

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**



**“ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO MEDIA ANUAL  
MEDIANTE EL MODELO R.U.S.L.E., EN LA CUENCA DEL RÍO  
TINGO - CAJAMARCA”**

Presentada por:

**Daniel Eduardo Nakaya Barzola**

Tesis para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

Lima – Perú

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**“ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO MEDIA ANUAL  
MEDIANTE EL MODELO R.U.S.L.E., EN LA CUENCA DEL RÍO  
TINGO - CAJAMARCA”**

Presentada por:

**Daniel Eduardo Nakaya Barzola**

Tesis para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

---

Mg. Sc. Ever Menacho Casimiro  
PRESIDENTE

---

Mg. Sc. Lily Tello Peramas  
MIEMBRO

---

Lic. Fis. Juan Manuel Pesantes Rojas  
MIEMBRO

---

Mg. Sc. Juan Guerrero Barrantes  
ASESOR

---

Mg. Sc. Wilfredo Baldeón Quispe  
Co ASESOR

## **DEDICATORIA**

Dedicado a mis padres, amigos y a todos los que formaron parte en esta etapa de mi vida profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

La presente Tesis está dedicada a Dios por brindarme fé y constancia para alcanzar mis metas.

A mis padres, por su apoyo incondicional.

Al Ing. Juan Guerrero Barrantes por sus enseñanzas, apoyo y consejos para lograr mi meta.

Al Ing. Wilfredo Baldeón Quispe por sus enseñanzas, apoyo y consejos para lograr mi meta.

Al Ing. Luis Dávila Abanto por brindarme su apoyo, logística y conocimientos para lograr mi meta.

Al laboratorio de mecánica de suelos de la facultad de Ingeniería Agrícola por el apoyo y facilidades brindadas.

A la oficina de Ordenamiento Territorial del Gobierno Regional de Cajamarca por la información y soporte que me brindaron.

A mi alma máter UNALM por permitirme formar parte de ella.

# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>3</b>
2.1 EROSIÓN .....	3
2.2 EROSIÓN HÍDRICA.....	3
2.3 PROCESO DE EROSIÓN HÍDRICA .....	4
2.4 FACTORES DE LA EROSIÓN HÍDRICA .....	5
2.5 ECUACIÓN UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO REVISADA (RUSLE): .....	6
2.5.1. Factor de Erosividad (R).....	7
2.5.2. Factor de Erodabilidad (K) .....	9
2.5.3. Factor Topográfico (LS) .....	14
2.5.4. Factor de Cobertura (C) .....	15
2.5.5. Factor de prácticas de conservación de suelo (P) .....	16
2.6 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).....	17
2.6.1. Pre-Procesamiento de imágenes satelitales .....	19
2.6.2. Clasificación Supervisada y no Supervisada de imágenes satelitales .....	20
2.7 ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE SERIES HIDROMETEOROLÓGICAS .....	20
2.8 PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS.....	21
2.8.1. Prácticas Mecánico - Estructurales .....	21
2.8.2. Prácticas agronómicas .....	25
2.8.3. Prácticas forestales.....	26
2.9 LÍMITE DE TOLERANCIA DE PERDIDA DE SUELO .....	27
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>29</b>
3.1 ZONA DE ESTUDIO .....	29
3.2 CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	30
3.2.1. Centros poblados.....	30
3.2.2. Vías de Comunicación.....	31
3.2.3. Clima.....	32
3.2.4. Demografía .....	32
3.2.5. Suelos .....	33
3.2.6. Geomorfología.....	35
3.2.7. Geología .....	37
3.3 MATERIALES .....	40

3.3.1.	Imágenes Satelitales, en formato Raster .....	40
3.3.2.	Información temática base, en formato vectorial .....	40
3.3.3.	Materiales de campo y procesamiento de información .....	41
3.4	<b>METODOLOGÍA</b> .....	41
3.4.1.	Fase de Gabinete (Pre-Campo) .....	41
3.4.2.	Fase de Campo .....	42
3.4.3.	Fase de Gabinete (Post-Campo) .....	43
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>67</b>
4.1	INFORMACIÓN GEOESPACIAL PARA IDENTIFICAR LAS ZONAS DE EROSIÓN .....	67
4.1.1.	Mapa de la Cuenca del Río Tingo.....	67
	.....	68
4.1.2.	Mapa de Pendientes de la Cuenca del Río Tingo .....	69
4.1.3.	Mapa de Precipitación de la Cuenca del Río Tingo .....	71
4.1.4.	Mapa de Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Tingo.....	74
4.1.5.	Mapa de Suelos de la Cuenca del Río Tingo.....	76
4.1.6.	Mapa Geomorfológico de la Cuenca del Río Tingo .....	78
4.1.7.	Mapa Geológico de la Cuenca del Río Tingo.....	80
4.1.8.	Mapa de Capacidad de Uso Mayor de las Tierras en la Cuenca del Río Tingo .....	82
4.1.9.	Mapa de Conflicto de Uso de las Tierras en la Cuenca del Río Tingo.....	84
4.2	FACTORES DEL MODELO R.U.S.L.E.....	86
4.2.1.	Factor de Erosividad (R).....	86
4.2.2.	Factor de Erodabilidad (K) .....	88
4.2.3.	Factor Topográfico (LS) .....	90
4.2.4.	Factor de Cobertura (C) .....	92
4.3	ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO TINGO .....	94
4.4	GRADO DE EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO TINGO .....	96
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>98</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>101</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>102</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>108</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Indicadores de la magnitud general del factor K de erodabilidad del suelo ....	10
Tabla N° 2: Valores de factor K según litología. ....	11
Tabla N° 3: Códigos USLE de estructura de suelo. ....	13
Tabla N° 4: Códigos USLE de permeabilidad en función de la textura. ....	13
Tabla N° 5: Valores del factor C para los tipos más comunes de cobertura de suelo. ....	16
Tabla N° 6: Valores experimentales del factor P para distintas prácticas de conservación de suelo. ....	17
Tabla N° 7: Clasificación de pérdida de suelo. ....	28
Tabla N° 8: Población distrital por género de la provincia de Hualgayoc. ....	33
Tabla N° 9: Rango de pendientes para laderas cortas y largas. ....	44
Tabla N° 10: Localización de Estaciones Meteorológicas. ....	45
Tabla N° 11: Área de pendientes. ....	52
Tabla N° 12: Clasificación de la precipitación media anual. ....	52
Tabla N° 13: Cobertura vegetal de la cuenca del Río Tingo. ....	53
Tabla N° 14: Superficie de suelos de la cuenca del Río Tingo. ....	54
Tabla N° 15: Geomorfología de la cuenca del Río Tingo. ....	55
Tabla N° 16: Geología de la cuenca del Río Tingo. ....	56
Tabla N° 17: Conflicto de Uso de Suelo en la Cuenca del Río Tingo. ....	57
Tabla N° 18: Ubicación de las estaciones de muestreo de suelo. ....	58
Tabla N° 19: Textura del suelo de cada estación de muestreo. ....	59
Tabla N° 20: Porcentaje de arena muy fina de cada estación de muestreo. ....	59
Tabla N° 21: Codificación de estructura de las unidades de suelo de la cuenca del Río Tingo. ....	60
Tabla N° 22: Codificación de permeabilidad de las unidades de suelo de la cuenca del Río Tingo. ....	63
Tabla N° 23: Valores del Factor de Erodabilidad (K). ....	63
Tabla N° 24: Valores de Factor de Cobertura. ....	66
Tabla N° 25: Resultado de Mapa de Pendientes. ....	69
Tabla N° 26: Resultado de Consistencia T de Student. ....	71

Tabla N° 27: Resultado de Consistencia Fisher. ....	71
Tabla N° 28: Resultado de Consistencia T de Student – Serie Corregida.....	72
Tabla N° 29: Resultado de Consistencia Fisher – Serie Corregida. ....	72
Tabla N° 30: Resultado de Mapa de Precipitación.....	72
Tabla N° 31: Resultado de Mapa de Cobertura vegetal. ....	74
Tabla N° 32: Resultado de Mapa de Suelos. ....	76
Tabla N° 33: Resultado de Mapa Geomorfológico. ....	78
Tabla N° 34: Resultado de Mapa Geológico. ....	80
Tabla N° 35: Resultado de Mapa de Capacidad de Uso Mayor. ....	82
Tabla N° 36: Resultado de Mapa de Conflicto de Uso de Suelo.....	84
Tabla N° 37: Resultado de Mapa de Factor de Erosividad (R). ....	86
Tabla N° 38: Resultado de Mapa de Factor de Erodabilidad (K).....	88
Tabla N° 39: Resultado de Mapa de Factor Topográfico (LS). ....	90
Tabla N° 40: Resultado de Mapa de Factor de Cobertura (C). ....	92
Tabla N° 41: Resultado de Mapa de Erosión Hídrica. ....	94
Tabla N° 42: Resultado de Mapa de Nivel de Erosión Hídrica.....	96
Tabla N° 43: Precipitación mensual de Estación Quilcate. ....	108
Tabla N° 44: Precipitación mensual de Estación Bambamarca. ....	109
Tabla N° 45: Precipitación mensual de Estación Quebrada Shugar.....	110
Tabla N° 46: Precipitación mensual de Estación Chugur.....	111



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Cuenca del Río Tingo (Anexo A5.1).....	29
Figura N° 2: Distribución porcentual de la población según género de la provincia de Hualgayoc, proyectada al 2016. ....	32
Figura N° 3: Procedimiento para la delimitación de la cuenca. ....	43
Figura N° 4: Procedimiento para la elaboración de mapa de pendientes. ....	44
Figura N° 5: Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Quilcate. ....	46
Figura N° 6: Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Bambamarca.....	46
Figura N° 7: Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Chugur.....	47
Figura N° 8: Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Quebrada Shugar...	47
Figura N° 9: Mapa de la Cuenca del río Tingo.....	69
Figura N° 10: Mapa de pendientes de la Cuenca del río Tingo.....	70
Figura N° 11: Mapa de Precipitación Altitudinal de la Cuenca del río Tingo. ....	73
Figura N° 12: Mapa de Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Tingo. ....	75
Figura N° 13: Mapa de Suelos de la Cuenca del Río Tingo.....	77
Figura N° 14: Mapa Geomorfológico de la Cuenca del Río Tingo.....	79
Figura N° 15: Mapa Geológico de la Cuenca del Río Tingo. ....	81
Figura N° 16: Mapa de Capacidad de Uso Mayor de las Tierras en la Cuenca del Río Tingo.....	83
Figura N° 17: Mapa de Conflicto de Uso de las Tierras en la Cuenca del Río Tingo.....	85
Figura N° 18: Mapa de Factor de Erosividad (R) de la Cuenca del Río Tingo.....	87
Figura N° 19: Mapa de Factor de Erodabilidad (K) de la Cuenca del Río Tingo. ....	89
Figura N° 20: Mapa de Factor Topográfico (LS) de la Cuenca del Río Tingo. ....	91
Figura N° 21: Mapa de Factor de Cobertura (C) de la Cuenca del Río Tingo. ....	93
Figura N° 22: Mapa de Cuantificación de la Erosión Hídrica de la Cuenca del Río Tingo (Anexo A5.2).....	95
Figura N° 23: Mapa de Grado de Erosión Hídrica de la Cuenca del Río Tingo (Anexo A5.3).....	97

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1: Datos de precipitación de estación meteorológica. ....	108
Anexo N° 2: Tablas estadísticas. ....	113
Anexo N° 3: Registro fotográfico de trabajo de campo. ....	117
Anexo N° 4: Registro fotográfico de determinación de la arena muy fina. ....	125
Anexo N° 5: Mapas .....	128

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la Cuenca del Río Tingo, perteneciente a la vertiente del Atlántico, ubicada en la provincia de Hualgayoc, en la Región Cajamarca; a fin de determinar la vulnerabilidad a la erosión hídrica de la cuenca. El trabajo se realizó mediante la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos Revisada (RUSLE, por sus siglas en inglés, Revised Universal Soil Loss Equation) y aplicando un modelo geoespacial con el empleo de las herramientas SIG (Sistema de Información Geográfica), mediante la cual se identificó las zonas vulnerables a la erosión hídrica según la clasificación de la FAO; finalmente de acuerdo a cada zona de vulnerabilidad erosiva se propuso alternativas de protección y/o conservación de suelos. El estudio se desarrolló en tres etapas, la primera etapa consistió en la recopilación de información de la zona de estudio como información temática de cobertura vegetal, suelos, precipitaciones, fisiográfica, geología y cartas nacionales, asimismo se estableció en esta etapa la ruta y puntos de muestreo de suelos. La segunda etapa consistió en el trabajo de campo, en la cual se tomaron las muestras de suelo, se identificaron in situ el tipo de cobertura vegetal, los accesos de la cuenca y las prácticas de manejo de suelo que se realizan en las parcelas de cultivo. La tercera etapa consistió en la determinación de la textura, materia orgánica y arena muy fina de las muestras de suelo tomadas; así mismo, se procesó toda la información obtenida en las dos primeras etapas, con la ayuda del SIG se realizó el procesamiento digital de imágenes satelitales y el modelamiento geoespacial de los parámetros físicos obtenidos que involucran la ecuación RUSLE. Culminado el proceso, se obtuvo un mapa temático que presenta la distribución espacial de la vulnerabilidad a la erosión hídrica, en las cuales se presenta una mayor pérdida de suelos en las zonas con alta pendiente y con escasa cobertura vegetal, estando la erosión hídrica más influenciada por la pendiente y cobertura vegetal, que por la precipitación en sí.

**Palabras clave:** Erosión, Ecuación Universal de Pérdida de Suelos Revisada, Sistema de Información Geográfica.

## ABSTRACT

The present research work was carried out in the Tingo River Basin, belonging to the Atlantic slope, in the province of Hualgayoc, region of Cajamarca; in order to determine the vulnerability to water erosion of the basin. The work was accomplished by means of the Revised Universal Equation of Lost Soils and a model of geospatial information with the use of the SIG (Geographical Information System) tools, by which the vulnerable zones to water erosion were identified according to the Classification of the FAO. Finally, depending on the erosive vulnerability of each zone, alternatives for soil protection and / or conservation were proposed. The study was carried out in three stages. The first stage consisted in the collection of information from the study area i.e. information on plant cover, soils, rainfall, physiography, geology and national charts. The route and points of contact were also established at this stage. The second stage involved the fieldwork, in which soil samples were taken and the type of vegetation cover, the accesses of the basin as well as the soil management practices applied to the cultivation parcels were identified in situ. The third stage consisted of the determination of the texture, the organic matter and the sand of the soil samples taken. In addition, all the information obtained in previous stages was also processed. With the help of the GIS, the digital processing of satellite images and the geospatial modeling of the physical parameters that involve the RUSLE equation was carried out. Once the process was finished, a thematic map showing the spatial distribution of the vulnerability to water erosion was obtained. It is shown that there is a greater loss of soils in areas with a high slope and with scarce vegetation cover; it is also determined that water erosion is more influenced by the slope and vegetation cover than by precipitation itself.

**Keywords:** Erosion, Revised Universal Soil Loss Equation, Geographic Information System.

## I. INTRODUCCIÓN

El río Tingo pertenece a la vertiente del Atlántico, se ubica en la provincia de Hualgayoc, en la Región Cajamarca. Se inicia en la quebrada las hierbas, lugar actual que ocupa la Unidad Minera Cerro Corona, aguas abajo de la unidad minera se encuentra la Comunidad el Tingo y en la parte baja, el río Tingo, desemboca en el río Llaucan (en Bambamarca).

La actividad económica que se desarrolla en la cuenca es la agricultura, la principal es el cultivo de pastos, de los cuales se alimenta el ganado vacuno para la producción de productos lácteos (Gobierno Regional de Cajamarca, 2011). La actividad de cultivo de secano y sobrepastoreo contribuyen a la pérdida de suelo en la cuenca, las cuales se intensifican por la pendiente pronunciada de las laderas, las cuales son más susceptibles a perder suelo por deslizamiento en época de lluvia.

En la parte alta de la cuenca se ubican dos grandes unidades mineras, Cerro Corona (en operación desde el 2008) y Tantauatay (en operación desde el 2010), las cuales operan bajo la técnica de explotación a Tajo Abierto, la propia actividad extractiva ha llevado a estas empresas a remover el suelo superficial que está dentro de la operación y dejar desnudo el suelo, intensificando la pérdida de suelo por arrastre en temporada de lluvia.

Las actividades desarrolladas en la cuenca y la alta precipitación media anual superior a 1000mm (Sánchez & Vásquez, 2010), generan la incertidumbre de la cantidad de suelo que se pierde en promedio cada año, e identificar las zonas que tienen mayor potencial para poder idear estrategias con la finalidad de minimizar la pérdida de suelo. Por lo cual la presente investigación contribuirá a conocer la pérdida de suelo en la cuenca del río Tingo mediante el uso de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo R.U.S.L.E.

En base a lo expuesto se tiene como objetivo general:

Estimar la pérdida de suelo media anual mediante el uso de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo Revisada, de la cuenca del río Tingo, Región Cajamarca.

Objetivos específicos:

- Determinar mediante el uso de teledetección y sistemas de información geográfica los mapas de erosividad, erodabilidad, pendiente y uso actual de la tierra.
- Estimar la pérdida de suelo media anual en la cuenca del río Tingo utilizando la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo Revisada R.U.S.L.E. (1997).
- Elaborar el mapa de los diferentes grados de erosión hídrica espacial de la cuenca del río Tingo.
- Proponer alternativas de protección y/o conservación para las zonas afectadas por la erosión hídrica.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 EROSIÓN**

Se define la erosión como el desprendimiento y remoción de las partículas que conforman el suelo por acción de agentes externos; de manera natural el desprendimiento del suelo es originado por la acción del clima y la remoción o transporte es acción del agua y el viento (Vásquez, 2000 & 2016).

El agua es el agente más importante en el proceso de erosión, la cual se inicia por la acción de las condiciones meteorológicas y el clima, las cuales preparan el material parental para el proceso erosivo, y la lluvia y el viento actúan como agentes de desprendimiento y transporte de sedimentos. La cobertura vegetal, el tipo y características del suelo, la geomorfología, la geología y los usos del suelo, establecen el grado de propensión del suelo a ser afectado por los agentes generadores de erosión. (Ramos, 2001; Ramírez, Hincapié, & Sadeghian, 2009).

### **2.2 EROSIÓN HÍDRICA**

La erosión hídrica del suelo se produce por el efecto combinado de las condiciones meteorológicas y el clima, los cuales preparan el material parental para la erosión y la lluvia actúa como el mayor agente erosivo. La cobertura vegetal, el tipo y características del suelo, la geomorfología, la geología y los usos del suelo, establecen el grado de propensión del suelo a ser afectado por los agentes generadores de (Ramos, 2001; Ramírez, Hincapié, & Sadeghian, 2009).

El proceso de erosión hídrica comprende el desprendimiento, transporte y depósito de las partículas del suelo a casusa de la precipitación (Vásquez, 2000, y Buitrago, 2011).

## 2.3 PROCESO DE EROSIÓN HÍDRICA

Según Hudson (1981), la erosión hídrica es el proceso que produce el desprendimiento, transporte y deposición de suelo por acción de los siguientes agentes:

- **Energía cinética:** La energía de una gota de lluvia con la que cae sobre la superficie del suelo genera una ruptura de los terrones y agregados, lo cual desprende partículas que luego son susceptibles a arrastre pendiente abajo.
- **Escorrentía:** La escorrentía superficial produce el desprendimiento de nuevo suelo y el transporte del suelo desprendido por las gotas de lluvia. Este proceso es visible ya sea por flujo laminar o por flujo turbulento (erosión en surcos).

El proceso de erosión hídrica en una secuencia de pasos que se inicia con la caída de la gota de lluvia, esta genera un golpe sobre la superficie, la energía cinética se transfiere de la gota a la superficie lo que genera un desprendimiento y esparcimiento del suelo, seguidamente el suelo desprendido es susceptible a los siguientes tipos de erosión (Vásquez, 2000; Buitrago, 2001; Cisneros et. al., 2012).

- a) **Erosión Laminar:** Se produce cuando las partículas de suelo, generadas por acción de la lluvia, son esparcidas de tal forma que forma una capa delgada sobre la superficie, y cuando la cantidad de lluvia que cae excede la capacidad de infiltración del suelo, se produce un escurrimiento superficial el cual arrastra las partículas de suelo que fueron desprendidas (Vásquez, 2000).
- b) **Erosión por Surcos:** Se produce cuando se incrementa la cantidad de agua en la superficie del suelo, la cual se concentra y fluye por efecto de la pendiente, pasando de un flujo subcrítico a uno supercrítico en pequeños cauces (Vásquez, 2000). Cisneros et. al. (2012) menciona que la erosión por surcos es aquella que se puede borrar con implementos de labranza, luego que ocurre, definición que usa para establecer una diferencia entre erosión por surcos y en cárcavas.
- c) **Erosión en Cárcavas:** Es el efecto intensivo de la erosión por surcos, la cual depende del potencial de generación de escurrimiento de la cuenca, del área de



drenaje que recibe la cárcava, del material del suelo, así como también de la sección y pendiente del terreno, generando un cauce que no puede ser borrada por labranza (Cisneros et. al., 2012).

## **2.4 FACTORES DE LA EROSIÓN HÍDRICA**

Las principales causas de la erosión hídrica son las siguientes (Vásquez, 2000; Cisneros et. al., 2012).

- a) **Clima:** El principal factor es la precipitación y su energía cinética, por lo cual para determinar la influencia de la precipitación en la erosión hídrica es indispensable conocer la cantidad y distribución de las tormentas (en base a estaciones meteorológicas y modelos matemáticos) y la intensidad, la cual define la energía cinética que desencadena los procesos de desprendimiento y escurrimiento.
- b) **Relieve:** El principal factor de relieve que influye en la erosión hídrica es el grado o inclinación de la pendiente, por otro lado la longitud de la pendiente define la cantidad de erosión de una ladera y la velocidad terminal de la escorrentía. La complejidad de la pendiente se basa en el grado de uniformidad de gradientes, direcciones y longitudes que influye de manera significativa en el proceso de erosión hídrica.
- c) **Suelo:** Está basado en los procesos que regulan la absorción de la lluvia y la resistencia de las partículas del suelo al desprendimiento y transporte. Estos procesos y su magnitud dependen de las características del suelo tales como estructura, textura, contenido de materia orgánica y permeabilidad.
- d) **Sistema de producción:** Es el uso que la población hace del recurso suelo de una cuenca, específicamente se refiere a la relación sociedad-naturaleza vinculada al uso y manejo de las tierras.
- e) **Cobertura vegetal:** La vegetación reduce el potencial de erosión hídrica de un suelo, mediante la intercepción y disminución de la energía cinética de las gotas de lluvia, el incremento de la capacidad de infiltración del suelo y al aumento de la resistencia

del suelo mediante el efecto de amarre de las partículas de suelo que ocasionan las raíces de la vegetación.

## 2.5 ECUACIÓN UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO REVISADA (RUSLE):

La ecuación universal de pérdida de suelo permite determinar la cantidad de suelo promedio anual que se pierde por erosión hídrica (Dourojeanni, 1967). El modelo de predicción de erosión hídrica (USLE por sus siglas en inglés) está diseñado para predecir la pérdida anual de suelo causada por la precipitación y el escurrimiento sobre una sección compuesta por terrazas y taludes, con una cobertura vegetal de suelo y un sistema de manejo dado (Mesen, 2009).

El modelo se basa en los supuestos de que las mayores fuerzas hídricas que intervienen en el proceso son el impacto de las gotas y el flujo a través de la superficie del suelo. La USLE corresponde al resultado de numerosos trabajos realizados por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) desde la primera mitad del siglo veinte, luego Walter Wishmeier y Dwight Smith presentaron la formulación del modelo de predicción de pérdida de suelo en 1978.

La ecuación del modelo USLE fue revisada desde 1987 y se publicó la ecuación RUSLE que está definida por (USDA, 1997). Finalmente la RUSLE fue descrita por Mannaerts en 1999, cuya expresión matemática es:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (2.1)$$

Donde:

A: Pérdida media anual de suelo expresado en  $\frac{t}{ha.año}$ .

R: Erosividad de la lluvia medido en  $\frac{MJ.cm}{ha.hr}$

K: Erodabilidad del suelo expresado en  $\frac{t.ha.hr}{MJ.ha.cm}$

L: Factor topográfico de Longitud de Talud, adimensional.

S: Factor topográfico de Inclinación de Pendiente, adimensional.

C: Factor de cobertura, adimensional.

P: Factor de prácticas de control y conservación de suelo, adimensional.

Los 4 primeros factores miden la erosión potencial según las condiciones de la zona de estudio, los factores C y P son controlables por el hombre en mayor o menor grado (Dourojeanni, 1967).

### 2.5.1. Factor de Erosividad (R)

Es el número de unidades de índice de erosión que ocurren en un año normal de lluvias (Dourojeanni, 1967). El factor R corresponde a la sumatoria de los productos de las energías de todos los eventos de lluvias erosivas anuales con sus respectivas intensidades máximas en 30 minutos (Mannaerts, 1999; Cabrejos, 2016). El factor R mide el efecto de la precipitación sobre la erosión y está definido por:

$$R = \frac{EI_{30}}{100} \frac{J.cm}{m^2.hr} \quad (2.2)$$

Donde:

E: Energía cinética del aguacero  $\left(\frac{J}{m^2}\right)$

I<sub>30</sub>: Máxima intensidad de lluvia en 30 minutos  $\left(\frac{cm}{hr}\right)$

Si en el área de estudio no se dispone de registros continuos que permitan obtener I<sub>30</sub>, existen métodos más sencillos para poder determinar el factor R (Almorox et al., 1994):

- Índice de agresividad climática de Fournier (1960)

$$F = \frac{p^2}{P} \quad (2.3)$$

Donde  $p$  es precipitación mensual del mes más lluvioso y  $P$  es precipitación anual.

- Índice de Arnoldus (1977)

$$A = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P} \quad (2.4)$$

Donde  $p_i$  es precipitación del mes  $i$  y  $P$  es precipitación anual.

- Arnoldus (1978) basado en trabajos de Fournier utiliza una fórmula obtenida por regresión lineal, en la cual se correlacionó valores conocidos de  $R$  con las lluvias anuales:

$$R = a * \left( \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P} \right) + b \quad (2.5)$$

Donde “ $a$ ” y “ $b$ ” son constantes que consideran las condiciones climáticas; para regiones con precipitaciones mayores a 200mm anuales se adoptó las constantes climáticas de USA  $a = 4.17$  y  $b = -152$ , para regiones con precipitación menores a 200mm se adopta las constantes  $a = 0.66$  y  $b = -3$ ,  $(p_i)^2$  es la precipitación media mensual y  $P$  es la precipitación media anual (Ramírez, 2010).

- Otro método para la determinación de la erosividad  $R$  es el propuesto por Morgan (1974) usado para lugares con precipitaciones altas:

$$R = I_{30} * \frac{9.28P - 8.393}{1000} \quad (2.6)$$

Dónde:  $I_{30}$ : 75mm/h (valor recomendado por Wischmeier)

$P$ : Precipitación media anual.

### **2.5.2. Factor de Erodabilidad (K)**

Es la resistencia del suelo a ser desprendido por la lluvia y transportado por la escorrentía, por lo que depende de las propiedades del suelo. Para estimar su valor en gabinete, se debe determinar a partir de un nomograma desarrollado por Wischmeier y Smith o aplicando directamente la ecuación de regresión a partir de datos experimentales obtenidos con lluvias simuladas (Gisbert et al., 2012).

Si bien la aplicación de la ecuación o el nomograma a nivel de parcela de cultivo no plantea excesivos problemas, la determinación de la textura, estructura y permeabilidad de los suelos de zonas de gran extensión, sin conocimiento previo de la naturaleza del suelo, se convierte en algo bastante complicado, es por ello que existen publicaciones en las que se asocia la naturaleza litológica del terreno con la estructura, textura, color, etc. del suelo, por provenir directamente de la roca madre.

Se puede emplear valores correlacionados con el tipo de suelo o el material original:

- Según la textura

**Tabla N° 1: Indicadores de la magnitud general del factor K de erodabilidad del suelo**

<b>Indicaciones de la magnitud general del factor K de erodabilidad del suelo</b>			
<b>Clase de textura</b>	<b>Contenido de materia orgánica</b>		
	<b>0.5 por ciento</b>	<b>2 por ciento</b>	<b>4 por ciento</b>
	<b>K</b>	<b>K</b>	<b>K</b>
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.

➤ Según la litología

**Tabla N° 2: Valores de factor K según litología.**

<b>Factor K</b>	<b>Litología</b>
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
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 limos
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 3-4 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
0.5	SI 4-5 Limos y arcillas
0.4	SI 5 Arcillas
0.4	M-1 Pizarras y cuarcitas
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 et al., 2012.

El cálculo matemático del factor de erodabilidad del suelo se realiza en base a la ecuación del nomograma de Wischmeier citado por Mannaerts (1999):







$$K = \left( \frac{10}{7.594} \right) * \left[ \frac{(2.1 * 10^{-4} * (12 - OM) * M^{1.14} + 3.25 * (s - 2) + 2.5 * (p - 3))}{100} \right] \quad (2.11)$$

- Dónde: K = Factor de erodabilidad del suelo (t./ha.MJ\*ha/mm\*hr)
- OM = Materia orgánica (%)
- S = Código de estructura USLE
- P = Código de permeabilidad USLE
- M = Producto de (%limo + %arena muy fina)\*(100 - %arcilla)

Los valores propuestos en la versión original de Wischmeier convertidos al sistema métrico varían entre 0.0658 a 0.7901. Los códigos asignados por USLE para la estructura de suelo son los siguientes:



**Tabla N° 3: Códigos USLE de estructura de suelo.**

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

**FUENTE:** Mancilla, 2008.

Los códigos asignados por USLE para la permeabilidad de suelo, en función a la velocidad de infiltración, son los siguientes:

**Tabla N° 4: Códigos USLE de permeabilidad en función de la textura.**

Código USLE	Textura	Categoría de Permeabilidad
6	Arcilla, franco arcilloso	Muy lenta ( $< 0.13 \text{ cm-h}^{-1}$ )
5	Arcillo arenoso, franco arcillo limoso	Lenta ( $0.13 - 0.5 \text{ cm-h}^{-1}$ )
4	Franco arcillo arenoso, franco arcilloso	Lenta a moderada ( $0.5 - 2 \text{ cm-h}^{-1}$ )
3	Franco limoso, franco	Moderada ( $2 - 6.3 \text{ cm-h}^{-1}$ )
2	Areno francoso, franco arenoso	Moderada a rápida ( $6.3 - 12.7 \text{ cm-h}^{-1}$ )
1	Arena	Rápida ( $> 12.7 \text{ cm-h}^{-1}$ )

**FUENTE:** Mannaerts, 1999.

### 2.5.3. Factor Topográfico (LS)

#### a) Longitud de talud (L)

El factor L mide el efecto del largo de la pendiente en la erosión tomando como base una longitud de las parcelas normalizadas en 22.13m (Mencionado por Dufilho et al., 2011) y se estima con la siguiente ecuación:

$$L = \left[ \frac{\lambda}{22.1} \right]^m \quad (2.7)$$

$$m = \frac{F}{(1+F)} \quad (2.8)$$

$$F = \frac{\sin \beta / 0.0896}{3(\sin \beta)^{0.8} + 0.56} \quad (2.9)$$

Dónde:  $\lambda$  = Es longitud del declive en metros.

$\beta$  = Angulo de la pendiente, en grados.

m = exponente que depende de la pendiente de la ladera.

#### b) Nivel de inclinación de pendiente (S)

Factor de magnitud de pendiente, es la proporción de pérdida de suelos de una superficie con una pendiente especifica con respecto a aquella en la pendiente estándar de 9% (Wischmeier y Smith, 1978).

McCool et al. (1987) en Renard et al. (1997), propuso las siguientes ecuaciones para la cuantificación del factor S en función de la pendiente estándar:

$$\begin{aligned} S &= 10.8 * \sin \theta + 0.03 & \text{Si: } s < 9\% \\ S &= 16.8 * \sin \theta - 0.5 & \text{Si: } s \geq 9\% \end{aligned} \quad (2.10)$$

Dónde:  $S$  = Factor de pendiente.  
 $s$  = Inclinación de pendiente (%).  
 $\theta$  = Angulo de pendiente, en grados

#### **2.5.4. Factor de Cobertura (C)**

Dourojeanni (1967) basado en trabajos de Fourier (1960) menciona que la cobertura vegetal actúa directamente contra el proceso de erosión por las gotas de lluvia y escorrentía, bajo la acción de amortiguamiento del impacto de las gotas de lluvia, controla el flujo del agua sobre la superficie e incrementa la capacidad de almacenamiento del agua en el suelo haciéndolo aprovechable.

Existen valores publicados por Wischmeier (1978) y Mannaerts (1999), en el cual se define valores de C para los tipos más comunes de cultivos así como para las diferentes coberturas, determinados de forma experimental:

**Tabla N° 5: Valores del factor C para los tipos más comunes de cobertura de suelo.**

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

**FUENTE:** Cayo, 2011.

### 2.5.5. Factor de prácticas de conservación de suelo (P)

El factor P recoge la influencia que tienen las prácticas de conservación de suelos sobre las tasas de erosión de una parcela, realizando los trabajos culturales o disponiendo la vegetación siguiendo curvas de nivel, en fajas o en terrazas para cortar las líneas de escorrentía (Gonzales, 1991).

Trabajo realizado por Ramos (2001), menciona los siguientes valores para las distintas prácticas de conservación:

**Tabla N° 6: Valores experimentales del factor P para distintas prácticas de conservación de suelo.**

Practica de Conservación	Factor P
Cultivo a nivel s = 0 - 1°	0.60
Cultivo a nivel s = 2 - 5°	0.50
Cultivo a nivel s = 6 - 7°	0.60
Cultivo a nivel s = 8 - 9°	0.70
Cultivo a nivel s = 10 - 11°	0.80
Cultivo a nivel s = 12 - 14 °	0.90
Bancales a nivel	0.14
Bancales a contra pendiente	0.05
Bancales con pend. Siguiendo la pend.	0.35
Bancales a nivel con referencia de agua	0.01
Caballones enlazados	0.10 - 0.20

**FUENTE:** Ramos, 2001

En las zonas que no se realiza ningún tipo de prácticas de conservación de suelo, el valor de  $P=1$ , es decir, que el valor P no influirá en la reducción de la pérdida de suelo a condiciones simuladas sin cobertura y sin prácticas de conservación.

## 2.6 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

El uso cada vez más intensivo de los computadores y la velocidad con la que avanza la tecnología e informática ha generado la aplicación en diversas áreas científicas, como lo es en la actualidad en la cartografía. Los SIG permiten la manipulación y el análisis de los datos geográficos siendo de interés para los distintos sectores de la sociedad. (Gómez, 1992).

Olaya (2011), citado por Cabrejos (2016), menciona que un SIG es fundamentalmente una herramienta para trabajar con información georreferenciada, una definición en la que pueden entrar un gran número de tecnologías y de otros elementos no tecnológicos,

permitiendo la gestión de datos espaciales, el análisis de dichos datos y la generación de resultados de representación temática.

Los SIG lo conforman cinco elementos principales: Datos, métodos, software, hardware y el componente humano, que es el encargado de diseñar y utilizar el software. Los datos son la materia prima necesaria para el trabajo en SIG, estos datos tienen que someterse a un análisis de procesamiento y realce de información específica para un estudio determinado, a este último proceso corresponde la metodología para llevar a cabo la aplicación de los datos, mediante el uso de un software (Olaya, 2011).

La teledetección es la técnica que permite obtener información de un objeto sin que exista un contacto material, para llevar a cabo este proceso se produce la interacción de un flujo de radiación que parte del objeto y es recibido por un sensor. Este flujo por su origen puede ser de tres tipos:

- Radiación solar reflejada por los objetos.
- Radiación terrestre emitida por los objetos.
- Radiación emitida por el sensor y reflejada por los objetos (radar)

Los dos primeros se conocen como teledetección pasiva y la última como teledetección activa (Cabrejos, 2016).

Según Olaya (2014), la teledetección involucra los siguientes elementos:

- a) Fuente de energía o iluminación: provee energía electromagnética al objeto de estudio.
- b) Atmosfera: La energía interactúa con la atmósfera en el espacio sensor-objeto.
- c) Objeto: De acuerdo a sus propiedades se genera una interacción o respuesta a la energía recibida y reflejada.
- d) Sensor remoto: Recibe y almacena la radiación reflejada y/o emitida.
- e) Transmisión, recepción y procesamiento: la energía almacenada por el sensor es transmitida a una estación remota, para su procesamiento y conversión en imagen satelital.

- f) Interpretación y análisis: proceso de extracción de información de los objetos captados.
- g) Usuario final: El que usa la información.

### **2.6.1. Pre-Procesamiento de imágenes satelitales**

#### **a) Corrección radiométrica**

La corrección radiométrica abarca las técnicas utilizadas para reducir los efectos de las variables ambientales relativas y extraer mediciones absolutas de la reflectancia de los datos. Las mediciones de detección remota están influenciadas por las condiciones ambientales presentes en el momento de la toma de datos, estas condiciones ambientales incluyen la composición atmosférica, condiciones superficiales y los cambios temporales en el nivel de luz (Hadjimitsis et al., 2004). La corrección radiométrica es esencial para generar consistencia en imágenes de percepción remota adquiridas bajo una amplia variedad de condiciones ambientales (Cooley et al., 2002).

#### **b) Corrección geométrica**

La corrección geométrica es un proceso que se realiza rutinariamente en teledetección pero que ofrece resultados de calidad muy variable en función del diseño del trabajo. Se destaca la importancia de tres aspectos básicos de la corrección: método (rectificación / ortorrectificación), interpretación de los estadísticos del ajuste y estimación del error de la corrección mediante puntos de control independientes. (Cuartero y Felicísimo, 2003).

#### **c) Corrección atmosférica**

Los sensores satelitales capturan la información de la cobertura de la tierra obtenida a partir de la intensidad de radiación electromagnética, misma que proviene de la luz del sol reflejada sobre la superficie terrestre, sumada a la energía dispersada y reflejada por la atmósfera, conocida como radiancia (Aguilar et al., 2014) . Esta información de intensidad es transformada a través de una ecuación lineal (Kruse, 2004) y almacenada en una representación discreta de números digitales (ND) que tienen una escala artificial definida según las características de almacenamiento de cada sensor específico por ejemplo: 8bits, 12bits y 16 bits (Aguilar et al., 2014).

### **2.6.2. Clasificación Supervisada y no Supervisada de imágenes satelitales**

La clasificación digital empieza con la definición de las categorías que se pretende diferenciar en la imagen, es decir, se trata de una clasificación basada en los valores numéricos, por lo tanto se trata de obtener el rango de ND que identifica a cada categoría para todas las bandas que intervienen en la clasificación (Yebenes & Giner, 2010).

Yebenes & Giner (2010) mencionan que los métodos de clasificación se pueden distinguir en dos grupos: supervisado y no supervisado. El método supervisado parte de un conocimiento previo del terreno del cual se seleccionan las muestras para cada una de las diferentes categorías. En cambio, en el método no supervisado se buscan automáticamente grupos de valores espectrales homogéneos en la imagen para que después el usuario intente encontrar las correspondencias entre esos grupos seleccionados automáticamente y las categorías que le puedan ser de interés.

## **2.7 ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE SERIES HIDROMETEOROLÓGICAS**

Previo al uso de datos hidrometeorológicos estos deben ser procesados y verificados para determinar su consistencia y veracidad. Una serie de datos es llamada homogénea si es una muestra de una única población, si la serie es no homogénea se debe corregir para que la serie sea homogénea. El análisis gráfico consiste en analizar visualmente los histogramas de precipitación total anual de cada una de las estaciones pluviométricas ubicadas en la cuenca, para lo cual las ordenadas toman el valor de la serie de precipitación y en las abscisas va el tiempo (años, meses, etc.) (Rendón, 2009).

Rendón (2009) menciona que los saltos en el gráfico de una serie de tiempo hidrológica son cambios en la serie de tiempo como respuesta a cambios hechos por el hombre o cambios naturales que pueden ocurrir; para identificar estos saltos se debe graficar siguiendo un análisis de doble masa, y el análisis de consistencia de los datos.



## 2.8 PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS

Según Vásquez (2016), la conservación de pérdida de suelos se basa en reducir o eliminar los efectos propios del proceso de erosión mediante:

- Proteger la superficie del suelo contra el impacto de las gotas de lluvia y el posterior arrastre de las partículas.
- Disminuir o eliminar la concentración de agua en la superficie.
- Incrementar la capacidad de infiltración del suelo.
- Reducir o eliminar la velocidad del agua de escorrentía.

Para la reducción de los efectos del proceso de erosión, se realizan prácticas propias destinadas a disminuir los factores antes mencionados, para lo cual el control de la erosión debe iniciarse siempre en las partes altas de la cuenca y luego en las partes bajas, y no en sentido contrario. Las principales prácticas de conservación de suelos y aguas pueden resumirse en tres grupos: mecánico – estructurales, agronómicas y forestales (Vásquez, 2016)

Las principales obras y prácticas para la erosión en cárcavas son: Presas y Obras en Taludes; y para el control de la erosión laminar las principales obras se agrupan en Terrazas, Zanjales y Practicas Vegetativas (SEMARNAT, 2007)

### 2.8.1. Practicas Mecánico - Estructurales

Las principales son:

- **Zanjales o acequias de infiltración**

Son pequeños canales de sección rectangular o trapezoidal, generalmente asimétricos. Son contruidos transversalmente a la pendiente máxima del terreno. El fondo de estos canales de desviación deben estar a nivel, salvo que se trate de acequias o canales de

desviación, en los que la pendiente recomendable es de 1 a 3 ‰ y su desembocadura debe efectuarse en una zona protegida a fin de evitar la formación de una gran cárcava (Vásquez, 2016).

Esta práctica de manejo está orientada a controlar la erosión laminar y que esta no se intensifique en una erosión en cárcavas (SEMARNAT, 2007).

Los objetivos de esta práctica son:

- Interceptar el agua de escorrentía que proviene de la parte alta de la ladera, anulando su velocidad y permitiendo una distribución uniforme y una mayor infiltración en el suelo.
- Aumentar la producción de pastos, árboles o cultivos.
- Reducir la erosión hídrica del suelo,
- Aumentar el número de manantiales y el caudal de agua que descarguen en las partes más bajas, y
- Disminuir los riesgos y mitigar los efectos de las inundaciones y deslizamientos en las partes aguas abajo.

- **Terrazas de absorción**

Según Vásquez (2016), las terrazas de banco o llamadas también terrazas de absorción son una serie sucesiva de plataformas (bancos o terraplenes), dispuestas a manera de escaleras en las laderas. Los terraplenes pueden construirse a nivel o con una ligera inclinación hacia adentro. La inclinación del banco o terraplén hacia adentro evita el rebalse del agua de lluvia durante los aguaceros fuertes o lluvias prolongadas. La nivelación de los bordes impiden que el agua escurra hacia un lado u otro; de este modo el agua de lluvia que cae en las terrazas se infiltra total y uniformemente en éstas, evitando totalmente la erosión. Cuando se construyen estas prácticas en zonas de alta precipitación (>1000 mm/año), se debe contemplar un sistema de drenaje superficial.

Existen distintos tipo de terrazas, entre las principales destacan las Terrazas de muro vivo, terrazas de formación sucesiva, terrazas individuales y Barreras de piedra en curvas a nivel (SEMARNAT, 2007).

Los objetivos de esta práctica son:

- El borde interno de la terraza, pie o borde inferior del talud aguas arriba (debe estar a nivel).
- El borde externo de la terraza o borde superior del talud aguas abajo (debe estar a nivel).
- La profundidad del borde interno o desnivel (debe permitir almacenar el agua de lluvia que recibe).
- El suelo del terraplén o terraza propiamente dicha, debe ser removido o “preparado” para que pueda absorber el agua de lluvia.
- El talud debe ser sembrado con plantas perennes y cuya altura preferentemente no debe ser mayor de 1.50 m.

- **Diques para el control de cárcavas**

Según Vásquez (2016), la cárcava es una zanja causada por la erosión hídrica del suelo. Sigue generalmente la máxima pendiente del terreno y constituye un cauce natural en donde se concentra y corre el agua proveniente de las lluvias. El agua que corre por la cárcava arrastra gran cantidad de partículas de suelo, producto de la erosión.

Vásquez (2016) menciona que normalmente, cuando el agricultor va a utilizar nuevos terrenos para cultivo, corta toda la vegetación arbórea, arbustiva y herbácea existente, es decir, limpia el terreno, quedando consecuentemente éste expuesto a la acción directa de las lluvias y de la escorrentía superficial. Cuando se trata de suelo inclinados o laderas, automáticamente se inicia la remoción y el arrastre de las partículas del suelo por capas delgadas (erosión laminar). El agua, a medida que desciende por la ladera y debido a las irregularidades en el relieve del terreno, se va concentrando, formando pequeños canales, los que a su vez se juntan y forman un canal mayor. Con una masa de agua más abundante y una velocidad que va en aumento, la erosión se acentúa,

formando inicialmente pequeños surcos, los que se van agrandando horizontal y verticalmente hasta que se forman las cárcavas llamadas también zanjas, barrancos o torrenteras (Vásquez, 2016).

Las principales obras de este tipo para el control de erosión en cárcavas son presa de malla de alambre electrosoldada o ciclónica, de morillos, de ramas, de piedra acomodada, de geocostales, de mampostería y gaviones (SEMARNAT, 2007).

- **Andenes**

Los ríos que discurren por la cordillera de los Andes forman valles estrechos en los territorios situados por encima de los 500 metros de altitud. A diferencia de la zona costera donde la irrigación con canales permitió ganar tierras cultivables a los desiertos planos, en las zonas montañosas de la cordillera existen valles muy estrechos y profundos lo que impedía la existencia de una agricultura a gran escala. Los antiguos habitantes de la región andina, al necesitar tierras de cultivo adicionales a las que les ofrecían sus estrechos valles, intentaron ganar esas tierras a costa de las montañas y crearon los primeros andenes. Los andenes son escalonamientos artificiales sobre terrenos en pendiente que generan efectos positivos para el uso adecuado de las tierras (reducción de la erosión, mejor aprovechamiento del agua, reducción del daño causado por las heladas, etc.). (Gonzales y Trivelli, 1999)

Un sistema de andenería es la expresión de una cultura caracterizada por el trabajo organizado, para la conservación de las aguas y los suelos y para la producción agropecuaria eficiente. La andenería incaica fue construida por un pueblo con vocación eminentemente agrícola, guiado por el padre inca bajo una disciplina místico-militar y una organización comunal eficiente para el trabajo (Vásquez, 2016).

Los objetivos de esta práctica son:

- Reducción de la pendiente de la ladera.
- Mejor aprovechamiento de la ladera con fines productivos.

- Disminución de la velocidad del flujo de agua que escurre cuando se trata de andenes bajo riego.
- Mejor aprovechamiento del agua ya sea de lluvia o de riego, - Protección de los suelos contra la erosión hídrica.
- Mejora de las condiciones ambientales de la zona.
- Mejora de la capacidad productiva de los suelos de la ladera, y - Mejor aprovechamiento de los abonos y otros insumos.

### **2.8.2. Practicas agronómicas**

Las principales son:

- **Barreras vivas**

Las barreras vivas son cultivos que se siembran en curvas de nivel, principalmente en las laderas, con el propósito de controlar la erosión. Poseen la característica de que se manejan tupidas en los surcos, con alta densidad; por este motivo actúan como barreras. (Reynel y León, 1990).

Según lo menciona Vásquez (2016):

- Se recomienda el establecimiento de barreras vivas como práctica adecuada en terreno con pendiente menos a 10%.
- En terrenos con pendientes mayores a 10%, el establecimiento de las barreras vivas debe estar acompañado con otras prácticas conservacionistas tales como cultivo en fajas, surcos en contorno, acequia o zanjas de infiltración, terrazas, etc.
- Las plantas que se van a establecer como barrera viva deben sembrarse en doble hilera distanciadas entre sí entre 15-20 cm aproximadamente. En áreas con zanjas o acequias de infiltración, la barrera viva debe sembrarse entre 10 - 20 cm por encima del lado o borde superior (aguas arriba de la zanja).
- El distanciamiento entre barreras vivas dependerá del tipo de cultivo y del grado de pendiente del terreno.
- Se debe practicar un mantenimiento frecuente de las barreras vivas a fin de asegurar su buen desarrollo y funcionamiento.

- **Surcos en contorno**

Según lo menciona Vásquez (2016):

- Los surcos en contorno son prácticas conservacionistas que se construyen en dirección transversal a la máxima pendiente del terreno, para sustituir así el uso de surco en máxima pendiente que comúnmente son usados especialmente por nuestros campesinos más pobres y que cultivan en laderas.
- El objeto de esta práctica es reducir la velocidad del escurrimiento superficial, favorecer una mayor infiltración del agua, disminuir la erosión del suelo y aumentar la producción y productividad de los cultivos.
- Esta es una práctica que se recomienda para suelos con pendientes no muy pronunciadas (menores de 20%); en pendientes mayores pueden ocurrir daños por erosión sobre todo durante las lluvias fuertes. Los surcos en contorno son recomendables principalmente para terrenos dedicados a la instalación de cultivos de hilera o en limpio; aunque también pueden surcarse a nivel los terrenos que van a ser dedicados a cultivos densos. El surcado en contorno es una práctica que puede ser fácilmente aplicada en lugares donde se usa la yunta, tracción equina o maquinaria agrícola para el surcado del terreno.

Entre otras prácticas aplicables, se puede mencionar las siguientes:

- Cultivo en fajas.
- Ordenación territorial de cultivos.
- Regeneración de la cobertura vegetal.
- Labranza conservacionista o mínima labranza.
- Rotación de cultivos y cultivos asociados.
- Incorporación de materia orgánica al suelo.
- Aplicación de fertilizantes y enmiendas químicas al suelo.
- Manejo de pastos.

### **2.8.3. Prácticas forestales**

Los sistemas forestales son una combinación de árboles y arbustos, formando bosques y/o macizos forestales, sean con fines maderables, de protección y mixtos. La densidad de estos sistemas debe estar en función de las características de las especies. Esta

plantación se efectúa en sectores críticos, o como complemento a las estructuras o defensa artificial (Reynel y León, 1990).

La forestación y la reforestación son actividades sumamente efectivas para el control de la erosión y para aumentar la infiltración del agua de lluvia, pues una plantación de árboles en ladera puede infiltrar hasta un 47% de la lluvia caída. Estas actividades serán mucho más efectivas si van acompañadas de la construcción de zanjas o acequias de infiltración, porque éstas captarán el agua de escurrimiento superficial y facilitarán su infiltración. Asimismo, redundarán en una mayor tasa de crecimiento de las plantas debido a las mejores condiciones de humedad del suelo, a una recarga de las aguas subterráneas, mejora del paisaje, de la biodiversidad, en la activación del propio ciclo hidrológico, a la aparición y recarga de manantiales, puquios u ojos de agua, ubicados normalmente en las partes medias y bajas de las cuencas; aparte de otros beneficios como la producción de hongos comestibles y la obtención de los Bonos de CO<sub>2</sub>, llamados también Bonos de Carbono, u otros servicios ambientales que tienen que implementarse a favor de las partes altas y medias de las cuencas, que son las zonas donde se producen las mayores precipitaciones y fuentes de agua (Vásquez, 2016).

## **2.9 LIMITE DE TOLERANCIA DE PERDIDA DE SUELO**

El límite de pérdida de suelo es la tasa máxima de erosión de suelo que permite que sostenga un alto nivel de productividad, sin embargo no existe una base satisfactoria para determinar los valores adecuados de la tolerancia a la pérdida de suelo (Kirkby y Morgan, 1984).

La ecuación universal de pérdida de suelos se utiliza para estimar la pérdida de suelo real y para evaluar como los cambios en las prácticas pueden aplicarse para reducir la pérdida de suelo por debajo del nivel de tolerancia (Kirkby y Morgan, 1984).

De acuerdo a lo descrito por el grupo Tragsa (1998), la evaluación de tolerancias de pérdidas de suelo en un terreno, favor indispensable para a utilización del modelo en la ordenación, depende de diversos factores tales como profundidad del suelo, sus

propiedades física, desarrollo de los sistemas radicales de la vegetación, reducción de la materia orgánica, pérdidas de nutrientes y sementeras, etc.

La FAO (1985) presenta valores criterios para la valoración de los riesgos de erosión:

**Tabla N° 7: Clasificación de pérdida de suelo.**

<b>Pérdida de suelo (t/ha-año)</b>	<b>Grado de Erosión Hídrica</b>
< 10	Ninguna o ligera
10 - 50	Moderada
50 - 200	Alta
> 200	Muy Alta

**FUENTE:** FAO, 1985



### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 ZONA DE ESTUDIO

La cuenca del Río Tingo se ubica política y administrativamente en la provincia de Hualgayoc, en la región Cajamarca; limita por el norte con la provincia de Chota, por el este con la provincia de Celendín, por el sur con las provincias de Cajamarca, San Pablo, San Miguel y Celendín, por el oeste con las provincias de Santa Cruz y San Miguel.

El Río Tingo es un afluente del río Llaucano el cual pertenece a la Intercuenca Alto Marañón IV, y se ubica en la Región Hidrográfica del Amazonas. La cuenca del río Tingo se encuentra localizada en las coordenadas UTM 9258001N, 763290E, a una altura media de 3500msnm, con un área de 12242 Ha y un perímetro de 62.6 Km.

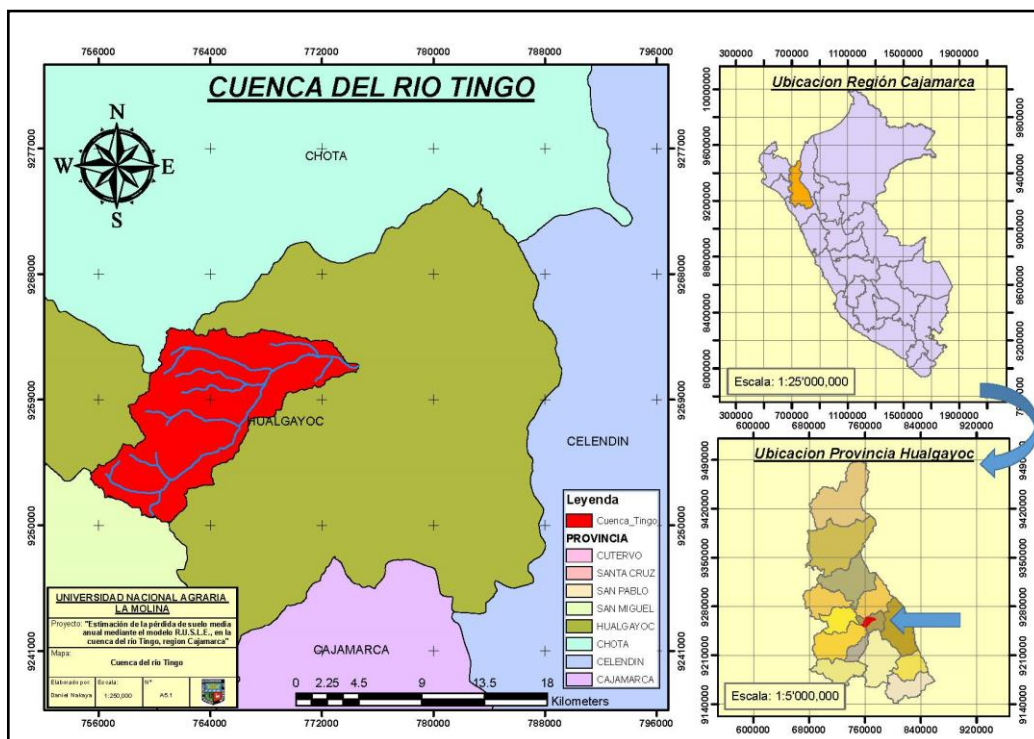


Figura N° 1: Cuenca del Río Tingo (Anexo A5.1)

## **3.2 CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO**

### **3.2.1. Centros poblados**

La distribución de los centros poblados en la provincia de Hualgayoc es resultado de procesos desarrollados en función de la coyuntura económica, social, política, condiciones geomorfológicas y de la aptitud productiva.

Al Noroeste de la provincia de Hualgayoc se encuentra la capital del distrito de Chugur, con una población de 292 habitantes (0.4% del total provincial), también se encuentra en este sector 9 centros poblados que en conjunto agrupan el 4.9% de la población provincial (INEI, 2007).

En la parte central de la provincia se encuentran centros poblados con mayor densidad poblacional, en este sector se encuentra la ciudad de Hualgayoc y os centros poblados Apán Alto y Morán Lirio. Los centros poblados de este sector están conectados a la capital provincial a través de caminos de herradura y trochas carrozables en mal estados y que no cuentan con mantenimiento, las diferentes trochas y caminos confluyen en la carretera longitudinal nacional que une las ciudades de Hualgayoc y Bambamarca.

En el sector Noreste de la provincia se encuentran los centros poblados con mayor volumen poblacional, siendo Bambamarca (capital de la provincia de Hualgayoc) la de volumen poblacional. Otros centros poblados ubicados en este sector son: El Tambo, San Juan de La Camaca, San Antonio Alto y Bajo, El Ahijadero, El Enterador y Huangamarca, todos ubicados en el valle del Llaucano.

El centro de la provincia es la ciudad de Bambamarca, en torno a la cual se articulan centros poblados de menor categoría, es en la misma ciudad de Bambamarca donde está ubicada la salida de la cuenca del río Tingo. El área urbana de la capital provincial se desarrolla una intensa actividad comercial, en especial durante las ferias dominicales en las cuales los productos de los diferentes centros poblados son ofertados y miles de campesinos acuden a la compra-venta, así mismo existe una plaza pecuaria dominical

donde se venden más de 400 cabezadas de ganado vacuno, siendo el principal flujo comercial con Chiclayo, Trujillo y Lima.

### **3.2.2. Vías de Comunicación**

La principal ruta de acceso a la provincia de Hualgayoc es la vía nacional 3N que va desde la capital regional Cajamarca hasta la ciudad de Bambamarca, con una longitud de 110.3 Km, la parte alta de la cuenca del río Tingo se encuentra a la altura del kilómetro 75 de la carretera y la salida se encuentra en la ciudad de Cajamarca.

Dentro de Hualgayoc, de la carretera nacional nacen y confluyen una red de vías afirmadas, trochas carrozables y caminos de herradura que unen los tres distritos de la provincia, caseríos y anexos. Las principales vías afirmadas y trochas carrozables de la provincia son: Bambamarca – Chota, La Paccha – Chalamarca, El Tambo – Llaucan, San Juan de Lacamarca, Chala – Huangamarca, Chala – Atoshayco, Cumbe – Moran – Perlamayo, Arascorge – Bosque de Piedras – Perlamayo.

#### ***Red vial Nacional***

La red vial nacional de Hualgayoc, está conformada por la Carretera Longitudinal de la Sierra, la cual tiene una longitud de 51.75 km, siendo aproximadamente el 20% de la infraestructura vial de la provincia. La carretera longitudinal atraviesa la provincia de sur a norte, conectando por el sur con la Provincia de Cajamarca, con una longitud de 110 Km de Cajamarca a Bambamarca, y por el norte con la provincia de Chota, con una longitud de 37. Km. La vía cuenca con un plan de mantenimiento tanto para los sectores asfaltados como para los tramos afirmados, estos últimos debido a la negativa de la población aledaña a la vía de que se asfalte el tramo que pasa por su propiedad.

#### ***Red vial Vecinal***

Abarca el 80% de la infraestructura vial de la provincia con 2013.2 Km, de los cuales el 30% se encuentra afirmada, 68% son trochas carrozables y el 2% son vías sin afirmar. La red vial vecinal se encuentra conformada por las carreteras que unen las capitales de

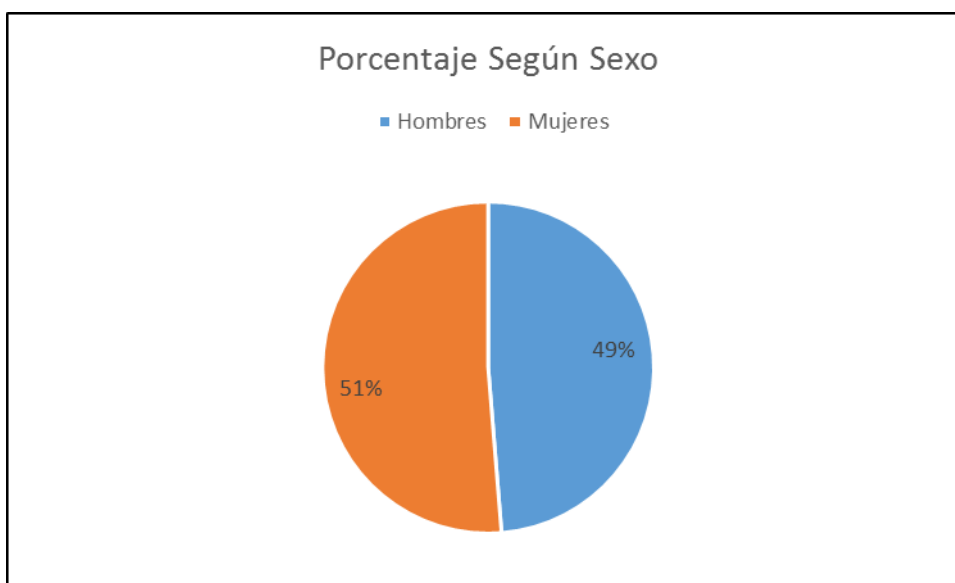
distrito con la capital de la provincia, de estas se derivan trochas carrozables a principales centros poblados de la provincia de Hualgayoc.

### 3.2.3. Clima

Según la clasificación climática de Tornthwaite, Hualgayoc presenta un clima del tipo lluvioso, semifrío y húmedo, con ausencia de lluvias en otoño e invierno. La temperatura promedio es de 8.7°C, la temperatura del mes más frío es menor a 0°C y la del mes más cálido es superior a 20°C, y la precipitación media anual supera los 1000 mm, con una media de 1124mm/año.

### 3.2.4. Demografía

Según la población proyectada por el Instituto de Estadística e Informática (INEI) al 2015, en base al censo del 2007, la provincia de Hualgayoc cuenta con una población de ciento dos mil trescientos veinte y ocho (102,328) habitantes, de los cuales el 49% (49,851) son varones y el 51% son mujeres.



**Figura N° 2: Distribución porcentual de la población según género de la provincia de Hualgayoc, proyectada al 2016.**

**FUENTE:** INEI.

La provincia de Hualgayoc se divide políticamente en 3 distritos: Bambamarca, Hualgayoc y Chugur, de los cuales la población proyectada al 2015 se distribuye en el distrito de Bambamarca el 80% de la población total, seguido del distrito de Hualgayoc con 17% y Chugur con el 4%.

**Tabla N° 8: Población distrital por género de la provincia de Hualgayoc, proyectada al 2016.**

<b>Distrito</b>	<b>Total</b>	<b>Varones</b>	<b>Mujeres</b>
Bambamarca	81,731	39,056	42,675
Chugur	3,603	1,821	1,782
Hualgayoc	16,994	8,974	8,020

**FUENTE:** INEI.

### 3.2.5. Suelos

Los suelos presentantes en Cajamarca y en la Cuenca del Río Tingo, fueron identificados y caracterizados por la Oficina de Ordenamiento Territorial del Gobierno de Cajamarca, y agrupados taxonómicamente de acuerdo a Grandes Grupos de Suelos (*Soil Taxonomy – USDA*) y empleando la clasificación FAO (2006) se presentan los siguientes tipos de suelo en la cuenca del Río Tingo.

- **Phaeozem**

Esta unidad de suelo está constituida por depósitos de material detrítico fino, areniscas, cuartictas, lutitas y caliza, de origen coluvial; son suelos moderadamente profundos, presentan buen drenaje y reacción de moderadamente ácido a moderadamente alcalina, son suelos pedregosos.

La fertilidad natural de esta unidad de suelo es media, con niveles medios de materia orgánica y nitrógeno total, los niveles de fósforo y potasio son de medio a altos en muchos casos.

- **Cambiosol-Leptosol**

Los suelos Cambiosol-Leptosol se formaron a partir de rocas calizas, areniscas, cuarcitas, rocas volcánicas y en menor grado por depósitos de materiales detríticos grueso y fino de la misma naturaleza litológica.

Son suelos superficiales con escasa a moderada capacidad de retención de humedad, drenaje bueno a excesivo, ligeramente ácidos y se localizan en laderas de colina, montañas y piedemonte; son ligeramente pedregosos y muy susceptibles a la erosión. La fertilidad de estos suelos es de media a baja, con nivel medio de materia orgánica, y bajos niveles de nitrógeno, fosforo y potasio.

- **Paramosol-Leptosol**

Se desarrollaron a partir de materiales provenientes de descomposición de areniscas, cuarcitas y calizas en grades depósitos fluvioglaciares en climas lluviosos y fríos; están asociados a afloramientos rocosos, ubicándose en laderas de colinas y en montañas, por lo que son suelos superficiales con drenaje muy bueno y de naturaleza fuertemente acida, la fertilidad es baja con alto contenido de turba. Por las características de este tipo de suelo, su potencial de uso es únicamente el de sustentar pastos naturales para sustentar ganadería extensiva.

- **Phaeozem-Leptosol**

Proviene de la descomposición de rocas calizas, areniscas y margas, se localiza en laderas de colinas, montañas y piedemonte; son superficiales a moderadamente profundos con permeabilidad moderada y presenta una reacción moderadamente acida a moderadamente alcalina. La fertilidad de este tipo de suelos es de baja a media, con bajo contenido de materia orgánica; tiene una aptitud para agricultura diversificada.

- **Paramosol**

Son desarrollados a partir de rocas areniscas, calizas, cuarcitas y rocas volcánicas; estos suelos son moderadamente profundos y presentan gran retención de humedad, con reacción fuerte a ligeramente acida y son de permeabilidad moderada. La fertilidad natural es baja, con alto contenido de materia orgánica y valores medios de fósforo, nitrógeno y potasio; la capacidad de uso mayor de este tipo de suelos es como tierra de protección.

- **Paramo Andosol-Leptosol**

Se ubican en zonas de clima frío y condiciones adversas, originados a partir de tobas dacíticas y brechas de composición acida, así como también de descomposición de rocas volcánicas; estos suelos son superficiales a muy superficiales, de drenaje excesivo y reacción fuertemente acida. La fertilidad natural es baja y su capacidad de uso óptimo es de tierra de protección y como zona de recarga hídrica.

- **Paramo Andosol**

Son suelos desarrollados a partir de rocas volcánicas y de depósitos de materiales detríticos gruesos de rocas volcánicas; estos suelos son moderadamente profundos, localizados en laderas de colina y montañas, con buen drenaje, alta capacidad de retención de humedad, y de reacción de fuerte a ligeramente acida. La fertilidad natural de este tipo de suelo es baja, con alto contenido de materia orgánica, potasio y nitrógeno, pero bajo nivel de fósforo disponible. La aptitud de estos suelos por las condiciones climáticas en que se encuentran se relega a sustentar pastos naturales que sustentan la ganadería extensiva.

### **3.2.6. Geomorfología**

El estudio geomorfológico de la provincia de Hualgayoc fue elaborado por el Gobierno Regional de Cajamarca e incluido en el *Estudio de Diagnóstico y Zonificación para fines de Demarcación Territorial de la Provincia de Hualgayoc (2006)*; en donde, como consecuencia del efecto combinado de procesos que tienen lugar en el interior del globo

terrestre (Endógenos) y fenómenos que se producen en la superficie terrestre (Exógenos), se han formado las siguientes unidades identificadas en la cuenca del Río Tingo.

- **Colinas Andinas**

Son superficies de topografía moderadamente accidentada; por su origen corresponde a dos episodios geológicos que corresponden al terciario medio, con un intenso y prolongado periodo erosivo, y al episodio de levantamiento plio-pleistoceno de los andes.

La erosión actual es localmente fuerte, generado por las pendientes pronunciadas e intensificado por el sobrepastoreo, así mismo ante la presencia de afloramientos rocosos poco compactadas generan una erosión por surcos y en las zonas donde predominan las gramíneas el proceso erosivo se ve reducido.

- **Cadena Montañosa**

Corresponde a zonas que han sido modeladas por glaciaciones cuaternarias y fases interglaciares. Las glaciaciones han dejado el paisaje de morfología glaciar en la zonas alto andinas, donde se presentan vertientes rocosas montañosas, valles en forma de “U” con acumulaciones morrenicas, de las cuales por procesos erosión han formado suelos de diversa constitución.

La importancia de esta unidad geomorfológica es como receptora de lluvias, ya que recibe en promedio precipitaciones por encima de 1000mm al año, y aunado al bajo coeficiente de evaporación, estas superficies se configuran como productoras de agua.

- **Altiplanicies**

La topografía de las altiplanicies en la cuenca del Río Tingo es poco accidentadas, las altiplanicies en la cuenca, en su mayoría, están recubiertas de pastos naturales. Estas áreas están caracterizadas por la presencia de depósitos fluvio-glaciares y pequeños



valles de origen glaciar; el proceso principal de erosión de esta unidad geomorfológica está ligado al congelamiento momentáneo especialmente en las zonas de mayor altitud.

### **3.2.7. Geología**

La evaluación geológica de la zona de estudio fue desarrollada por el Gobierno Regional de Cajamarca y publicada en el *Estudio de Geología de Cajamarca (2009)*, en el cual se identificaron las siguientes unidades geológicas que conforman la cuenca del Río Tingo.

- **Formación Chulec**

Se localiza al noroeste y sureste de la provincia de Hualgayoc. Esta formación es una secuencia fosilífera de calizas arenosas, lutitas, calcáreas y margas; tiene un aspecto terroso amarillento debido al intemperismo, que es la principal característica para distinguirla en campo, y su espesor varía entre 200 a 250 m.

- **Formación Pariatambo**

Se localiza en la parte central y suroeste en la cuenca del Río Tingo. Esta formación consiste en una alternancia de lutitas con lechos de calizas bituminosas, estratos calcáreos con nódulos sílices y dolomíticos; su espesor varía entre 150 a 200 m.

- **Formación Cajamarca**

Se localiza en la parte baja de la cuenca del Río Tingo. Esta formación consiste de calizas gris oscuras o azuladas, con lechos de lutitas y margas; la formación yace concordantemente sobre la formación Quilquiñan y con la misma relación infrayace a la formación Celendín, el espesor varía entre los 600 a 700 m.

- **Formación Celendín**

Se ubica en la parte baja de la cuenca del Río Tingo, adyacente a la formación Cajamarca. Esta formación está constituida por margas y lutitas de color gris azulado y amarillo rojizo, abigarras hacia el topo, en capas de grosor entre 2 a 8 m.

La formación Celendín presenta intercalaciones de calizas margosas en capas delgadas, algunas son lumaquéllicas, así mismo calizas areniscosas color gris amarillento; presenta abundantes láminas de yeso secundario en el material arcilloso, el cual forma costras en los estratos calcáreos y rellena cavidades, el espesor de la formación es de aproximadamente 300 m.

- **Formación Quilquiñan/ Mujarrun**

Se ubica en el noreste de la cuenca del Río Tingo. Esta formación en la parte inferior descansa concordantemente sobre la formación Yumagual, y en la parte superior infrayace con discordancia paralela a la formación Cajamarca. En la base se presenta una secuencia de calizas nodulares, seguida de una intercalación de margas y lutitas amarillentas; continúan lechos de calizas nodulares con margas de color pardo amarillento y también se encuentran bancos de calizas claras con lutitas arenosas y margas delgadas con abundantes fósiles, el espesor aproximado de la formación es de 500 m.

- **Volcánico Huambos**

Se localiza distribuido en la parte central, norte y suroeste de la cuenca del Río Tingo. El Volcánico Huambos está compuesto por tobas y brechas de composición acida, se encuentran en el volcánico brechas dacíticas compuestas por bloques grandes de toba envueltos por una matriz tobacea. En su mayoría los piroclastos presentes en el Volcánico Huambos están estratificados y compactadas con escasos niveles de toba soldada o ignimbrita, el espesor aproximado es de 50 a 10 m.

- **Depósitos Aluviales**

Se localiza en la parte más baja de la cuenca del Río Tingo. Corresponde a depósitos que se acumulan en áreas favorables en los flancos de los valles y quebradas tributarias, conformados por conglomerados polimícticos poco consolidados y con presencia de clastos englobados en matriz limo arcillosa.

- **Dacitas**

Se ubica en la parte suroeste de la cuenca del Río Tingo. Se presenta en forma de stocks alineados, formando una franja, el cual está asociado a mineralización polimetálica.

- **Depósitos Fluvioglaciares**

Se ubican en la parte central de la cuenca del Río Tingo. Se encuentra conformado por morrenas glaciares compuestas por fragmentos de caliza del cretáceo superior, se ubica por sobre los 3600msnm.

- **Formación Chota**

Se encuentra en la parte baja de la cuenca del Río Tingo, adyacente a la formación Celendín. La formación Chota tiene dos miembros bien definidos, el miembro basal está constituido por sedimentos arcillosos tales como lutitas, lodolitas y margas, con colores rojo a marrón amarillento e intercalaciones de areniscas finas; el miembro superior está compuesto por areniscas y conglomerados de color rojo, en capas macizas, con intercalaciones de lodolitas y lutitas en capas delgadas. La formación chota tiene un espesor aproximado de 500 m.

- **Formación Yumagual**

Se ubica en la parte central y suroccidental de la cuenca del Río Tingo. Consiste en una secuencia de margas y calizas en bancos uniformes, predominando un medio lutáceo margoso, en algunos horizontes se observa nodulaciones calcáreas. La formación Yumagual tiene un espesor aproximado de 700 m.

- **Volcánico Llama**

Se ubica en la parte más occidental de la cuenca del Río Tingo. Está formado por una secuencia gruesa de volcánicos con afloramientos predominantes en la parte occidental, este volcánico es resistente a la erosión y constituye escarpas o farallones; el volcánico

Llama posee un conglomerado basal rojizo intercalado con capas de toba andesítica de color violáceo, seguido de la capa de conglomerados se encuentra una secuencia gruesa de piroclastos, con una brecha andesítica bien compacta, maciza y escasamente estratificada. El volcánico Llama posee un espesor promedio de 500 m.

### **3.3 MATERIALES**

#### **3.3.1. Imágenes Satelitales, en formato Raster**

- a) ASTER GDEM (*Global Digital Elevación Model*) correspondiente a la provincia de Hualgayoc. Obtenido de forma gratuita a través del portal Geoservidor USGS (*Science for Changing World*), producido por el Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón (METI) y la administración Nacional Aeronáutica y Espacial (NASA).
  
- b) Imágenes multiespectrales del sensor remoto Landsat 8. Obtenido de forma gratuita a través del portal Geoservidor USGS (*Science for Changing World*).

#### **3.3.2. Información temática base, en formato vectorial**

- a) Mapa con estaciones meteorológicas que se encuentran dentro y rodeando la cuenca del río Tingo, este mapa contiene la información de precipitación mensual de más de 25 años. Elaboración propia a partir de información proporcionada por SENAMHI.
  
- b) Mapa de suelos de la cuenca del río Tingo, que contiene información de los tipos de suelo presentes en la cuenca. Obtenido de la Oficina de Ordenamiento Territorial del Gobierno Regional de Cajamarca.
  
- c) Mapa de cobertura vegetal de la cuenca del río Tingo, que contiene información de los usos actuales de suelo de la cuenca. Obtenido de la Oficina de Ordenamiento Territorial del Gobierno Regional de Cajamarca.
  
- d) Mapa de uso potencial del suelo de la cuenca del río Tingo, que contiene información de la aptitud del suelo para desarrollar determinada actividad de manera óptima.

Obtenido de la Oficina de Ordenamiento Territorial del Gobierno Regional de Cajamarca.

### **3.3.3. Materiales de campo y procesamiento de información**

- a) Navegador GPS.
- b) Cámara fotográfica digital.
- c) Pizarra acrílica, plumones, wincha., libreta de campo.
- d) Pala.
- e) Bolsas para muestras de suelo.
- f) Laptop con procesador Intel Core I3 y Windows 10.
- g) Software ENVI versión 5.1.
- h) ArcGIS versión 10.4.
- i) Microsoft Word versión 2013.
- j) Microsoft Excel versión 2013.
- k) Microsoft Visio versión 2013.
- l) Google Earth Pro.

## **3.4 METODOLOGÍA**

La metodología seguida para el desarrollo de la presente investigación consistió en tres etapas: Fase de Gabinete (Pre-Campo), Fase de Campo, Fase de Gabinete (Procesamiento).

### **3.4.1. Fase de Gabinete (Pre-Campo)**

La primera fase de la investigación consistió en la recolección de toda la información base disponible de la zona de estudio, con la finalidad de conocer el tipo de suelos presentes en la cuenca, las actividades socio-económicas que se desarrollan en la zona, el potencial de uso de suelo conforme a sus características, la distribución de la precipitación en la cuenca y características geomorfológicas de la cuenca.

Los mapas temáticos que se empleó como información base de la zona de estudio fueron

proporcionados por la Oficina de Ordenamiento Territorial del Gobierno Regional de Cajamarca, los cuales fueron procesados y actualizados para la elaboración de la presente investigación. Para la determinación de las características geomorfológicas y la delimitación de la cuenca, se empleó imagen GDEM la cual fue obtenida del geoservidor USGS, así mismo se utilizó información de la carta nacional 14F correspondiente a la zona de estudio.

La información histórica de precipitación fue proporcionada por SENAMHI, con la finalidad de obtener datos de las estaciones cercanas a la cuenca: Chugur, Bambamarca y Quilcate; adicionalmente se empleó información de precipitación de cada 0.5 horas de la estación Cerro Corona con la finalidad de comparar la calidad del proceso de interpolación.

En la fase de gabinete (Pre-Campo), se elaboró el plan de muestreo de suelos para ello se empleó la base temática de suelos proporcionada por la Oficina de Ordenamiento Territorial del Gobierno Regional de Cajamarca y la carta nacional 14F, para la ubicación de puntos representativos en cada unidad de suelo.

### **3.4.2. Fase de Campo**

Esta fase consistió en dos etapas: la primera fue el reconocimiento in situ de la zona de estudio, la cual se llevó a cabo durante 6 meses con estadía en la ciudad de Hualgayoc, en esta etapa se recopiló información sobre usos del suelo, prácticas agrícolas empleadas por los comuneros e identificación de centros poblados y vías de acceso.

La segunda etapa consistió en un viaje de 4 días de duración, la cual consistió en la toma de muestras de suelo en los puntos propuestos en la fase de gabinete (Pre-Campo) para determinar la textura y materia orgánica del suelo, para lo cual se coordinó con los comuneros en cuyos terrenos se obtuvo muestras de suelo. La toma de muestras, almacenamiento y transporte de las muestras se realizó en base a la *Guía para el Muestreo de Suelo del Ministerio del Ambiente (2014)*, tomando muestras para caracterización de suelos a 15cm de profundidad y en zonas no disturbadas.

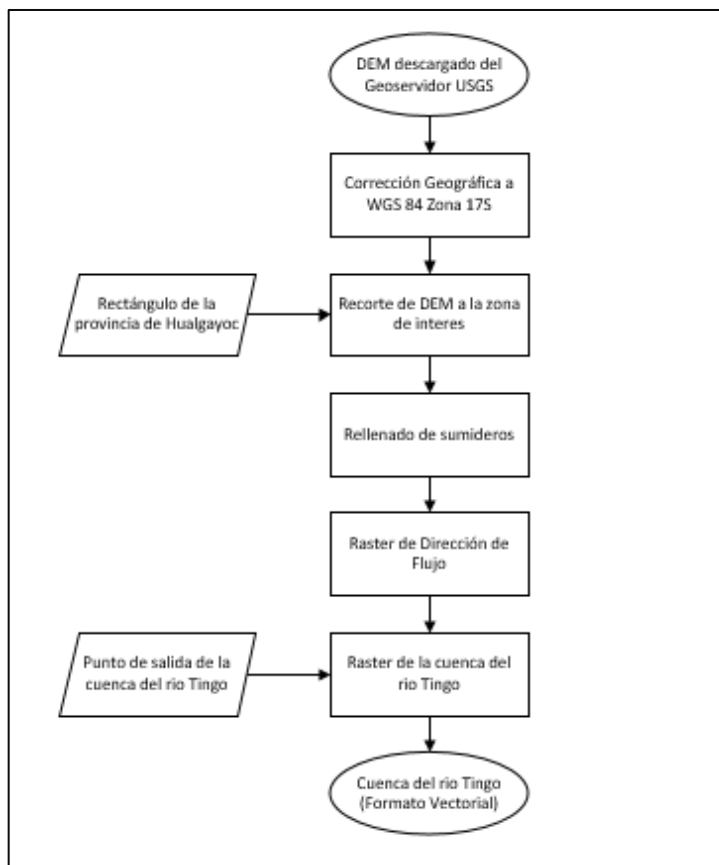
### 3.4.3. Fase de Gabinete (Post-Campo)

En esta fase se procesó toda la información recolectada en pre-campo y obtenida en la fase de campo, seguidamente se realizó el modelamiento cuantitativo de la erosión utilizando la Ecuación Universal de Perdida del Suelo Revisada (RUSLE), calculando cada una de las variables necesarias para el proceso.

#### I) Elaboración de mapas base

##### a) Elaboración del mapa de la cuenca del río Tingo

El mapa de la cuenca del río Tingo fue elaborado en base al Modelo Digital de Elevación obtenido del Geoservidor de la USGS, y procesado mediante el software ArcGIS para lo cual se empleó el siguiente procedimiento:



**Figura N° 3: Procedimiento para la delimitación de la cuenca.**

**FUENTE:** Elaboración propia.

## b) Elaboración del mapa de pendientes

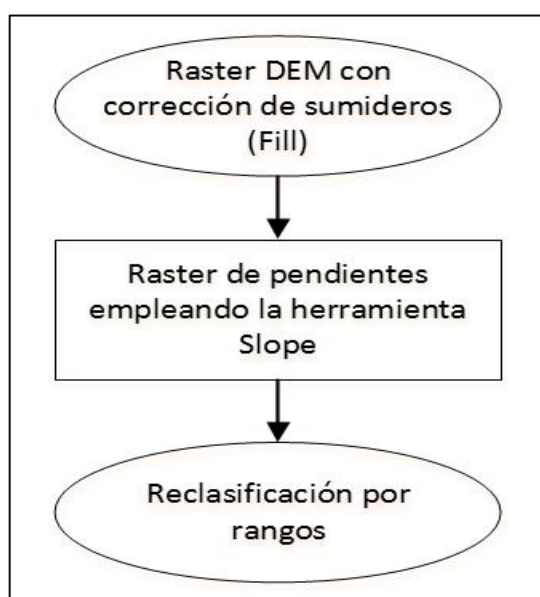
El mapa de pendientes se realizó a partir del DEM recortado a la zona de interés, mediante el uso del software ArcGIS y se clasificó las pendientes en base al Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (2009).

**Tabla N° 9: Rango de pendientes para laderas cortas y largas.**

Rango de pendientes para laderas cortas	Rango de pendientes para laderas largas
0 – 4%	0 – 2%
4 – 8%	2 – 4%
8 – 15%	4 – 8%
15 – 25%	8 – 15%
25 – 50%	15 – 25%
50 – 75%	25 – 50%
> 75%	50 – 75%
	> 75%

**FUENTE:** Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor, 2009

El procedimiento empleado para la obtención del mapa de pendientes se muestra a continuación.



**Figura N° 4:** Procedimiento para la elaboración de mapa de pendientes.

**FUENTE:** Elaboración propia



### c) Mapa de precipitación

A partir de los datos proporcionados por SENAMHI, se elaboró el mapa de precipitación (Isoyetas), para lo cual se empleó las siguientes estaciones meteorológicas.

**Tabla N° 10: Localización de Estaciones Meteorológicas.**

Estación	Periodo	Coordenadas UTM	
		Este	Norte
Bambamarca	1978 – 2010	774371	9261334
Chugur	1978 – 2010	750191	9262095
Quilcate	1978 – 2010	749345	9245258
Quebrada Shugar	1978 – 2010	781156	9260038

**FUENTE:** SENAMHI

Los datos de las estaciones meteorológicas mencionadas, fueron sometidos a un análisis de consistencia para poder tener datos estadísticamente coherentes y poder procesarlos, para ellos se analizó los datos mediante los métodos de Doble Masa, T de Student y Fisher.

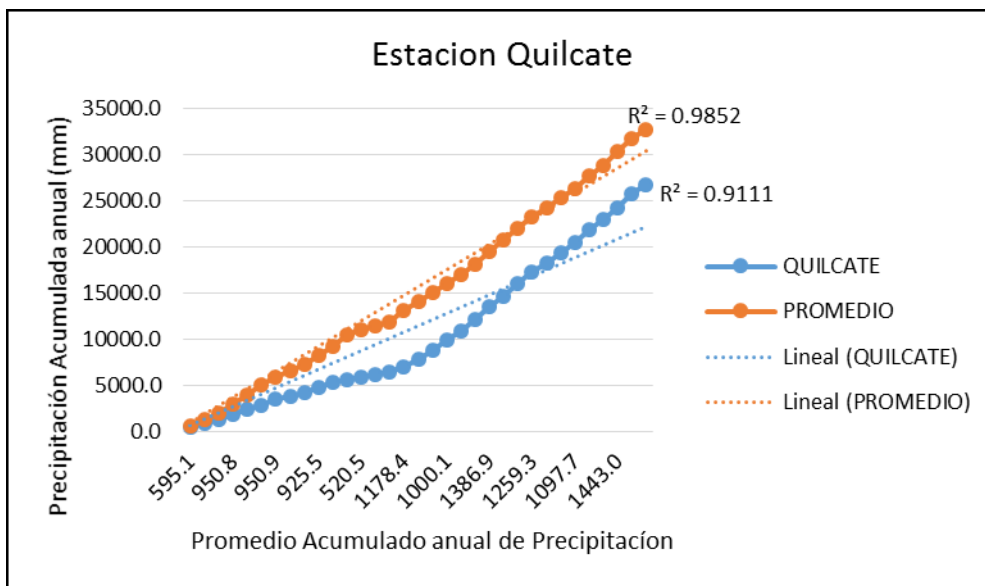
La prueba T de Student se fundamenta en dos premisas, la primera: la distribución de normalidad, y la segunda: en que las muestras sean independientes. Permite comparar muestras  $N \leq 30$  y/o establece la diferencia entre las medias de las muestras (Sánchez, 2015)

Los datos sometidos luego de ser sometidos a las pruebas de consistencia, fueron interpolados por el método de Spline, que consiste en varios polinomios que se unen entre si bajo ciertas condiciones de continuidad, este proceso de llevo a cabo mediante el software ArcGIS, después de ello se hizo la corrección de la precipitación con respecto a la altura, mediante regresión lineal.

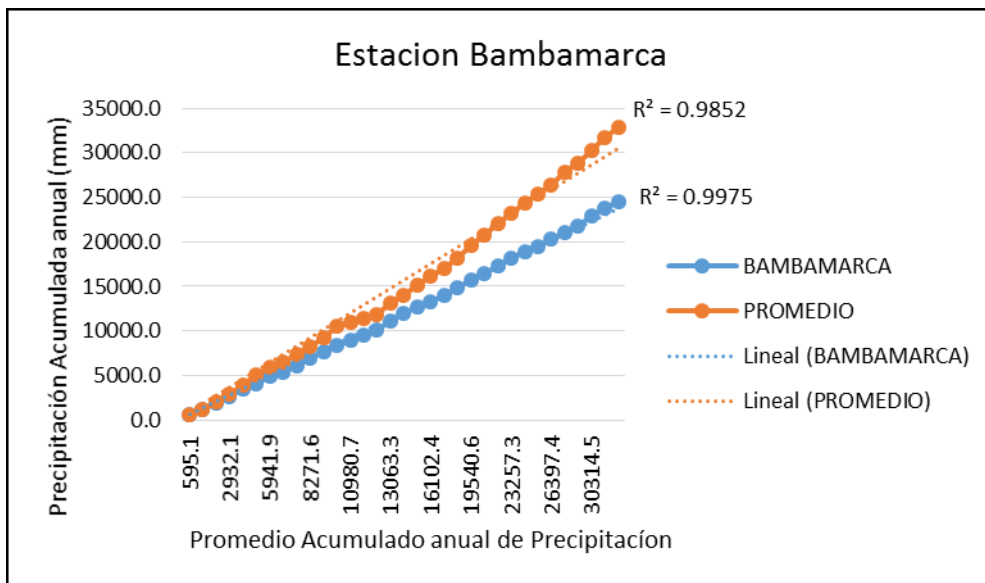
- **Análisis de Doble Masa de la precipitación**

Es la forma más usual de detectar periodos donde se han producido posibles errores, los cuales se expresan en forma de quiebre de la pendiente de la curva doble másica.

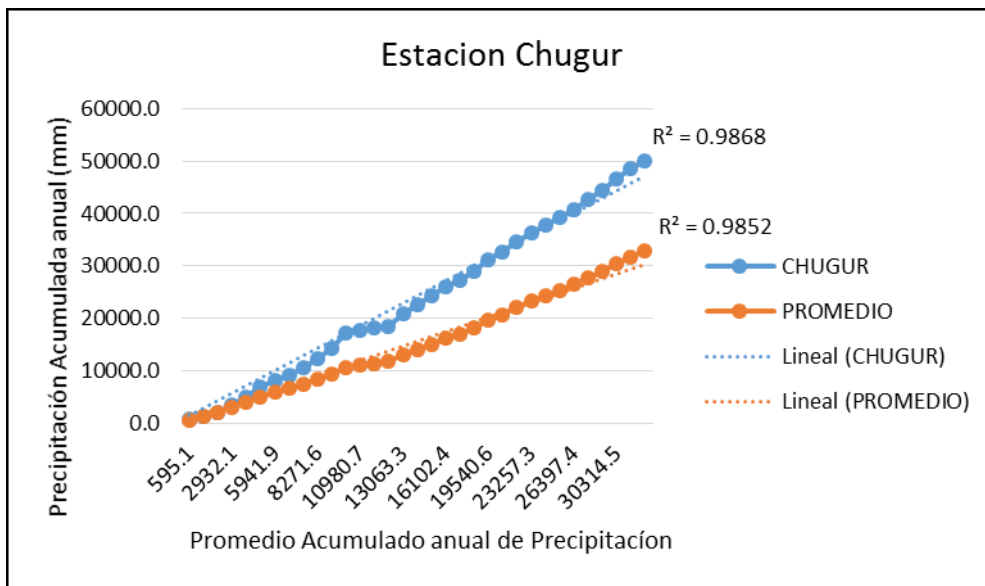
Para la construcción de la curva doble masa se lleva a un sistema de coordenadas cartesianas los valores acumulados de una estación (eje de ordenadas) contra los valores acumulados anuales del promedio de todas las estaciones en la zona de estudio o cercana a esta.



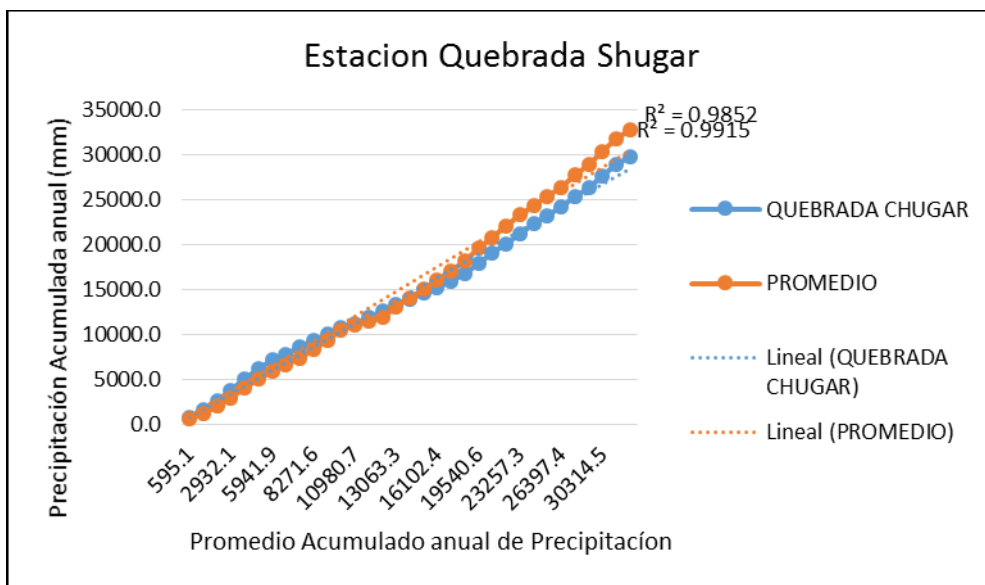
**Figura N° 5:** Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Quilcate.



**Figura N° 6:** Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Bambamarca.



**Figura N° 7:** Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Chugur.



**Figura N° 8:** Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Quebrada Shugar.

- **Método T de Student**

Redon (2009) menciona que el proceso tiene como fin demostrar, por medio de la prueba t de Student, que los valores promedio provienen de una misma población, valido si ambas medias son estadísticamente iguales.

- Cálculo de la media y desviación estándar, tanto del periodo en cuestión, como del confiable, de la siguiente manera:

$$\bar{X}_w = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n_w}$$

$$S_w = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_w)^2}{n_w - 1}}$$

Donde:

- $\bar{X}_w$ : Media de uno de los periodos.
- w: Periodo que se calcula.
- w = 1, para periodo dudoso.
- w = 2, para periodo confiable.
- $X_i$ : Dato de registro.
- $S_w$ : Desviación estándar del periodo w.
- $n_w$ : Tamaño de la muestra del periodo w.

- Prueba de medias, mediante el estadístico t de Student:
  - a) Se determina la hipótesis nula, la hipótesis alternativa y el nivel de significación:

$$H_0: u_1 = u_2$$

$$H_a: u_1 \neq u_2$$

$$\alpha = 0.05$$

- b) Prueba estadística para demostrar la hipótesis planteada de que las muestras provienen de la misma población, es decir, que la media de ambos periodos son estadísticamente iguales, obteniendo un valor de “t” calculado y un valor de “t” de tabla estadística:

$$t_c = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (u_1 - u_2)}{S_d}$$

$$S_d = S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$$

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

Dónde:  $t_c$  : t calculado.  
 $S_d$  : Desviación estándar de los promedios.  
 $S_p$  : Desviación estándar ponderada.

El valor de  $t_t$  se obtiene de tabla estadística con  $\alpha=0.05$  y  $n_1+n_2-2$  grados de libertad. La decisión sobre la consistencia de la media, se compara el valor de t calculado con el de t de las tablas:

- Si  $t_c < t_t$  → La media es consistente (Homogénea)
- Si  $t_c > t_t$  → La media es inconsistente (No Homogénea)

#### • Método de Fisher

Este análisis es empleado para probar la homogeneidad en la variancia de una muestra con respecto a otra. Se realiza mediante el estadístico F, de la siguiente manera:

- Se calcula las variancias (desviación estándar al cuadrado).
- Prueba del estadístico F como sigue:

a) Se define la hipótesis, tanto nula como alternativa

$$H_0: S_1^2 = S_2^2$$

$$H_a: S_1^2 \neq S_2^2$$

$$\alpha = 0.05$$

b) Se calcula el estadístico  $F_c$  y se busca el  $F$  de tablas ( $F_t$ )

$$F_c = \frac{S_1^2}{S_2^2}, \text{ si } S_1^2 > S_2^2$$

$$F_c = \frac{S_2^2}{S_1^2}, \text{ si } S_2^2 > S_1^2$$

El valor de  $F_t$  se obtiene con  $\alpha=0.05$ ,  $n_1-1$  grados de libertad del numerados y  $n_2-1$  grados de libertad del denominador. La decisión sobre la consistencia de la desviación estándar es:

- $F_c < F_t \rightarrow$  Existe consistencia en la variancia.
- $F_c > F_t \rightarrow$  No existe consistencia en la variancia.

- **Corrección de la serie**

Cuando la media y desviación estándar resultan estadísticamente homogéneas o consistentes, se puede trabajar con la información original, pero cuando alguna de las pruebas estadísticas no resulta consistente, es necesario corregir la serie de datos, para ello se aplican las siguientes ecuaciones.

$$X'_j = \frac{X_j - \bar{X}_1}{S_1} S_2 + \bar{X}_2, \text{ Para corregir el primer periodo.}$$

$$X'_j = \frac{X_j - \bar{X}_2}{S_2} S_1 + \bar{X}_1, \text{ Para corregir el segundo periodo.}$$

Donde:  $X'_j$  : Valor corregido de la información.

$X_j$  : Valor a ser corregido.

$\bar{X}_1, \bar{X}_2$  : Media de la primera y segunda serie.

$S_1, S_2$  : Desviación estándar de la primera y segunda serie.

**d) Mapa de Cobertura Vegetal**

Para la elaboración del mapa de cobertura vegetal de la cuenca del río Tingo se realizó mediante la actualización del mapa base de cobertura proporcionado por el Gobierno

Regional de Cajamarca. El proceso de actualización se llevó a cabo identificando puntos que corresponden a cada tipo de cobertura vegetal empleando para ello el servidor Google Earth, los puntos correspondientes a cada tipo de cobertura identificada se les realizó un ajuste geométrico usando como control puntos tomados en campo mediante el uso de un navegador GPS, por otro lado se realizó el procesamiento de las imágenes multiespectrales del sensor Landsat 8 que corresponden a la zona de estudio empleando para ello el software ENVI. Usando los puntos identificados y la imagen multiespectral corregida se realizó una clasificación supervisada con el método Maximum Likelihood, identificándose las unidades: Área Urbana, Terreno sin Uso (Suelo Desnudo), Praderas Naturales, Cultivos Permanentes, Terrenos de Bosques (Vegetación Herbácea) y Cuerpos de Agua.

#### **e) Mapa de Suelo – Sistema FAO**

Para la identificación del tipo de suelo presente en la cuenca del río Tingo, se empleó la información base de suelo proporcionado por el Gobierno Regional de Cajamarca en formato vectorial. Este mapa ha sido complementado con el análisis de textura, materia orgánica, estructura y permeabilidad que fue obtenido por muestreo en campo.

#### **f) Mapa de Capacidad de Uso Mayor de las Tierras**

Para el proceso de comparación y discusión de resultados, se empleó la información base de capacidad de uso mayor de suelo proporcionado por el Gobierno Regional de Cajamarca, en formato vectorial. Con esta información y el mapa de uso actual de suelo (Cobertura Vegetal) se procedió al análisis del potencial de pérdida de suelo.

## **II) Calificación y análisis de variables**

### **a) Análisis de la pendiente**

Mediante el uso del software ArcGIS, se generó el mapa de pendientes según los rangos expresados en el *Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (2009)*, del mismo modo se contabilizó el área y porcentaje de área que representa cada rango del total.

**Tabla N° 11: Área de pendientes.**

Rango (%)	Área (Ha)
0 – 4	291.72
4 – 8	607.37
8 – 15	1865.79
15 – 25	3435.88
25 – 50	4659.11
50 – 75	1059.25
> 75	323.81

### **b) Análisis de la precipitación**

Después del análisis de consistencia y de la corrección de la serie de datos no homogénea, se elaboró el mapa de variación espacial de la precipitación (Isoyetas) media anual en base a un registro de 32 años (1978 – 2010).

**Tabla N° 12: Clasificación de la precipitación media anual.**

Rango (mm/año)	Área (Ha)
690 - 700 mm/año	851.52
700 - 800 mm/año	2434.56
800 - 900 mm/año	1742.22
900 - 1000 mm/año	2670.14
1000 - 1100 mm/año	2280.91
1100 - 1200 mm/año	1658.02
1200 - 1300 mm/año	605.57

### **c) Análisis de la Cobertura Vegetal**

En base a la clasificación de uso actual de suelos propuesto por la Unión Geográfica Internacional (UGI) y el nivel de detalle del estudio, se analizó mediante imagen multiespectral del sensor Landsat 8 y mediante el método de clasificación supervisada, se identificaron las coberturas: Área Urbana, Terreno sin Uso (Suelo Desnudo), Praderas



Naturales (Pastos), Cultivos Permanentes, Terrenos de Bosques (Vegetación Herbácea) y Cuerpos de Agua; tal como se muestra en la tabla N°13.

**Tabla N° 13: Cobertura vegetal de la cuenca del Río Tingo.**

<b>Cobertura</b>	<b>Área (Ha)</b>
Área Urbana	452.8
Suelo desnudo	560.2
Pradera natural (Pastos)	5663.2
Cultivo permanente	826.5
Vegetación herbácea	4661.1
Cuerpo de agua	79.2

- **Área Urbana**

El área urbana tiene una superficie de 452.8 hectáreas. Se compone en su mayoría por la superficie que corresponde a la ciudad de Bambamarca, seguido de centros poblados y caseríos dispersos a lo largo de la cuenca, incluyendo a la comunidad de El Tingo.

- **Superficie Vegetal**

En cuanto a la superficie vegetal de la zona de estudio, se distingue tres tipos de cobertura: Suelo con cultivos permanentes, vegetación herbácea y praderas naturales. El suelo con cultivos permanentes corresponde a suelos agrícolas heterogéneos, los cuales se ubican principalmente en la parte baja de la cuenca (826.5 hectáreas). Los suelos con vegetación herbácea abarcan una extensión de 4661.1 hectáreas, compuesto por vegetación mediana y arbustiva natural. Por otro lado, la pradera natural es la cobertura mayor extensión en la cuenca, con una extensión de 5663.2 hectáreas, la cual se conforma de pastos naturales que constituyen la principal fuente de alimentación del ganado extensivo que se desarrolla en la cuenca.

- **Suelo Desnudo**

En la parte alta de la cuenca se ubica la mayor extensión de suelo desnudo de la cuenca, originado por la actividad minera a cielo abierto que se desarrolla en esta parte de la cuenca. El suelo desnudo de la cuenca tiene una extensión de 560.2 hectáreas.

- **Cuerpos de Agua**

Los cuerpos de agua identificados en la cuenca del Río Tingo corresponden a lagunas ubicadas en la parte alta de la cuenca y a embalses artificiales construidos por las unidades mineras. Los cuerpos de agua abarcan una extensión de 79.2 hectáreas.

**d) Análisis de los suelos de la cuenca del Río Tingo**

El tipo de suelos de Cajamarca han sido caracterizados de acuerdo a sus propiedades físico químicas por la Oficina de Ordenamiento Territorial del Gobierno de Cajamarca, los suelos identificados han sido agrupados taxonómicamente de acuerdo a Grandes Grupos de Suelos (*Soil Taxonomy – USDA*), y correlacionado con la Leyenda del AMpa de Suelos del Mundo – FAO 2006, de los cuales se han identificado y cuantificado la extensión de los suelos presentes en la cuenca del Río Tingo.

**Tabla N° 14: Superficie de suelos de la cuenca del Río Tingo – Sistema FAO.**

<b>Unidad</b>	<b>Área (Ha)</b>
Phaeozem	59.29
Cambiosol-Leptosol	777.75
Paramosol-Leptosol	1717.55
Phaeozem-Leptosol	5380.87
Paramosol	381.08
Paramo Andosol-Leptosol	8.17
Paramo Andosol	3850.37

### e) Análisis de la Geomorfología de la Cuenca del Río Tingo

La evaluación geomorfológica se analizó tomando en cuenta el *Estudio de Diagnóstico y Zonificación para fines de Demarcación Territorial de la Provincia de Hualgayoc (2006)*. Como consecuencia del proceso combinado de procesos que tienen lugar en el interior del globo terrestre (Endógenos) y fenómenos que se producen en la superficie terrestre (Exógenos), se han formado las siguientes unidades identificadas en la cuenca del Río Tingo.

**Tabla N° 15: Geomorfología de la cuenca del Río Tingo.**

Unidad	Característica	Litología	Morfodinámica	Área (Ha)
Montañoso	Ladera de montaña moderadamente empinada en rocas del neogeno	Roca volcánica	Movimientos complejos	1.87
Montañoso	Montaña moderadamente empinada en rocas del cretáceo superior	Roca sedimentaria	Erosión de laderas	7066.12
Altiplanicie	Altiplanicie moderadamente empinada en depósito fluvioglaciario	Depósitos fluvioglaciares	Erosión de laderas, flujo	381.08
Colina Andina (Planicie)	Terraza alta en depósitos aluviales	Depósitos aluviales	Erosión de laderas, flujo	59.30
Montañoso	Ladera de montaña empinada en rocas del neogeno	Rocas volcánicas	Caída de rocas, movimiento complejo	51.88
Montañoso	Montaña moderadamente empinada en rocas del paleogeno y neogeno	Rocas volcánicas	Erosión de laderas, movimiento complejo, caída de rocas, derrumbes	8.17
Montañoso	Montaña empinada en rocas del cretáceo superior	Rocas sedimentarias	Caída de rocas, derrumbes, erosión en cárcavas	4548.50
Montañoso	Vertiente montañosa empinada en rocas del cretáceo superior	Rocas sedimentarias	Caída de rocas, derrumbes, reptación, movimiento complejo	60.03

## f) Análisis de la Geología de la Cuenca del Río Tingo

El análisis y descripción de las formaciones geológicas que conforman la geología del Río Tingo, se realizó en base al *Estudio de Geología (2009)* desarrollado por el Gobierno Regional de Cajamarca. Para ello, mediante el uso de software ArcGIS se delimito e identifico las unidades geológicas que conforman la cuenca del Río Tingo; en el siguiente cuadro se presenta las unidades geológicas de la cuenca y su extensión superficial en la cuenca.

**Tabla N° 16: Geología de la cuenca del Río Tingo.**

Unidad	Era	Periodo	Época	Tipo de Roca	Litología	Área (Ha)	Porcentaje respecto al total
Formación Chulec	Mesozoico	Cretaceo	Inferior	Sedimentaria	Calizas, lutitas, margas	376.31	3.07%
Formación Pariatambo	Mesozoico	Cretaceo	Inferior	Sedimentaria	Dolomitas bituminosas, margas, calizas	705.70	5.76 %
Formación Cajamarca	Mesozoico	Cretaceo	Superior	Sedimentaria	Calizas, margas	1662.63	13.58 %
Formación Celendín	Mesozoico	Cretaceo	Superior	Sedimentaria	Calizas, lutitas, margas	188.03	1.53 %
Formación Quilquiñan/ Mujarrun	Mesozoico	Cretaceo	Superior	Sedimentaria	Calizas, lutitas, margas	1120.54	9.15 %
Volcánico Huambos	Cenozoico	Neógeno	Miocena	Volcánica	Tobas, aglomerados, brechas	807.33	6.59 %
Depósitos Aluviales	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Sedimentaria	Arenas, gravas, arcillas	59.30	0.48 %
Dacitas	Cenozoico	Paleógeno	Eocena	Volcánica	Dacita	1581.60	12.92 %
Depósitos Fluvio - glaciares	Cenozoico	Cuaternario	Plastoceno	Sedimentaria	Gravas subredondeadas a subangulosas, arena	381.08	3.11 %
Formación Chota	Mesozoico	Cretaceo	Superior	Sedimentaria	Areniscas, lutitas, conglomerados	116.51	0.95 %
Formación Yumagual	Mesozoico	Cretaceo	Superior	Sedimentaria	Calizas, lutitas, margas	4902.58	40.04 %
Volcánico Llama	Cenozoico	Paleógeno	Eocena	Volcánica	Andesita, tobas, areniscas, calizas	275.37	2.25 %

### **g) Análisis del Conflicto de Uso de las Tierras en la Cuenca del Río Tingo**

La determinación del conflicto que existe entre el uso actual de suelo y la capacidad de uso mayor del mismo se determinó mediante el mapa de Uso Mayor de Suelo y el mapa de Uso Actual de las tierras (Cobertura Vegetal), en base a estos se determinó el uso mediante la clasificación: Sobre utilizado, Sub Utilizado y Uso Conforme (FAO, 2001)

**Tabla N° 17: Conflicto de Uso de Suelo en la Cuenca del Río Tingo.**

<b>Calificación</b>	<b>Área (Ha)</b>
Sobre utilizado	8929.87
Conforme	1392.57
Sub utilizado	1841.14

### **III) Estimación de la Erosión Hídrica**

La estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica se realizó mediante el cálculo independiente de cada uno de los factores que componen la Ecuación Universal de Perdida de Suelos Revisada (RUSLE), este proceso se llevó a cabo mediante el procesamiento de información raster previamente obtenida, usando la herramienta Raster Calculator del software ArcGIS.

#### **a) Factor de Erosividad (R)**

El factor de erosividad se basa en el potencial de la lluvia para desprender las partículas de suelo, para ello se empleó información de precipitaciones proporcionado por SENAMHI de las estaciones antes mencionadas.

Previo al cálculo del factor de erosividad, se realizó el análisis de consistencia de los datos y se realizó la corrección respectiva de la serie no homogénea, luego mediante la ayuda del software ArcGIS se interpolaron los datos y se elaboró el raster correspondiente a la precipitación media anual, luego se elaboró el raster

correspondiente al factor de erosividad R, empleando la siguiente ecuación propuesta por Morgan (1974).

$$R = I_{30} * \frac{9.28P - 8.393}{1000}$$

Dónde: I<sub>30</sub>: 75mm/h (valor recomendado por Wischmeier)

P: Precipitación media anual.

#### b) Factor de Erodabilidad (K)

Para el cálculo del factor de erodabilidad K, se tomaron muestras de suelo en cada una de las unidades de suelo que conforman la cuenca, las cuales fueron analizadas en laboratorio para obtener la textura y materia orgánica; de cada estación de muestreo se determinó la estructura mediante los códigos USLE de estructura (Tabla N° 3) y la permeabilidad (Tabla N° 4).

**Tabla N° 18: Ubicación de las estaciones de muestreo de suelo.**

Unidad de suelo	Código	ESTE	NORTE	ALTITUD (msnm)
Phaeozem	H	773638	9261605	2555
Cambiosol-Leptosol	B-L	770856	9260968	2997
Paramosol-Leptosol	PS-L	772351	9262445	2615
Phaeozem-Leptosol	H-L	763652	9258481	3499
Paramosol	P-S	761047	9257659	3622
Paramo Andosol-Leptosol	PA-L	755525	9253484	3929
Paramo Andosol	PA	759495	9256284	3852
Paramosol-Leptosol	PS-L2	757135	9251934	3918

La textura del suelo y el contenido de materia orgánica de cada punto se determinaron mediante análisis por el método de Bouyoucos, realizado en el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

**Tabla N° 19: Textura del suelo de cada estación de muestreo.**

Unidad de suelo	Código	% Arena	% Limo	% Arcilla	% M.O.	Textura
Phaeozem	H	57.28	26.64	16.08	0.61	Franco arenoso
Cambiosol-Leptosol	B-L	53.64	28.28	18.08	6.77	Franco arenoso
Paramosol-Leptosol	PS-L	59.64	32.28	8.08	4.58	Franco arenoso
Phaeozem-Leptosol	H-L	73.64	17.28	9.08	7.93	Franco arenoso
Paramosol	P-S	54.64	29.28	16.08	5.61	Franco arenoso
Paramo Andosol-Leptosol	PA-L	72.64	22.28	5.08	6.25	Franco arenoso
Paramo Andosol	PA	68.64	26.28	5.08	11.02	Franco arenoso
Paramosol-Leptosol	PS-L2	73.28	21.64	5.08	11.66	Franco arenoso



La determinación del contenido de arena muy fina de cada muestra de suelo se realizó, siguiendo la metodología descrita por Cabrejos (2016), mediante tamices #200 y #40; el contenido que pasa por la malla #40 y es retenido en la malla #200 corresponde a la arena muy fina.

**Tabla N° 20: Porcentaje de arena muy fina de cada estación de muestreo.**

Unidad de suelo	Código	Peso total (gr.)	Peso retenido en malla #40 (gr.)	Peso retenido en malla #200 (gr.)	% arena muy fina
Phaeozem	H	517.43	453.60	58.59	11.32%
Cambiosol-Leptosol	B-L	250.93	227.24	22.87	9.11%
Paramosol-Leptosol	PS-L	315.27	276.86	37.73	11.97%
Phaeozem-Leptosol	H-L	182.47	155.12	26.88	14.73%
Paramosol	P-S	276.72	229.11	43.11	15.58%
Paramo Andosol-Leptosol	PA-L	260.40	187.52	68.01	26.12%
Paramo Andosol	PA	145.67	90.93	52.22	35.85%
Paramosol-Leptosol	PS-L2	163.18	115.61	44.69	27.39%




La determinación de la estructura del suelo se realizó de manera in situ teniendo en cuenta los códigos USLE de la tabla N° 3, y el código correspondiente a la permeabilidad se realizó teniendo en cuenta la tabla N° 4.

**Tabla N° 21: Codificación de estructura de las unidades de suelo de la cuenca del Río Tingo.**




Unidad de suelo	Código	Registro Visual	Código de Estructura
Phaeozem	H		4 (Bloques)
Cambiosol-Leptosol	B-L		3 (Granular media a gruesa)



Continuación...

Unidad de suelo	Código	Registro Visual	Código de Estructura
Paramosol-Leptosol	PS-L		3 (Granular media a gruesa)
Phaeozem-Leptosol	H-L		3 (Granular media a gruesa)
Paramosol	P-S		3 (Granular media a gruesa)

Continuación...

Unidad de suelo	Código	Registro Visual	Código de Estructura
Paramo Andosol-Leptosol	PA-L		2 (Granular fina)
Paramo Andosol	P-A		2 (Granular fina)
Paramosol-Leptosol	PS-L2		2 (Granular fina)

La permeabilidad de suelo se obtuvo mediante los datos descritos por Mannaerts (1999) presentados en la tabla N° 4, en función a la clase textural.

**Tabla N° 22: Codificación de permeabilidad de las unidades de suelo de la cuenca del Río Tingo.**

Unidad de suelo	Código	Textura	Código Permeabilidad
Phaeozem	H	Franco arenoso	3 (Moderada)
Cambiosol-Leptosol	B-L	Franco arenoso	3 (Moderada)
Paramosol-Leptosol	PS-L	Franco arenoso	3 (Moderada)
Phaeozem-Leptosol	H-L	Franco arenoso	3 (Moderada)
Paramosol	P-S	Franco arenoso	3 (Moderada)
Paramo Andosol-Leptosol	PA-L	Franco arenoso	3 (Moderada)
Paramo Andosol	PA	Franco arenoso	3 (Moderada)
Paramosol-Leptosol	PS-L2	Franco arenoso	3 (Moderada)

En base a los datos obtenidos en campo y laboratorio, se obtuvo el valor del factor de erodabilidad (K) de cada unidad de suelo de la cuenca del Río Tingo.

**Tabla N° 23: Valores del Factor de Erodabilidad (K).**

Unidad de suelo	Código	Factor K
Phaeozem	H	0.39601668
Cambiosol-Leptosol	B-L	0.1791015
Paramosol-Leptosol	PS-L	0.30994586
Phaeozem-Leptosol	H-L	0.14285658
Paramosol	P-S	0.25344813
Paramo Andosol-Leptosol	PA-L	0.2378497
Paramo Andosol	PA	0.0538904
Paramosol-Leptosol	PS-L2	0.01427286

### c) Factor Topográfico (LS)

El factor topográfico LS es la multiplicación de los factores de longitud de talud L e inclinación de pendiente S, los cuales se calcularon de la siguiente manera.

- **Longitud de talud (L)**

La valor del factor L se calculó mediante las ecuaciones (2.7), (2.8) y (2.9).

$$L = \left[ \frac{\lambda}{22.1} \right]^m$$

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

$$F = \frac{\sin \beta / 0.0896}{3(\sin \beta)^{0.8} + 0.56}$$

Dónde:  $\lambda$  = Es longitud del declive en metros.

$\beta$  = Angulo de la pendiente, en grados.

m = exponente que depende de la pendiente de la ladera.

Para ello, a partir del modelo DEM y con la herramienta *SLOPE* del software ArcGIS, se calculó la pendiente en grados luego se procedió a calcular el valor de “F”, luego de “m” y finalmente el mediante la herramienta *Raster Calculator* se calculó el factor L con las siguientes expresiones.

- Valor de “F”.

$$F = (\text{Sin}(\text{"pendient\_gra"} * 0.01745) / 0.0896) / (3 * \text{Power}(\text{Sin}(\text{"pendient\_gra"} * 0.01745), 0.8) + 0.56)$$

- Valor de “m”.

$$m = "F" / (1 + "F")$$

- Valor de Factor L.

$$L = (\text{Power}(\text{"Flow\_acc"} + 954.3994622, ("m"+1)) - \text{Power}(\text{"Flow\_acc"}, ("m"+1))) / (\text{Power}(30.89335628, "m"+2) * \text{Power}(22.13, "m"))$$

- **Inclinación de pendiente (S)**

El valor del factor S se calculó mediante la ecuaciones (2.10).

$$S = 10.8 * \sin \theta + 0.03 \quad \text{Si: } s < 9\%$$

$$S = 16.8 * \sin \theta - 0.5 \quad \text{Si: } s \geq 9\%$$

Dónde: S = Factor de pendiente.

s = Inclinación de pendiente (%).

θ = Angulo de pendiente, en grados

Se calculó la pendiente en porcentaje mediante la herramienta *SLOPE* del software ArcGIS, y usando el valor de la pendiente en grados antes calculada, se calculó el factor “S” con la ayuda de la herramienta *Raster Calculator* empleando la siguiente expresión.

$$S = \text{Con}(\text{Tan}(\text{"pendient\_degr"} * 0.01745) < 0.09, (10.8 * \text{Sin}(\text{"pendient\_degr"} * 0.01745) + 0.03), (16.8 * \text{Sin}(\text{"pendient\_degr"} * 0.01745) - 0.5))$$

El factor topográfico LS es la multiplicación de los factores separados L y S.

#### **d) Factor de Cobertura (C)**

El factor de cobertura (C), se determinó mediante el uso de la tabla de valores de cobertura vegetal (Tabla N° 5), de acuerdo a las unidades de cobertura identificados en la zona, se asignó los valores para cada clase identificada.

**Tabla N° 24: Valores de Factor de Cobertura.**

<b>Cobertura Identificada</b>	<b>Cobertura según tabla UGI</b>	<b>Factor C</b>
Área Urbana	Urbano	0
Suelo desnudo	Suelo desnudo	1
Pradera natural (Pastos)	Pasturas	0.15
Cultivo permanente	Cultivos anuales y herbáceos	0.25
Vegetación herbácea	Plantas herbáceas y matorjos	0.035
Cuerpo de agua	Cuerpo de agua	0

#### **e) Factor de Prácticas de Conservación de Suelo (P)**

El valor del factor P corresponde a valores asignados a determinados métodos de conservación de suelo y/o a determinadas prácticas agrícolas que disminuyan la pérdida de suelo, valores que están detallados en la tabla N° 6.

Teniendo en cuenta que en la cuenca del Río Tingo no se realiza ningún tipo de práctica de conservación de suelo, el valor que corresponde para el factor P es la unidad.

#### **f) Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica (A)**

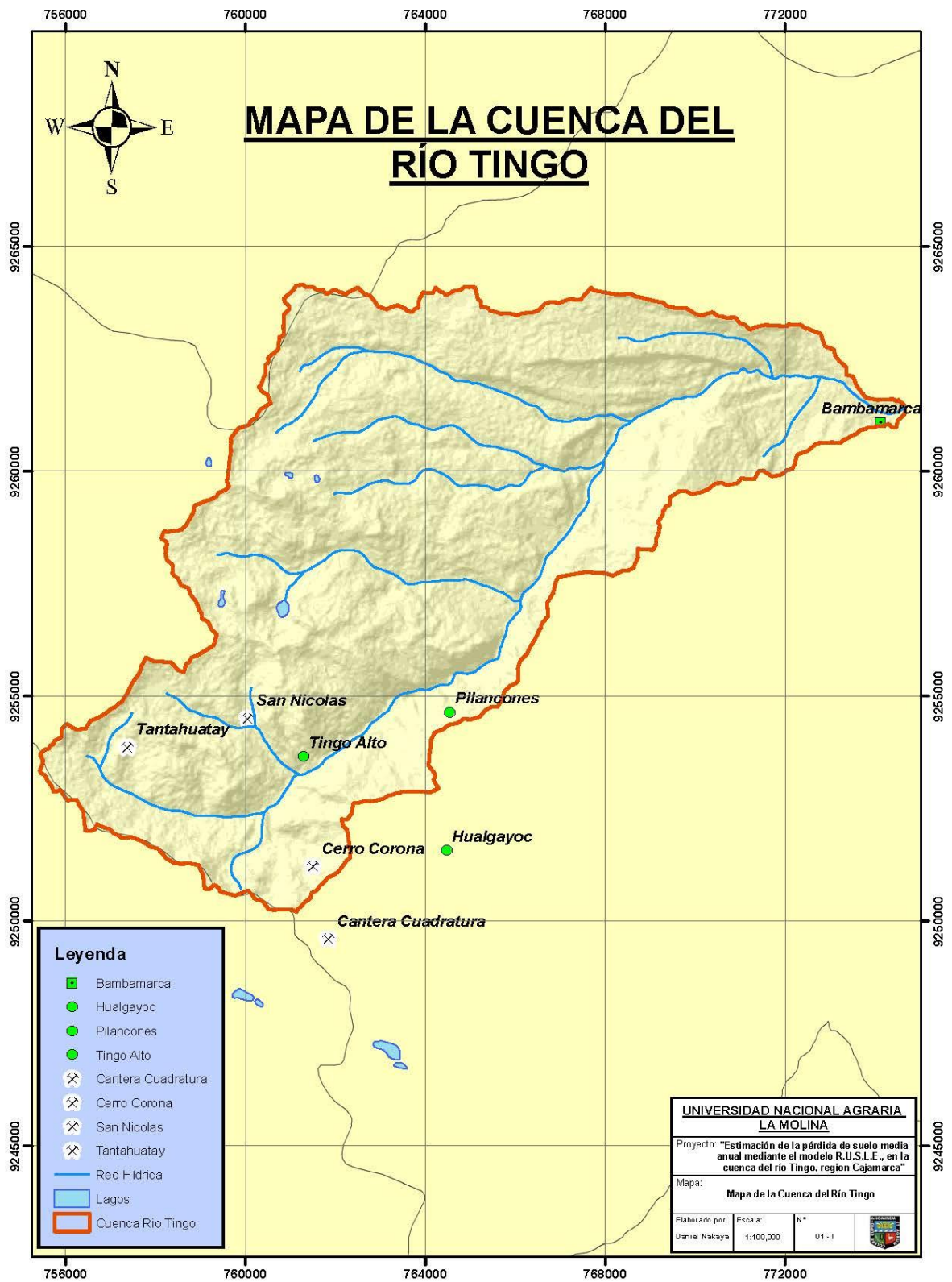
La estimación de la pérdida de suelo media anual por erosión hídrica se calculó por medio de cada uno de los factores antes calculados que corresponden el modelo RUSLE, mediante la herramienta *Raster Calculator* del software ArcGis.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 INFORMACIÓN GEOESPACIAL PARA IDENTIFICAR LAS ZONAS DE EROSIÓN**

#### **4.1.1. Mapa de la Cuenca del Río Tingo**

El mapa de la cuenca del Río Tingo se generó según la metodología indicada, cuyo formato corresponde a un raster, este archivo fue convertido a formato vectorial para luego obtener los parámetros necesarios que se emplearon para obtener los siguientes mapas temáticos. El area de la cuenca del Río Tingo es de 12,242.94 Hectáreas y un perimetro de 62.57 km.



**Figura N° 9:** Mapa de la Cuenca del río Tingo.



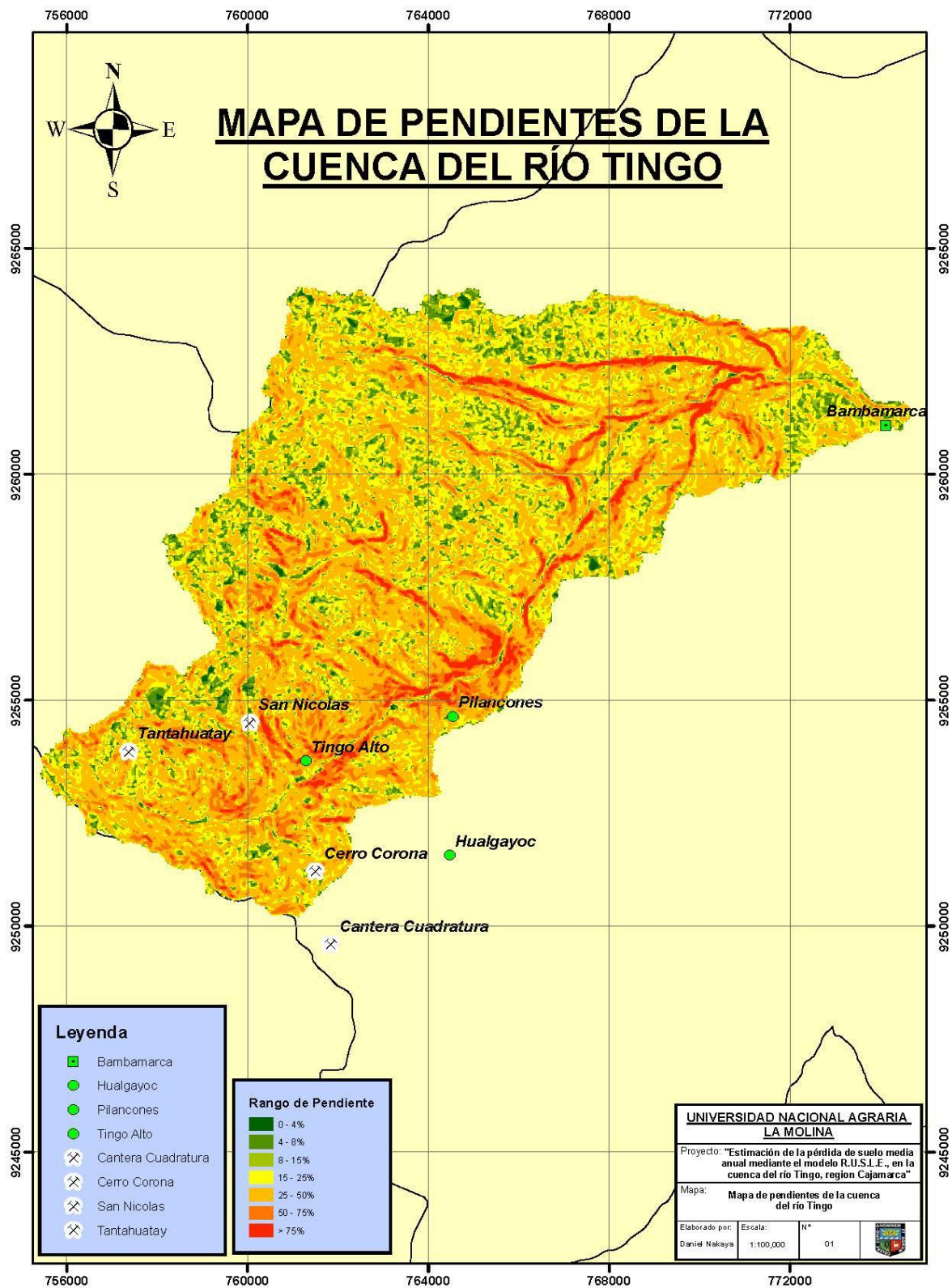
#### 4.1.2. Mapa de Pendientes de la Cuenca del Río Tingo

El mapa de pendientes se generó según la metodología antes indicada, cuyo formato corresponde a un raster, este archivo fue convertido a formato vectorial para luego clasificar las pendientes en los rangos según el *Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (2009)*, obteniéndose como resultado un mapa de pendientes clasificado a los rangos de interés, tal como se muestra en la tabla N° 25.

La pendiente en un rango de 0 – 4% corresponde al 2.4% de la superficie de la cuenca del río Tingo, con una extensión de 291.72 hectáreas las pendientes suaves se encuentran en menor proporción respecto a los demás rangos. Las pendientes entre 4 – 8% y 8 – 15% corresponden al 5.0% y 15.2% respectivamente, correspondiendo a pendientes ligeramente empinadas. Las pendientes entre 15 – 25% corresponden a un 28.1% de la superficie de la cuenca, con una extensión de 3435.88 hectáreas; y las pendientes entre 25 – 50% corresponden a un 38.1% con una extensión de 4659.11 hectáreas, estas pendientes corresponden a pendientes moderadamente empinadas, siendo estas las pendientes que predominan en la cuenca. Se tiene un 11.3% (1383.06 ha.) del territorio con pendientes mayores a 50%, las cuales corresponden a fuertemente empinadas.

**Tabla N° 25:** Resultado de Mapa de Pendientes de la Cuenca del Río Tingo

Rango (%)	Área (Ha)	Porcentaje respecto al total
0 – 4	291.72	2.4 %
4 – 8	607.37	5.0 %
8 – 15	1865.79	15.2 %
15 – 25	3435.88	28.1 %
25 – 50	4659.11	38.1 %
50 – 75	1059.25	8.7 %
> 75	323.81	2.6 %
	12,242.94	100%



**Figura N° 10:** Mapa de pendientes de la Cuenca del río Tingo.

### 4.1.3. Mapa de Precipitación de la Cuenca del Río Tingo

La información brindada por SENAMHI fue sometida a un análisis de consistencia con los métodos de T de Student y Fisher, se corrigió la serie inconsistente y se procedió a generar el mapa de precipitación y luego se realizó la corrección altitudinal de la precipitación, dando como resultado un mapa de precipitación altitudinal. La precipitación varía con la altitud, siendo en la parte baja de la cuenca donde se registran las menores precipitaciones medias que van desde 700 mm/año a 800 mm/año en una extensión que abarca el 2.23% (272.74 hectáreas) de la cuenca del río Tingo; las precipitaciones medias entre 800 mm/año a 900 mm/año ocupan se distribuyen en el 6.19% (758.06 hectáreas) de la cuenca; las precipitaciones medias entre 900 mm/año – 1000 mm/año se distribuyen en el 14.45% (1769.63 hectáreas) de la cuenca; en las partes altas de la cuenca se observa precipitaciones superiores a 1000 mm/año, las cuales se extienden en el 77.13% (9442.51 hectáreas) del territorio de la cuenca del río Tingo. Se tiene un promedio de precipitaciones en la cuenca de 1091 mm/año.

**Tabla N° 26: Resultado de Consistencia T de Student.**

Estación	T Calculado	T Tabla	Resultado
Quilcate	7.5785	2.0395	$T_c \leq T_t$ (No consistente)
Quebrada Shugar	1.4832	2.0395	$T_c \leq T_t$ (Consistente)
Chugur	1.5814	2.0395	$T_c \leq T_t$ (Consistente)
Bambamarca	0.1454	2.0395	$T_c \leq T_t$ (Consistente)

**Tabla N° 27: Resultado de Consistencia Fisher.**

Estación	F Calculado	F Tabla	Resultado
Quilcate	5.4812	2.786	$F_c \leq F_t$ (No consistente)
Quebrada Shugar	1.8949	2.765	$F_c \leq F_t$ (Consistente)
Chugur	1.5864	2.774	$F_c \leq F_t$ (Consistente)
Bambamarca	1.1525	2.765	$F_c \leq F_t$ (Consistente)

**Tabla N° 28: Resultado de Consistencia T de Student – Serie Corregida.**

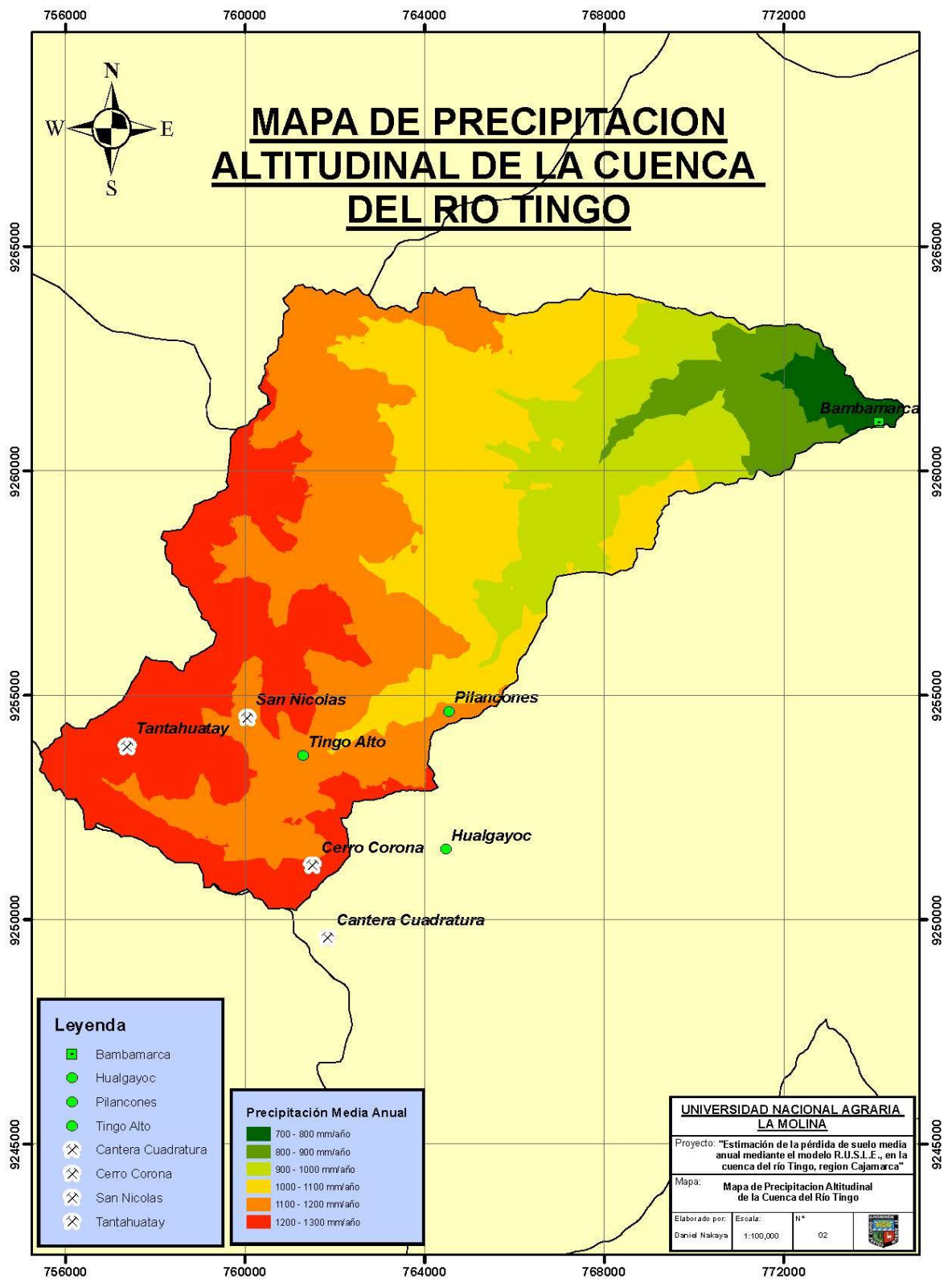
Estación	T Calculado	T Tabla	Resultado
Quilcate	2.16418E-15	2.0395	$T_c \leq T_t$ Consistente)
Quebrada Shugar	1.4832	2.0395	$T_c \leq T_t$ (Consistente)
Chugur	1.5814	2.0395	$T_c \leq T_t$ (Consistente)
Bambamarca	0.1454	2.0395	$T_c \leq T_t$ (Consistente)

**Tabla N° 29: Resultado de Consistencia Fisher – Serie Corregida.**

Estación	F Calculado	F Tabla	Resultado
Quilcate	1	2.786	$F_c \leq F_t$ (Consistente)
Quebrada Shugar	1.8949	2.765	$F_c \leq F_t$ (Consistente)
Chugur	1.5864	2.774	$F_c \leq F_t$ (Consistente)
Bambamarca	1.1525	2.765	$F_c \leq F_t$ (Consistente)

**Tabla N° 30: Resultado de Mapa de Precipitación.**

Rango (mm/año)	Área (Ha)	Porcentaje respecto al total
700 - 800 mm/año	272.74	2.23%
800 - 900 mm/año	758.06	6.19%
900 - 1000 mm/año	1769.63	14.45%
1000 - 1100 mm/año	2897.64	23.67%
1100 - 1200 mm/año	3736.76	30.52%
1200 - 1300 mm/año	2808.10	22.94%



**Figura N° 11:** Mapa de Precipitación Altitudinal de la Cuenca del río Tingo.

#### 4.1.4. Mapa de Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Tingo

El mapa de cobertura se obtuvo mediante procesamiento de imagen satelital, se clasificó de acuerdo al *Sistema de Clasificación propuesto por la Unión Geográfica Internacional (UGI - 1976)* y se adaptó a la realidad de la zona de estudio. Se tiene que el 3.7% (452.8 hectáreas) de la superficie de la cuenca corresponde a suelo con infraestructura urbana y el 0.6% (79.2 hectáreas) corresponde a cuerpos de agua; la mayor parte de la cuenca está cubierta por praderas naturales (pastos) que representan el 46.3% (5663.2 hectáreas) de la superficie total, seguido por la Vegetación herbácea que ocupa el 38.1% (4661.1 hectáreas) de la superficie de la cuenca. Las zonas de cultivos varios que se desarrollan en la cuenca abarcan un 6.8% (826.5 hectáreas), y el suelo desnudo, sin ningún tipo de cubierta vegetal, corresponde al 4.6% (560.2 hectáreas) de la superficie de la cuenca, la cual se ubica en la parte alta de la cuenca principalmente.

**Tabla N° 31: Resultado de Mapa de Cobertura vegetal.**

Cobertura	Cobertura según tabla UGI	Área (Ha)	Porcentaje respecto al total
Área Urbana	Urbano	452.8	3.7 %
Suelo desnudo	Suelo desnudo	560.2	4.6 %
Pradera natural (Pastos)	Pasturas	5663.2	46.3 %
Cultivo permanente	Cultivos anuales y herbáceos	826.5	6.8 %
Vegetación herbácea	Plantas herbáceas y matorros	4661.1	38.1 %
Cuerpo de agua	Cuerpo de agua	79.2	0.6 %



**Figura N° 12:** Mapa de Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Tingo.

#### 4.1.5. Mapa de Suelos de la Cuenca del Río Tingo

El mapa de suelos se clasifico en base al Sistema de Suelos de la FAO (2006); a partir del mapa de suelos que fue proporcionado por el Gobierno Regional de Cajamarca; siguiendo la metodología mencionada anteriormente, se clasifico y delimito el mapa de suelos regional al área de interés de la presente investigación.

Los suelos de tipo Phaeozem-Leptosol son los suelos predominantes en la cuenca, se ubican en la parte central de la cuenca y ocupa una extensión de 43.95% (5380.87 hectáreas) de la superficie total de la cuenca. En segundo lugar de extensión se encuentran los suelos Paramo Andosol, ocupando una extensión de 31.45% (3850.37 hectáreas) de la cuenca, se ubica en la parte media alta de la cuenca. El siguiente orden de predominancia corresponde a los suelos del tipo Paramosol-Leptosol, ubicados tanto en la parte alta como baja de la cuenca, ocupa una extensión de 14.03% (1717.55 hectáreas) de la superficie total. Los demás tipos de suelos de la cuenca ocupan el 10.01% de la superficie total (Ver tabla N° 32 y figura N° 16).

**Tabla N° 32: Resultado de Mapa de Suelos de la Cuenca del Río Tingo.**

Unidad	Área (Ha)	Porcentaje respecto al total
Phaeozem	59.29	0.48 %
Cambiosol-Leptosol	777.75	6.35 %
Paramosol-Leptosol	1717.55	14.03 %
Phaeozem-Leptosol	5380.87	43.95 %
Paramosol	381.08	3.11 %
Paramo Andosol-Leptosol	8.17	0.07 %
Paramo Andosol	3850.37	31.45%



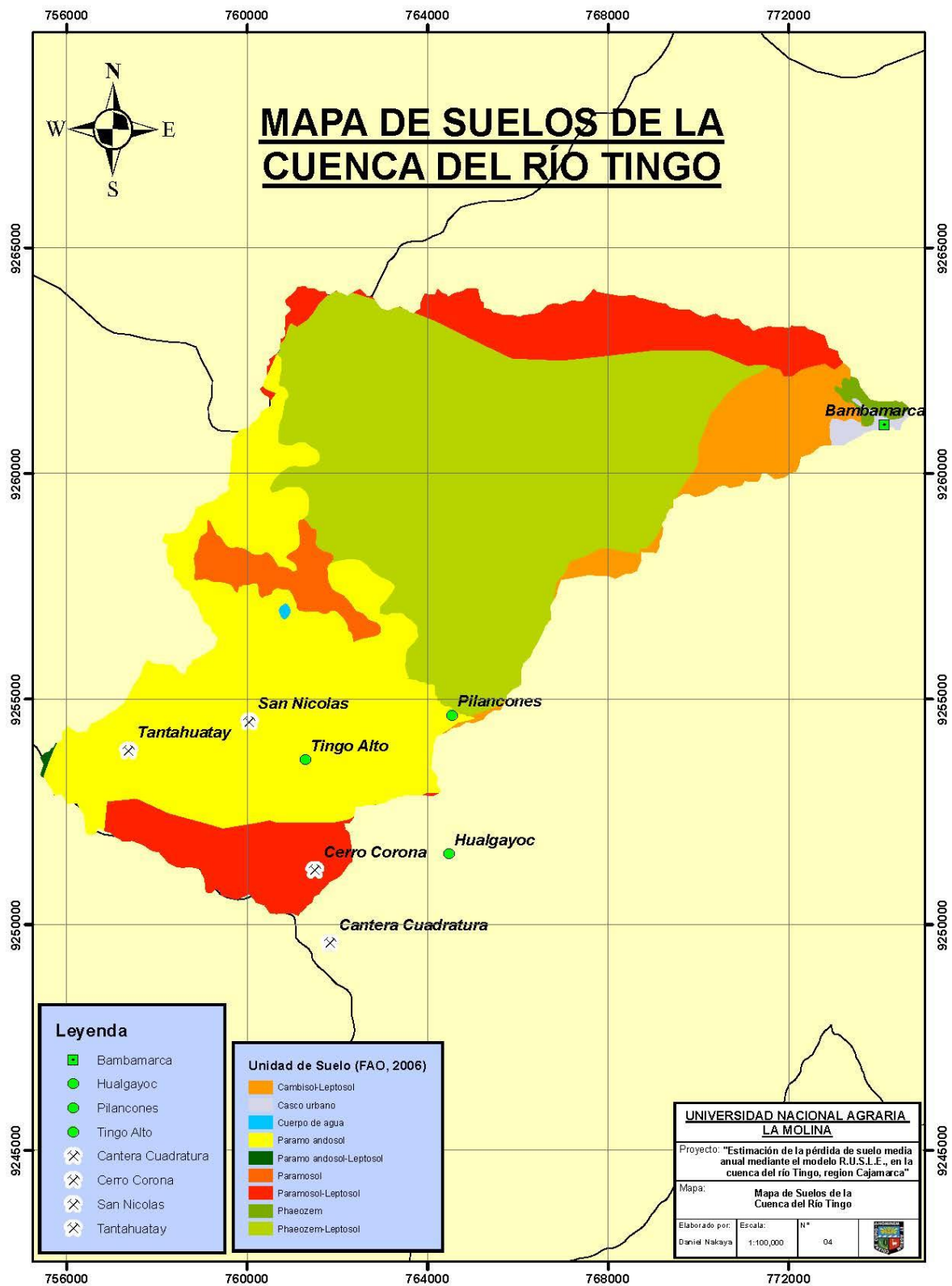


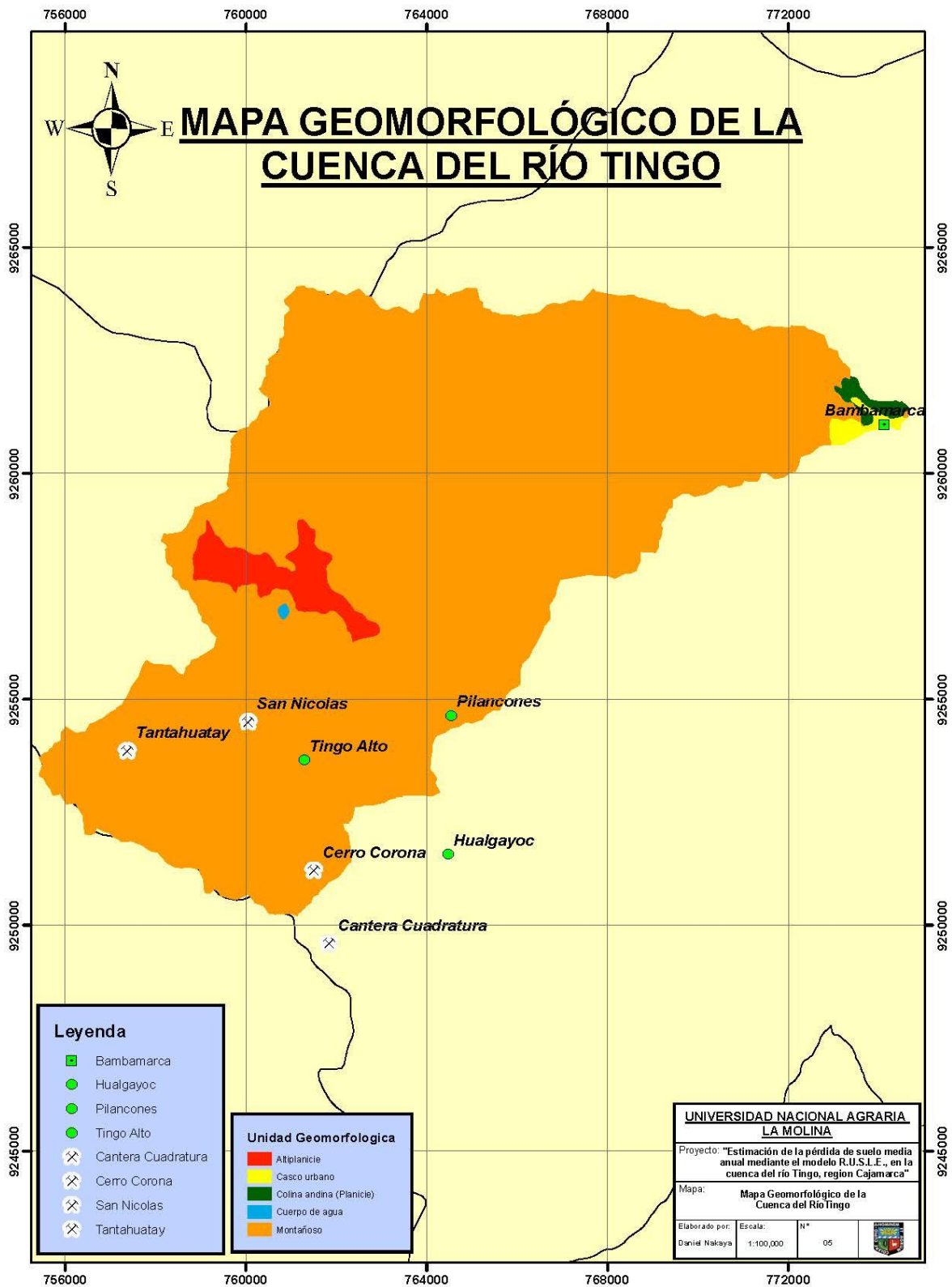
Figura N° 13: Mapa de Suelos de la Cuenca del Río Tingo.

#### 4.1.6. Mapa Geomorfológico de la Cuenca del Río Tingo

Con respecto al mapa geomorfológico, después de seguir la metodología se identificó 3 grandes unidades geomorfológicas, en las que la unidad montañosa es la que abarca la mayor superficie de la cuenca, en total un 95.87% (11,736.57 hectáreas) de la superficie de la cuenca, las cuales están compuestas por laderas de montañas moderadamente empinadas y montañas empinadas. La unidad geomorfológica de altiplanicie se identificó en la parte central de la cuenca, abarca un 3.11% (381.08 hectáreas) la cual corresponde a un depósito fluvioglacial. La unidad que menos se expresa en la zona es la de colina andina (planicie), representa el 0.48% (59.30 hectáreas) de la superficie de la cuenca, compuesta por depósitos aluviales y se ubica en la parte baja de la cuenca.

**Tabla N° 33: Resultado de Mapa Geomorfológico de la Cuenca del Río Tingo.**

Unidad Geomorfológica	Característica	Área (Ha)	Porcentaje respecto al total
Montañoso	Ladera de montaña moderadamente empinada en rocas del neogeno	1.87	0.02 %
Montañoso	Montaña moderadamente empinada en rocas del cretáceo superior	7066.12	57.72 %
Altiplanicie	Altiplanicie moderadamente empinada en depósito fluvioglacial	381.08	3.11 %
Colina Andina (Planicie)	Terraza alta en depósitos aluviales	59.30	0.48 %
Montañoso	Ladera de montaña empinada en rocas del neogeno	51.88	0.42 %
Montañoso	Montaña moderadamente empinada en rocas del paleogeno y neogeno	8.17	0.07 %
Montañoso	Montaña empinada en rocas del cretáceo superior	4548.50	37.15 %
Montañoso	Vertiente montañosa empinada en rocas del cretáceo superior	60.03	0.49 %



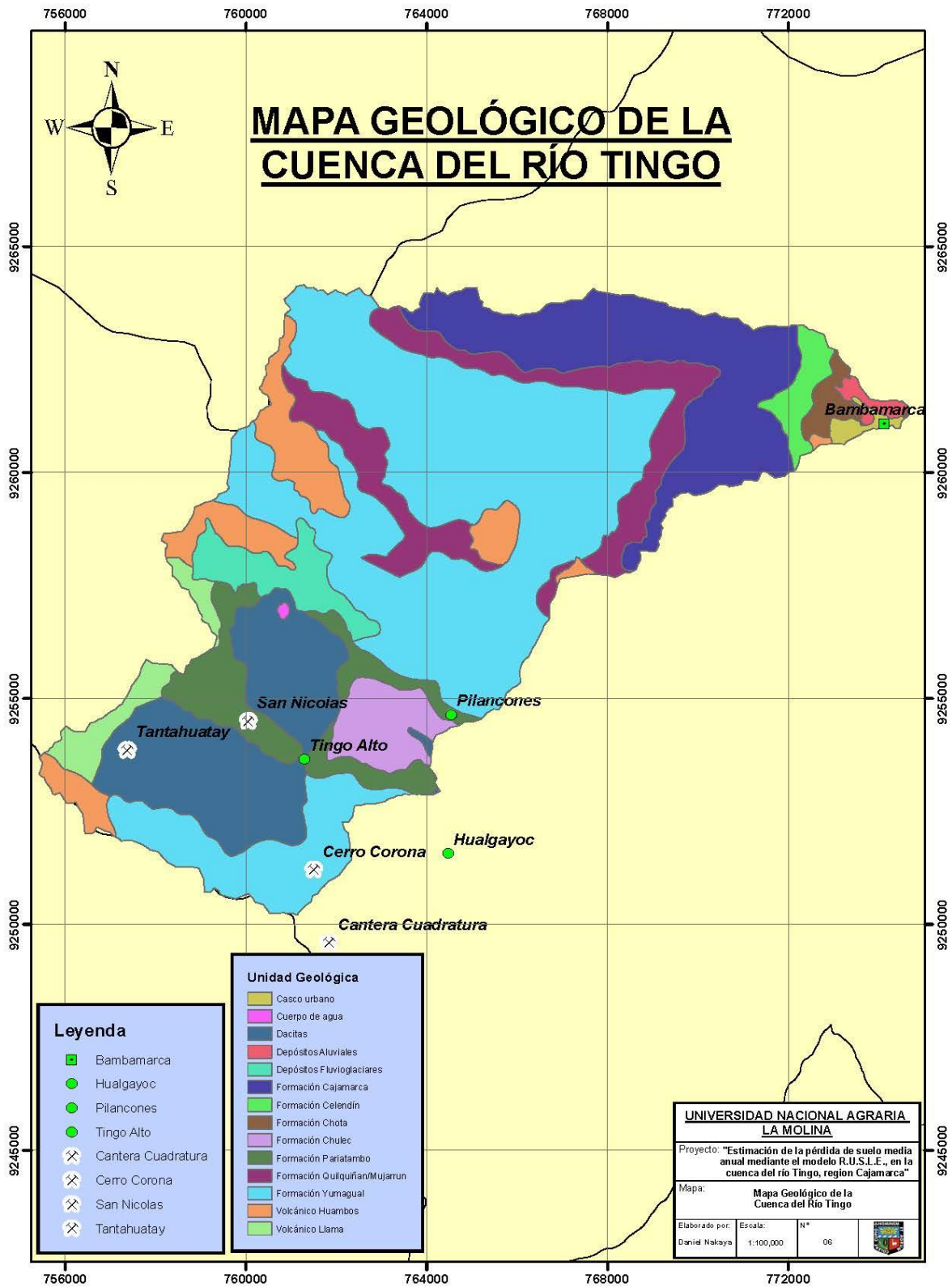
**Figura N° 14:** Mapa Geomorfológico de la Cuenca del Río Tingo.

#### 4.1.7. Mapa Geológico de la Cuenca del Río Tingo

El tipo de roca predominante en la cuenca del Río Tingo es sedimentaria y volcánica, de origen variado. La formación Yamagual ocupa del 40.04% (4902.58 hectáreas) del territorio, perteneciente a la era del Mesozoico, conformado principalmente por calizas, lutitas y margas. Las formaciones Chulec, Pariatambo, Cajamarca, Celendín, Quilquiñan/ Mujarrun y Chota, pertenecen a la era del Mesozoico, de diferente litológica como se puede observar en la tabla N°29, ocupan en conjunto el 34.04% de la superficie de la cuenca (4169.72 hectáreas). Finalmente la formación Huambos, Depósitos Aluviales, Dacitas y Depósitos fluvio-glaciares, pertenecen a la era del Cenozoico, de diferente litología según su origen de formación, ocupan en conjunto el 25.92% (2829.31 hectáreas) del territorio.

**Tabla N° 34: Resultado de Mapa Geológico de la Cuenca del Río Tingo.**

Unidad	Era	Litología	Área (Ha)	Porcentaje respecto al total
Formación Chulec	Mesozoico	Calizas, lutitas, margas	376.31	3.07%
Formación Pariatambo	Mesozoico	Dolomitas bituminosas, margas, calizas	705.70	5.76 %
Formación Cajamarca	Mesozoico	Calizas, margas	1662.63	13.58 %
Formación Celendín	Mesozoico	Calizas, lutitas, margas	188.03	1.53 %
Formación Quilquiñan/ Mujarrun	Mesozoico	Calizas, lutitas, margas	1120.54	9.15 %
Volcánico Huambos	Cenozoico	Tobas, aglomerados, brechas	807.33	6.59 %
Depósitos Aluviales	Cenozoico	Arenas, gravas, arcillas	59.30	0.48 %
Dacitas	Cenozoico	Dacita	1581.60	12.92 %
Depósitos Fluvio - glaciares	Cenozoico	Gravas subredondeadas a subangulosas, arena	381.08	3.11 %
Formación Chota	Mesozoico	Areniscas, lutitas, conglomerados	116.51	0.95 %
Formación Yumagual	Mesozoico	Calizas, lutitas, margas	4902.58	40.04 %
Volcánico Llama	Cenozoico	Andesita, tobas, areniscas, calizas	275.37	2.25 %



**Figura N° 15:** Mapa Geológico de la Cuenca del Río Tingo.

#### 4.1.8. Mapa de Capacidad de Uso Mayor de las Tierras en la Cuenca del Río Tingo

El mapa de capacidad de uso mayor se obtuvo de acuerdo a la metodología descrita. La aptitud del suelo que predomina en la cuenca del Río Tingo es del tipo F, apta para producción forestal, ocupa el 44.46% (5442.78 hectáreas) de la superficie de la cuenca. Las tierras del tipo X, tierras de protección, se encuentran en segundo orden de extensión, ocupa el 31.45% (3850.37 hectáreas) de la superficie total de la cuenca y se ubican en la parte media alta de la cuenca. El siguiente orden de extensión es las tierras del tipo P, aptas para pastos, que ocupan el 15.66% (1917.00 hectáreas). Las tierras del tipo A, aptas para cultivo en limpio, son las que menos predominan en la zona, ocupando el 7.90% (966.81 hectáreas) de la superficie total de la cuenca.

**Tabla N° 35: Resultado de Mapa de Capacidad de Uso Mayor de las Tierras en la Cuenca del Río Tingo.**

Aptitud	CUM	Área (Ha)	Porcentaje respecto al total
Tierras aptas para producción forestal	F	5442.78	44.46 %
Tierras aptas para pastos	P	1917.00	15.66 %
Tierras aptas para cultivo en limpio	A	966.81	7.90 %
Tierras de protección	X	3850.37	31.45 %
Cuerpo de agua	Cuerpo de agua	7.46	0.06 %
Área urbana	Área urbana	58.52	0.48 %



**Figura N° 16:** Mapa de Capacidad de Uso Mayor de las Tierras en la Cuenca del Río Tingo.

#### 4.1.9. Mapa de Conflicto de Uso de las Tierras en la Cuenca del Río Tingo

El mapa de conflicto de uso de las tierras se elaboró mediante la metodología mencionada, usando para ello los mapas de capacidad de uso mayor y mapa de cobertura vegetal. En el mapa se aprecia las zonas que están siendo sobre utilizadas, sub utilizadas y las que presentan una conformidad de uso de acuerdo a la aptitud del suelo. Se tiene que la mayor parte del territorio 72.94% (8929.87 hectáreas) está siendo sobre utilizada, es decir, el suelo está siendo usado para otro fin que el óptimo del suelo, el cual se destina principalmente al pastoreo de ganado extensivo. Por otro lado, el territorio que está en uso conforme solo corresponde al 11.97% (1392.57 hectáreas) y el suelo que está siendo sub utilizado, es decir que no está siendo aprovechado adecuadamente corresponde al 15.04% (1841.14 hectáreas) de la superficie total de la cuenca.

**Tabla N° 36: Resultado de Mapa de Conflicto de Uso de las Tierras en la cuenca del Río Tingo.**

Calificación	Área (Ha)	Porcentaje respecto al total
Sobre utilizado	8929.87	72.94 %
Conforme	1392.57	11.37 %
Sub utilizado	1841.14	15.04 %





**Figura N° 17:** Mapa de Conflicto de Uso de las Tierras en la Cuenca del Río Tingo.

## 4.2 FACTORES DEL MODELO R.U.S.L.E.

### 4.2.1. Factor de Erosividad (R)

Con la información de precipitación obtenida de las estaciones meteorológicas, se determinó un raster con los valores del factor de erosividad (R) usando para ello el *Raster Calculator* y la ecuación propuesta por Morgan (1974) para lugares de precipitación media acumulada mayor a 1000 mm/año; se reclasifico el raster en rangos y se convirtió en formato vectorial para la obtención de áreas de cada rango.

Se tiene que el valor del factor de erosividad se incrementa según la altitud de la cuenca, debido a que en las zonas altas ocurren las mayores precipitaciones. La fuerza erosiva de las lluvias es mayor en la parte alta de la cuenca 800 – 900 MJ\*cm/ha\*h la cual abarca el 39.33% (4814.92 hectáreas) de la cuenca. El siguiente orden de erosividad corresponde a los valores de 700 – 800 MJ\*cm/ha\*h que se distribuyen en el 36.08% (4417.32 hectáreas) de la cuenca. En la parte media baja de la cuenca se encuentran valores entre 600 y 700 MJ\*cm/ha\*h los cuales se distribuyen en el 18.62% (2279.13 hectáreas) de la cuenca. En la parte baja de la cuenca se encuentran los menores valores de erosividad, los cuales van desde 500 a 600 MJ\*cm/ha\*h distribuíos en el 5.98% (731.58 hectáreas) de la cuenca del río Tingo.

**Tabla N° 37:** Resultado de Mapa de Factor de Erosividad (R) de la Cuenca del Río Tingo.

Rango (MJ*cm/ha*h)	Área (Ha)	Porcentaje respecto al total
500 – 600	731.58	5.98%
600 – 700	2279.13	18.62%
700 – 800	4417.32	36.08%
800 – 900	4814.92	39.33%



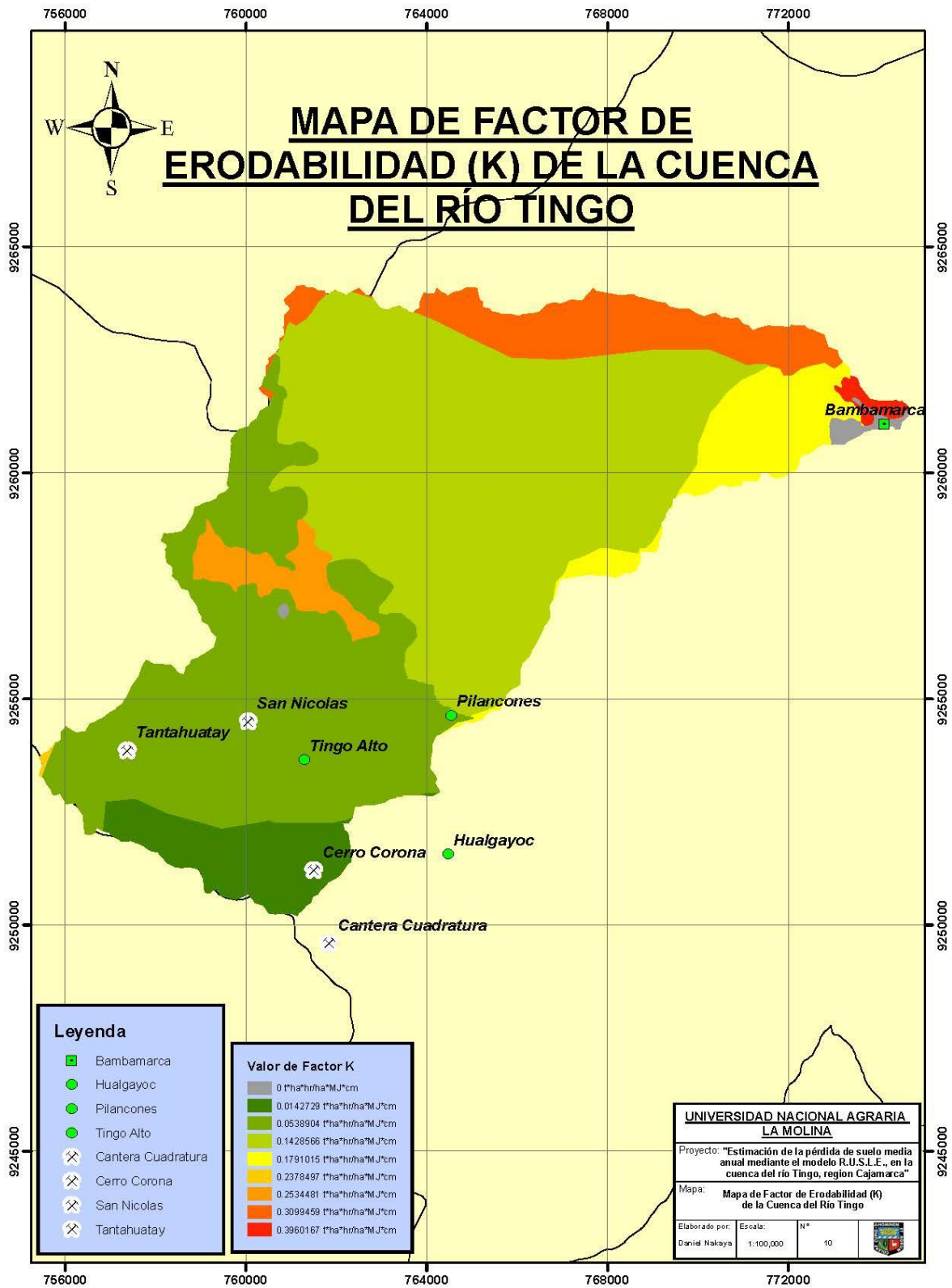
**Figura N° 18:** Mapa de Factor de Erosividad (R) de la Cuenca del Río Tingo.

#### 4.2.2. Factor de Erodabilidad (K)

La información de suelos procesada y luego de hallar el valor del factor de erodabilidad según la metodología indicada, se obtuvo el mapa de factor K de cada unidad de suelo identificada y según su textura, materia orgánica, estructura y permeabilidad, los cuales se pueden apreciar en la tabla N° 38 y figura N° 22.

**Tabla N° 38:** Resultado de Mapa de Factor de Erodabilidad (K) de la Cuenca del Río Tingo.

Valor (t*ha*hr/MJ*ha*cm)	Área (Ha)	Porcentaje respecto al total
0.39601668	59.296571	0.48%
0.14285658	5380.873846	43.95%
0.30994586	967.551724	7.90%
0.1791015	777.751002	6.35%
0.25344813	381.075826	3.11%
0.0538904	3850.365028	31.45%
0.2378497	8.170904	0.07%
0.01427286	750.002364	6.13%



**Figura N° 19:** Mapa de Factor de Erodabilidad (K) de la Cuenca del Río Tingo.

#### 4.2.3. Factor Topográfico (LS)

El factor topográfico LS se obtuvo mediante el producto de los factores L y S, calculados según la metodología mencionada; el resultado se reclasificó y se convirtió a formato vectorial para la representación gráfica y el cálculo de áreas. Se tiene que el 82.61% (10,114.17 hectáreas) del territorio de la cuenca presenta valores por debajo de 8, que en su mayoría presenta pendientes de valores medios a bajos; los valores por encima de 8 corresponden al 17.39% (2128.77 hectáreas) del territorio, y son debido a pendientes de valores medios a altos.

**Tabla N° 39:** Resultado de Mapa de Factor Topográfico (LS) de la Cuenca del Río Tingo.

Rango	Área (Ha)	Porcentaje respecto al total
0 - 2	1987.24	16.23 %
2 - 4	3297.70	26.94 %
4 - 6	1862.49	15.21 %
6 - 8	2966.74	24.23 %
8 - 10	575.38	4.70 %
10 - 12	287.25	2.35 %
12 - 14	1062.41	8.68 %
14 - 16	48.35	0.39 %
16 - 18	106.72	0.87 %
18 - 20	31.54	0.26 %
20 - 22	11.14	0.09 %
> 22	5.98	0.05 %



**Figura N° 20:** Mapa de Factor Topográfico (LS) de la Cuenca del Río Tingo.

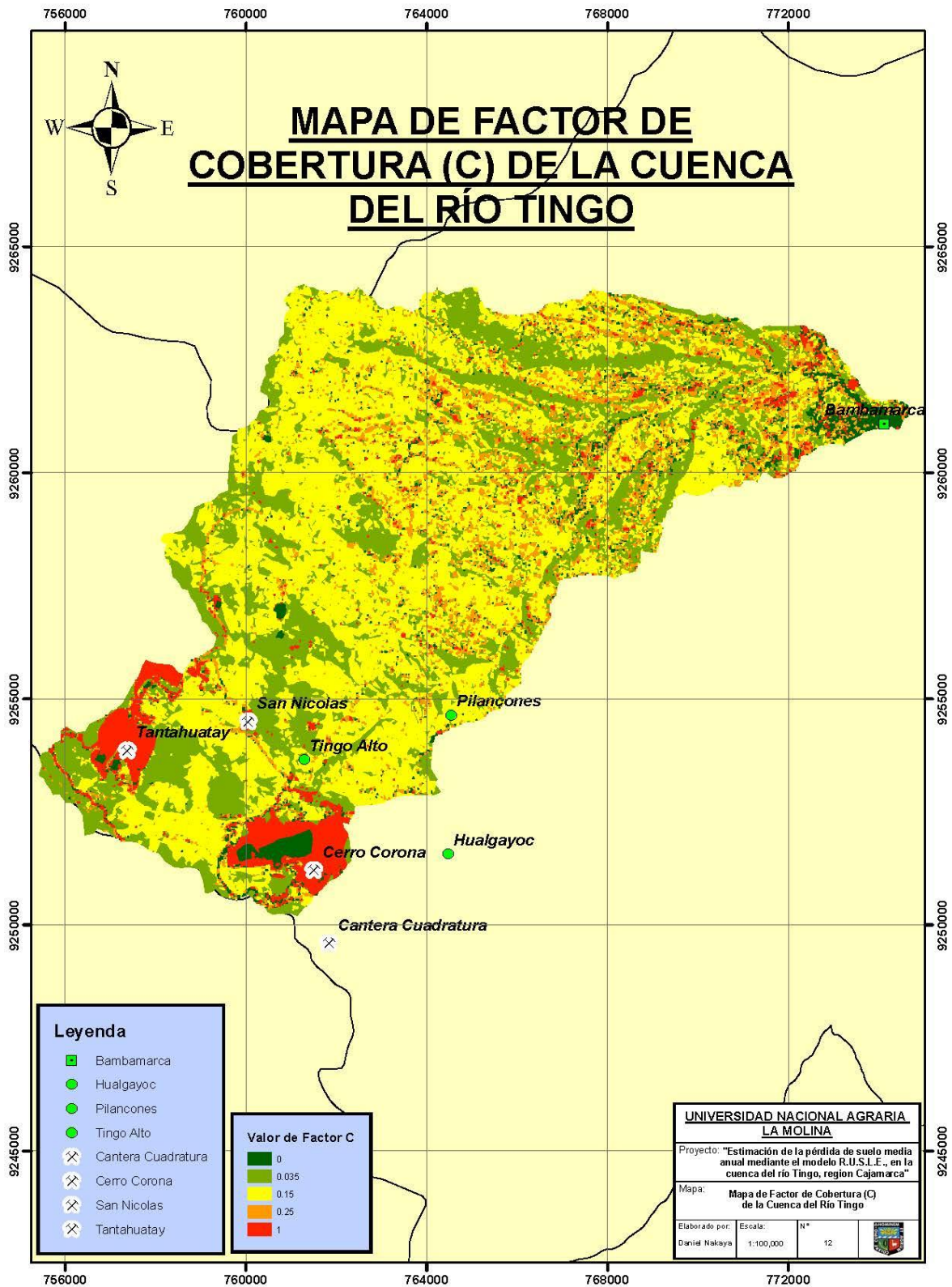
#### 4.2.4. Factor de Cobertura (C)

El mapa de factor de cobertura (C) se determinó en base al mapa de cobertura de suelo, siguiendo la metodología señalada, otorgando valores teniendo en cuenta el tipo de cobertura del suelo. Se tiene valor de 0 en donde no puede ocurrir pérdida alguna por estar el suelo protegido, estos valores corresponden a emplazamientos urbanos y cuerpos de agua y ocupan el 4.26% (521.53 hectáreas) de la superficie total de la cuenca del Río Tingo. Los valores de 0.035 corresponde a zonas con vegetación herbácea y matorros, ocupando el 37.87% (4635.81 hectáreas) de la superficie de la cuenca. Los valores de 0.15 ocupan el 46.99% (5753.48 hectáreas) de la superficie total y corresponden a las zonas cubiertas por pastos. Se tiene valores de 0.25 en las zonas con cultivos anuales y herbáceos, las cuales ocupan el 6.33% (775.51 hectáreas) de la superficie de la cuenca. Por otro lado, valores asignados como 1, corresponden a suelos sin ningún tipo de cubierta, es decir suelos desnudos, los cuales ocupan el 4.55% (556.61 hectáreas) de la superficie total de la cuenca.

**Tabla N° 40:** Resultado de Mapa de Factor de Cobertura (C) de la Cuenca del Río Tingo.

Valor	Área (Ha)	Porcentaje respecto al total
0	521.53	4.26 %
0.035	4635.81	37.87 %
0.15	5753.48	46.99 %
0.25	775.51	6.33 %
1	556.61	4.55 %





**Figura N° 21:** Mapa de Factor de Cobertura (C) de la Cuenca del Río Tingo.

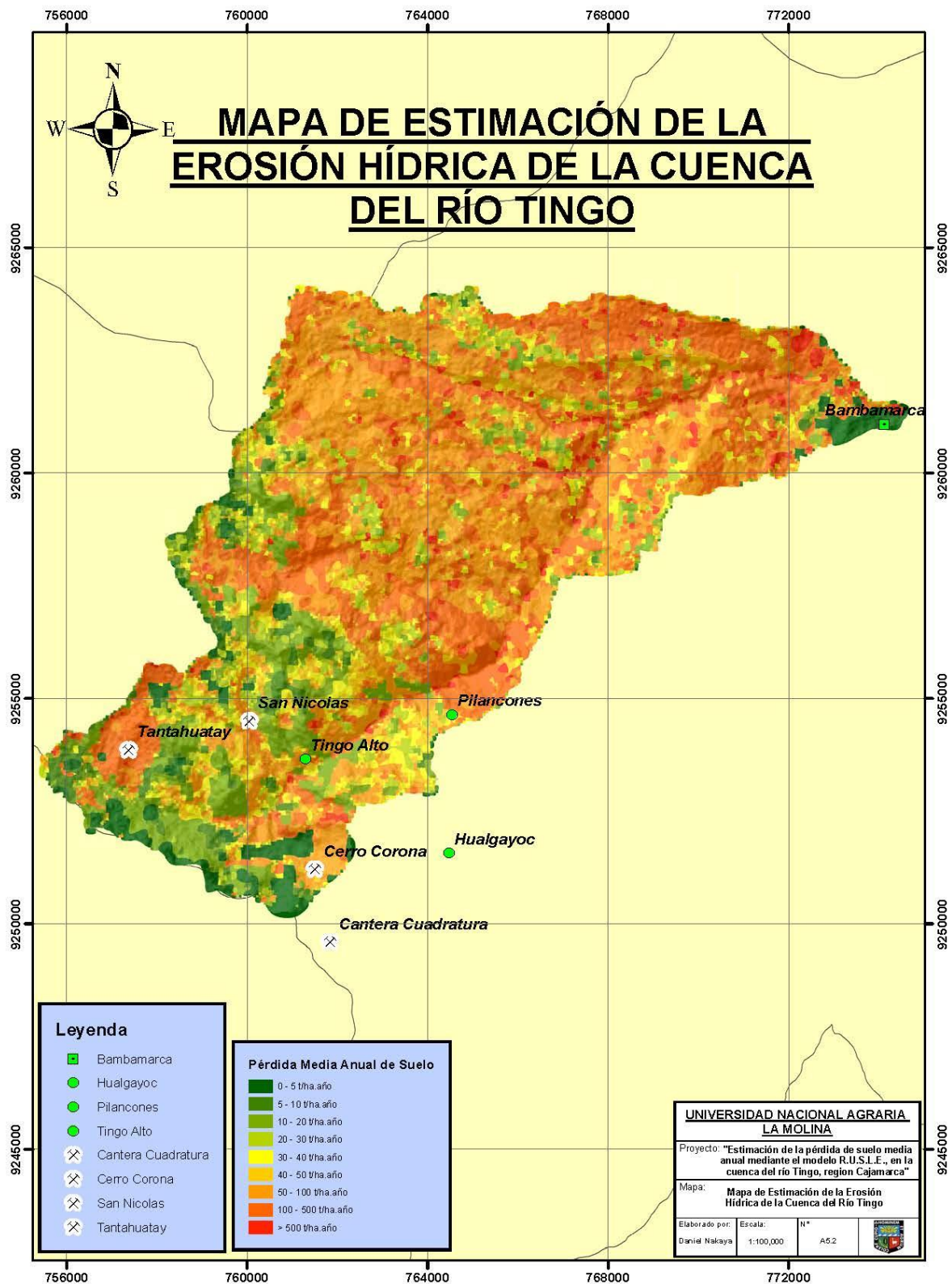
### 4.3 ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO TINGO

La estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica se llevó a cabo multiplicando los factores que componen la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos Revisada (RUSLE), la cual está compuesta por los factores de erosividad, erodabilidad, topográfico, cobertura vegetal y prácticas de manejo; esta información en formato se procesó en formato raster mediante la herramienta *Raster Calculator*, y se clasificó en rangos para tener un mejor detalle (Ver tabla N° 41).

Se tiene que el 20.94 % (2563.92 hectáreas) del territorio presenta una pérdida de suelo menor a 10 t/ha/año; los valores entre 10 – 50 t/ha/año corresponden al 45.91% (5620.72 hectáreas) de la superficie de la cuenca. Se tiene una pérdida de suelo media anual entre 50 a 500 t/ha/año en el 32.48% (3976.55 hectáreas) del territorio de la cuenca, y valores por encima de 500 t/ha/año corresponden al 0.67% (81.75 hectáreas) de la cuenca.

**Tabla N° 41:** Resultado de Mapa de Erosión Hídrica de la Cuenca del Río Tingo.

Rango de Erosión (t/ha/año)	Área (Ha)	Porcentaje respecto al total
0 – 5	1391.27	11.36%
5 – 10	1172.64	9.58%
10 – 20	2210.10	18.05%
20 – 30	1344.50	10.98%
30 - 40	1145.27	9.35%
40 – 50	920.85	7.52%
50 – 100	2364.48	19.31%
100 – 500	1612.08	13.17%
> 500	81.75	0.67%



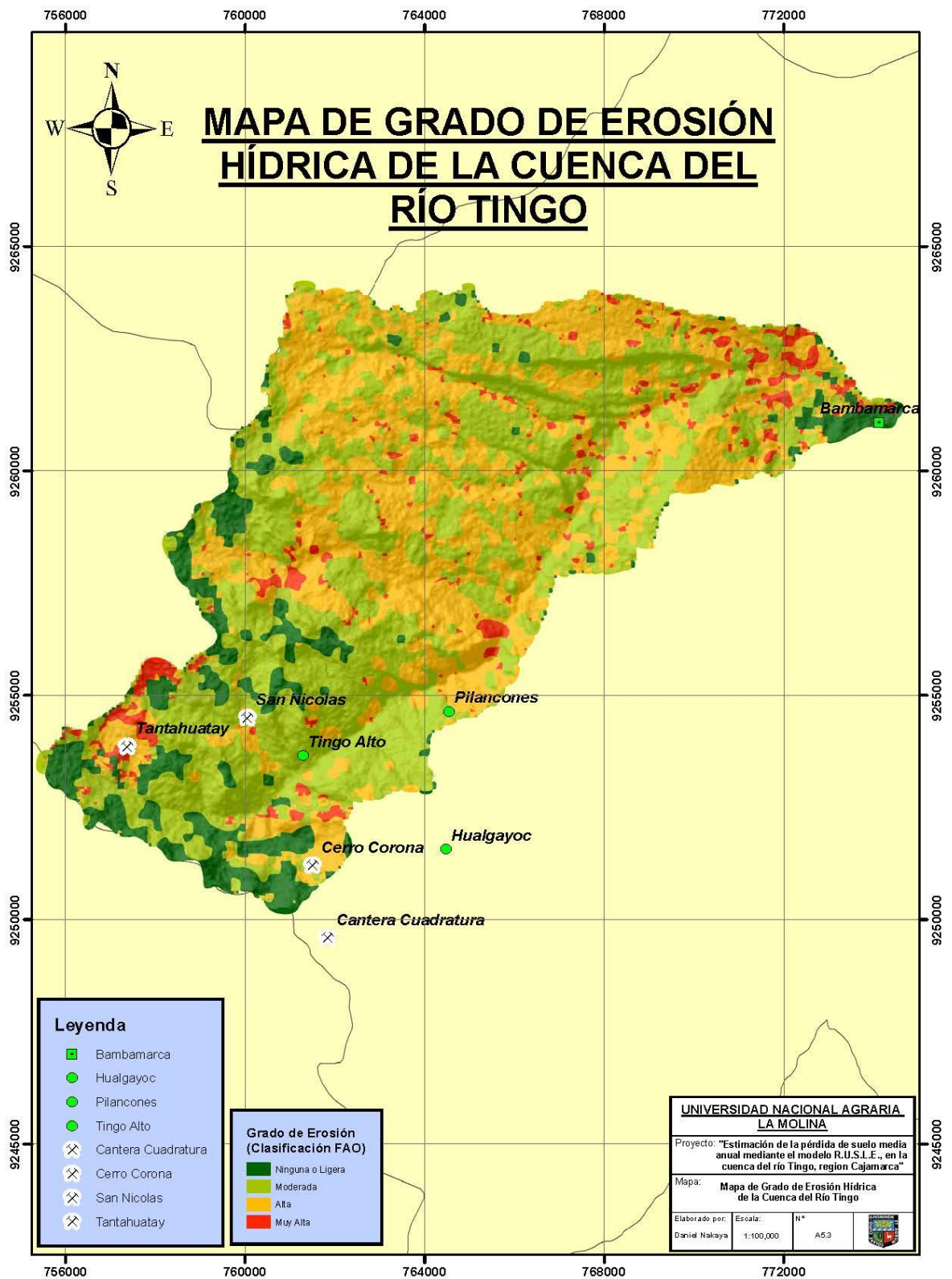
**Figura N° 22:** Mapa de Cuantificación de la Erosión Hídrica de la Cuenca del Río Tingo (Anexo A5.2).

#### 4.4 GRADO DE EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO TINGO

A partir del mapa de estimación de la erosión hídrica se elaboró el mapa de grado de erosión hídrica, clasificando la erosión en rangos según la categoría de la FAO. Se tiene que el 3.47% (424.83 hectáreas) tiene un alto riesgo erosivo los cuales corresponden a pendientes muy altas y con suelo descubierto. La zona con presencia de riesgo erosivo Alto corresponde al 29.25% (3581.58 hectáreas) de la cuenca, debido a las pendientes medias-altas, con cultivos bajos y/o suelos desnudos. El 46.84% (5734.01 hectáreas) de la cuenca presenta riesgo erosivo moderado, el cual ocupa casi la mitad del territorio de la cuenca. Finalmente las zonas con riesgo erosivo bajo ocupa el 20.44% (2502.52 hectáreas) correspondiente a suelos con pendiente ligera y cubiertos de vegetación. Se puede observar que el potencial erosivo es más influenciado por la cobertura vegetal y la pendiente, que por la precipitación.

**Tabla N° 42: Resultado de Mapa de Grado de Erosión Hídrica de la Cuenca del Río Tingo.**

Grado de erosión	Pérdida de suelo t/ha/año	Área (Ha)	Porcentaje respecto al total
Ninguna o ligera	< 10	2502.52	20.44%
Moderada	10 – 50	5734.01	46.84%
Alta	50 – 200	3581.58	29.25%
Muy alta	> 200	424.83	3.47%



**Figura N° 23:** Mapa de Grado de Erosión Hídrica de la Cuenca del Río Tingo (Anexo A5.3).

## V. CONCLUSIONES

- El procesamiento de imágenes satelitales, tanto el modelo de elevación digital como imágenes multiespectrales, permitió delimitar y obtener las propiedades morfológicas de la cuenca en estudio; mediante el empleo de herramienta de información geográfica y en base a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos Revisada (RUSLE), se determinó el mapa de erosividad (Factor R), mapa de erodabilidad (Factor K), mapa de pendientes mediante el cual se determinó el mapa topográfico (Factor LS) y mapa de uso actual de la tierra mediante el cual se determinó el mapa de cobertura vegetal (Factor C).
- Se estimó la pérdida de suelo media anual en la cuenca del río Tingo, mediante el empleo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos Revisada (RUSLE); para ello se utilizó el resultado de los factores de erosividad (R), erodabilidad (k), topográfico (LS), cobertura vegetal (C) y prácticas de conservación de suelos (P) que componen la ecuación, dando como resultado el mapa de cuantificación de pérdida de suelo de la cuenca.
- Se cuantificó la pérdida de suelos media anual de la cuenca del Río Tingo, y se clasificó la pérdida de suelo en base al sistema de la F.A.O. para identificar el grado de erosión en la cuenca. Se identificó un área de 2502.52 hectáreas (20.44 %) con pérdidas de suelo media anual menor a 10 t/ha.año, la cual corresponde a la clasificación de ligera a nula, la cual se distribuye en mayor concentración en las zonas donde se conserva la vegetación natural y zonas ubicadas en valles altoandinos. Se tiene un área de 5734.01 hectáreas (46.84 %) que presenta pérdida de suelo media anual moderada, la cual representa casi la mitad del territorio, en esta clasificación los valores de pérdida de suelo corresponden entre 10 a 50 t/ha.año, ubicados de manera aleatoria en toda la cuenca, principalmente en zonas de pastoreo y de pendientes moderadas.

La superficie con riesgo alto a la erosión hídrica tiene una extensión de 3581.58 hectáreas (29.25 %) y de riesgo muy alto a la erosión hídrica abarca una superficie de 424.83 hectáreas (3.47 %), las cuales corresponden a la combinación de superficies con pendientes muy pronunciadas y a suelos con escasa o nula cobertura, asimismo los suelos usados para cultivos agrícolas anuales tienen un potencial de pérdida de suelo elevado, por su ubicación en laderas de pendiente moderada y sin ninguna práctica de manejo para la conservación del suelo.

- Los suelos que conforman la cuenca del río Tingo, a pesar de tener diferentes porcentajes de arena, limo, arcilla, arena muy fina y materia orgánica, son suelos franco arenosos, cuya densidad en promedio es de 1.52 t/m<sup>3</sup>, y en base al indicador de profundidad de suelo que se pierde al año por erosión hídrica, se tiene que en las zonas de erosión muy alta se pierde más de 13.16mm (> 200 t/ha.año) del suelo superficial por año, en las zonas de alta erosión se pierde entre 3.29 a 13.16mm al año (50 – 200 t/ha.año), y en las zonas de moderada a baja erosión se pierde entre 0.66 a 3.29mm en promedio al año (< 50 t/ha.año).
- La cuenca presenta un potencial erosivo promedio de ligero a moderado, la cual presenta una distribución aleatoria en toda la superficie de la cuenca, así mismo las zonas con potencial de pérdida de suelo alta y muy alta se encuentran distribuidas de manera aleatoria en la superficie; se tiene que la influencia de la lluvia y el potencial erosivo que ésta genera tiene menor influencia sobre la pérdida de suelo en comparación con el factor topográfico y el factor de cobertura vegetal, es así que la pérdida de suelo está más influenciado por pendientes pronunciadas y por la cobertura que por la precipitación; se puede observar en el gráfico N°26 que se presentan potenciales erosivos altos y muy altos tanto en la parte baja, donde las precipitaciones son menores, como en la parte alta de la cuenca, donde las precipitaciones son más elevadas.
- Las zonas con riesgo moderado a la erosión hídrica, abarcan cerca de la mitad de la superficie de la cuenca, corresponden a suelos con uso actual de cultivos y pastos para ganado, la mayoría corresponden a suelos que presentan escasa vegetación escasa y/o suelos en continua labranza, en estos suelos se propone la

aplicación de barreras vivas en los límites de que separan los terrenos de cultivo y combinado con surcos en contorno, para incrementar la infiltración del agua y reducir la escorrentía superficial.

- En las zonas con riesgo alto y muy alto de pérdida de suelo, corresponden a superficies con pendiente de moderada a alta y combinado a suelos empleados para cultivos y de cobertura vegetal escasa. En estas zonas se propone priorizar proyectos para minimizar la escorrentía superficial mediante la construcción de andenes y diques para el control de cárcavas, combinado con acequias de infiltración para interceptar la escorrentía superficial que cae por las laderas y desviarlas con pendiente suave hasta la quebrada más próxima, esta práctica además de reducir la velocidad de escorrentía, incrementa la tasa de infiltración.



## **VI. RECOMENDACIONES**

- Implementar y mantener una Oficina Regional de Ordenamiento Territorial en cada región del Perú, en base a la resolución ministerial 026-2012-MINAM en la cual se establece los Lineamiento de Política para el Ordenamiento Territorial, donde se elabore y administre información geomorfológica e hidrométrica para monitorear los procesos de degradación de tierras por erosión, sobrepastoreo, deforestación y contaminación; como lo vienen realizando algunas regiones, entre ellas la Región Cajamarca.
- Promover que se utilice con mayor frecuencia las herramientas de información geográfica y la teledetección para la caracterización de las cuencas, generación de información base y planificación de obras e identificación de zonas vulnerables, las cuales pueden ser empleadas a mediana y gran escala.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adler-golden, S., Berk, A., Bernstein, L. S., & Richtsmeier, S. 1998. FLAASH, a MODTRAN4 atmospheric correction package for hyperspectral data retrievals and simulations. Hanscom, USA.
- Aguilar, H., Mora, R., & Vargas, C. (2014). Metodología para la corrección atmosférica de imágenes ASTER, RAPIDEYE, SPOT 2 y LANDSAT 8 con el módulo FLAASH del software ENVI. *Geográfica de América Central* 53, 39-59.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo - Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 227-240.
- Almorox, J., De Antonio, R., Saa Requejo, A., Diaz, M., & Gascó, J. 1994. Métodos de estimación de la erosión hídrica. Madrid, España.
- ANA (Autoridad Nacional De Agua). 2003. Estudio integral de los recursos hídricos de la cuenca del rio Chillón. Lima, Perú.
- Barrera Escoda, A. 2004. Técnicas de completado de series mensuales y aplicación al estudio de la influencia de la NAO en la distribución de la precipitación en España. Barcelona, España.
- Buitrago, J. Y. 2011. Desarrollo de un modelo de visualización de erosión hídrica en el municipio de Samacá (Boyacá). Bogotá.
- Cabrejos, M. (2016). “Modelamiento geoespacial en la determinación del riesgo, vulnerabilidad y de la cuantificación de la erosión hídrica en la microcuenca del rio Atuen – Amazonas”. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Cayo, L. (2001). “Modelamiento Ambiental para Análisis de Susceptibilidad Erosiva en la cuenca media y alta del Rio Cañete y determinación del Mapa De Erosión”. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

- Cisneros, J., Cholaky, C., Cantero, G., Gonzáles, J., Reynero, M., Diez, A. & Bergesio, L. 2012. Erosión Hídrica: Principios y técnicas de manejo. Río Cuarto, Argentina.
- Cooley, T., Anderson, G., Felde, G., Hoke, M., Ratkowski, A. J., Chetwynd, Gardner, J.; Adler-Golden, S.; Matthew, M.; Berk, A.; Bernstein, L.; Acharya, P.; Miller, D. & Lewis, P. 2002. Flaash, a Modtran4-based atmospheric correction algorithm, its application and validation. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1414-1418.
- Cuartero, A., & Felicísimo, A. (2003). Rectificación y ortorectificación de imágenes de satélite: Análisis comparativo y discusión. Ciencia y tecnología de la información geográfica 3, 45-57.
- Dourojeanni, Alex. 1967. La ecuación universal de pérdida de suelo y su aplicación al planeamiento del uso de las tierras agrícolas – Estudio del factor de lluvias en el Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú.
- Dulfino, A., Frugoni, M., Macchi, P., & Toth, a. 2011. Estimación de erosión hídrica de suelos para plan de manejo del campo forestal Aguas Frías, Patagonia Argentina. Boletín geográfico - Universidad Nacional del Comahue, Neuquén. ISSN 0323-1735.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2015. Estado mundial del recurso suelo. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2001. Indicadores de la calidad de la tierra y su uso para la agricultura sostenible y el desarrollo rural: Evaluación de los recursos de la tierra y la función de sus indicadores. Disponible en <http://www.fao.org/DOCREP/004/W4745S>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1985. Evaluación de tierras para la agricultura de secano. Disponible en [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=247281&pid=S0002-192X200600030000500005&lng=es](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=247281&pid=S0002-192X200600030000500005&lng=es)
- Fournier, Frédéric. 1960. Climat et érosion – la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. Presses universitaires de France. Paris.

- Gisbert, J., Ibañez, S., & Moreno, H. 2012. El factor K de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE). Valencia, España.
- Gobierno Regional De Cajamarca. 2011. Zonificación ecológica y económica base para el ordenamiento territorial del departamento de Cajamarca. Perú.
- Gobierno Regional De Cajamarca. 2011. Estudio de suelos y capacidad de uso mayor del departamento de Cajamarca. Perú.
- Gobierno Regional De Cajamarca. 2006. Estudio de diagnóstico y zonificación para el tratamiento de demarcación territorial de la provincia de Hualgayoc. Perú.
- Gómez, Francisco. 1992. Los sistemas de información geográfica: Su importancia y utilidad en los estudios medioambientales. Sociedad de estudios Vascos. España. 455-465 p.
- Gonzales, M. 1991. La ecuación Universal de Pérdidas de Suelo. Pasado, Presente y Futuro. Madrid, España.
- Gonzales, E. y Trivelli, C. 1999. Andenes y Desarrollo Sustentable. Disponible en: [https://books.google.com.pe/books?id=RennNHYFSIsC&pg=PA16&lpg=PA16&dq=andenes+y+desarrollo+sustentable+-+condesan+pdf&source=bl&ots=JOKXksfAdC&sig=llPWUvsfeAenfc-f5VsbqVBfpxw&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjO-\\_mX0-TVAhXD5iYKHVRTAKUQ6AEIQzAF#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=RennNHYFSIsC&pg=PA16&lpg=PA16&dq=andenes+y+desarrollo+sustentable+-+condesan+pdf&source=bl&ots=JOKXksfAdC&sig=llPWUvsfeAenfc-f5VsbqVBfpxw&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjO-_mX0-TVAhXD5iYKHVRTAKUQ6AEIQzAF#v=onepage&q&f=false)
- Grupo TRAGSA y Ministerio de Medio Ambiente, 1998. Restauración hidrológica forestal de cuencas y control de la erosión. Ed. Mundi-prensa. España. 945 p.
- Hadjimitsis, D. G., Clayton, C. R., & Hope, V. S. (2004). An assessment of the effectiveness of atmospheric correction algorithms through the remote sensing of some reservoirs. *International Journal of Remote Sensing* 25, 2651-3674.
- Hudson, N. (1981). Soil conservation, Ithaca, New York, Cornell University Press, 324 p. Instituto Caribeño de Recursos Naturales. 2008, Cambio climático y reducción de riesgos de desastres. Reporte técnico N° 386. Disponible en: <http://www.canari.org/documents/TechDocno386-Spn.pdf>

- ITT (International Telephone And Telegraph). 2009. Atmospheric Correction Module: QUAC and FLAASH User's Guide. United States of America.
- Kirkby, M. y Morgan, R. 1984. Erosión de suelos. Ed. Limusa. Mexico. 375 p.
- Lopez, R. 2002. Degradación del suelo. Disponible en: <http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/degradacion/pfd/librocompleto.pdf>
- Loyd, C. 2013. Landsat 8 Band. United States of America. Disponible en <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-bands/>
- Mannaerts, C. 1999. Factores de erosión, Curso de postgrado en levantamiento de recursos hídricos. Cochabamba, Bolivia.
- Mancilla, G. 2008. Uso de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE) en el campo forestal. Santiago, Chile.
- Medina, R. 2008. Estimación estadística de valores faltantes en series históricas de lluvia. Pereira, Colombia.
- Mesen Leal, R. 2009. Consideraciones y conclusiones al aplicar el modelo de erosión RUSLE en algunas cuencas de la fila costeña, Costa Rica. San José, Costa Rica.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2010. Mapa de suelos del Peru. Perú.
- Moore, I., & Burch, G. 1986. Physical basis of the length - slope factor in the Universal Soil Loss Equation. Soil Science Society American Journal 50, 1294-1298.
- Morgan, R.P.C. 1974. Estimating regional variations in soil erosion hazard in Peninsular Malaysia. Disponible en <https://books.google.com.pe/books?id=j8C8fFiPNOkC&pg=PA282&lpg=PA282&dq=morgan,+r.p.c.+1974&source=bl&ots=wnRbFYR7Fk&sig=RDzKJS6kYo-5CEqg7XNLjK0MLM0&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiuptum3cnSAhVoxVQKHVOOBukQ6AEIGzAA#v=onepage&q=morgan%20r.p.c%201974&f=false>
- Olaya, V. (2011), "Sistemas de Información Geográfica". Versión 1.0. Marzo 2011. Disponible en: [ftp://ftp.ehu.es/cidira/profs/iipbaiza/Libro\\_SIG.pdf](ftp://ftp.ehu.es/cidira/profs/iipbaiza/Libro_SIG.pdf)

- Olaya, V. (2014). “Sistemas de información geográfica”. Madrid, España.
- Pérez, C., & Muñoz, A. 2006. Teledetección: Nociones y Aplicaciones. Teledetección: Nociones y Aplicaciones. Salamanca, España. 285-287 p.
- Ramírez, L. L. 2010. Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Juramento-Salta. Salta, Argentina.
- Ramirez, F. A., Hincapie, E., & Sadeghian, S. (2009). Erodabilidad de los Suelos de la Zona Central Cafetera del Departamento de Caldas. Cenicafe, Ed, 60(1), 58-71 p.
- Ramos Taípe, C. L. 2001. Modelamiento ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del río cañete y determinación del mapa de erosión. Lima, Perú.
- Redon, S. 2009. Precipitation Estimation using NEXRAD Over A Sparse Rain Gauge Network. USGS. United States of America.
- Rejas, J. 2008. Tratamiento digital previo de las imágenes satelitales. EOI Escuela de Negocios. Madrid, España.
- Renard, K., Foster, G., Weesies, D., Mccool, D. & Yoder, D. (1997). Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agriculture Handbook 703. Washington, D.C. 384 p.
- Reynel, C. & León, J. 1990. Árboles y arbustos andinos para agroforestería y conservación de suelos. FAO/HOLANDA/INFOR. Lima. 500 pp.
- Sanchez, A. y Vasquez, C. 2010. Mapa climatico - Departamento de Cajamarca. Disponible en <http://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/MapaClimatico.pdf>
- Sánchez, Reinaldo. 2015. T-Student, Usos y abusos. Disponible en [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-21982015000100009](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-21982015000100009)
- SENACE (Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles). 2009. Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor. Disponible en <https://www.senace.gob.pe/download/senacenormativa/NAT-3-7-01-DS-017-2009-AG.pdf>

- SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2007. Manual de obras y prácticas para la protección, restauración y conservación de suelos forestales. Disponible en <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/20/1310Manual%20de%20Conservacion%20de%20Suelos%20.pdf>
- Tarboton, D., Bras, R., & Rodriguez, I. (1991). On the extraction of channel networks from digital elevation data. *Hydrological Processes* 5, 81-100.
- USDA (United States Department of Agriculture). 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). Disponible en [https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/64080530/RUSLE/AH\\_703.pdf](https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/64080530/RUSLE/AH_703.pdf)
- Vasquez, A. (2000). “Manejo de Cuencas Altoandinas”. Tomo I. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Vasquez, A. (2016). “Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas”. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Wichmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting Rainfall erosion Losses. United States of America. Department of Agriculture.
- Yebenes, A., & Giner, A. (2010). Clasificación digital de imágenes por satélite. *Sistemas de Telemedida*. España.

## VIII. ANEXOS

### *Anexo N° 1: Datos de precipitación de estación meteorológica.*

- Estación Quilcate

**Tabla N° 43: Precipitación mensual de Estación Quilcate.**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1978	114.0	6.0	81.4	30.9	32.0	12.5	8.0	0.0	12.5	18.7	35.7	56.0
1979	52.7	78.6	106.8	52.4	52.8	3.3	16.2	33.0	22.4	46.6	23.8	10.2
1980	29.9	21.1	62.5	7.5	14.5	9.5	0.0	10.3	16.7	76.8	143.1	55.4
1981	39.8	130.6	31.8	49.7	31.5	40.7	12.1	36.7	14.5	96.9	38.9	44.6
1982	28.3	27.9	48.6	82.4	49.2	13.6	13.8	0.0	70.8	60.0	37.8	109.1
1983	54.5	31.0	38.2	20.8	6.8	8.2	17.5	11.5	7.0	40.7	48.3	71.0
1984	28.1	183.9	86.2	127.2	41.3	21.6	5.0	37.4	56.7	32.9	36.3	43.5
1985	70.2	34.8	43.1	9.5	7.0	0.0	15.3	9.0	43.2	41.7	10.7	25.2
1986	56.3	66.1	21.5	11.2	15.5	18.2	25.7	42.2	37.0	19.2	44.0	56.3
1987	28.5	56.3	148.0	51.5	56.0	20.0	34.0	28.8	11.0	29.0	46.5	31.0
1988	43.0	26.5	60.5	35.0	33.0	30.5	29.2	43.4	53.3	56.4	70.2	27.0
1989	36.3	28.5	32.0	29.2	14.2	12.5	25.0	7.0	17.0	23.5	17.5	9.0
1990	93.6	35.5	8.5	19.0	21.0	9.0	8.5	15.5	27.0	53.0	50.5	31.0
1991	28.0	40.4	80.0	16.2	19.0	2.0	5.0	0.0	4.5	3.0	18.0	43.5
1992	34.0	34.0	28.0	20.5	16.0	15.0	17.5	17.5	30.5	7.0	15.7	27.0
1993	61.0	34.5	72.3	41.0	30.5	29.0	11.5	18.5	58.5	116.0	25.5	124.5
1994	116.0	101.5	172.7	49.7	58.5	18.0	20.5	12.5	23.5	18.5	80.0	59.0
1995	116.8	89.1	179.8	143.3	49.7	9.7	24.2	22.0	20.1	87.7	129.4	200.7
1996	93.0	216.9	217.8	109.5	51.5	15.3	4.7	46.8	56.0	144.6	75.7	
1997	63.1	170.5	77.3	146.0	40.6	69.3	1.3	0.4	55.2	67.1	213.0	124.2
1998	108.3	217.5	191.4	171.9	78.8	2.3	0.4	13.6	77.2	188.5	50.8	72.4
1999	116.8	306.4	99.5	112.4	132.1	91.5	23.1	23.6	201.3	85.7	72.8	161.3
2000	69.5	189.1	224.7	118.5	83.6	40.2	7.2	22.8	122.4	15.1	52.3	160.7
2001	195.2	91.5	305.5	140.4	74.4	12.2	14.8	0.0	108.7	132.7	143.9	143.1
2002	53.6	116.7	245.1	193.1	62.1	16.3	30.6	0.0	56.5	154.8	185.0	168.6
2003	64.3	82.9	133.8	133.0	80.7	73.8	18.1	12.9	76.6	66.2	117.2	118.7
2004	93.6	84.7	110.5	86.7	76.8	15.0	44.0	5.9	90.4	146.3	184.7	164.8



Continuación...

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2005	88.2	117.9	313.7	65.1	28.1	12.9	0.6	11.5	57.4	205.1	55.1	137.9
2006	125.2	194.3	349.3	131.9	13.6	76.9	20.0	26.3	64.2	91.5	131.9	203.1
2007	124.7	61.3	212.9	145.0	51.2	0.5	35.8	30.3	19.1	183.0	156.7	71.9
2008	120.1	206.0	186.1	134.7	150.4	23.8	25.6	26.3	115.2	191.9	117.4	25.3
2009	244.9	142.6	312.8	93.7	139.1	35.4	46.3	4.3	35.7	139.3	162.4	117.9
2010	69.0	176.3	172.8	144.0	55.1	12.5	36.0	9.4	58.2	71.3	115.8	130.1

FUENTE: SENAMHI.

- Estación Bambamarca

**Tabla N° 44: Precipitación mensual de Estación Bambamarca.**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1978	26.2	42.5	46.8	60.9	70.2	3.1	16.2	0.0	46.9	42.5	103.9	76.8
1979	53.2	40.6	189.6	55.3	60.4	0.1	33.9	50.2	109.0	12.2	42.6	34.1
1980	45.3	50.1	55.7	30.2	29.5	14.2	9.0	7.3	44.6	179.0	121.3	67.8
1981	44.5	138.5	110.2	65.9	40.1	36.6	13.1	24.4	5.8	90.1	72.9	88.1
1982	39.8	97.4	86.0	59.8	56.6	40.7	11.5	1.2	83.1	153.9	68.5	141.3
1983	78.4	23.4	177.3	94.6	32.0	22.0	10.1	0.1	25.6	38.0	87.7	86.8
1984	22.2	220.8	95.2	48.2	70.2	21.7	27.0	21.2	44.8	109.5	60.2	42.1
1985	15.5	23.6	50.5	53.4	35.5	2.1	13.3	19.7	33.3	48.7	83.9	106.4
1986	112.8	59.0	43.2	156.2	48.8	6.9	0.8	33.0	27.2	95.4	37.3	88.6
1987	95.1	70.3	77.7	67.4	55.4	26.2	51.4	30.2	45.0	107.3	105.6	32.0
1988	95.0	86.0	60.9	90.0	27.0	15.9	3.3	4.1	38.5	83.1	126.3	122.1
1989	140.7	95.7	152.9	78.0	10.3	23.5	8.3	10.4	65.6	101.8	67.1	15.2
1990	48.2	51.8	25.5	82.2	45.2	33.7	5.9	5.9	47.0	121.7	103.8	53.6
1991	41.4	70.1	116.4	101.1	29.6	7.1	5.9	3.4	56.6	50.5	35.9	40.6
1992	28.9	22.5	56.4	41.6	24.5	20.1	10.3	9.8	63.6	89.5	61.7	54.2
1993	99.1	110.3	206.3	64.1	90.7	12.6	12.1	35.1	59.3	90.0	77.2	136.4
1994	98.0	109.7	183.8	104.5	30.6	14.3	4.9	2.3	52.7	58.2	172.4	116.9
1995	17.9	71.9	65.8	52.9	64.3	13.5	20.9	5.3	43.5	101.0	69.0	124.3
1996	64.2	126.7	127.7	56.9	27.1	10.3	11.1	16.5	37.5	146.7	46.9	17.0
1997	75.6	123.6	79.6	69.7	27.3	16.7	0.0	0.0	27.6	41.5	67.1	121.4
1998	60.1	147.5	134.7	118.6	48.0	3.7	0.0	2.0	51.0	156.5	69.4	65.0
1999	107.4	230.9	46.0	33.6	46.7	46.6	10.1	4.3	85.8	35.0	94.1	115.2
2000	55.0	188.3	125.2	59.1	49.9	37.2	12.4	8.9	54.2	7.2	73.6	129.6
2001	150.4	43.3	184.5	68.4	34.6	1.3	5.9	2.9	64.7	97.3	93.8	106.4
2002	46.9	83.9	130.1	139.7	47.7	0.5	20.7	0.9	27.0	130.7	91.1	105.7

Continuación...

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2003	65.2	97.4	100.0	54.2	20.3	67.5	1.0	22.6	31.6	54.5	91.1	82.7
2004	47.1	40.7	47.8	79.2	36.9	8.6	30.8	9.8	62.3	93.3	134.7	67.5
2005	55.1	112.2	143.7	120.4	16.3	1.5	4.0	8.2	25.2	158.4	38.3	84.5
2006	105.5	72.7	190.1	75.7	7.5	8.0	16.5	11.7	56.6	72.0	74.5	84.4
2007	64.5	26.1	147.8	120.3	26.0	0.6	8.0	11.3	31.1	119.6	137.1	71.6
2008	102.5	208.8	116.4	80.3	32.5	25.3	0.5	21.1	108.8	195.3	115.2	21.1
2009	131.0	94.3	135.3	77.2	61.3	28.4	10.9	18.3	32.0	129.1	127.8	59.2
2010	57.1	113.7	127.3	82.5	68.1	9.0	17.1	6.5	27.8	74.4	102.5	52.1

FUENTE: SENAMHI.

- Estación Quebrada Shugar

Tabla N° 45: Precipitación mensual de Estación Quebrada Shugar.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1978	74.7	85.9	55.9	88.3	61.5	5.8	56.7	1.2	56.5	54.4	105.8	125.3
1979	76.8	99.4	268.5	98.7	44.6	2.6	34.4	48.9	78.1	20.3	58.7	54.8
1980	87.9	82.2	137.5	40.0	31.3	17.6	21.0	11.2	9.5	204.5	214.6	72.3
1981	80.7	195.0	162.6	106.5	77.7	51.8	21.4	96.9	44.5	164.7	85.9	102.0
1982	85.1	95.8	93.3	105.2	129.0	106.2	32.4	0.0	123.7	186.4	119.9	171.5
1983	214.5	37.8	207.0	125.7	49.9	29.2	23.1	26.2	62.7	82.8	100.7	161.9
1984	50.7	249.9	152.6	87.0	95.6	26.9	41.8	33.7	68.8	154.6	72.1	59.2
1985	43.6	64.6	76.8	47.0	32.7	10.7	20.7	18.7	66.1	15.5	47.2	95.9
1986	115.0	99.9	115.6	84.9	46.7	0.0	3.5	40.7	60.1	31.1	69.9	94.3
1987	123.1	115.7	90.0	66.4	26.9	14.4	82.4	0.9	50.4	16.8	126.2	
1988	108.8	172.3	77.2	69.7	30.0	0.0	0.0	0.0	47.9	62.1	118.9	66.1
1989	126.9	98.5	131.1	82.5	7.9	16.0	8.7	0.0	59.5	99.6	56.5	30.8
1990	33.9	24.0	9.3	70.9	49.1	34.6	4.9	6.4	26.6	94.6	98.4	61.3
1991	76.4	67.3	54.1	109.3	17.6	7.4	21.6	0.0	36.4	31.5	55.0	120.2
1992	57.0	61.3	108.1	81.1	22.6	62.2	15.3	33.2	91.8	88.5	53.7	70.6
1993	92.3	55.7	97.5	102.0	76.4	6.5	0.0	22.6	27.2	75.8	81.6	85.1
1994	76.7	88.9	78.2	71.2	27.2	21.9	1.2	2.9	46.7	48.1	63.9	104.4
1995	60.5	43.2	77.6	25.8	61.7	28.1	26.7	0.0	22.8	93.1	88.3	150.9
1996	92.4	135.9	115.6	66.3	28.3	10.3	3.0	17.9	23.5	87.9	26.2	14.9
1997	59.5	44.8	67.7	134.9	24.0	24.6	0.0	14.9	35.2	48.5	96.8	114.5
1998	69.0	100.9	146.0	98.7	48.7	2.6	0.0	4.3	56.8	209.1	73.4	73.4
1999	136.7	284.0	60.5	40.2	82.6	104.5	8.2	5.5	90.9	27.9	145.7	124.0
2000	56.7	181.6	196.3	86.3	94.4	75.9	27.8	6.7	66.3	24.7	122.9	141.5
2001	196.0	65.3	260.5	43.0	52.9	4.5	4.6	0.3	51.2	100.1	150.8	126.7

Continuación...

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2002	61.5	136.7	197.6	165.0	68.1	2.8	36.6	0.3	39.3	133.5	154.1	174.6
2003	136.8	152.7	107.7	125.1	49.4	41.6	1.3	41.3	79.1	94.3	115.9	106.8
2004	65.9	80.1	103.5	74.6	67.1	34.8	45.7	20.3	21.2	148.3	148.9	129.0
2005	63.5	144.9	174.5	141.2	11.0	2.9	6.1	3.5	37.1	161.6	56.8	138.9
2006	156.0	130.5	289.2	56.1	10.4	33.7	28.9	3.1	46.4	116.8	112.7	165.4
2007	189.1	55.1	187.8	149.3	29.0	2.3	23.1	38.2	37.0	121.4	151.0	71.9
2008	185.1	249.8	182.7	105.5	69.7	17.0	3.2	27.0	87.5	151.1	98.6	40.4
2009	290.6	141.7	144.1	131.7	91.1	35.1	18.7	6.0	52.2	134.4	156.2	152.6
2010	98.2	116.4	134.5	68.8	71.1	41.0	28.1	3.4	41.5	50.0	104.2	83.6

FUENTE: SENAMHI.

- Estación Chugur

**Tabla N° 46: Precipitación mensual de Estación Chugur.**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1978	20.9	73.3	68.0	91.4	56.0	12.1	35.0	0.0	118.0	21.3	85.3	83.3
1979	15.7	42.6	105.6	62.1	82.7	14.3	23.0	12.4	91.1	13.2	13.5	24.1
1980	122.0	68.6	44.6	54.3	97.4	0.0	2.2	0.0	12.0	290.8	167.5	88.7
1981	75.2	186.8	119.0	94.6	78.2	120.1	23.4	49.8	3.4	383.1	88.1	93.6
1982	130.1	199.1	105.5	103.3	164.5	2.4	5.4	0.0	87.1	251.8	184.3	256.3
1983	299.7	156.9	156.8	269.9	315.8	188.5	53.2	82.6	190.0	118.1	53.5	78.3
1984	58.2	205.2	154.4	257.7	135.6	64.5	12.1	1.5	95.2	104.0	76.4	62.5
1985	113.7	76.4	131.6	81.2	105.2	73.5	134.7	13.8	12.0	179.5	130.8	42.1
1986	87.5	119.8	123.7	52.7	139.2	88.9	150.6	0.0	2.0	80.9	189.2	268.4
1987	124.2	160.9	143.5	232.9	30.6	28.0	136.4	77.2	144.9	170.5	250.5	184.9
1988	322.2	426.3	113.7	116.5	142.0	53.3	8.2	9.0	153.1	217.8	145.4	340.1
1989	497.5	549.2	700.3	724.5	183.6	77.0	10.4	22.5	63.8	105.9	6.5	13.3
1990	0.8	2.3	25.4	139.1	8.1	11.1	4.5	3.4	39.0	181.5	121.9	34.2
1991	10.6	63.7	107.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.1	42.4	18.1	36.6
1992	53.9	39.4	30.7	26.6	5.2	10.5	0.0	11.2	122.4	60.1	7.5	45.5
1993	78.1	148.9	366.3	409.0	298.9	12.2	52.0	46.3	265.2	348.1	148.0	201.9
1994	335.5	243.7	352.5	256.5	55.6	0.0	0.0	0.0	71.6	86.7	114.1	147.6
1995	86.8	301.5	237.3	120.6	164.0	26.3	53.8	9.2	58.2	206.4	209.2	307.7
1996	110.7	251.1	398.1	220.8	68.6	26.8	24.9	28.8	65.5	326.5	94.3	41.5
1997	86.5	219.9	117.0	144.7	71.0	65.1	0.0	13.1	66.0	93.6	207.6	276.2
1998	168.9	258.0	303.5	276.7	106.6	15.7	0.0	14.3	66.8	179.2	89.5	109.2
1999	160.3	423.6	309.0	135.8	160.1	150.9	25.5	13.8	222.7	134.2	150.7	268.2
2000	95.1	299.2	396.7	128.9	180.5	71.0	7.8	8.0	129.0	51.8	94.7	230.4
2001	203.6	177.7	423.0	122.7	215.7	10.4	11.2	4.7	137.0	140.5	166.1	264.6
2002	134.8	310.8	280.2	238.5	72.1	5.4	16.8	17.6	80.7	224.5	171.6	206.6

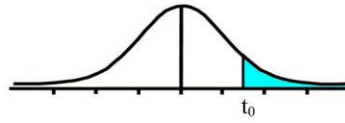
Continuación...

<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
<b>2003</b>	178.7	255.8	184.8	128.4	47.7	69.8	25.2	48.9	138.6	92.7	159.0	115.9
<b>2004</b>	132.0	136.0	121.4	115.4	95.2	5.8	74.3	7.1	95.0	190.7	212.8	118.4
<b>2005</b>	109.1	257.5	455.9	59.7	36.9	11.1	0.0	5.2	55.9	303.3	115.0	177.8
<b>2006</b>	189.3	317.5	500.0	124.1	53.6	78.7	39.4	32.3	136.0	86.8	199.8	292.9
<b>2007</b>	161.2	96.2	302.2	234.6	93.4	0.6	59.1	39.6	33.0	242.3	240.3	79.5
<b>2008</b>	254.7	481.1	325.4	236.7	104.1	28.6	41.4	19.4	292.5	250.3	126.1	43.5
<b>2009</b>	354.9	198.5	436.9	164.3	157.3	76.4	33.2	15.1	66.5	171.2	212.2	173.0
<b>2010</b>	68.9	237.0	378.2	253.5	113.9	44.9	24.3	16.7	47.1	118.6	80.1	148.6

*FUENTE: SENAMHI.*

Anexo N° 2: Tablas estadísticas.

Tabla t-Student



Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	0.6820	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34	0.6818	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35	0.6816	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238
36	0.6814	1.3055	1.6883	2.0281	2.4345	2.7195
37	0.6812	1.3049	1.6871	2.0262	2.4314	2.7154
38	0.6810	1.3042	1.6860	2.0244	2.4286	2.7116
39	0.6808	1.3036	1.6849	2.0227	2.4258	2.7079
40	0.6807	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
41	0.6805	1.3025	1.6829	2.0195	2.4208	2.7012
42	0.6804	1.3020	1.6820	2.0181	2.4185	2.6981
43	0.6802	1.3016	1.6811	2.0167	2.4163	2.6951
44	0.6801	1.3011	1.6802	2.0154	2.4141	2.6923
45	0.6800	1.3007	1.6794	2.0141	2.4121	2.6896
46	0.6799	1.3002	1.6787	2.0129	2.4102	2.6870
47	0.6797	1.2998	1.6779	2.0117	2.4083	2.6846
48	0.6796	1.2994	1.6772	2.0106	2.4066	2.6822
49	0.6795	1.2991	1.6766	2.0096	2.4049	2.6800

Continuación...

50	0.6794	1.2987	1.6759	2.0086	2.4033	2.6778
51	0.6793	1.2984	1.6753	2.0076	2.4017	2.6757
52	0.6792	1.2980	1.6747	2.0066	2.4002	2.6737
53	0.6791	1.2977	1.6741	2.0057	2.3988	2.6718
54	0.6791	1.2974	1.6736	2.0049	2.3974	2.6700
55	0.6790	1.2971	1.6730	2.0040	2.3961	2.6682
56	0.6789	1.2969	1.6725	2.0032	2.3948	2.6665
57	0.6788	1.2966	1.6720	2.0025	2.3936	2.6649
58	0.6787	1.2963	1.6716	2.0017	2.3924	2.6633
59	0.6787	1.2961	1.6711	2.0010	2.3912	2.6618
60	0.6786	1.2958	1.6706	2.0003	2.3901	2.6603
61	0.6785	1.2956	1.6702	1.9996	2.3890	2.6589
62	0.6785	1.2954	1.6698	1.9990	2.3880	2.6575
63	0.6784	1.2951	1.6694	1.9983	2.3870	2.6561
64	0.6783	1.2949	1.6690	1.9977	2.3860	2.6549
65	0.6783	1.2947	1.6686	1.9971	2.3851	2.6536
66	0.6782	1.2945	1.6683	1.9966	2.3842	2.6524
67	0.6782	1.2943	1.6679	1.9960	2.3833	2.6512
68	0.6781	1.2941	1.6676	1.9955	2.3824	2.6501
69	0.6781	1.2939	1.6672	1.9949	2.3816	2.6490
70	0.6780	1.2938	1.6669	1.9944	2.3808	2.6479
71	0.6780	1.2936	1.6666	1.9939	2.3800	2.6469
72	0.6779	1.2934	1.6663	1.9935	2.3793	2.6458
73	0.6779	1.2933	1.6660	1.9930	2.3785	2.6449
74	0.6778	1.2931	1.6657	1.9925	2.3778	2.6439
75	0.6778	1.2929	1.6654	1.9921	2.3771	2.6430
76	0.6777	1.2928	1.6652	1.9917	2.3764	2.6421
77	0.6777	1.2926	1.6649	1.9913	2.3758	2.6412
78	0.6776	1.2925	1.6646	1.9908	2.3751	2.6403
79	0.6776	1.2924	1.6644	1.9905	2.3745	2.6395
80	0.6776	1.2922	1.6641	1.9901	2.3739	2.6387
81	0.6775	1.2921	1.6639	1.9897	2.3733	2.6379
82	0.6775	1.2920	1.6636	1.9893	2.3727	2.6371
83	0.6775	1.2918	1.6634	1.9890	2.3721	2.6364
84	0.6774	1.2917	1.6632	1.9886	2.3716	2.6356
85	0.6774	1.2916	1.6630	1.9883	2.3710	2.6349
86	0.6774	1.2915	1.6628	1.9879	2.3705	2.6342
87	0.6773	1.2914	1.6626	1.9876	2.3700	2.6335
88	0.6773	1.2912	1.6624	1.9873	2.3695	2.6329
89	0.6773	1.2911	1.6622	1.9870	2.3690	2.6322
90	0.6772	1.2910	1.6620	1.9867	2.3685	2.6316
91	0.6772	1.2909	1.6618	1.9864	2.3680	2.6309
92	0.6772	1.2908	1.6616	1.9861	2.3676	2.6303
93	0.6771	1.2907	1.6614	1.9858	2.3671	2.6297
94	0.6771	1.2906	1.6612	1.9855	2.3667	2.6291
95	0.6771	1.2905	1.6611	1.9852	2.3662	2.6286
96	0.6771	1.2904	1.6609	1.9850	2.3658	2.6280
97	0.6770	1.2903	1.6607	1.9847	2.3654	2.6275
98	0.6770	1.2903	1.6606	1.9845	2.3650	2.6269
99	0.6770	1.2902	1.6604	1.9842	2.3646	2.6264
100	0.6770	1.2901	1.6602	1.9840	2.3642	2.6259
∞	0.6745	1.2816	1.6449	1.9600	2.3263	2.5758

**Tabla 5. VALORES F DE LA DISTRIBUCIÓN F DE FISHER**

**1 - α = 0.95**

**v<sub>1</sub>** = grados de libertad del numerador

**1 - α = P ( F ≤ f<sub>α,v<sub>1</sub>,v<sub>2</sub> )</sub>**

**v<sub>2</sub>** = grados de libertad del denominador

<b>v<sub>2</sub> \ v<sub>1</sub></b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	161.446	199.499	215.707	224.583	230.160	233.988	236.767	238.884	240.543	241.882	242.981	243.905	244.690	245.363	245.949	246.466	246.917	247.324	247.688	248.016
2	18.513	19.000	19.164	19.247	19.296	19.329	19.353	19.371	19.385	19.396	19.405	19.412	19.419	19.424	19.429	19.433	19.437	19.440	19.443	19.446
3	10.128	9.552	9.277	9.117	9.013	8.941	8.887	8.845	8.812	8.785	8.763	8.745	8.729	8.715	8.703	8.692	8.683	8.675	8.667	8.660
4	7.709	6.944	6.591	6.388	6.256	6.163	6.094	6.041	5.999	5.964	5.936	5.912	5.891	5.873	5.858	5.844	5.832	5.821	5.811	5.803
5	6.608	5.786	5.409	5.192	5.050	4.950	4.876	4.818	4.772	4.735	4.704	4.678	4.655	4.636	4.619	4.604	4.590	4.579	4.568	4.558
6	5.987	5.143	4.757	4.534	4.387	4.284	4.207	4.147	4.099	4.060	4.027	4.000	3.976	3.956	3.938	3.922	3.908	3.896	3.884	3.874
7	5.591	4.737	4.347	4.120	3.972	3.866	3.787	3.726	3.677	3.637	3.603	3.575	3.550	3.529	3.511	3.494	3.480	3.467	3.455	3.445
8	5.318	4.459	4.066	3.838	3.688	3.581	3.500	3.438	3.388	3.347	3.313	3.284	3.259	3.237	3.218	3.202	3.187	3.173	3.161	3.150
9	5.117	4.256	3.863	3.633	3.482	3.374	3.293	3.230	3.179	3.137	3.102	3.073	3.048	3.025	3.006	2.989	2.974	2.960	2.948	2.936
10	4.965	4.103	3.708	3.478	3.326	3.217	3.135	3.072	3.020	2.978	2.943	2.913	2.887	2.865	2.845	2.828	2.812	2.798	2.785	2.774
11	4.844	3.982	3.587	3.357	3.204	3.095	3.012	2.948	2.896	2.854	2.818	2.788	2.761	2.739	2.719	2.701	2.685	2.671	2.658	2.646
12	4.747	3.885	3.490	3.259	3.106	2.996	2.913	2.849	2.796	2.753	2.717	2.687	2.660	2.637	2.617	2.599	2.583	2.568	2.555	2.544
13	4.667	3.806	3.411	3.179	3.025	2.915	2.832	2.767	2.714	2.671	2.635	2.604	2.577	2.554	2.533	2.515	2.499	2.484	2.471	2.459
14	4.600	3.739	3.344	3.112	2.958	2.848	2.764	2.699	2.646	2.602	2.565	2.534	2.507	2.484	2.463	2.445	2.428	2.413	2.400	2.388
15	4.543	3.682	3.287	3.056	2.901	2.790	2.707	2.641	2.588	2.544	2.507	2.475	2.448	2.424	2.403	2.385	2.368	2.353	2.340	2.328
16	4.494	3.634	3.239	3.007	2.852	2.741	2.657	2.591	2.538	2.494	2.456	2.425	2.397	2.373	2.352	2.333	2.317	2.302	2.288	2.276
17	4.451	3.592	3.197	2.965	2.810	2.699	2.614	2.548	2.494	2.456	2.418	2.387	2.359	2.335	2.314	2.295	2.279	2.264	2.250	2.237
18	4.414	3.555	3.160	2.928	2.773	2.661	2.577	2.510	2.456	2.418	2.379	2.348	2.320	2.296	2.275	2.256	2.240	2.225	2.211	2.198
19	4.381	3.522	3.127	2.895	2.740	2.628	2.544	2.477	2.423	2.379	2.340	2.308	2.280	2.256	2.234	2.215	2.199	2.184	2.170	2.157
20	4.351	3.493	3.098	2.866	2.711	2.599	2.514	2.447	2.393	2.348	2.310	2.278	2.250	2.225	2.203	2.184	2.167	2.152	2.137	2.124
21	4.325	3.467	3.072	2.840	2.685	2.573	2.488	2.420	2.366	2.321	2.283	2.250	2.222	2.197	2.176	2.156	2.139	2.123	2.109	2.096
22	4.301	3.443	3.048	2.817	2.661	2.549	2.464	2.397	2.342	2.297	2.259	2.226	2.198	2.173	2.151	2.131	2.114	2.098	2.084	2.071
23	4.279	3.422	3.028	2.796	2.640	2.528	2.442	2.375	2.320	2.275	2.236	2.204	2.175	2.150	2.128	2.109	2.091	2.075	2.061	2.048
24	4.260	3.403	3.009	2.776	2.621	2.508	2.423	2.355	2.300	2.255	2.216	2.183	2.155	2.130	2.108	2.088	2.070	2.054	2.040	2.027
25	4.242	3.385	2.991	2.759	2.603	2.490	2.405	2.337	2.282	2.236	2.198	2.165	2.136	2.111	2.089	2.069	2.051	2.035	2.021	2.007
26	4.225	3.369	2.975	2.743	2.587	2.474	2.388	2.321	2.265	2.220	2.181	2.148	2.119	2.094	2.072	2.052	2.034	2.018	2.003	1.990
27	4.210	3.354	2.960	2.728	2.572	2.459	2.373	2.305	2.250	2.204	2.166	2.132	2.103	2.078	2.056	2.036	2.018	2.002	1.987	1.974
28	4.196	3.340	2.947	2.714	2.558	2.445	2.359	2.291	2.236	2.190	2.151	2.118	2.089	2.064	2.041	2.021	2.003	1.987	1.972	1.959
29	4.183	3.328	2.934	2.701	2.545	2.432	2.346	2.278	2.223	2.177	2.138	2.104	2.075	2.050	2.027	2.007	1.989	1.973	1.958	1.945
30	4.171	3.316	2.922	2.690	2.534	2.421	2.334	2.266	2.211	2.165	2.126	2.092	2.063	2.037	2.015	1.995	1.976	1.960	1.945	1.932
40	4.085	3.232	2.839	2.606	2.449	2.336	2.249	2.180	2.124	2.077	2.038	2.003	1.974	1.948	1.924	1.904	1.885	1.868	1.853	1.839
50	4.034	3.183	2.790	2.557	2.400	2.286	2.199	2.130	2.073	2.026	1.986	1.952	1.921	1.895	1.871	1.850	1.831	1.814	1.798	1.784
60	4.001	3.150	2.758	2.525	2.368	2.254	2.167	2.097	2.040	1.993	1.952	1.917	1.887	1.860	1.836	1.815	1.796	1.778	1.763	1.748
70	3.978	3.128	2.736	2.503	2.346	2.231	2.143	2.074	2.017	1.969	1.928	1.893	1.863	1.836	1.812	1.790	1.771	1.753	1.737	1.722
80	3.960	3.111	2.719	2.486	2.329	2.214	2.126	2.056	1.999	1.951	1.910	1.875	1.845	1.817	1.793	1.772	1.752	1.734	1.718	1.703
90	3.947	3.098	2.706	2.473	2.316	2.201	2.113	2.043	1.986	1.938	1.897	1.861	1.830	1.803	1.779	1.757	1.737	1.720	1.703	1.688
100	3.936	3.087	2.696	2.463	2.305	2.191	2.103	2.032	1.975	1.927	1.886	1.850	1.819	1.792	1.768	1.746	1.726	1.708	1.691	1.676
200	3.888	3.041	2.650	2.417	2.259	2.144	2.056	1.985	1.927	1.878	1.837	1.801	1.769	1.742	1.717	1.694	1.674	1.656	1.639	1.623
500	3.860	3.014	2.623	2.390	2.232	2.117	2.028	1.957	1.899	1.850	1.808	1.772	1.740	1.712	1.686	1.664	1.643	1.625	1.607	1.592
1000	3.851	3.005	2.614	2.381	2.223	2.108	2.019	1.948	1.889	1.840	1.798	1.762	1.730	1.702	1.676	1.654	1.633	1.614	1.597	1.581

Elaborada por Irene Patricia Valdez y Alfaro.

Continuación...

**Tabla 5. VALORES F DE LA DISTRIBUCIÓN F DE FISHER**

**1 - α = 0.95**

**1 - α = P ( F ≤ f<sub>α,v1,v2</sub> )**

$v_2 \backslash v_1$	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	40	50	60	70	80	90	100	200	500	1000
1	248.307	248.579	248.823	249.052	249.260	249.453	249.631	249.798	249.951	250.096	251.144	251.774	252.196	252.498	252.723	252.898	253.043	253.676	254.062	254.186
2	19.448	19.450	19.452	19.454	19.456	19.457	19.459	19.460	19.461	19.463	19.471	19.476	19.479	19.481	19.483	19.485	19.486	19.491	19.494	19.495
3	8.654	8.648	8.643	8.638	8.634	8.630	8.626	8.623	8.620	8.617	8.594	8.581	8.572	8.566	8.561	8.557	8.554	8.540	8.532	8.529
4	5.795	5.787	5.781	5.774	5.769	5.763	5.759	5.754	5.750	5.746	5.717	5.699	5.688	5.679	5.673	5.668	5.664	5.646	5.635	5.632
5	4.549	4.541	4.534	4.527	4.521	4.515	4.510	4.505	4.500	4.496	4.464	4.444	4.431	4.422	4.415	4.409	4.405	4.385	4.373	4.369
6	3.865	3.856	3.849	3.841	3.835	3.829	3.823	3.818	3.813	3.808	3.774	3.754	3.740	3.730	3.722	3.716	3.712	3.690	3.678	3.673
7	3.435	3.426	3.418	3.410	3.404	3.397	3.391	3.386	3.381	3.376	3.340	3.319	3.304	3.294	3.286	3.280	3.275	3.252	3.239	3.234
8	3.140	3.131	3.123	3.115	3.108	3.102	3.095	3.090	3.084	3.079	3.043	3.020	3.005	2.994	2.986	2.980	2.975	2.951	2.937	2.932
9	2.926	2.917	2.908	2.900	2.893	2.886	2.880	2.874	2.869	2.864	2.826	2.803	2.787	2.776	2.768	2.761	2.756	2.731	2.717	2.712
10	2.764	2.754	2.745	2.737	2.730	2.723	2.716	2.710	2.705	2.700	2.661	2.637	2.621	2.609	2.601	2.594	2.588	2.563	2.548	2.543
11	2.636	2.626	2.617	2.609	2.601	2.594	2.588	2.582	2.576	2.570	2.531	2.507	2.490	2.478	2.469	2.462	2.457	2.431	2.415	2.410
12	2.533	2.523	2.514	2.505	2.498	2.491	2.484	2.478	2.472	2.466	2.426	2.401	2.384	2.372	2.363	2.356	2.350	2.323	2.307	2.302
13	2.448	2.438	2.429	2.420	2.412	2.405	2.398	2.392	2.386	2.380	2.339	2.314	2.297	2.284	2.275	2.267	2.261	2.234	2.218	2.212
14	2.377	2.367	2.357	2.349	2.341	2.333	2.326	2.320	2.314	2.308	2.266	2.241	2.223	2.210	2.201	2.193	2.187	2.159	2.142	2.136
15	2.316	2.306	2.297	2.288	2.280	2.272	2.265	2.259	2.253	2.247	2.204	2.178	2.160	2.147	2.137	2.130	2.123	2.095	2.078	2.072
16	2.264	2.254	2.244	2.235	2.227	2.220	2.212	2.206	2.200	2.194	2.151	2.124	2.106	2.093	2.083	2.075	2.068	2.039	2.022	2.016
17	2.219	2.208	2.199	2.190	2.181	2.174	2.167	2.160	2.154	2.148	2.104	2.077	2.058	2.045	2.035	2.027	2.020	1.991	1.973	1.967
18	2.179	2.168	2.159	2.150	2.141	2.134	2.126	2.119	2.113	2.107	2.063	2.035	2.017	2.003	1.993	1.985	1.978	1.948	1.929	1.923
19	2.144	2.133	2.123	2.114	2.106	2.098	2.090	2.084	2.077	2.071	2.026	1.999	1.980	1.966	1.955	1.947	1.940	1.910	1.891	1.884
20	2.112	2.102	2.092	2.082	2.074	2.066	2.059	2.052	2.045	2.039	1.994	1.966	1.946	1.932	1.922	1.913	1.907	1.875	1.856	1.850
21	2.084	2.073	2.063	2.054	2.045	2.037	2.030	2.023	2.016	2.010	1.965	1.936	1.916	1.902	1.891	1.883	1.876	1.845	1.825	1.818
22	2.059	2.048	2.038	2.028	2.020	2.012	2.004	1.997	1.990	1.984	1.938	1.909	1.889	1.875	1.864	1.856	1.849	1.817	1.797	1.790
23	2.036	2.025	2.014	2.005	1.996	1.988	1.981	1.973	1.967	1.961	1.914	1.885	1.865	1.850	1.839	1.830	1.823	1.791	1.771	1.764
24	2.015	2.003	1.993	1.984	1.975	1.967	1.959	1.952	1.945	1.939	1.892	1.863	1.842	1.828	1.816	1.808	1.800	1.768	1.747	1.740
25	1.995	1.984	1.974	1.964	1.955	1.947	1.939	1.932	1.926	1.919	1.872	1.842	1.822	1.807	1.796	1.787	1.779	1.746	1.725	1.718
26	1.978	1.966	1.956	1.946	1.938	1.929	1.921	1.914	1.907	1.901	1.853	1.823	1.803	1.788	1.776	1.767	1.760	1.726	1.705	1.698
27	1.961	1.950	1.940	1.930	1.921	1.913	1.905	1.898	1.891	1.884	1.836	1.806	1.785	1.770	1.758	1.749	1.742	1.708	1.686	1.679
28	1.946	1.935	1.924	1.915	1.906	1.897	1.889	1.882	1.875	1.869	1.820	1.790	1.769	1.754	1.742	1.733	1.725	1.691	1.669	1.662
29	1.932	1.921	1.910	1.901	1.891	1.883	1.875	1.868	1.861	1.854	1.806	1.775	1.754	1.738	1.726	1.717	1.710	1.675	1.653	1.645
30	1.919	1.908	1.897	1.887	1.878	1.870	1.862	1.854	1.847	1.841	1.792	1.761	1.740	1.724	1.712	1.703	1.695	1.660	1.637	1.630
40	1.826	1.814	1.803	1.793	1.783	1.775	1.766	1.759	1.751	1.744	1.693	1.660	1.637	1.621	1.608	1.597	1.589	1.551	1.526	1.517
50	1.771	1.759	1.748	1.737	1.727	1.718	1.710	1.702	1.694	1.687	1.634	1.599	1.576	1.558	1.544	1.534	1.525	1.484	1.457	1.448
60	1.735	1.722	1.711	1.700	1.690	1.681	1.672	1.664	1.656	1.649	1.594	1.559	1.534	1.516	1.502	1.491	1.481	1.438	1.409	1.399
70	1.709	1.696	1.685	1.674	1.664	1.654	1.646	1.637	1.629	1.622	1.566	1.530	1.505	1.486	1.471	1.459	1.450	1.404	1.374	1.364
80	1.689	1.677	1.665	1.654	1.644	1.634	1.626	1.617	1.609	1.602	1.545	1.508	1.482	1.463	1.448	1.436	1.426	1.379	1.347	1.336
90	1.675	1.662	1.650	1.639	1.629	1.619	1.610	1.601	1.593	1.586	1.528	1.491	1.465	1.445	1.429	1.417	1.407	1.358	1.326	1.314
100	1.663	1.650	1.638	1.627	1.616	1.607	1.598	1.589	1.581	1.573	1.515	1.477	1.450	1.430	1.415	1.402	1.392	1.342	1.308	1.296
200	1.609	1.596	1.583	1.572	1.561	1.551	1.542	1.533	1.524	1.516	1.455	1.415	1.386	1.364	1.346	1.332	1.321	1.263	1.221	1.205
500	1.577	1.563	1.551	1.539	1.528	1.518	1.508	1.499	1.490	1.482	1.419	1.376	1.345	1.322	1.303	1.288	1.275	1.210	1.159	1.138
1000	1.566	1.553	1.540	1.528	1.517	1.507	1.497	1.488	1.479	1.471	1.406	1.363	1.332	1.308	1.289	1.273	1.260	1.190	1.134	1.110

Elaborada por Irene Patricia Valdez y Alfaro.



*Anexo N° 3: Registro fotográfico de trabajo de campo.*

- Estación B-L



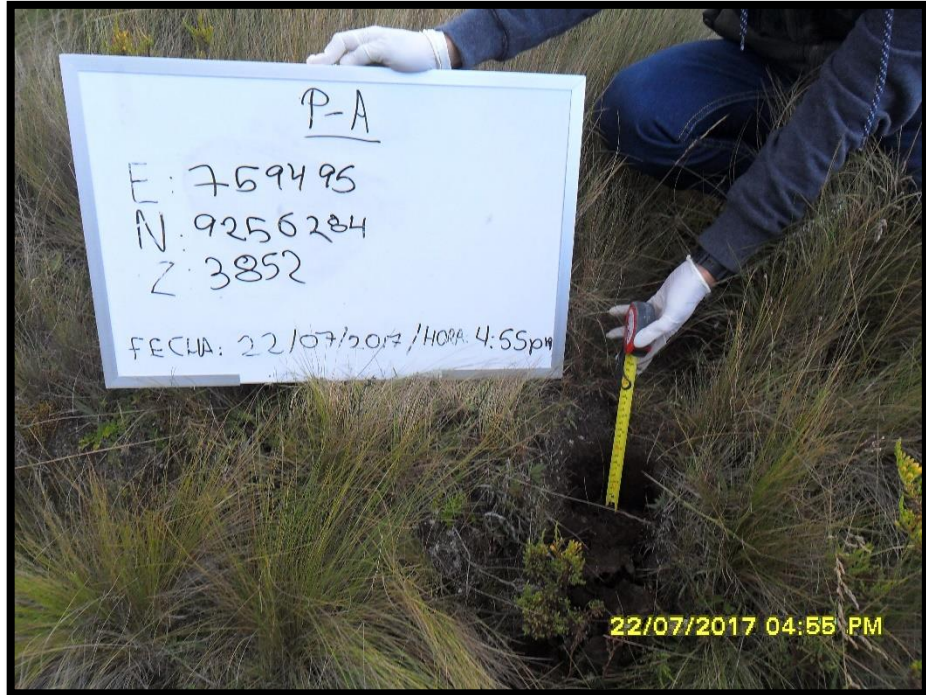
- Estación H



- Estación H-L



- Estación P-A



- Estación PA-L



- Estación P-S



- Estación PS-L



- Estación PS-L2



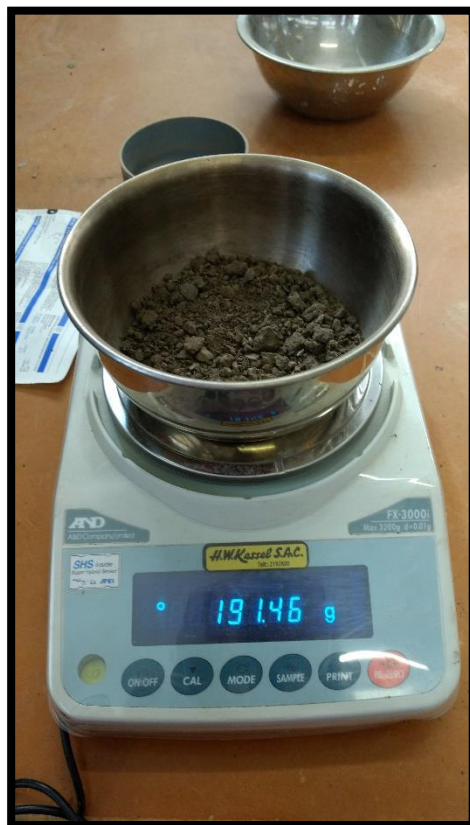


*Anexo N° 4: Registro fotográfico de determinación de la arena muy fina.*

- Descarte de bloques, piedras y restos vegetales usando tamiz #4.



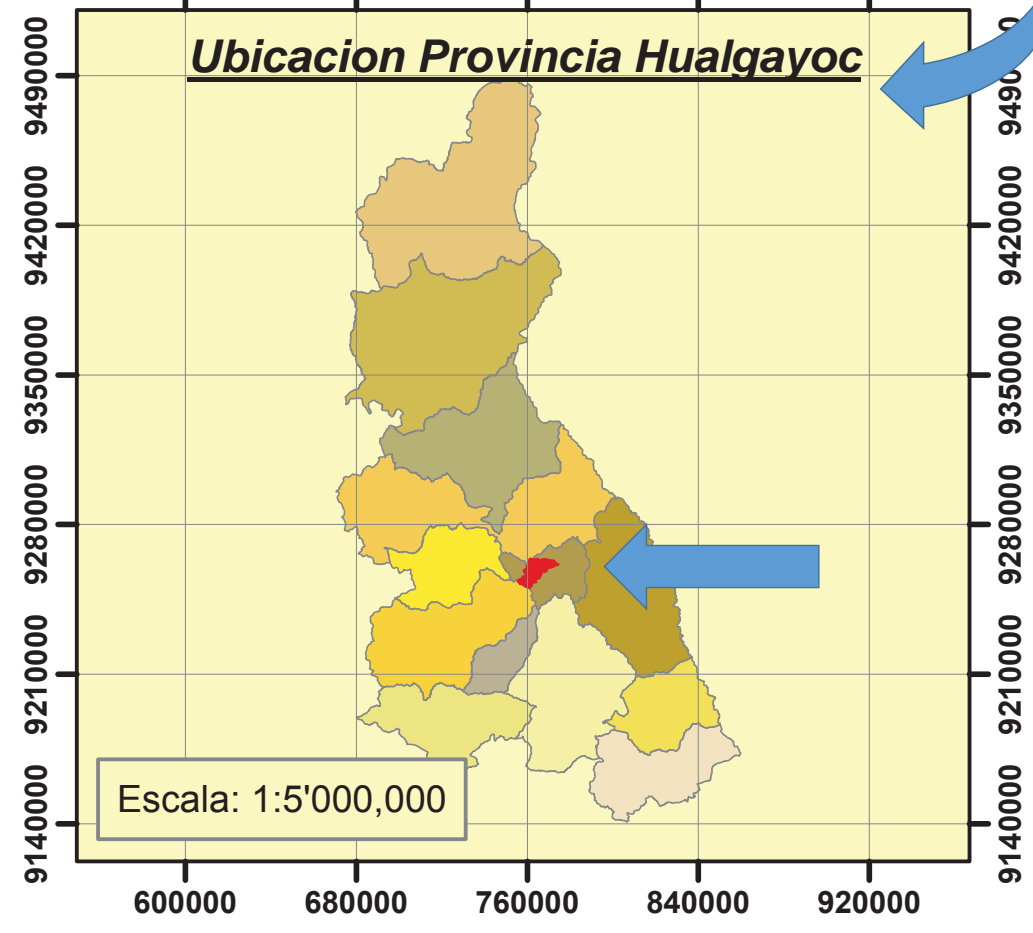
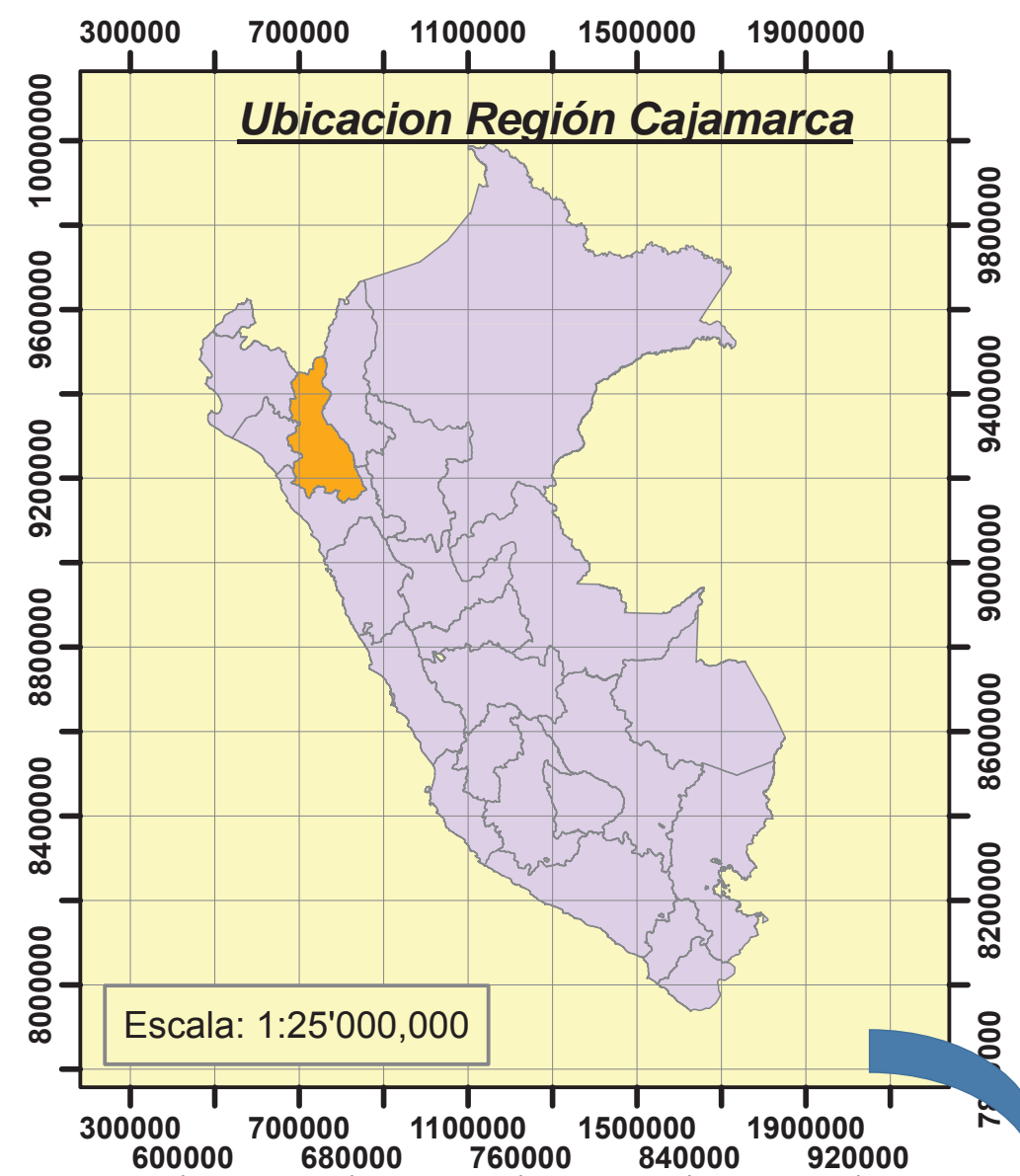
- Secado y pesaje de muestras



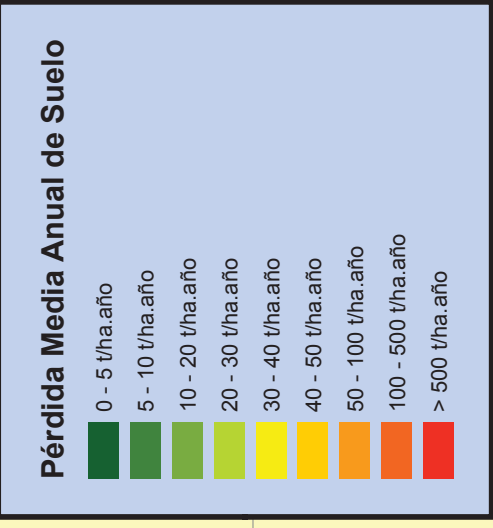
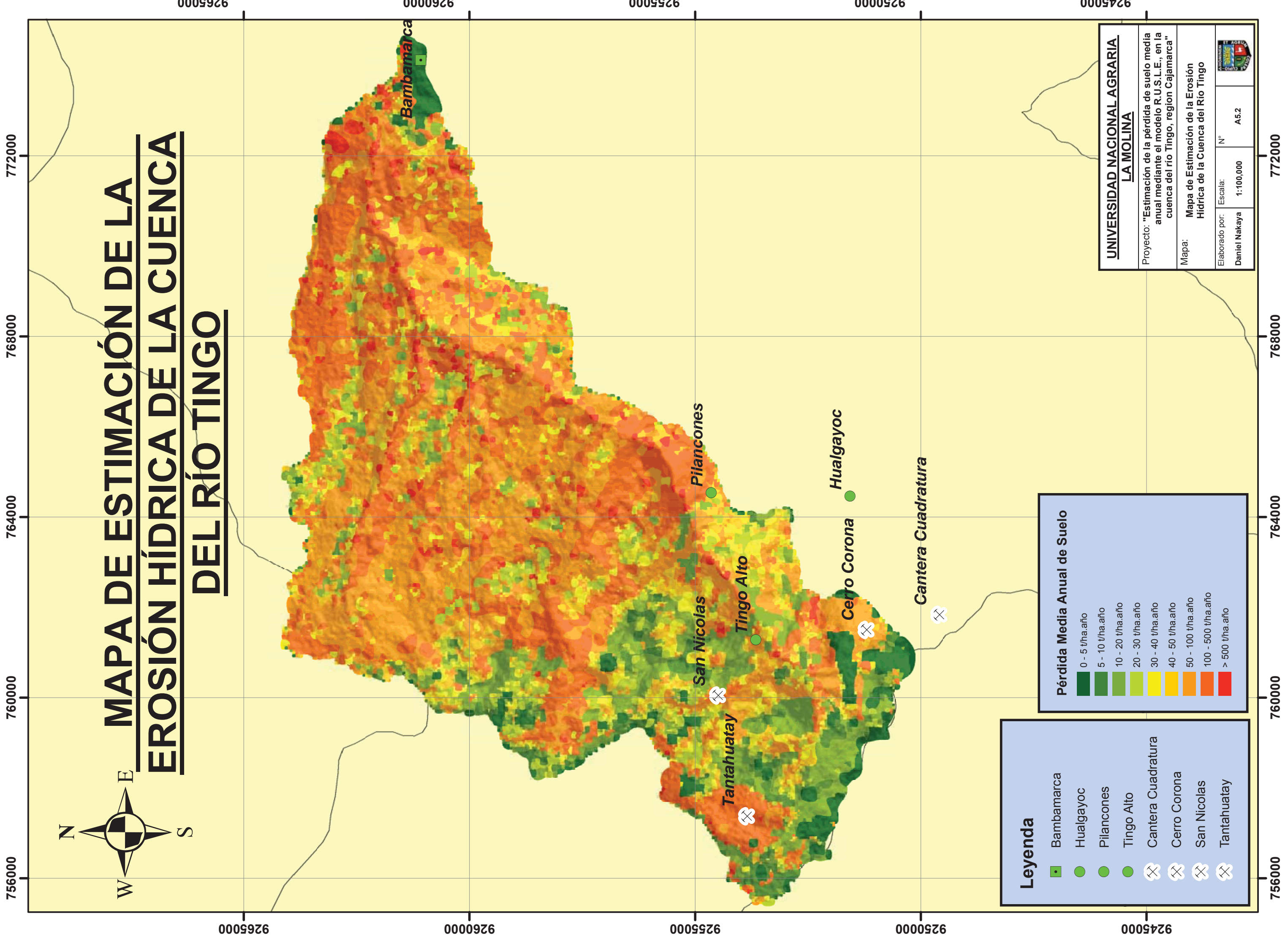
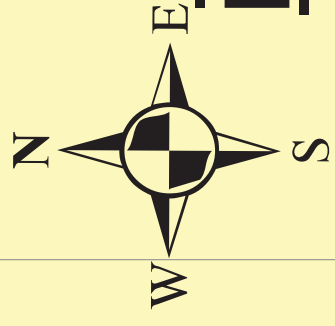
- Tamizado en malla #40 y #200, y pesaje de muestras.



*Anexo N° 5: Mapas*



# MAPA DE ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO TINGO

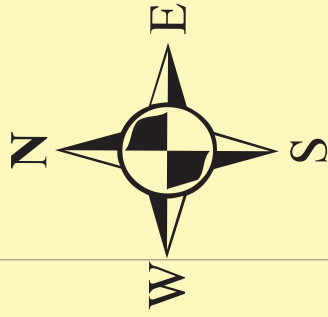


**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

Proyecto: "Estimación de la pérdida de suelo media anual mediante el modelo R.U.S.L.E., en la cuenca del río Tingo, región Cajamarca"

Mapa: Mapa de Estimación de la Erosión Hídrica de la Cuenca del Río Tingo

Elaborado por:	Daniel Nakaya	Escala:	1:100,000	Nº	A5.2
----------------	---------------	---------	-----------	----	------



# MAPA DE GRADO DE EROSIÓN HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO TINGO

9265000

772000

768000

764000

760000

756000

RÍO TINGO

9265000

9260000

Pilancones

9260000

Pilancones

9255000

San Nicolas

9255000

San Nicolas

Tantahuatay

Tingo Alto

Tantahuatay

Tingo Alto

Hualgayoc

Hualgayoc

Cerro Corona

Cerro Corona

Cantera Cuadratura

Cantera Cuadratura

## Leyenda

- Bambamarca
- Hualgayoc
- Pilancones
- Tingo Alto
- Cantera Cuadratura
- Cerro Corona
- San Nicolas
- Tantahuatay

## Grado de Erosión (Clasificación FAO)

- Ninguna o Ligera
- Moderada
- Alta
- Muy Alta

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

Proyecto: "Estimación de la pérdida de suelo media anual mediante el modelo R.U.S.L.E., en la cuenca del río Tingo, region Cajamarca"

Mapa: Mapa de Grado de Erosión Hidrica de la Cuenca del Rio Tingo

Elaborado por: Daniel Nakaya

Escala: 1:100,000

N°

A5.3



756000

760000

764000

768000

772000

9265000

9260000

9255000

9250000

9245000