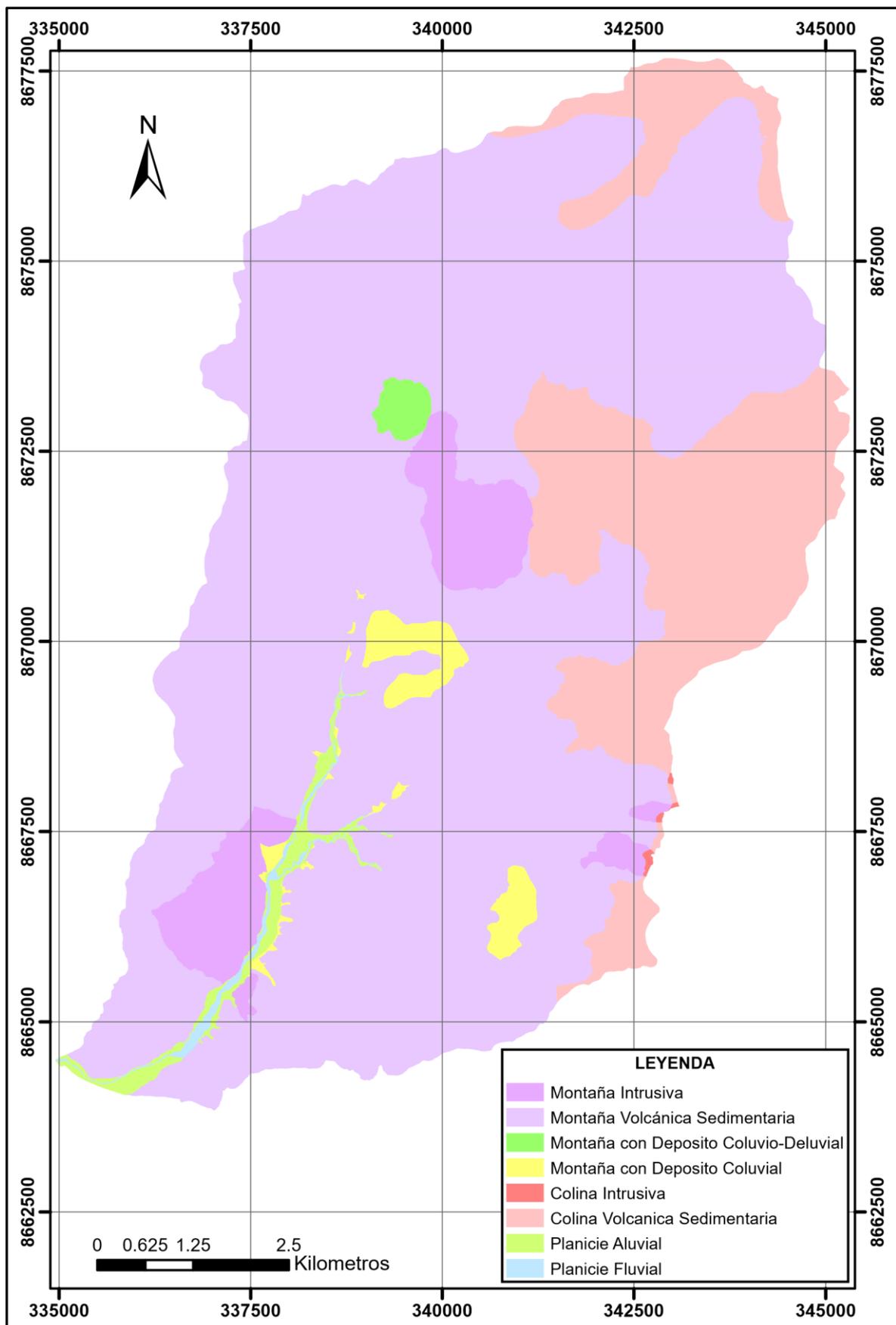
Anexo 2.5 Mapa de Pendientes



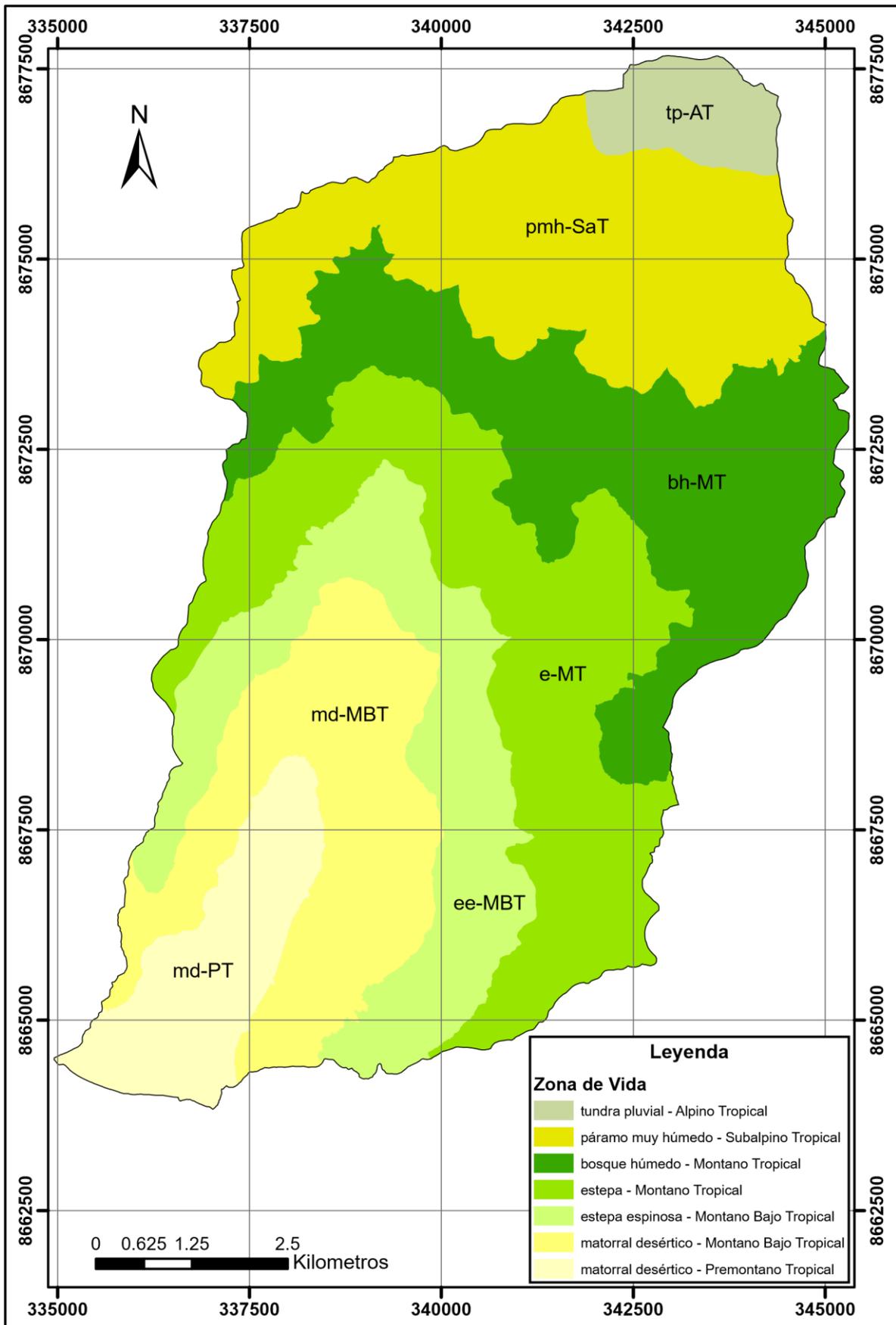
Anexo 2.6 Mapa Geomorfológico



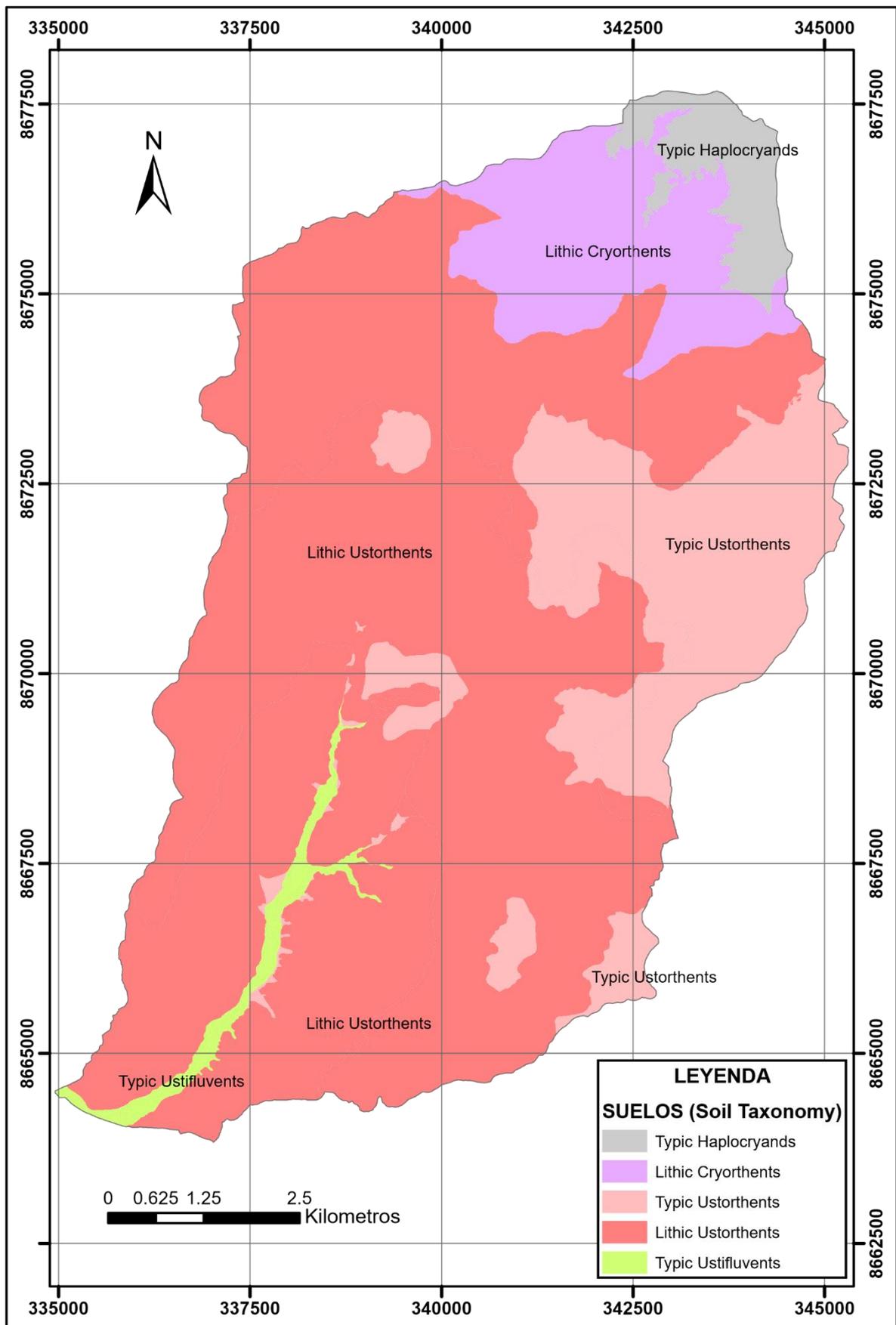
Anexo 2.7 Mapa Fisiográfico



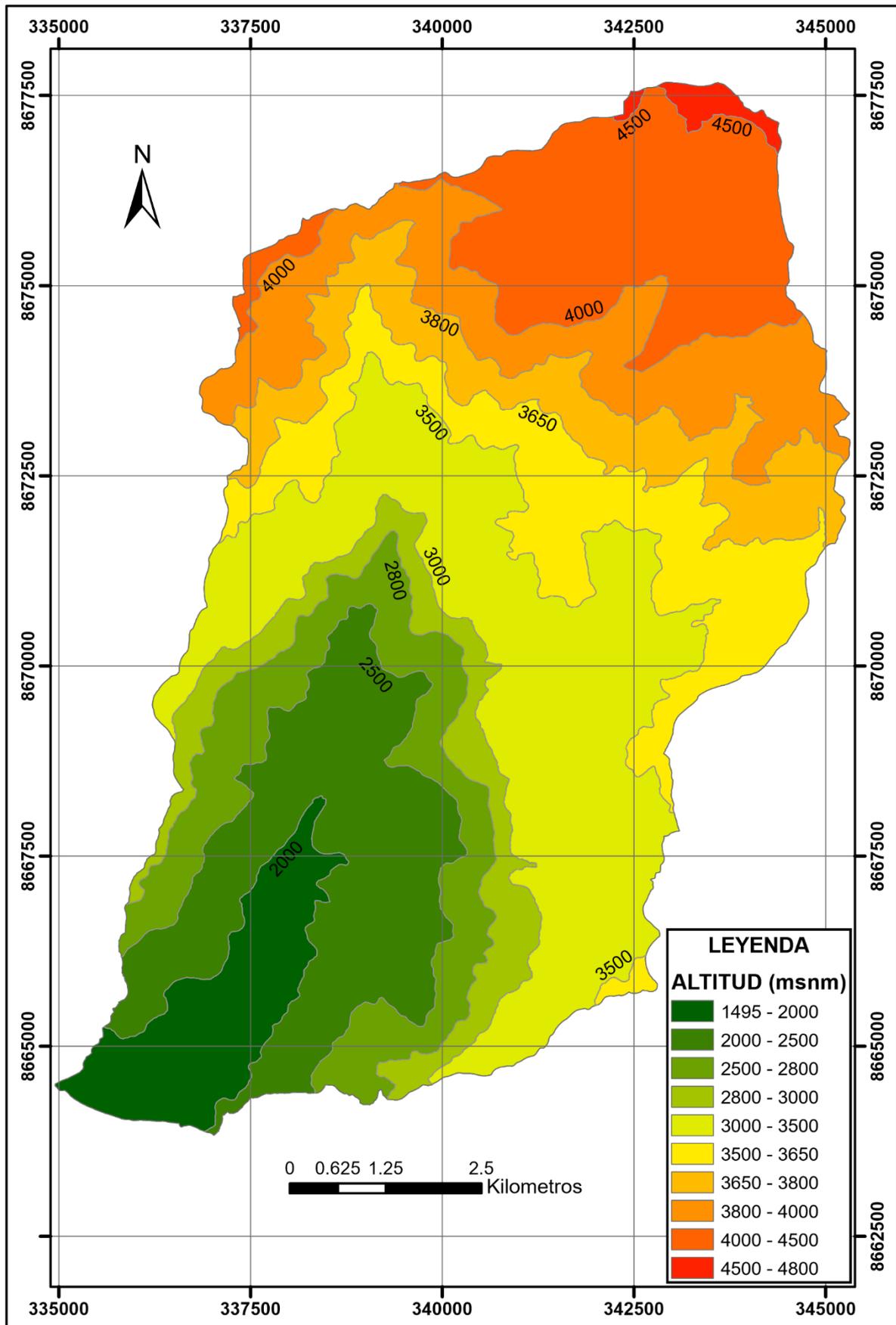
Anexo 2.8 Mapa de Zonas de Vida



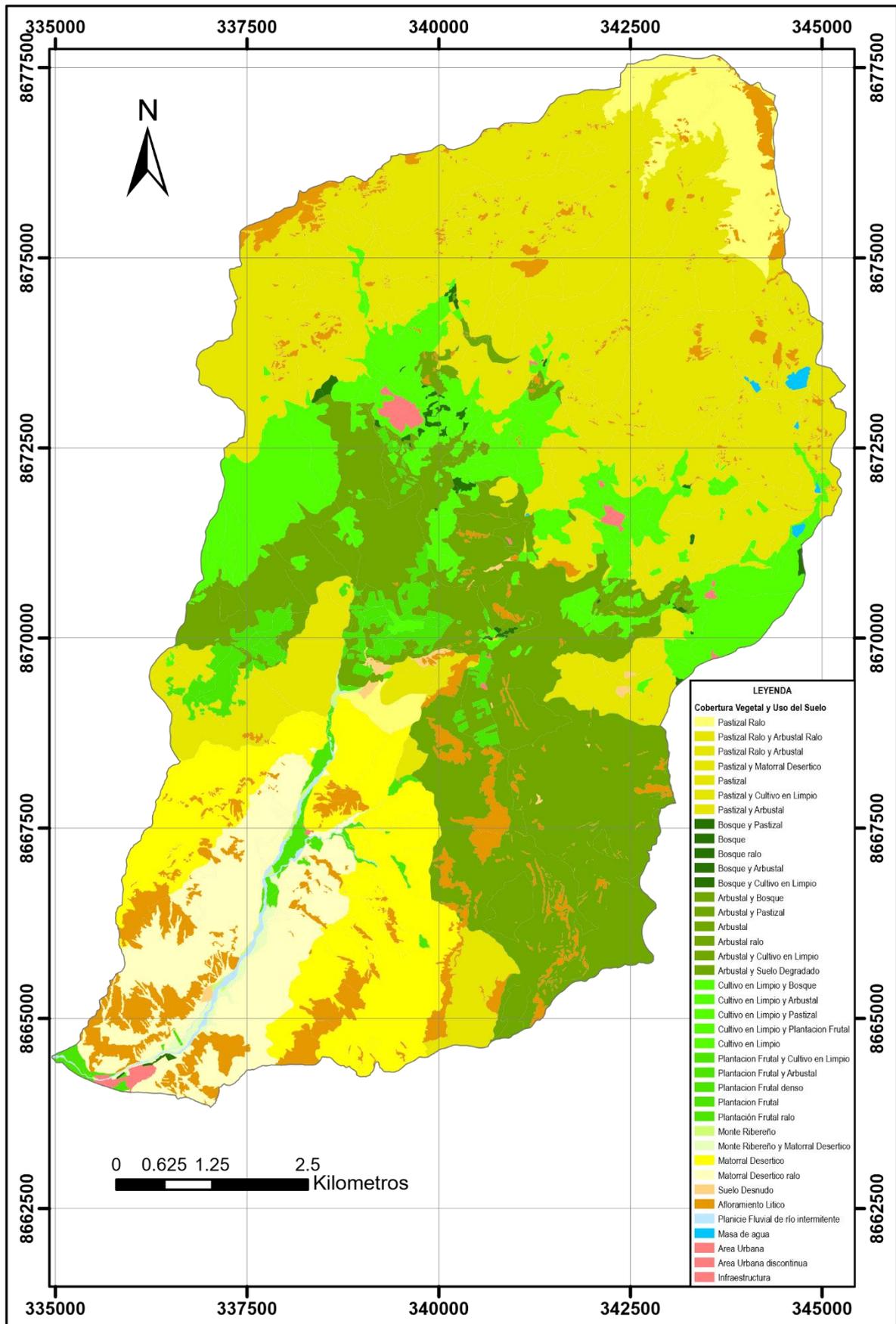
Anexo 2.9 Mapa de Suelos



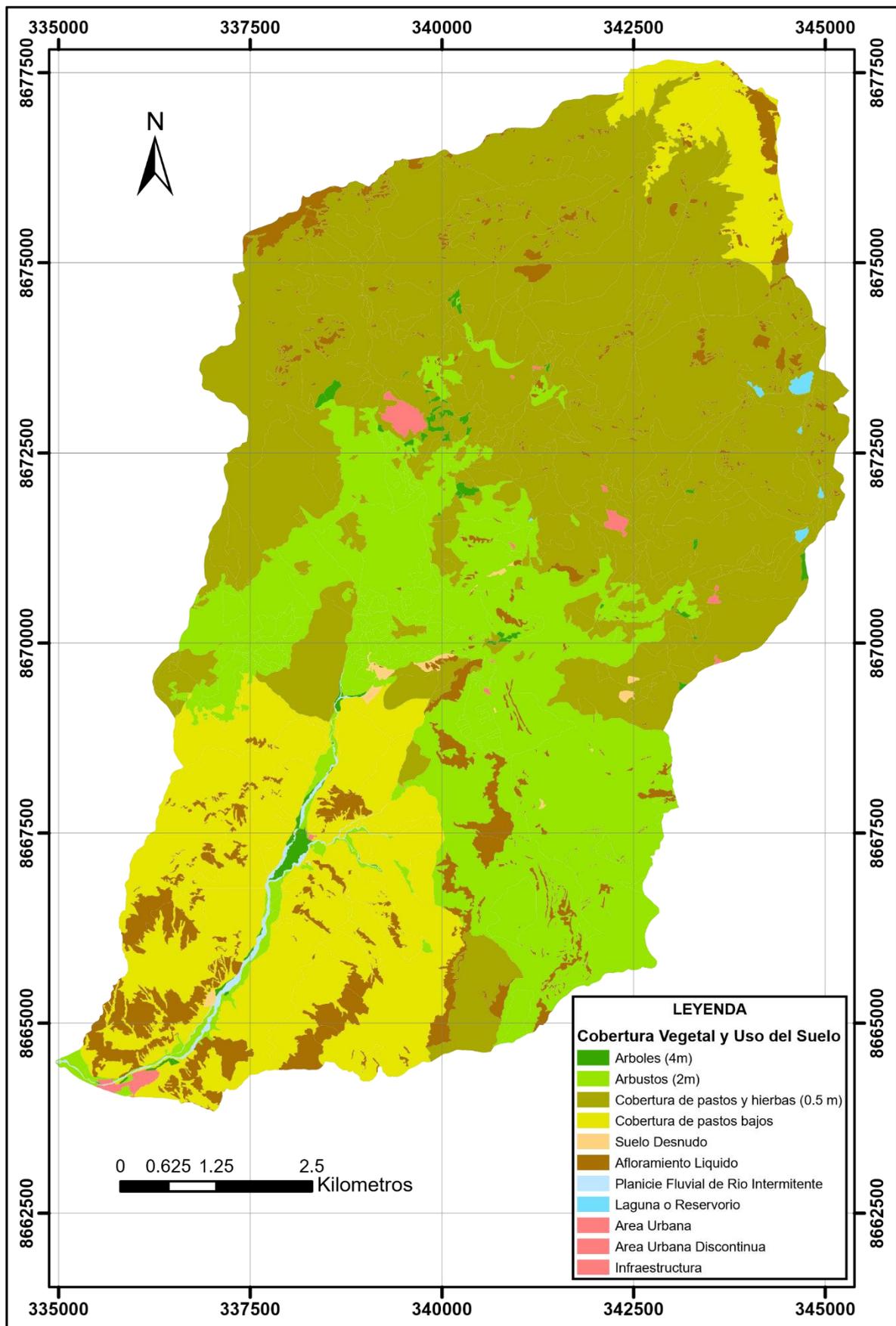
Anexo 2.10 Mapa de Pisos Altitudinales



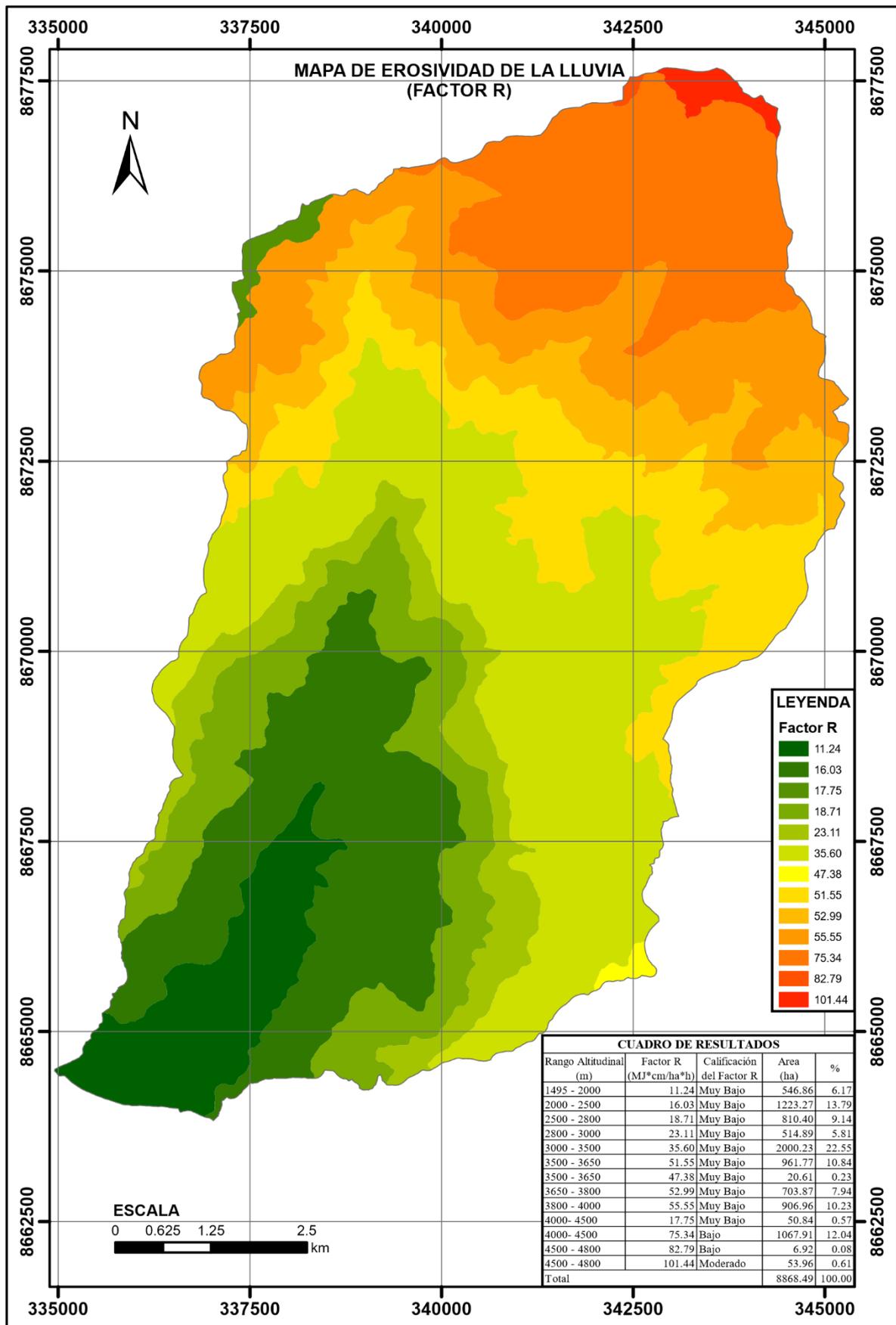
Anexo 2.11 Mapa de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo (Según datos de Campo).



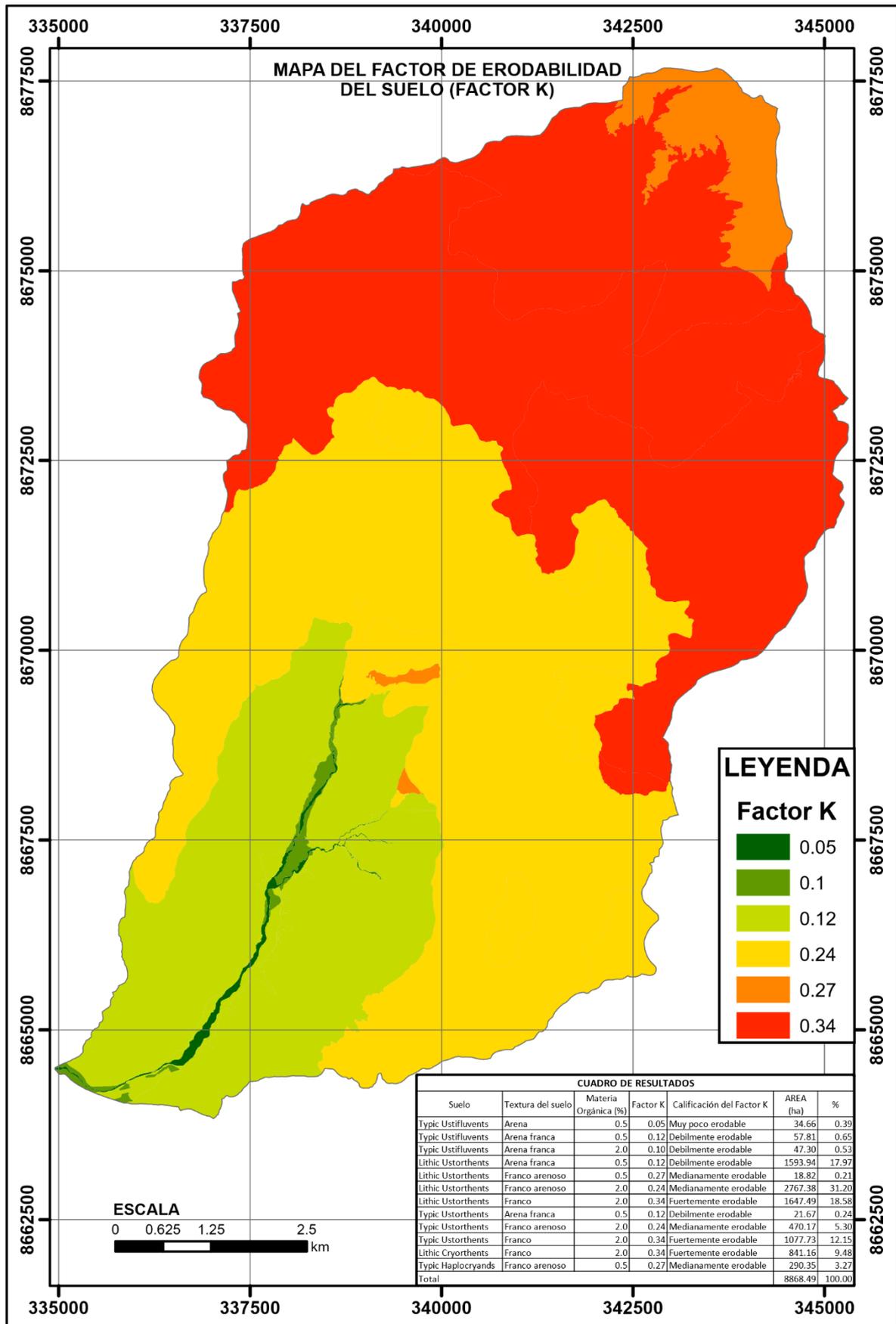
Anexo 2.12 Mapa de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo (Adaptado).



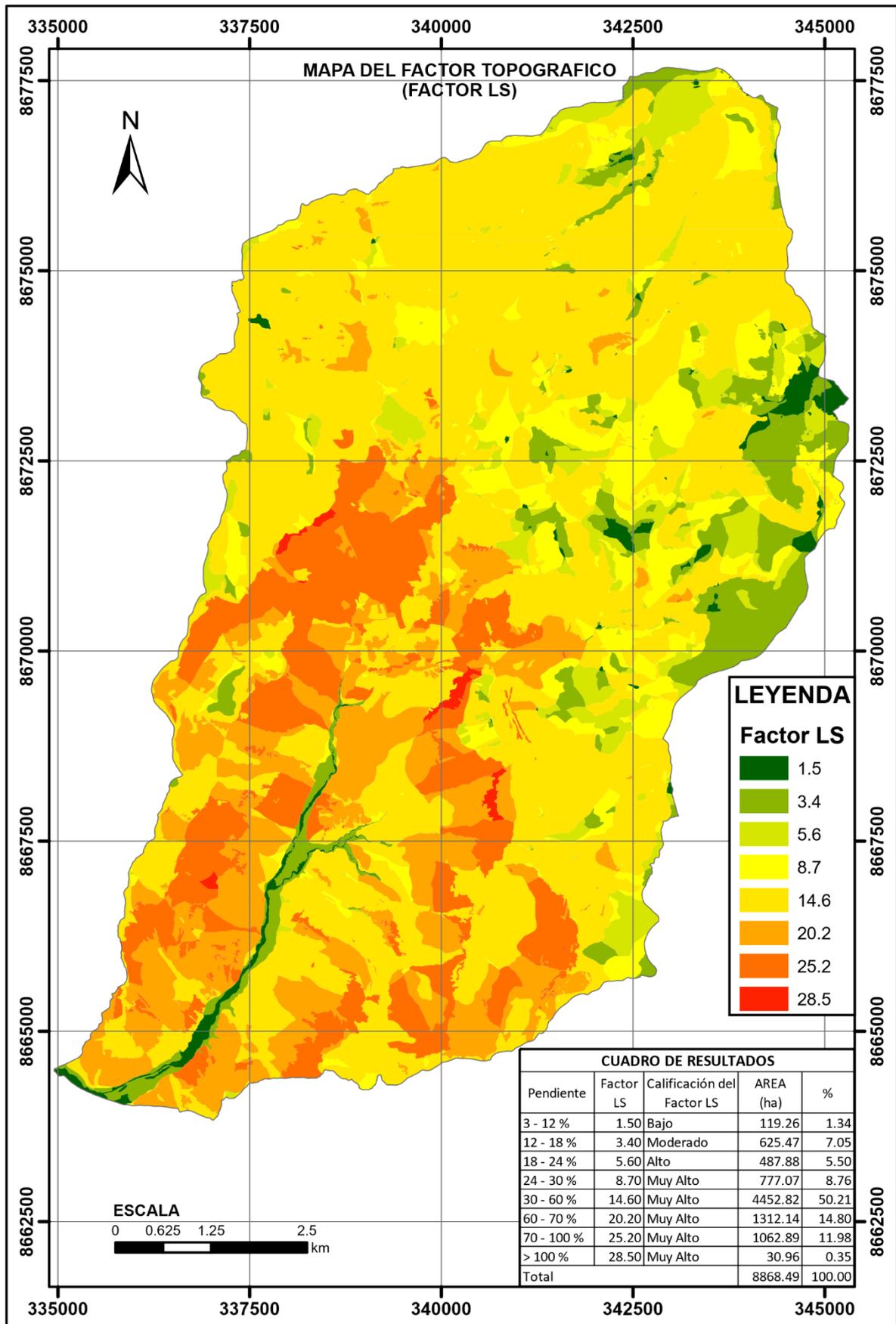
Anexo 2.13 Mapa de Erosividad de la Lluvia (Factor R)



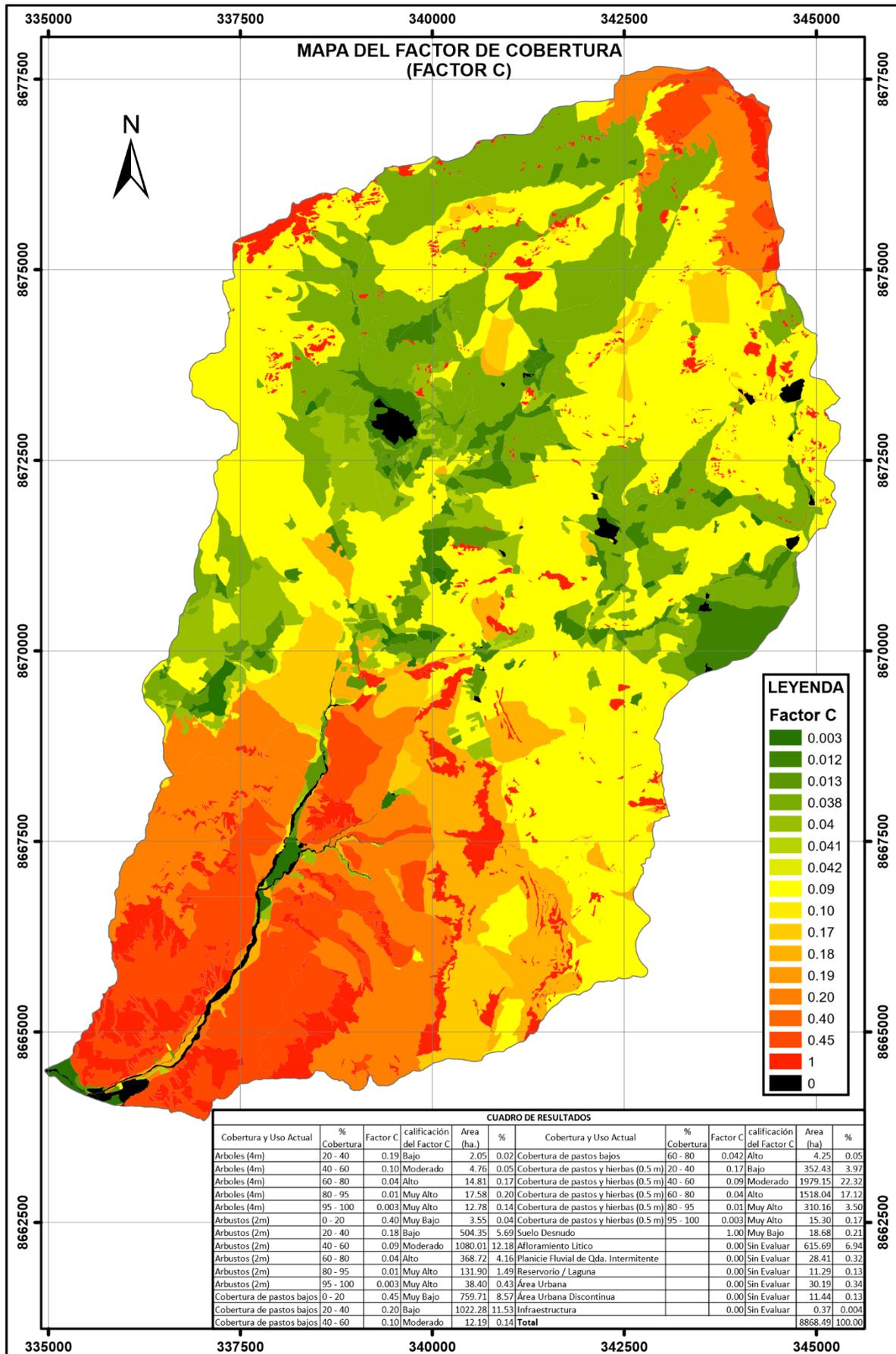
Anexo 2.14 Mapa del Factor de Erodabilidad del Suelo (Factor K).



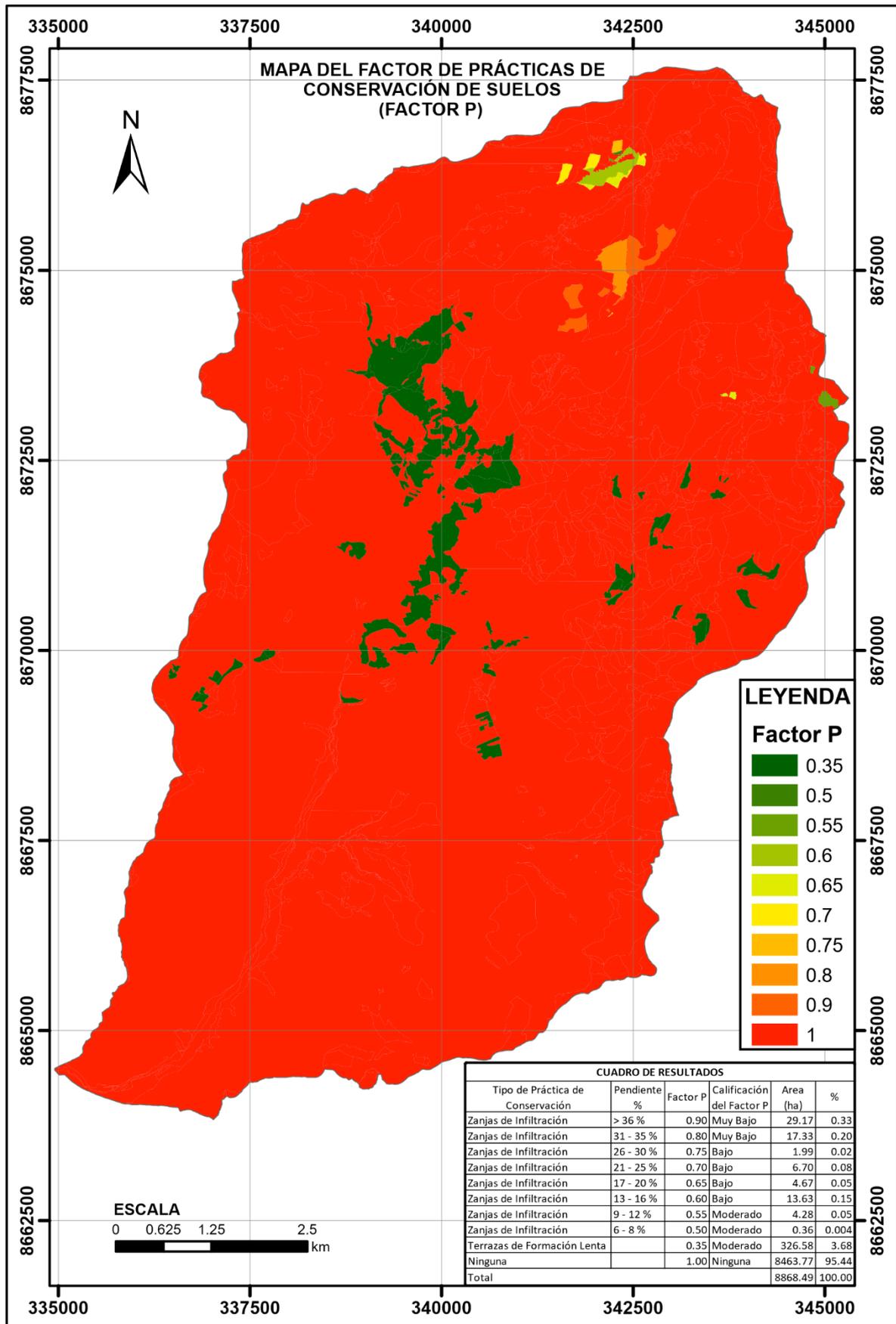
Anexo 2.15 Mapa del Factor Topográfico (Factor LS).



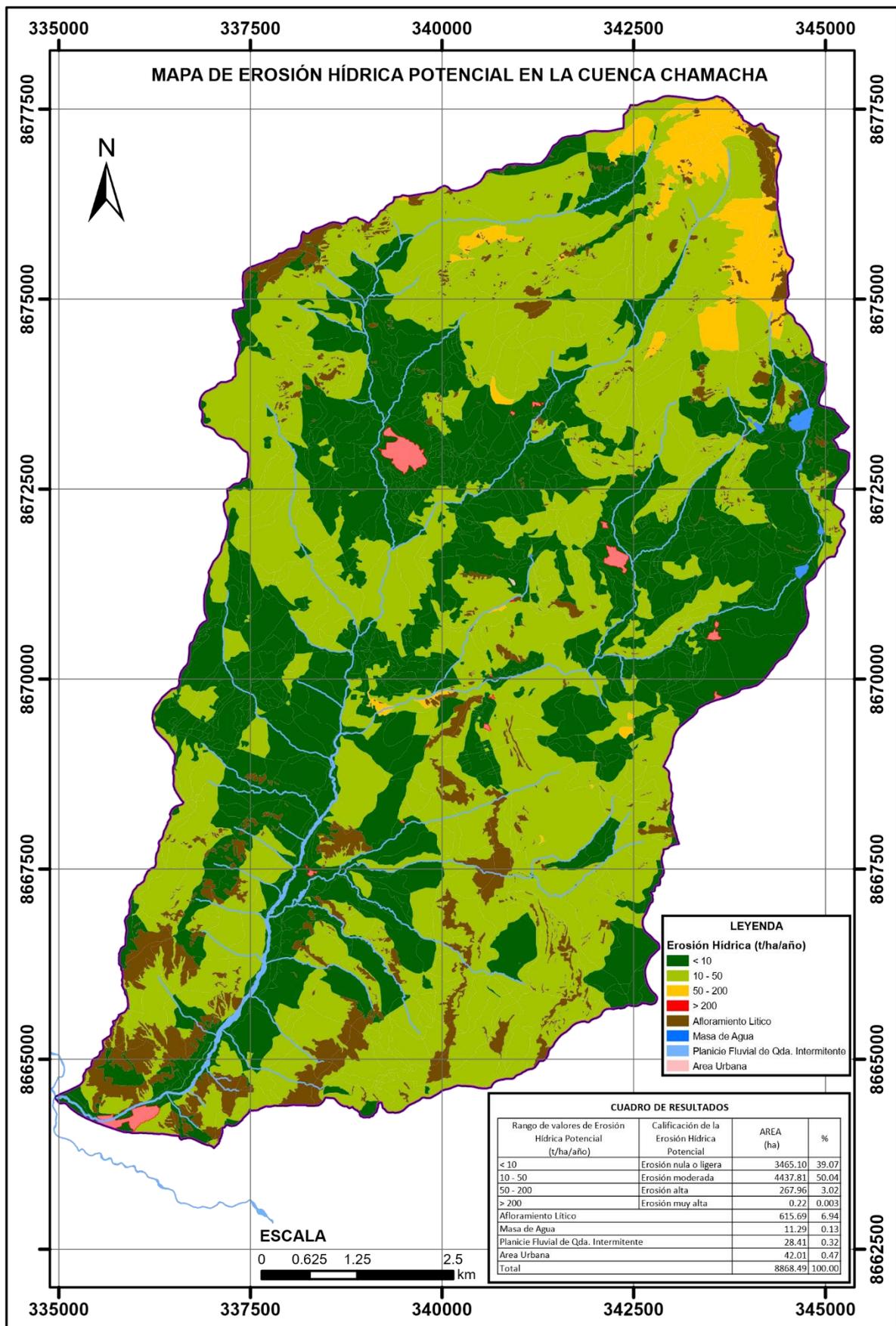
Anexo 2.16 Mapa del Factor de Cobertura (Factor C).



Anexo 2.17 Mapa del Factor Prácticas de Conservación de Suelos (Factor P).



Anexo 2.18 Mapa de Erosión Hídrica Potencial (A).



Anexo 3: PANEL FOTOGRÁFICO



Anexo 3.1 Suelos con erosión alta



Anexo 3.2 Suelos con erosión moderada



Anexo 3.3 Suelos con erosión nula o ligera



Anexo 3.4 Afloramiento Lítico



Anexo 3.5 Lagunas o Reservorios



Anexo 3.6 Planicie Fluvial de quebrada Intermitente



Anexo 3.7 Ciudad de Antioquía



Anexo 3.8 Ciudad de San Andrés de Tupicocha