

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN  
DE SUELOS Y AGUA**



**PERDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA APLICANDO EL MODELO  
RUSLE EN LA CUENCA DEL RIO SUPTE GRANDE, PROVINCIA LEONCIO  
PRADO - HUÁNUCO**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

**PRESENTADO POR:**

**ANTONY FRANK PERALES QUISPILAYA**

**Tingo María - Perú**

**2019**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
Tingo María – Perú



**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

## **ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**


Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 13 de Setiembre de 2019, a horas 1:00 p.m. en la Sala de Sesiones del Departamento Académico de Ciencias en Conservación de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para calificar la Tesis titulada:


### **“PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA APLICANDO EL MODELO RUSLE EN LA CUENCA DEL RIO SUPTTE GRANDE, PROVINCIA LEONCIO PRADO - HUÁNUCO”**


Presentado por el Bachiller: **ANTONY FRANK PERALES QUISPILAYA**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de **“BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del Título correspondiente.

Tingo María, 26 de Diciembre de 2019.

  
Dr. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUÁREZ  
PRESIDENTE

  
Ing. Msc. ROBERTO OBREGÓN PEÑA  
MIEMBRO

  
Ing. Msc. JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO  
MIEMBRO

  
Ing. ERLE O. J. BUSTAMANTE SCAGLIONI  
ASESOR



## DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de mis anhelos más deseados.

A mi abuelito **ALEJANDRO**, por su cariño, consejos y abnegación, a mi abuelita **JULIA** que siempre estuvo para darme algunos empujoncitos de la vida; mis tíos **MIGUEL y ROBIN** los estimo mucho.

A mis padres **FERNANDO Y MARLENY MARIVEL** con mucho cariño y amor, siempre estaré eternamente agradecido.

A mis hermanos **KEVIN y STIVEN**, mi hermana **LEIDY**, los quiero y gracias por el apoyo brindado.

A todos mis amigos y amigas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito, en especial a los que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos gracias totales.

## **AGRADECIMIENTO**

- A Dios por guiarme a lo largo mi vida, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.
- A mis padres Fernando Perales Sánchez y Marleny Marivel Quispilaya Marmolejo por ser los principales promotores de mis sueños y metas, por confiar y creer en mí, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.
- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables que contribuyeron sobre mi formación profesional.
- Al Ing. Bustamante Scaglioni, Erle asesor del presente trabajo, por su labor como formador, su amistad, su apoyo desinteresado y el tiempo dedicado en la presente tesis.
- A los miembros integrantes del jurado de tesis: Ing. Msc. Rengifo Trigozo, Juan Pablo, Dr. Obregón Peña, Dr. De Lara Suarez, Lucio Manrique
- A mi hermano mayor Kevin Perales Quispilaya por el apoyo incondicional que me brindo en la realización del trabajo en campo.
- A mis amigos(as) Diego Justino Maravi, Erick Cruzado Morales, James Pashco Suarez, Cesar Villavicencio Ramos, Luzmery Rojas Muñico, Denicia Peres Mendieta, Rudy Pacheco Ramos, Leodan Toribio Dueñas, Wilder Pardo Rojas e Ivan Serafin Chamorro quienes compartieron conmigo las clases universitarias y me brindaron siempre su apoyo.

Al personal administrativo que labora en la biblioteca y al personal de los laboratorios de Análisis de Suelos de la Facultad de Agronomía, por su colaboración para la ejecución del presente trabajo.

A todas aquellas personas que en forma directa o indirecta colaboraron en la realización del presente trabajo.

## ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
2.1. Definición de cuenca hidrográfica .....	4
2.2. Definición de suelo.....	4
2.3. Erosión de suelo .....	5
2.4. Tipos de erosión .....	6
2.4.1. Erosión de forma natural .....	6
2.4.2. Erosión eólica.....	6
2.4.3. Erosión hídrica .....	7
2.5. Control de la erosión hídrica .....	12
2.6. Efectos de la erosión e importancia de su estudio .....	13
2.7. Métodos para cuantificar la erosión hídrica .....	14
2.7.1. Parcelas de escorrentía.....	14
2.7.2. Clavos de erosión.....	15
2.7.3. Ecuación universal de pérdida de suelo .....	16
2.8. Aplicación de los SIG en los estudios de erosión hídrica .....	30
2.9. Antecedentes de investigaciones similares .....	30
2.9.1. Aproximación de riesgo por erosión hídrica aplicando un SIG en la subcuenca Shambillo, distrito de Padre Abad.....	30

2.9.2. Aplicación del modelo USLE/RUSLE para estimar la pérdida de suelos por erosión hídrica en la microcuenca Puente Pérez - Tingo María.....	31
2.9.3. Influencia de la cobertura en la variación de la erosión hídrica en parcelas demostrativas del bosque reservado de la universidad nacional agraria de la selva.....	33
2.9.4. Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la subcuenca del río Shullcas 2000 – 2013, Huancayo .....	33
2.9.5. Modelamiento geoespacial en la determinación del riesgo, vulnerabilidad y de la cuantificación de la erosión hídrica en la microcuenca del rio Atuen – Amazonas.....	34
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>36</b>
3.1. Descripción de la zona de estudio.....	36
3.1.1. Ubicación .....	36
3.1.2. Características climáticas.....	36
3.1.3. Ecología .....	36
3.1.4. Geología .....	37
3.1.5. Fisiografía .....	37
3.1.6. Hidrografía .....	38
3.1.7. Accesibilidad .....	38
3.2. Materiales y equipos .....	38
3.2.1. Materiales.....	38

3.2.2. Software .....	39
3.2.3. Herramientas y equipos.....	39
3.3. Metodología .....	39
3.3.1. Recolección de datos .....	39
3.3.2. Clasificación de la cobertura vegetal .....	42
3.3.3. Factor longitud y gradiente de la pendiente (LS) .....	43
3.3.4. Factor de erodabilidad del suelo (K) .....	45
3.3.5. Estimación del factor de erosividad (R) .....	47
3.3.6. Determinación la pérdida del suelo con el gradiente del terreno.....	50
<b>IV. RESULTADOS.....</b>	<b>53</b>
4.1. Aproximación de la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando el modelo RUSLE.....	53
4.1.1. Erosividad de las precipitaciones o factor (R).....	53
4.1.2. Índice de erodabilidad del suelo o factor (K).....	54
4.1.3. Factor de longitud y gradiente de pendiente o factor LS.....	56
4.1.4. Factor C o de cobertura vegetal .....	58
4.1.5. Pérdida del suelo por erosión hídrica (Potencial) .....	60
4.1.6. Pérdida del suelo por erosión hídrica (Actual) .....	62
4.2. Medición de la pérdida del suelo según la gradiente del terreno ...	64

<b>V. DISCUSIÓN .....</b>	<b>65</b>
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>68</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>69</b>
<b>VIII. ABSTRACT.....</b>	<b>70</b>
<b>IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>81</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Página</b>
1 Clasificación de IFM para Latinoamérica .....	20
2. Clase de permeabilidad según textura .....	21
3. Estructura del suelo a profundidades de 15 a 18 cm.....	22
4.Factor LS en función de la pendiente.....	25
5. Factor C según uso del suelo.....	28
6. Valores para el Factor P .....	29
7. Unidades fisiográficas de la zona de estudio .....	37
8. Valores promedios de coeficiente de escorrentía o factor C .....	43
9. Clasificación de la pérdida de suelo por erosión hídrica.....	50
10. Determinación de la erosividad del suelo o Factor R .....	53
11. Determinación de la erodabilidad del suelo o factor K.....	54
12. Determinación de longitud y gradiente de pendiente o factor LS.....	56
13. Uso actual de la tierra .....	58
14. Determinación de la erosión potencial. ....	60
15. Determinación de la erosión actual .....	62
16. Determinación de la pérdida de suelo con clavos de erosión.....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Etapas de la erosión hídrica.....	12
2. Método de los clavos para medir la pérdida de suelo.....	15
3. Nomograma para determinar el factor K .....	23
4. Triangulo de permeabilidad.....	46
5. Diagrama metodológico .....	52
6. Valores de erosividad de las estaciones meteorológicas .....	54
7. Mapa de erosividad del suelo o factor R .....	55
8. Mapa de longitud y gradiente de pendiente o factor LS .....	57
9. Mapa de uso actual de la tierra o factor C.....	59
10. Mapa de erosión potencial del suelo .....	61
11. Mapa de erosión actual del suelo.....	63
12. Proceso de secado de las muestras de suelo .....	80
13. Muestras de suelo N° 8.....	80
14. Muestras de suelo N° 16.....	81

## RESUMEN

La investigación se realizó en la cuenca del río Supte, ubicado en la provincia de Leoncio Prado – Huánuco, los objetivos de estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica, aplicando la metodología de la Ecuación Universal de la Pérdida del Suelo (RUSLE) propuesta por RENARD *et al.* (1997) y modificada por WISCHMEIER y SMITH (1978); se utilizó la herramienta SIG, y se realizó la medición de la pérdida del suelo in situ utilizando método de los clavos. Para la estimación, primero se recolecto las muestras de suelo; según la estratificación por unidades fisiográficas, con el resultado del análisis del laboratorio se calculó el factor K, el factor C se estimó a partir de imagen satelital Sentinel 2 utilizando software SIG, el factor R se estimó a partir de los datos de precipitación de estaciones meteorológicas de la zona de influencia y del factor LS se determinó mediante modelo de elevación generado a partir de las carta nacional. Los resultados en cuanto a la erosión potencial (sin considerar la cobertura vegetal), el mayor porcentaje de la cuenca (61.67%), presenta pérdida de 50 a 200 t/ha/año y en menor porcentaje (20.80%) menores a 0.5 t/ha/año, inverso a los valores encontrados en erosión actual, donde en mayor porcentaje (62.49%) presenta pérdida inferior a 0.5 t/ha/año y en menor porcentaje presenta pérdida de 15 a 200 t/ha/año. En cuanto a la medición con el método de clavos en las diferentes coberturas: el pasto presenta pérdida de 9718.80 t/ha/año (catastrófica), sin cobertura 194.13 t/ha/año, cultivo de maíz 68.27 t/ha/año, cacao 47.25 t/ha/año y purma 14.27 t/ha/año. Por lo que para disminuir el impacto se debe implementar proyectos de reforestación con especies forestales

.

## I. INTRODUCCIÓN

La pérdida del suelo por erosión hídrica, se debe principalmente a la acción de las gotas de lluvias sobre terrenos sin cobertura alguna, siendo este uno de los procesos que mayor incluye en la degeneración de los suelos, dado que se considera inalterable y generalmente se da a grandes magnitudes (ANTEZANA, 2001).

MORGAN (1995) y GUANCA (2010), afirman, que para la mejor estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica plantearon mejoras al modelo de pérdida de suelo, dado a la variedad de modelos la cual la más aceptada mundialmente es la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE), modificada y desarrollada por (WISCHMEIER y SMITH, 1978), que ha sido el modelo de erosión empírico, más aceptado y utilizado para evaluar las pérdidas de suelo, a lo largo de más de 30 años.

FLORES (2003), menciona que del total de área (494,982 ha) de la provincia de Leoncio Prado, 105,611 ha han sido deforestadas, es decir el 21% del total de área, esto debido a los avances no planificados en la agricultura, que su principal causantes fueron los cultivos de hoja de coca en un 40% y la agricultura migratoria en un 60%. A lo que complementa RAMOS (2001), dichas acciones conllevan a la pérdida del suelo por erosión hídrica reflejados en la selva, con un porcentaje de 14.83% de erosión actual y 69.89% de erosión potencial.

La cuenca del río Supte Grande no es ajena a presentar áreas grandes de suelo perdido por la erosión hídrica, ya que el aprovechamiento de las tierras con fines de uso agrícola se encuentran en mayor proporción sobre laderas (colinas), con pendientes que superan el 30% de aptitud forestal y protección, las prácticas de labranza se realizan para el cultivo de coca, mediante la roza, tumba y quema de cobertura vegetal de distintas edades, exponiendo los suelos a las precipitaciones que propician escurrimientos con poder erosivo, producto de ello los suelos quedan desprovisto de materia orgánica, por ende suelos pobres en nutrientes por eso la importancia de esta investigación de conocer y estimar la cantidad de suelo que se pierde por acción de la erosión hídrica y de esa manera sectorizar para proponer medidas preventivas y de recuperación de suelos erosionados. Por lo antes expuesto se presenta la interrogante del problema: ¿Cuánto será la pérdida del suelo en la cuenca del río Supte? sin medida de conservación y expuestas a condiciones adversas del clima y escurrimiento. Asimismo, la hipótesis: La cuenca del río Supte según el uso de la tierra, sus características y la condición pluvial, está expuesta a una erosión media.

### **Objetivo general**

- Determinar de la perdida de suelo por erosión hídrica utilizando el modelo RUSLE en la cuenca del río Supte grande, provincia Leoncio Prado – Huánuco.

### **Objetivos específicos**

- Clasificar la cobertura vegetal del suelo en la cuenca del río Supte grande.

- Estimar la longitud y gradiente del terreno en la cuenca del río Supte grande.
- Estimar la erodabilidad del suelo K en la cuenca del río Supte Grande
- Estimar la erosividad del suelo R en la cuenca del río Supte Grande.
- Determinar la pérdida del suelo según gradiente del terreno en la cuenca del río Supte grande.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Definición de cuenca hidrográfica**

La cuenca hidrográfica es un área geográfica delimitada por la captación del agua que se discurre formando un flujo de agua (Quebradas, ríos, etc.). Donde se desarrolla todo un ecosistema natural en la cual se asienta la vida humana y animal las cuales en su conjunto se relacionan con la naturaleza. Su principal dinamismo es gracias ciclo hidrológico, y el manejo que le da la población, y que constantemente se encuentran generando, regenerándose o degradándose, esta interrelación en forma sistemática determinada dinámica que fomenta su preservación o deterioro de ecosistema de la cuenca, (VÁSQUEZ, 2000).

### **2.2. Definición de suelo**

El suelo se define como el medio natural donde se despliega la vegetación y los animales, siendo un organismo nativo que consta de capas (horizontes) formadas por materiales meteorizados, masa orgánica, aire y agua. La formación del suelo se da por consecuencia del efecto de diferentes factores como: clima, relieve, flora, fauna, materiales parentales y en función del tiempo. Como consecuencia de la composición del material parental cambia de estructura, consistencia, textura, color y como también sus propiedades biológicas, físicas y químicas. (FAO, 2000).

Desde el aspecto agreste, el suelo es un componente de producción, que desempeña el rol de soporte o sostén de la vegetación, además proporcionar y almacena materia orgánica y minerales, para el desarrollo de las plantas. (ESTRADA, 1976).

### **2.3. Erosión de suelo**

(MORGAN, 1995) manifiesta que la pérdida de suelo por erosión se da muchas veces por la desagregación y transporte de las partículas por el agua y el viento, siendo estos los principales agentes erosivos, y por otra parte la acumulación se da cuando la potencia de dichos agentes es insuficiente para seguir transportando dichas partículas. Dicho de paso la erosión y acumulación del suelo es el dinamismo natural del medio terrestre, siempre en cuando la pérdida del suelo no supera en gran magnitud la acumulación del suelo. La pérdida del suelo en grandes magnitudes se da por acción del hombre, en diversas actividades como deforestación, agricultura migratoria, sobre pastoreo, minería y actividades industriales.

VÁSQUEZ (2000) nos dice que la erosión del suelo es una acción que involucra la separación y transporte de las fracciones de suelo por acción del viento, agua, y de actividad biológica; estos pueden ser de manera natural (geológica o normal) siempre en cuando se produzcan por acciones naturales en el ambiente a lo largo del tiempo o periodos geológicos favoreciendo a la formación del relieve terrestre; o de manera acelerada que trae consigo muchas consecuencias y siendo uno de los problemas más serios para el desarrollo agrario, ya que trae como consecuencia bajos rendimientos de los cultivos

agrícolas, por otro lado la acumulación de sedimentos producto del flujo de agua, ocasiona la colmatación de los ríos y favoreciendo a los problemas de drenaje, inundación y salinización de las tierras.

## **2.4. Tipos de erosión**

### **2.4.1. Erosión de forma natural**

Se da forma natural y progresiva, se lleva acabo a largo de miles a millones de años y se desarrollan por medio de un fenómeno natural, por lo que también se le puede conocer como erosión geológica, dicho proceso es demasiado lento y se prolonga en millones de años, donde sus causantes principales son la lluvia, calor, viento, nieve. Por ejemplo en zonas con climas áridos el calor agrita el suelo y por acciones del viento las partículas van formando dunas y montículos de baja altura. Este tipo los causantes van formando el paisaje. (ICONA, 1988)

### **2.4.2. Erosión eólica**

La erosión eólica es la “pérdida del suelo por disgregación, remoción y transporte de las partículas del suelo” siendo el principal factor el viento. Dicho proceso se favorece con vientos fuertes y frecuentes, superficies llanas expuestas al viento, suelo seco, suelto, de textura fina y sin ninguna cobertura natural. Con una ausencia o degradada estructura del suelo con situaciones de aridez, pocas precipitaciones, elevadas temperaturas, y sin o poca cubierta vegetal. Así el sobre pastoreo, la quema y las activas agrícolas irracional sonser componentes causantes de la erosión eólica. (ICONA, 1988).

### **2.4.3. Erosión hídrica**

La pérdida del suelo por erosión hídrica “es un fenómeno de disgregación y transporte de las partículas del suelo por acción de las gotas de lluvia”. Viene a ser una sucesión natural y lento, pero, debido al mal manejo, uso intenso y migratorio de la agricultura, este proceso viene siendo acelerado (FAO, 1990).

La desagregación, transporte y sedimentación de las partículas del suelo como consecuencia de la lluvia y el escurrimiento superficial definen la erosión hídrica. Cuando llueve, gotas de hasta 6 mm de diámetro impactan la superficie del suelo a velocidades de hasta 32 km por hora y dicho impacto de la gota de lluvia dispersa partículas de suelo y agua en todas direcciones a una distancia de hasta 1 m. (FAO, 1990).

#### **2.4.3.1. Tipos de erosión hídrica**

##### **a) Erosión laminar**

Este tipo de erosión “está estrechamente relacionada con la salpicadura de las gotas de lluvia, a lo que se puede adicionar, que en laderas más de la mitad de la salpicadura desciende por costa abajo. Cuando esta corriente se mantiene como una delgada lámina, se conoce como erosión laminar”. Por lo que se puede decir que la erosión laminar y en surcos son las formas de erosión que más afecta a los cultivos por degradación y pérdida del horizonte A”, y a la vez afecta más significativamente a la producción de sedimentos en los ríos”. (VAHRSON, 1991).

Las fuerza con las que caen las gotas de lluvias, sobre las suelos sin cobertura, hace que se desprenda sus partículas, estas al encontrarse sueltas son trasportadas, tapando los poros del suelo y haciendo que se forme una delgada capa o costra poco permeable, y cuando la cantidad agua excede la tasa de infiltración del suelo, el agua empieza a fluir en forma de aliviadero en el suelo de la inclinación, trasladando estas partículas que a un inicio fueron separadas. (VÁSQUEZ, 2000).

### **b) Erosión por surcos**

Este tipo de erosión es la forma más perceptible, ya que tiene su origen con el escurrimiento superficial de las aguas pluviales, concentrados en depresiones superficiales e irregulares del suelo sin cobertura alguna o mal manejo. (FAO, 2000).

En las pequeñas ondulaciones de la superficie se concentra el agua pluvial y por acción de la inclinación, el tipo de suelo y cobertura vegetal se inicia el movimiento del agua en favor de la inclinación de la superficie y, en consecuencia, trasporta las partículas del suelo, formándose pequeñas surcos o zanjas. (VÁSQUEZ, 2000).

### **c) Erosión por cárcavas**

Podemos decir que este tipo de erosión es similar a la erosión por surcos con la diferencia que se da en un estado más avanzado. En función al declive y de la longitud de la ladera del terreno, la concentración de agua provoca el acrecentamiento en el tamaño de los surcos, hasta convertirse en grandes zanjas llamadas cárcavas. (FAO, 2000).

Las pequeños zanjas o surcos formados, estos se van ensanchando por acción de las escorrentías debido a que continúa el arrastre del suelo por los surcos o zanjas; como consecuencia ocasionan el desprendimiento de taludes, con lo que se va agrandando los tamaños de los surcos y se convierten en zanjones o cárcavas.

#### **2.4.3.2. Factores que originan la erosión hídrica**

##### **a) Factores climáticos**

Los factores climáticos tienen un papel importante en la erosión hídrica, siendo las lluvias, tanto en su intensidad como en su duración, los factores que más influyen en el proceso. Cuando el volumen o la fuerza de la lluvia son altos y superiores a la velocidad de infiltración del suelo, se genera escurrimiento y consecuentemente la erosión (FARFÁN, 2002).

##### **b) Características del suelo**

GUANCA, 2010 dice que las características de los suelos tales como su agregación, su textura, su capacidad de infiltración, entre otras, afectan su erosionabilidad. En la erosión por impacto es importante la estabilidad de los agregados del suelo. En la erosión por escurrimiento influyen la capacidad de infiltración y la textura. En los suelos de texturas gruesas “los valores de infiltración se mantienen altos y por lo tanto el escurrimiento es menor que en los suelos de texturas finas” que resultan más expuestos a la erosión.

##### **c) La cobertura vegetal**

“La vegetación sobre la erosión hídrica, varía con la época del año, cultivo, grado de cobertura y desarrollo de raíces, se puede considerar que su efecto se relaciona directamente con la intercepción, velocidad de escurrimiento e infiltración”. La presencia de una cobertura vegetal tiene influencia directa en la absorción de la energía de las gotas de lluvia y en la disminución de la velocidad de escurrimiento.

En ausencia de dicha cobertura, en suelos desnudos, como los grandes pedales producto del sobrepastoreo, los valores de pérdida de suelos son importantes (GUANCA, 2010).

#### **d) La topografía**

Las características topográficas influyen en el proceso a través de la pendiente. Debiéndose considerar la longitud, el grado de inclinación, magnitud y forma. Frecuentemente el grado de inclinación origina problemas más agudos que la longitud de la pendiente. En cuanto a la longitud de la pendiente, el efecto es variable de acuerdo a la naturaleza de la precipitación, a la cobertura vegetal y a la textura del suelo. La mayor longitud de la pendiente hace aumentar el espesor de la lámina de escurrimiento o carga hidráulica (GUANCA, 2010).

#### **e) Actividad humana**

La actividad del hombre es la principal actividad y es el que decide en todo proceso erosivo, debido principalmente a su rol de intervención en el manejo y explotación de los recursos naturales, agua, suelo y cobertura vegetal. En los que podemos mencionar las principales actividades:

- Agricultura pobre e inadecuada
- La tala
- El sobrepastoreo
- La quema

#### **2.4.3.3. Etapas de la erosión hídrica**

WISCHMEIER (1959) menciona que “el fenómeno de erosión hídrica empieza inicialmente por el desprendimiento de las partículas de suelo de las partes altas, la separación de estas partículas es llevada a cabo por acción de la lluvia y por el escurrimiento superficial, ya que ambos pueden llegar a poseer la suficiente energía para desprender partículas del suelo”. Además de la función de desprendimiento, también realizan la función de transporte de suelo. Por su parte ASTURIAS (1986), clasifica el proceso de erosión hídrica en las siguientes etapas:

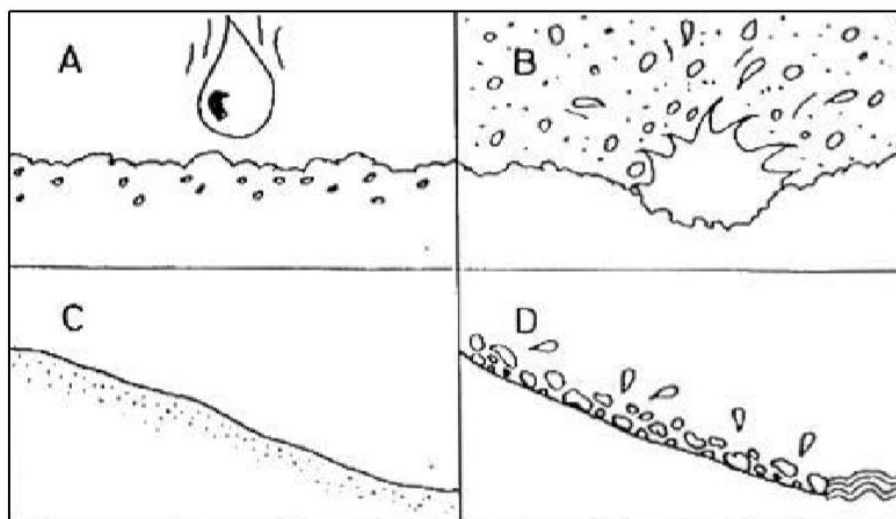
**Etapas (A) – Desprendimiento** “Esta etapa es el inicio del proceso de erosión hídrica, el cual consiste en el desprendimiento de pequeñas partículas del suelo por impacto de las gotas de lluvias sobre la superficie del suelo, mantiene en suspensión de las partículas pequeñas y en rodamiento las más grandes o gruesas.”

**Etapas (B) - Dispersión de las partículas** “En esta etapa se tapan los poros superficiales, haciendo que el suelo sea menos permeable, y empiezan a dispersar las partículas. En esta etapa tiene importancia la cobertura vegetal, ya que suelos desprovistos de vegetación son susceptibles al desprendimiento.”

**Etapas (C) - Arrastre o transporte** “En esta etapa el transporte de partículas, sucede cuando el agua no se filtra en el suelo y se origina el

escurrimiento superficial. La capacidad erosiva está determinada por la cantidad, intensidad y distribución de las gotas de lluvia.”

**Etapa (D) - Deposición o sedimentación** “En esta etapa, sucede cuando la velocidad disminuye en las partes con baja pendiente y donde las partículas comienzan a sedimentarse en la superficie.”



Fuente. Despsch et al, 1991, citado por ASTURIAS (1986)

Figura 1. Etapas de la erosión hídrica

## 2.5. Control de la erosión hídrica

La pérdida de suelo por erosión hídrica es la que mayor pérdida de fertilidad conlleva. “Por lo tanto, es preciso controlarla adoptando prácticas de cultivo y producción que cuiden el buen estado del suelo y que eviten el impacto directo de las gotas de lluvia”. La pérdida de suelo se controla reduciendo el poder erosivo de los agentes causantes y la susceptibilidad del suelo a la erosión. Dicho poder erosivo se puede reducir protegiendo el suelo con cobertura, memorando el volumen y pico del escurrimiento, reduciendo la longitud y magnitud de la pendiente, incrementando la rugosidad superficial. Por

otro lado, la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica puede reducirse perfeccionando el manejo del suelo, a través de la incorporación de rastrojo y produciendo rotaciones de cultivos y pasturas. (MANCILLA, 2008).

El cultivo en curvas de nivel, las terrazas, los desagües empastados y las represas de amortiguación, son prácticas estructurales que sostienen a las prácticas culturales como las labranzas conservacionistas. Estas prácticas estructurales son efectivas en el control y manejo del escurrimiento. La erosión laminar y la erosión en surcos, pueden ser intervenidas con las técnicas estructurales y con las actividades conservacionistas como la Siembra Directa (MORGAN, 1997).

El control de la concentración del agua se hace a través de terrazas y desagües, mientras que la desagregación del suelo, a través de la cobertura del mismo. La extensión en el uso de cualquier técnica en particular o composición de ellas depende de la naturaleza y severidad del problema.

## **2.6. Efectos de la erosión e importancia de su estudio**

Los efectos negativos que puede ocasionar la pérdida de suelo por erosión sobre terrenos agrarios pueden desencadenar la disminución de la fertilidad y profundidad efectiva o cultivable del suelo, intensificando al requerimiento de abonos y otros fertilizantes para que puede dar un desarrollo normal de los cultivos agrícolas. (NUÑEZ, 2001).

Por lo mencionado anteriormente, podemos decir que la erosión acelerada es uno de los principales factores que interviene de manera directa sobre el proceso de desertificación de los suelos. (OCAMPO, 1996)

Debido a la gran importancia y magnitud de la erosión en distintos campos como el sector agrario, el campo forestal y otras ciencias relacionadas al cuidado del medio ambiente, las investigaciones sobre la pérdida de suelo por erosión hídrica se han desarrollado ampliamente en los últimos años. (MORGAN, 1995).

## **2.7. Métodos para cuantificar la erosión hídrica**

MORGAN (1984) manifiesta que “la cuantificación se puede dividir en dos grupos: las diseñadas para determinar las pérdidas de suelo en áreas pequeñas (parcelas de escorrentía y clavo de erosión), y las diseñadas para evaluar la erosión en áreas más grandes, como una cuenca hidrográfica.” (USLE/RUSLE)

### **2.7.1. Parcelas de escorrentía**

MORGAN (1984) señala que “las parcelas de escorrentía son usadas para analizar los factores que influyen en la erosión del suelo, por la facilidad para controlar las condiciones de cada parcela. Dichas parcelas tienen datos conocidos como: grado de pendiente, tamaño, longitud de pendiente, tipo de cobertura y el tipo de suelo, lo que ayuda a medir la escorrentía y la cantidad de suelo perdido.”

HUDSON (2004) “menciona que por lo general se utilizan parcelas pequeñas de 100 m<sup>2</sup> de área con cultivo, efectos de la cobertura, rotaciones y cualquier otra práctica que se pudiera aplicar en pequeñas parcelas del mismo modo que ocurre de manera natural en las parcelas de cultivos y sin que el efecto

no se deba al tamaño de la parcela. Por lo que recomienda un tamaño razonable, en unidades métricas, sería 5 m de ancho y 20 m de largo.”

### 2.7.2. Clavos de erosión

El método de los clavos y/o rondanas pueden considerarse uno de los más sencillos y fáciles de aplicar para cuantificar las pérdidas de suelo ocasionadas por la erosión hídrica. Su efectividad ha sido comprobada en terrenos con diferentes grados de pendientes y en diverso cultivos (MENDOZA, 2005).

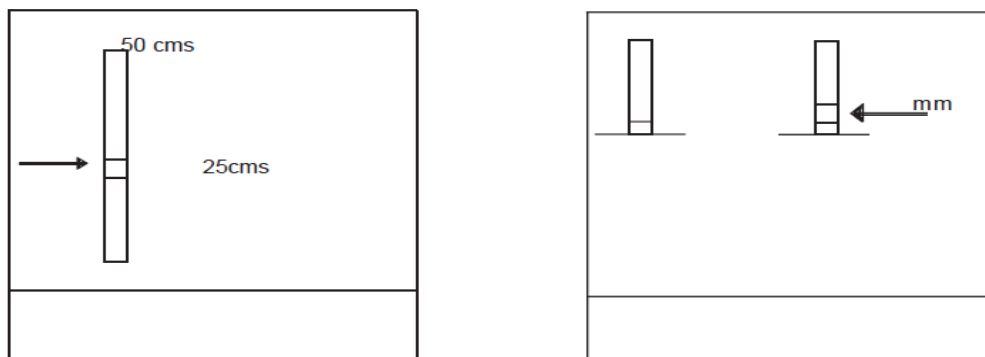


Figura 2. Método de los clavos para medir la pérdida de suelo

YOULTON (2005) indica que el método consiste simplemente en parcelas cuadradas, a las cuales se les entierran clavos largos que marcan la línea del suelo actual. Para lo cual se realiza una medición de la altura del clavo, obteniendo una medida de suelo perdido o sedimentado según el caso, con eso datos y un simple cálculo volumétrico se puede medir la cantidad de pérdida de suelo.

HUDSON (2004) sugiere que el clavo “debe ser de una extensión que se pueda clavar en el suelo”, se recomienda apropiadamente de 30 cm,

puede ser menor si se trata de un suelo poco profundo o mayor si se trata de un suelo suelto. En cuanto al diámetro” es recomendable de hasta unos 5 mm, ya que un espesor mayor puede interferir con la corriente de superficie y provocar su desgaste.”

### 2.7.3. Ecuación universal de pérdida de suelo

Este método para cuantificar y/o estimar la pérdida del suelo es una de las más conocidas y empleadas a nivel macro, se basa en una ecuación resultado del trabajo de numerosos investigadores como ZINGG (1940), que relacionó la erosión con el declive y la longitud de la ladera, (FOSTER *et al.*, 1977), que incluyó un factor climático basado en la precipitación máxima o (SMITH, 1958) que consideró un nuevo factor según el tipo de cultivo.

RODRIGUEZ (2005) menciona que esta ecuación permite predecir la cantidad de suelo que se desperdicia por erosión hídrica bajo diferentes usos y manejo del suelo, teniendo en cuenta las características físicas del terreno. Esta ecuación conocida RUSLE tiene en cuenta seis factores y su modelo matemático es el siguiente:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Donde:

**A:** “es la cantidad de suelo erosionado calculado o medido en toneladas por hectárea, es calculada producto de la multiplicación de los 6 factores mencionados.”

**R:** “es el factor de lluvia en forma de un índice (**EI30**), expresa el poder erosivo de las gotas de lluvia expresado en toneladas metro por hectárea hora o en joule por metro cuadrado, una medida de las fuerzas erosivas de la lluvia y escurrimiento asociado.”

**K:** “es el factor de erodabilidad, expresa la susceptibilidad del suelo a ser erosionado, por lo cual se evaluará las características de las partículas que conforman el suelo en estudio.”

**L:** “es el factor longitud de pendiente, indica la relación que hay entre la pérdida de suelo y la longitud (distancia horizontal) de una determinada pendiente.”

**S:** “es el factor de gradiente de pendiente, que indica el grado de inclinación del terreno en una longitud dada, este factor tiene mayor influencia en zonas sin algún tipo de cobertura.”

**C:** “es el factor de cobertura vegetal, exprese la relación de pérdida de suelo entre un área con alguna cobertura natural y otra área con las mismas características, pero sin ningún tipo de cobertura.”

**P:** “es el factor prácticas de conservación como: el desarrollo de cultivos en terrazas, o en contorno, es decir labranza en sentido a la pendiente y expresa relación de pérdida de suelo.”

RAMIREZ (2010) menciona que el resultado de (R, K, L y S) que son los cuatro primeros factores es la erosión potencial; es decir pérdida de suelo que ocurriría en la ausencia de cualquier cobertura vegetal (C) o práctica de

manejo (P). Los dos últimos factores reducen esta pérdida potencial para compensar los efectos de uso de la tierra, manejo y prácticas de conservación.

### **2.7.3.1. Factor R o índice de erosividad de la lluvia**

RAMÍREZ (2010) nos dice que “el factor R representa la capacidad potencial de las lluvias para generar erosión; es función de las características físicas de las mismas (duración, velocidad, intensidad, y tamaño de gotas)” y que los valores obtenidos están influenciados significativamente por altitud.

ANTEZANA (2001); coincide con RAMÍREZ *et al.* (2007) al mencionar que “existe una relación directa entre precipitación anual y la erosividad”, dada la definición misma de dichos índices. En la práctica la ausencia de estaciones meteorológicas limita la aplicación de esta metodología.

RAMÍREZ *et al.*, (2007) además el problema para “determinar el factor R de la RUSLE, es que para su cálculo debe contarse con registros pluviográficos diarios de muchos años históricos, y calcular la energía cinética y la intensidad de los aguaceros en forma aislada”, teniendo también las propuestas de diversos autores que ha propuesto métodos adicionales para definir el factor de la erosividad de una manera simple y adaptable a diferentes condiciones de cada región.

### **2.7.3.2. Índice modificado de Fournier**

PIZARRO (2007) e INETER (2005) mencionan que “el índice modificado de Fournier (IMF), fue propuesto por ARNOLDUS (1980), para corregir posibles desviaciones en el índice de Fournier”, considerando las

precipitaciones de todos los meses para un periodo de tiempo, considerando no solamente el mes de mayor precipitación sino a todos los meses.

ARNOLDUS (1980) mencionado por RAMÍREZ (2010) basado en investigaciones de Fournier, menciona que “el índice modificado de Fournier (IMF), es un método que usa una fórmula derivada por regresión lineal en la cual correlacionó valores conocidos de R con las lluvias medias anuales.”

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

Dónde:

i = número del mes

p = precipitación mensual en mm.

P = precipitación promedio anual en mm.

RAMÍREZ (2010), menciona que “la FAO, utilizo dicho índice, en la elaboración del mapa universal de degradación de suelo. Las ventajas que tiene es el empleo de datos meteorológicos simples y se correlacionan con valores medidos conocidos del factor R”, utilizando el índice I30. Mencionada ecuación se probó en varias partes del mundo, teniendo un alto grado de correlación (0.89)

RAMÍREZ *et al.* (2007) se realizaron investigaciones en Colombia específicamente en las zonas cafetaleras, donde evaluaron “la erosividad de las lluvias mediante índice de erosión de Fournier y esta se correlacionó con el factor de erosividad propuesto por WISCHMEIER Y SMITH (1965), teniendo una regresión lineal alta (R<sup>2</sup> = 0,92), entre ambos factores.”

Cuadro 1 Clasificación de IFM para Latinoamérica

Clase	Rango	Calificación
1	< 60	Muy bajo
2	60 - 90	Bajo
3	90 - 120	Moderado
4	120 - 160	Alto
5	> 160	Muy bajo

Fuente: Lobo *et al.* (2006), citado por RAMÍREZ *et al.*, 2007

### 2.7.3.3. Factor K o índice de erodabilidad

Este factor estima la susceptibilidad del suelo a ser erosionado. Es porque eso en ocasiones encontramos suelos con la misma característica en cuanto a precipitaciones, pendiente, cobertura y prácticas de conservación y aun así algunas zonas de erosionan en mayor cantidad que otros. Esto debido a las propiedades intrínsecas del suelo, que es estudia en este factor.

CERDA (2001) expresa que; la resistencia ante la erosión, tanto al arranque como al transporte de partículas, y determinará las tasas de erosión; textura y estructura son las propiedades más experimentadas para equilibrar los suelos en función de su susceptibilidad ante la erosión. La permanencia de los agregados es un parámetro sintético que identifica la erodabilidad del suelo.

INETER, (2005) “la erodabilidad es menor a medida que el contenido de partículas de arcilla y arena incrementan, por lo que los suelos con contenidos altos de limo y arena muy fina son más erosionables. De la misma manera VELÁSQUEZ (2008) y RAMÍREZ (2010) indican que, los suelos con alto

contenido de arcilla poseen valores bajos de K, por su aguante al desprendimiento de las partículas. Suelos con texturas medias como los francos, poseen un valor moderado de K, cerca de 0,25 a 0,4 ya que son moderadamente susceptibles al desprendimiento y producen una escorrentía moderada. Suelos con texturas gruesas, como los arenosos, tienen también bajos valores de erodabilidad, aunque estos suelos son fácilmente erodables. Suelos que contienen un alto contenido de limo son los más erodables, ya que son fácilmente desprendibles, tienden a crear una costra y producir altas tasas de escorrentía”. Los valores de K de estos suelos tienden a ser mayores que 0,4.

El nomograma gráficamente calcula el valor del factor K para un tipo de suelo en función tamaño de las partículas y como están distribuidas, es decir el contenido de materia orgánica, permeabilidad y estructura.

Cuadro 2. Clase de permeabilidad según textura

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

5 (lenta)	Franco arcillo limosa, arcillo arenosa	0.024 - 0.049	0.03 - 0.120
6 (muy lenta)	Arcillosa arcillo limosa	<0.024	<0.03

Fuente: USDA, 1983, citado por FLORES (2015)

Cuadro 3. Estructura del suelo a profundidades de 15 a 18 cm

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

Fuente: USDA, 1983, citado FLORES (2015)

$$100 K = 0.1317 * [2.1 * (M1.14/10000) * (12-a) + 3.25(b-2) + 2.5(c-3)]$$

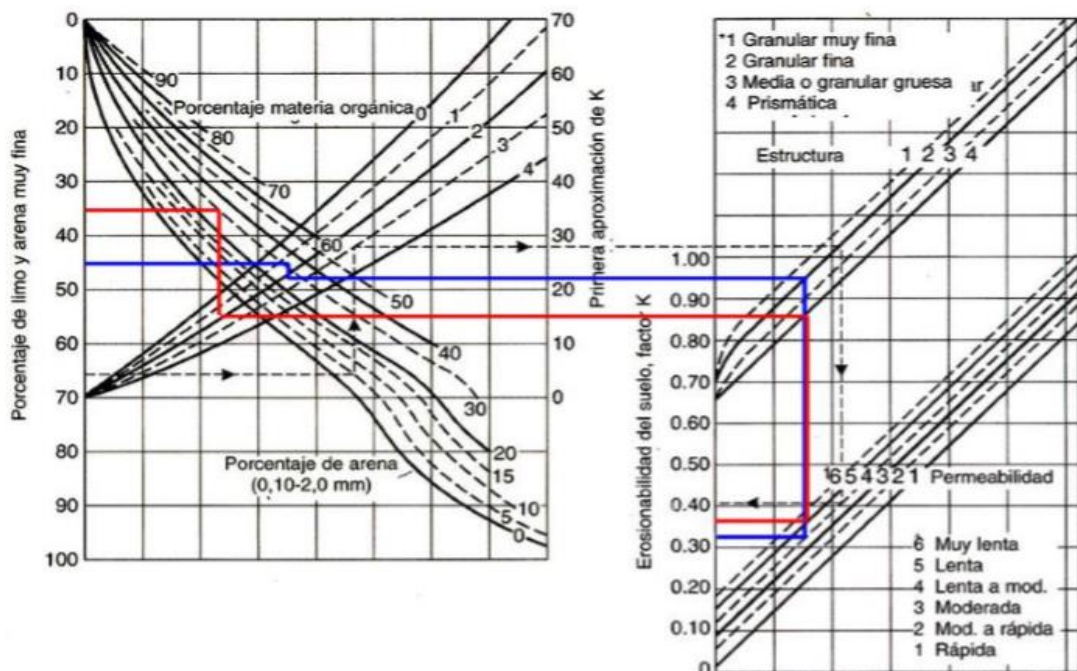
Dónde:

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

a = Materia orgánica (%)

b = Clase de estructura

c = Clase de permeabilidad



Fuente. WISCHMEIR Y SMITH, (1978), citado por SOLANO (2016)

Figura 3. Nomograma para determinar el factor K

#### 2.7.3.4. Determinación del Factor LS

El factor LS es resultado de la multiplicación de dos factores “L” y “S”, dicho producto interpreta la importancia de la orografía en la erosión hídrica, el factor L que viene a ser la longitud promedio de la inclinación del terreno y el factor S es la inclinación de este (WISCHMEIER Y SMITH, 1978).

RAMÍREZ (2010), a este factor también se le conoce como factor topográfico, ya que expresa el efecto del relieve sobre la pérdida de suelos, representando el efecto del largo y grado de la pendiente. A lo que (INETER 2005), añade que a medida que la escorrentía se acumula en una pendiente alargada, su capacidad de transportar y desprender se incrementa.

#### Longitud de la pendiente o factor L

FLORES (2015), el factor “L es la longitud de la pendiente y representa su efecto en la erosión. Este factor viene a ser la relación entre la pérdida de suelo con respecto a la longitud de una parcela de 22.13 m en el mismo tipo de suelo y gradiente. La longitud de la pendiente está dada por la distancia desde el inicio de la escorrentía a lo largo de su vía de flujo hasta donde se concentra el flujo o donde se deposita el suelo desprendido”.

### Determinación por el método de Renard

RENARD *et al.* (1997), citado por BARRIOS y QUIÑONEZ (2000) y VELÁSQUEZ (2008), menciona que “el factor LS se estima aplicando las ecuaciones empleadas en el modelo de estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica” (RUSLE).

La longitud de la pendiente se precisa como la distancia horizontal desde donde empieza el flujo superficial al lugar donde empieza la deposición o donde la escorrentía fluye a un canal definido (FOSTER *et al.*, 1977), citado por BARRIOS y QUIÑONEZ (2000).

$$L = \left( \frac{\lambda}{22,13} \right)^m \quad m = \frac{F}{(1+F)} \quad F = \frac{\sin \beta / 0,0896}{3(\sin \beta)^{0,8} + 0,56}$$

El factor L con el área de drenaje apartadora (DESMET y GOVERS, 1996), citado por VELÁSQUEZ, (2008).

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

Donde:

$\lambda$ : “es la longitud de la pendiente (m)”

$m$ : “es el exponente de la longitud de la pendiente y

$\beta$ : “es el ángulo de la pendiente”.

### Determinación por el método Mintegui

CABREJOS (2016) hace referencia que este es un método fácil de aplicar, al utilizar un tabla donde permite asignar directamente valores al factor “LS” (adimensional), en función a al pendiente del terreno. La asignación de los valores fue calculados por alumnos de la universidad de Madrid, España – facultad de hidráulica e hidrología. En el Cuadro 4, se ilustra los valores mencionados para el cálculo del factor LS.

Cuadro 4. Factor LS en función de la pendiente

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

Fuente: MINTEGUI (1983), citado por RAMOS (2001) y GARCÍA (2005)

### Gradiente de la pendiente o factor S

FLORES (2015) menciona que “el factor S representa el grado de inclinación de la pendiente, es decir incorpora los efectos de la inclinación en la erosión. La pérdida de suelo por erosión hídrica aumenta con rapidez en función a pendientes muy escarpadas a diferencia que con el incremento en longitud de la pendiente. Se precisa como el cociente de la pérdida de suelo en el campo entre la que ocurre en una parcela de 9% de pendiente bajo idénticas escenarios”. La relación entre la pérdida del suelo y la gradiente se ve influenciada por el tamaño de las partículas del suelo y la densidad de la cobertura vegetal.

El “factor S El ángulo que se toma como el ángulo medio a todos los subgrids en la dirección de mayor pendiente” mencionados por BARRIOS y QUINONEZ, (2000).

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

VELÁSQUEZ (2008), menciona que al aplicar esta fórmula en el “raster calculator” de ArcGis se debe considerar que el ángulo deberá ser convertido a radianes (1 grado sexagesimal = 0,01745 radianes), de esa manera pueda ser multiplicado por los demás elementos de las ecuaciones universal de perdida de suelo por erosión hídrica.

### **2.7.3.5. Cobertura vegetal o factor C**

La utilidad de la cobertura vegetal es que actúa como una capa amortiguadora y/o protectora del suelo antes efectos de las lluvias. Gracias a los elementos que conforman la cubierta vegetal como los tallos y hojas de las

plantas, absorben gran parte de la fuerza de las gotas de lluvia, así como también del viento, de esa manera su efecto es mucho menor que si impactarían directamente con la superficie del suelo, mientras que los elementos subterráneos como las raíces, favorecen a la resistencia mecánica del suelo, para evitar el desprendimiento en lo posible. (MORGAN, 1984).

De acuerdo a KIRKBY y MORGAN (1984), el factor de la cobertura vegetal (factor C) su efecto se da a secuencias en la cobertura vegetal (en el sector agrario), los tipos de cobertura vegetal, y la cantidad de aguaceros caídos durante los períodos en que las prácticas agrícolas dejan descubierto el suelo.

El factor "C" es la relación existente entre el desgaste del suelo en una zona cultivada y en zonas descubiertas. Este análisis se hace teniendo condiciones similares en cuanto al tipo de suelo, precipitaciones, pendiente, entre otros. (GRUPO TRAGSA, 1998).

Para la asignación del factor "C", se tienen que hacer un estudio de las coberturas existentes en la zona de estudio, una vez obtenido las coberturas se evalúa en función a la tabla publicada por WISCHMEIER, (1978), donde recomienda los valores de C para los tipos más comunes coberturas y cultivos

Cuadro 5. Factor C según uso del suelo

Cultivo y Práctica	Media anual del factor C
Suelo desnudo	1,00
Bosque	0,001
Arroz	0,60
Caña de azúcar	0,10 – 0,20
Arbolado denso	0,001 – 0,003
Arbolado forestal claro	0,003 – 0,009
Arbolado forestal muy claro	0,041
Cultivos anuales y herbáceos	0,25
Pasturas	0,15
Purma	0,035
Cubierta escasa (60%)	0,15 – 0,09

Fuente: WISCHMEIER Y SMITH (1978), citado por RAMOS (2001) y VILLANUEVA (2015).

### 2.7.3.6. Prácticas de conservación o factor P

La presencia de cobertura vegetal, no reduce o evita la ocurrencia de escurrimiento superficial. En ese caso, la aplicación de buenas prácticas de conservación de la tierra minimiza los efectos del dicho escurrimiento del agua. Por lo que en la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE), se incluye el factor “P” de prácticas de conservación para tres casos:

1. Labranza siguiendo las curvas de nivel (cultivo en contorno)
2. El empleo de fajas de cultivo en contorno
3. El empleo de terrazas

Cuadro 6. Valores para el Factor P

Pendiente (%)	Cultivo en contornos o curvas de nivel		P para cultivos en terrazas
	P*	Longitud máxima de ladera (m)	
1 - 2	0,60	122	0,12
3 - 5	0,50	91	0,10
6 - 8	0,50	61	0,10
9 - 12	0,60	37	0,12
13 - 16	0,70	24	0,14
17 - 20	0,80	18	0,16
21 - 25	0,90	15	0,18

Fuente: WISCHMEIER Y SMITH (1978), citado por CABREJOS (2016)

En la presente investigación no se ha considerado este actor, por lo que no se observan prácticas de conservación, citamos el cuadro anterior de manera referencial.

### 2.7.3.7. Pérdida de suelo o Factor A

Es el producto de los seis factores anteriormente mencionados dicho modelo procede del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), quien trabajó desde principios de siglo en el tema y consiguió analizar más de 10 mil parcelas por año, para que en 1954 presentara la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo, o más conocida como USLE.

Por su parte RAMOS (2001), advierte hace inca pie en los límites permisibles en cuando a la perdida de suelo por erosión hídrica, los limites aceptados mundialmente varían de 10 - 12 tm/ha/año, y en áreas con humedad

pueden aceptarse hasta los 24.5 tm/ha/año, por encima de estos rangos no se asegura la conservación de las tierras agrícolas, ya que la pérdida de los suelos es más rápida que la creación.

## **2.8. Aplicación de los SIG en los estudios de erosión hídrica**

Gracias al desarrollo de las nuevas tecnologías de los sistemas de información geográfica (SIG), en los últimos años han sido desarrollados gran cantidad de artículos científicos y trabajos, donde se analizó la erosión a diferentes escalas (DUMAS, 2012).

Los SIG nos dan grandes ventajas al momento de realizar trabajos en grandes extensiones, que nos permite modelar la realidad en base a datos recolectados en campo en el caso de modelamiento para el análisis de la pérdida de suelo por erosión hídrica, nos permite superponer diferentes variables, que para el presente debe estar en una capa, ya sea en formato ráster o vectorial, en este caso las variables involucradas son: “la de erosividad o conocido como factor R, factor erodabilidad o llamado factor K, cobertura vegetal, gradiente de pendiente y prácticas de conservación”, por lo que se puede decir que los SIG presentan grandes ventajas a la hora de implementar estos modelos geoespacial en el análisis de erosión hídrica, que permite procesar y operar gran cantidad de datos implicadas en el modelo.

## **2.9. Antecedentes de investigaciones similares**

### **2.9.1. “Aproximación de riesgo por erosión hídrica aplicando un SIG en la subcuenca Shambillo, distrito de Padre Abad”**

FLORES (2015), realizo su trabajo de investigación en la subcuenca Shambillo ubicado en la provincia de Padre Abad – Aguaytia, la metodología utilizada fue “la Ecuación Universal de Perdida de Suelo Modificada (USLE/RUSLE), aplicando SIG y técnicas de teledetección. El factor de erosividad o factor “R” se determinó mediante dos métodos: el IMF y la ecuación Foster, con valores de 380.88 - 451.84  $Mj*mm/ha*h*año$  y 786.1 - 935.3  $Mj*mm/ha*h*año$  respectivamente, en cuanto al factor de Erodabilidad o factor “K” se obtuvo que la erodabilidad varia de 0,027– 0,048  $tm*ha*h/MJ*ha*mm$ , el factor LS se determinó con valores entre 0.03 – 247.98, así mismo, se determinó el factor C, asignándole a cada uso de suelo valores que oscilan entre 0.0047 – 0.95, para el factor “P” se asumió un valor del igual a 1, al considerarse que en la subcuenca no se aplica ninguna práctica de conservación de suelos. Se estimó la perdida de suelo por erosión hídrica de manera potencial es decir sin considerar la cubierta vegetal, alcanzándose valores anuales medios de 0.3496 - 2,810.64  $ton/ha/año$ , y un valor medio anual 71.46  $tm/ha/año$ . Finalmente se logró estimar y validar la pérdida los suelos por erosión hídrica del área en estudio, a través de la metodología USLE/RUSLE, obteniéndose valores que oscilan entre 0 a 1,132.64  $tm/ha/año$  y una perdida media anual 26.87  $tm/ha/año$ ”. Llegando a la conclusión que el 99.80% de la superficie de la subcuenca presenta grado de erosión baja a moderada y el 0.2 % presenta grado de erosión muy crítica que sobrepasa los límites permisibles pero para el área de estudio no presenta significancia.

### **2.9.2. “Aplicación del modelo USLE/RUSLE para estimar la pérdida de suelos por erosión hídrica en la microcuenca Puente Pérez - Tingo María”**

DEL ÁGUILA (2010), en la microcuenca Puente Pérez, se planteó la siguiente problemática ya que dicha microcuenca: en la provincia de Leoncio Prado al año 2003, se han deforestado 105,611.00 hectáreas que comprende el 21% del territorio de la provincia y que corroboro con otro autor donde indica que la selva peruana presenta el 14.83% de tierras erosionadas por acción de las erosión hídrica y que la microcuenca de estudio esta sujeta a la realidad, debido a que se presencia deforestación de los bosques, que en su gran mayoría fueron para la siembra de hoja de coca y además otros cultivos en limpio; los efectos es mayor debido a que se da manera migratoria constante, por otra parte las características propias de la zona como son las fuertes pendientes, máximas e intensas lluvias y tierra ácida con bajo contenido de materia orgánica.

En su investigación que “realizo en la microcuenca Puente Pérez ubicada en el distrito de Mariano Dámaso Beraún - Las Palmas, provincia de Leoncio Prado, teniendo como objetivo conocer la tasa de erosión hídrica en dicha microcuenca. Obteniendo los siguientes resultados, del total del área de la microcuenca Puente Pérez, el 82% presenta niveles de erosión de baja a moderada y el 18% restante sobrepasa los límites tolerables o aceptables. Además, en su trabajo de investigación realizó el análisis de correlación entre la erosión (actual) y el factor “C” (cobertura vegetal), determinando que la cobertura y uso de la tierra incluye de manera directa en el proceso de erosión hídrica, encontrado un valor para  $R = 0.87$ ”. Dicho estudio mencionado nos sirvió mucho de guía para la elaboración de nuestra investigación ya que se encuentra ubicado en la misma provincia y región, ya que comparten muchas características similares en ya se en topografía, edafológicas, climáticas, tipos

de coberturas vegetales entre otros. Y además nos servio para hacer la comparación y las discusiones en nuestro trabajo.

### **2.9.3. “Influencia de la cobertura en la variación de la erosión hídrica en parcelas demostrativas del bosque reservado de la universidad nacional agraria de la selva”**

TRUJILLO (2009), “realizo un experimento en cinco parcelas de escorrentía ubicadas en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS), teniendo como objetivo determinar la influencia de la cobertura en la variación de la erosión hídrica. La duración de sus evaluaciones en campo fue de 7 meses en el periodo de junio del 2008 a enero del 2009. Sus resultados indicaron que a los 7 meses las coberturas en el primer tratamiento (T1), logro cubrir el 85% de la parcela, en el cuarto tratamiento (T4) el 78%, en el segundo tratamiento (T2) el 68% y el tercer tratamiento el 62%. Analizando los resultados con los diferentes métodos aplicados: por el método de parcelas de escorrentía obtuvo una pérdida de suelo de 34.51 tn/ha/7meses encontrándose en el grado de erosión alto, por el método de clavos de erosión fue de 15.60 tn/ha/3meses, por el método de Ecuación de la erosividad fue de 20.33 tn/ha/año y por ultimo aplicando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) el resultado obtenido fue de 18.32 th/ha/año”.

### **2.9.4. “Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la subcuenca del río Shullcas 2000 – 2013, Huancayo”**

SOLANO (2016), realizo su investigación en la sub cuenca del rio Shullcas que tiene una superficie de 23251.51 ha, su principal objetivo fue

estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica para el año 2000 y 2013, como objetivos específicos fueron: estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando el modelo USLE; determinar los grados de erosión tanto erosión hídrica real y potencial y el tercer objetivos fue determinar los cambios de erosión hídrica a consecuencia del cambio de los usos de suelos y coberturas vegetales. Para lo cual realizo con métodos generales y específicos, en lo que realizo análisis de las series temporales de precipitaciones mensuales y el análisis de la cobertura y el uso del suelo con la ayuda de los sistemas de información geográfica (SIG). Donde se obtuvo los siguientes resultados: La tasa de erosión más alta se obtuvo en el año 2013 con 163.13 tn/ha/año esto en zonas sin coberura y la más baja en el año 2000 se dio en zonas con cobertura de bofedales con 1.69 tn/ha/año, a nivel de subcuenca se generó obtuvo pérdida de suelo de 29.29 tn/ha/año en el año 2000 y 30.91 tn/ha/año promedio en el año 2013, así mismo en el 47.20% de la subcuenca se genera una erosión hídrica alta potencial (50 - 200 tn/ha/año), caso contrario solo el 3.51% y 4.35% generan una erosión hídrica real del mismo nivel para el año 2000 y 2013 respectivamente, así también el 13.14% y 13.91% de la subcuenca en el año 2000 y 2013 generaron erosión hídrica no permisible (> 10 tn/ha/año) de los cuales las superficies sin vegetación ocupan mayor porcentaje y últimamente entre el año 2000 y 2013 las zonas con erosión no permisible vio extender su superficie en 2.87% a nivel de la subcuenca, gran parte debido al aumento de cultivos en secano con 1.96%.

**2.9.5. “Modelamiento geoespacial en la determinación del riesgo, vulnerabilidad y cuantificación de la erosión hídrica en la microcuenca del rio Atuen – Amazonas”.**

CABREJOS (2016), “realizo la presente investigación en la microcuenca del río Atuen en la región Amazonas, tuvo como propósito la identificación de las áreas erosionadas y susceptibles a ser erosionadas, según el nivel de intensidad, utilizando la Ecuación Universal de Perdida de Suelo (USLE) y finalmente el estudio consistió en proponer alternativas de conservación y/o protección en la áreas afectadas por la erosión hídrica. La investigación se basó primero en la recolección de datos de manera física y temática (digital), como cobertura vegetal, tipo de suelo, precipitaciones, geología, pendiente, fisiografía e información económica y social de la zona de estudio, por lo que se realizó trabajo de campo y descarga de imágenes satelitales con el propósito de interrelacionar con la ayuda de los sistemas de información geográfica (SIG), tanto la parte física, biótica y social, otorgándole un calificación y ponderación a cada uno de las variables según el grado de incidencia y posteriormente se procedió a la aplicación de modelo USLE. Llegando a la siguiente conclusión; las áreas que presentan mayores niveles de erosión se encuentran en las riberas de los ríos y en las partes altas de las cuencas, que es donde presenta niveles socioeconómicos bajos”. Esta investigación nos ayudó para ver la metodología en el proceso de recopilación de información tanto física o en digital (cartográfica) e información socioeconómica de la nuestra zona de estudio, con dicha información obtenida y con la ayuda de los sistemas de información geográfica se realizó el modelamiento geoespacial de las información de las diferentes variables a utilizar, que al final nos ayudó mucho en la calificación y ponderación de cada uno de las variables según el nivel de incidencia o importancia para el presente trabajo de investigación.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Descripción de la zona de estudio**

##### **3.1.1. Ubicación**

El presente estudio se ejecutó en toda cuenca del río Supte en una extensión de 7945,18 ha, ubicada en la “provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco; se encuentra aproximadamente a 15 minutos de la ciudad de Tingo María”, localizada en coordenadas geográficas proyectadas (UTM WGS 84 Zona 18 S) a: 395 148 m E, 8 973 950 m N a 640 m.s.n.m.

##### **3.1.2. Características climáticas**

Según los registros de la estación meteorológica Supte, la precipitación promedio anual alcanza los 3179 mm, para un año húmedo alcanza los 3 860 mm, asimismo la temperatura promedio es 24.31 °C, la temperatura máxima 25.70 °C y la temperatura mínima 19.5 °C, mientras la humedad relativa mensual 85.67% (HOLDRIGUE 1993) y (INRENA 1995)

##### **3.1.3. Ecología**

Según la clasificación climática del Perú Leoncio Prado la región natural de Rupa Rupa o selva alta pertenece a la zona de vida bosque muy húmedo montano Tropical, con un clima cálido-húmedo-lluvioso, con abundantes precipitaciones pluviales, sobre todo durante los meses de noviembre a marzo. (MANRIQUE DE LARA y CHAVEZ, 1996)

### 3.1.4. Geología

El área de estudio geológicamente está constituida, casi en su totalidad, por rocas calizas y en menor grado de limonitas y lutitas suaves en proceso de edafización avanzada. Los suelos son por lo general, ácidos y las partes de laderas empinadas y escarpadas expuestas a una fuerte erosión por la alta pluviosidad (MANRIQUE DE LARA y CHAVEZ, 1996)

### 3.1.5. Fisiografía

La fisiografía es producto de diversos factores como los tectónicos, orogénicos, litológicos y climáticos, propios de las regiones naturales Rupa Rupa y omaguas, con características propias, representadas por quebradas escabrosas, colinas altas y bajas con pendientes irregulares moderadas. (MANRIQUE DE LARA y CHAVEZ, 1996). En el Cuadro 7, se observa las unidades fisiográficas de la cuenca Supte.

Cuadro 7. Unidades fisiográficas de la zona de estudio

N°	Descripción	Simbología	Área (ha)	Porc. (%)
1	Terraza Baja inundable	TBI	1597.81	20.11
2	Terraza Baja no inundable	TBNI	69.99	0.88
3	Terraza media ondulada	TMO	53.50	0.67
6	Terraza media plana	TMP	757.13	9.53
4	Terraza alta ondulada	TAO	206.43	2.60
5	Terraza alta plana	TAP	121.22	1.53
7	Lomadas	Lo	175.54	2.21
8	Colinas bajas modernamente disectadas	CBMD	477.02	6.00
9	Colinas bajas ligeramente disectadas	CBLD	315.47	3.97
10	Colina alta fuertemente disectada	CAFD	215.79	2.72
11	Colinas altas moderadamente disectadas	CAMD	1623.90	20.44
12	Colinas altas ligeramente disectadas	CALD	313.94	3.95
13	Montaña baja	MB	1910.39	24.04
14	Montaña alta	MA	107.05	1.35
Área total			7945.18	100.00

Fuente: Elaboración propia

### **3.1.6. Hidrografía**

El cauce principal de la cuenca del “Rio Supte” es alimentada por dos afluentes de aguas que nacen de las vertientes (manante, puquial u ojo de agua), la primera vertiente se encuentra ubicado en las coordenadas UTM E: 393740 m., N: 8972466 m. y con una altitud de 640 m.s.n.m y la segunda vertiente se encuentra ubicado en las coordenadas UTM E: 393332 con N: 8972371 con una altitud de 670 m.s.n.m, finalmente desemboca en el río Huallaga.

### **3.1.7. Accesibilidad**

La vía principal de acceso para llegar a la zona de trabajo es la carretera Tingo María – Supte San Jorge abarcando una distancia de 1 Km de carretera afirmada en un tiempo aproximado de 15 minutos en motocicleta y 25 minutos en trimóvil (bajaj).

## **3.2. Materiales y equipos**

### **3.2.1. Materiales**

- Cartas Nacionales 19K y 19L a escala 1:100,000 elaborado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

- Imágenes Satelital Sentinel 2A resolución espacial de 10, resolución temporal de 16 días y la resolución espectral de 11 bandas. Año 2018

- Registro de las precipitaciones totales mensuales, observada en las estaciones meteorológicas Tingo María, Tulumayo y Supte.

- Hierro liso de 3/8

- Pintura 1/2 galón (cualquier color menos verde)

- Cinta métrica 1 de 10 m
- Libreta de campo
- Machete.
- Botas.
- Pala recta.
- Bolsas de polietileno.

### **3.2.2. Software**

- ArcGIS 10.4
- Microsoft Office (Word, Excel).
- QGIS

### **3.2.3. Herramientas y equipos**

- GPS Garmin Map 64 S.
- Cámara digital.

## **3.3. Metodología**

### **3.3.1. Recolección de datos**

#### **- Muestro de suelo**

El muestreo de los suelos se realizó por homogeneidad en función a los puntos estratificados por unidades fisiográficas (a nivel de elemento del paisaje), para la extracción de la muestra de suelo se utilizó la pala recta, el método de obtención de muestras consistió en sustraer la capa superficial arable de los suelos entre 0.10 – 0.20 m de profundidad con un ancho de 0.15m x 0.15m aproximado, obteniendo así un 1.00 kg de peso promedio por muestra. En total fueron 25 muestras que fueron llevadas al laboratorio de análisis de suelos de la

facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para determinar el análisis de textura (método del hidrómetro), contenido de materia orgánica (método de Walkley y Black).

**- Recolección de información cartográfica y satelital**

Se recopiló información cartográfica del Instituto Geográfico Nacional - IGN, Geoportal del MINAM, MTC, MINEDU entre otras instituciones; límites políticos, la red vial, red hidrográfica, centros poblados, curvas de nivel en formato shapefile, dicha información sirvió para elaboración de un mapa base.

**- Clasificación de cobertura vegetal del suelo (factor C)**

En primero lugar se descargó imagen satelital Landsat 8 OLI del año 2018 mes de agosto, del servidor USGS Earth Explorer, además se descargó imágenes secundaria para utilizarlo como apoyo, estas fueron descargadas del servidor SasPlanet.

**- Procesamiento digital de imágenes satelitales**

Con la información cartográfica y satelital recopilada, se procedió a realizar el pre procesamiento, que involucra realizar la ortorectificación de la imagen satelital, esto fue realizado en el software Qgis. 3.4, utilizando el "Plugin" Semi-Automatic Classification, donde se cargaron las imágenes satelitales y como primer paso se realizó la verificación de la georeferenciación en base a la cartografía oficial, para luego realizar el corte de las imágenes con la zona de estudio (polígono de la cuenca del rio Supte), y posterior a ello se realizó la

corrección atmosférica, teniendo como resultado imágenes en niveles de reflectancia por cada banda.

### **- Clasificación no supervisada**

La clasificación no supervisada de la imagen satelital, se realizó definiendo la cobertura y uso de la tierra, utilización de una leyenda jerárquica que define tipos de coberturas mutuamente excluyente y homogénea a diferentes escalas. Teniendo en cuenta la necesidad de trabajar bajo una metodología estándar y conociendo del esfuerzo realizado por el MINAM y la Universidad Agraria la Molina en el marco del proyecto análisis de las dinámicas de cambio de cobertura de la tierra en la comunidad Andina en este mismo sentido, se utilizó la metodología utilizada por el MINAM para determinar la cobertura vegetal y uso de suelos

### **- Verificación en campo**

Teniendo las coberturas y usos de la tierra previamente identificadas en gabinete se procedió al reconocimiento en campo y con la ayuda de un Receptor GPS navegador se procedió a tomar coordenadas y anotar el tipo de cobertura existente en cada punto de muestro; principalmente en aquellas zonas donde se detecta mayor complejidad para la identificación y delimitación de los diferentes tipos de cobertura, con el propósito efectuar las correcciones necesarias para garantizar la calidad de los resultados.

### **- Clasificación supervisada**

Este proceso de clasificación se llevó a cabo utilizando el software Qgis 3.4 y el "Plugin" Semic-Automatic Classification, donde se cargó la imagen satelital Landsat 8 OLI y las coordenadas tomadas en campo, luego según estas se creó las "áreas de entrenamiento", y se realizó el análisis de la firmas espectrales para cada una de las coberturas identificadas, y posteriormente se asignó los nombre definitivos teniendo como resultado la capa de coberturas y usos de la tierra en formato raster, a la cual se convirtió a formato vectorial para realizar el pos-procesamiento, donde se eliminando áreas menores a cuatro hectáreas (AMC) de acuerdo a la escala de trabajo (1:50,000), y proceso de suavizado.

#### **3.3.2. Clasificación de la cobertura vegetal**

##### **- Estimación de valores para el factor C**

Finalmente se usaron la tabla publicada por los investigadores PORTA Y LÓPEZ (2003) que definen valores del factor "C" para los usos y coberturas vegetales, dichos valores fueron ingresados a la tabla de atributo de la capa coberturas y uso de la tierra, definida en el paso anterior y posteriormente dicha capa fue convertida a un formato raster según valores del factor "C".

El valor de C será cada vez menor a medida que haya una cobertura vegetal sobre el terreno, de esta manera los valores de C fluctúan entre 0.0 y 1.0, estos valores correspondientes a un terreno totalmente protegido (0.0) y uno totalmente desprotegido (1.0). Dichos valores se muestran en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Valores promedios de coeficiente de escorrentía o factor C.

Cultivo y práctica	Valor del factor C
Suelo desnudo	1
Bosque o matorral denso	0.001
Sabana o pradera herbácea en buenas condiciones	0.01
Sabana o pradera herbácea sobre pastada	0.1

Cuadro 9. Continuación de valores promedios de coeficiente de escorrentía o factor C.

Maíz, sorgo o mijo: con laboreo convencional	0.20 – 0.55
Algodón	0.40 – 0.70
Pradera herbácea	0.01 – 0.025
Trigo	0.10 – 0.40
Arroz	0.10 – 0.20
Palmera, cafeto, cocotero con cobertura vegetal	0.10 – 0.30
Piña	0.10 – 0.40
Caña de azúcar	0.13 -0.40
Cafeto	0.05
Plátano	0.05 – 0.10
Papaya	0.21

Fuente: PORTA Y LÓPEZ (2003)

### 3.3.3. Factor longitud y gradiente de la pendiente (LS)

RAMIREZ (2010), menciona que “este factor también se le conoce con el nombre de factor topográfico, debido a que explica el efecto del relieve sobre la pérdida de suelos, representando el efecto de la longitud de grado de la pendiente. Según (Renard *et al*, 1997) citado por (BARRIOS y QUIÑONEZ, 2000) y (VELASQUEZ, 2008) el factor LS se calcula aplicando utilizando información cartográfica como son los modelos de elevación digital, conocido por

sus siglas en ingles DEM”, obtenido a partir de las cartas nacionales del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

**- Modelo de elevación digital**

A partir de las cartografía base (curvas de nivel) a escala 1: 100,000, se generó el modelo de elevación digital (DEM) utilizando las herramienta 3D análisis de software ArcGis y posteriormente se ejecutó la herramienta “slope” de la caja de herramienta análisis espacial del ArcGis, obteniendo como resultado una capa raster de pendiente en grados. Además a partir de DEM se generó las capas de acumulación y dirección de flujo.

**- Determinación de Factor L**

Para la determinación del sub factor “L” se utilizó la herramienta “Raster Calculator” del software ArcGis, para lo que se utilizaron formulas según la metodología de (Foster et al, 1977 citado por Barrios y Quiñones, 2000) y (Velázquez, 2008), donde considera el área aportadora unitaria a la entrada o tamaño de pixel del raster.

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

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

Donde:

$L$  = Factor de longitud de la pendiente,  $m$  = Exponente adimensional,  $(i,j)$  = es el área aportadora unitaria a la entrada de un pixel (celda),  $D$  es el tamaño del pixel del raster y  $F$  = se define con la siguiente ecuación .

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

Donde:

$\phi$  = Pendiente en grados, el cual lo multiplicaremos por "0.01745" para obtener información en radianes, tal como lo solicita la ecuación.

#### - Determinación de Factor S

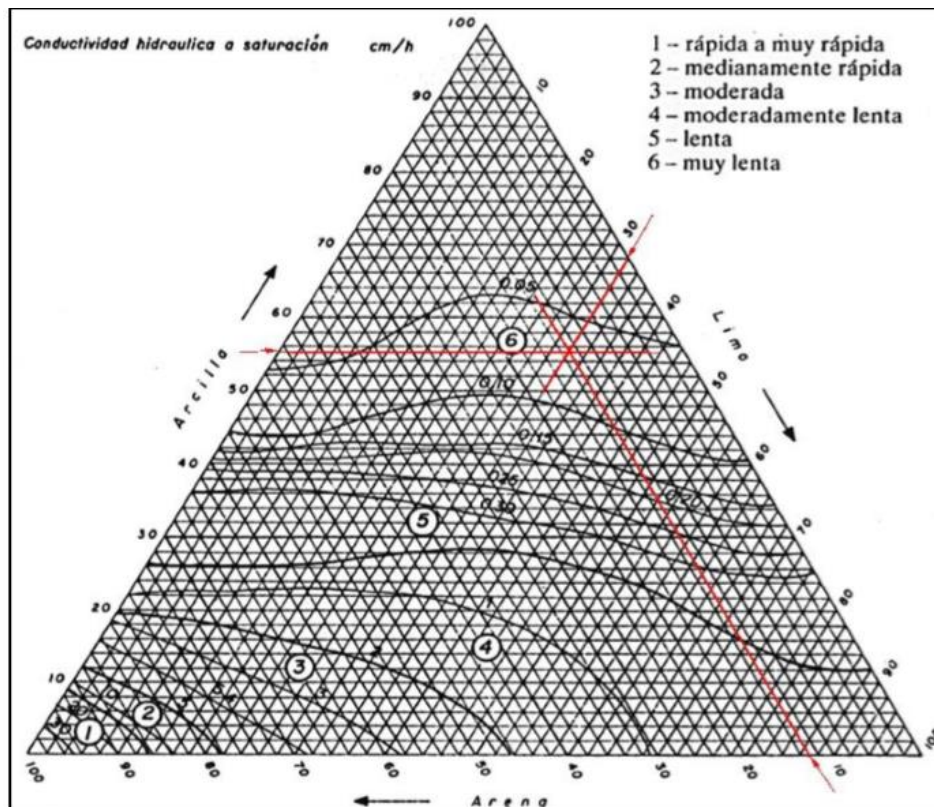
Para determinar "el factor "S" se utilizó como insumo la capa de pendientes en grados, para lo cual se utilizó la herramienta "Raster Calculator", mediante la condición propuesta por ( Barrios y Quiñonez, 2000), donde compara la pendiente de cada pixel con la pendiente unitaria de valor 9%, indicada en la siguiente ecuación".

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

Finalmente, con la utilización de la herramienta "Raster Calculator" del programa de sistemas de información geográfica ArcGis, se multiplicaron los sub factores "L" y "S" para obtener una capa raster con valores del factor topográfico "LS".

#### 3.3.4. Factor de erodabilidad del suelo (K)

El factor de erodabilidad (factor k), se determinó en base a los resultados de los análisis de las muestras de suelos del laboratorio, y con dichos resultados (textura) se procedió al cálculo de la permeabilidad utilizando el triángulo de permeabilidad que se muestra en la Figura 4.



Fuente. Soil Taxonomy del USDA

Figura 4. Triángulo de permeabilidad

Posteriormente se realizó el cálculo del factor K, en una hoja de cálculo Excel, para cada uno de los punto de muestreo, donde se empleó la siguiente ecuación propuesta por (WISCHMEIER, 1978) y modificado por FAO (1990).

$$K = (2.713 \times 10^{-6}) (12 - Om) M^{1.14} + 0.0325 (s - 2) + 0.025 (p - 3)$$

Donde:

Om: Porcentaje de materia orgánica

M: parámetro de fracciones finas

s: Índice de estructura

p: Clase de permeabilidad

#### - **Análisis espacial e interpolación**

Una vez obtenido dichos factores K, estos datos se insertó en el software ArcGis, con las cuales se generó un archivo shapefile (vector) de los puntos de muestreo, conteniendo en uno de sus campos el valor del factor “K” para cada muestra, con las cuales donde se interpoló utilizando el método Inverse Distance Weighted (IDW), teniendo como resultado una capa raster de erodabilidad.

#### **3.3.5. Estimación del factor de erosividad (R)**

Desde el punto de vista de precipitación, el índice de erosividad (factor R) de la lluvia es un parámetro estimado a partir de datos de las características de la lluvia que se correlacionan significativamente con las pérdidas de suelo, de acuerdo a (BARRIOS y QUIÑONEZ, 2000) la capacidad potencial es debida a la energía y la intensidad de la lluvia.

Para la hallar el índice de erosividad primero se trabajó el registro de datos pluviométricos, proporcionadas por las siete estaciones meteorológicas de la zona de influencia de la cuenca, en la que podemos indicar las estaciones de Tulumayo, Pavas, Bella, Supte, Pendencia, Anda y Tingo María, luego se realizó el análisis de consistencia de los datos.

Para el cálculo del factor de erosividad (R), en esta investigación se utilizó la modificación del índice de Fournier, propuesto por FAO (1990):

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

Donde:

R = Erosividad de la lluvia

P<sup>2</sup> = Precipitación mensual en cm

P = precipitación en cm

Una vez obtenido el índice de erosividad (R), se procedió a insertar estos datos al software de sistema de información geográfica, en este caso ArcGIS en formato shapefile (vector), y con lo que se creó un raster por medio del método de interpolación spline, para toda la cuenca.

#### - **Factor de prácticas de conservación (P)**

El factor de prácticas de conservación o conocido como factor "P", se asumió el valor de uno (1), ya que se observó que en la cuenca Supte no se realizan prácticas de talud de conservación o barreras para evitar la erosión del suelo.

#### - **Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica**

La ecuación universal de pérdida de suelo revisada (RUSLE), es un método cuantitativo de evaluación indirecta de la pérdida de suelo por procesos de erosión hídrica, determinado también factor "A". Se realiza a partir de la

modelización de la respuesta del sistema natural suelo frente a la precipitación pluvial. Esta ecuación es un modelo paramétrico que atribuye significativamente a seis factores que responden a las características ambientales determinantes de la erosión, todos ellos considerados independientes (ALMOROX *et al.*, 1994).

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Donde:

- A: Pérdida de suelo por erosión hídrica
- R: Factor de erosividad
- K: Factor de erodabilidad del suelo
- L: Factor de longitud de pendiente
- S: Factor de gradiente de pendiente
- C: Factor de cobertura vegetal
- P: Factor de prácticas de conservación

#### **- Estimación de la erosión potencial**

La erosión potencial se estimó al multiplicar los factores, R, K, L S, sin incluir los factores C y P, estos todos estos en una capa en formato raster utilizando la herramienta calculadora raster del software ArcGIS. Como resultado de esto, se obtuvo un nuevo raster en forma cuantitativa la representación de la erosión potencial en la cuenca, si ésta estuviera desprovista de vegetación.

#### **- Estimación de la erosión actual**

Mientras que el estado actual de erosión se obtuvo al considerar todos los factores, cabe aclarar que a diferencia de la erosión potencial, aquí se consideró que la cuenca esta provista de cobertura vegetal, es decir el factor C. Así entonces se multiplico los factores R, K, LS, C y P en formato raster, con ayuda de la herramienta calculadora raster de ArcGIS, teniendo como resultado un nuevo raster que representa la erosión actual de la cuenca.

Las clases o intensidad de amenaza de pérdida de suelo por erosión hídrica, para ambos casos, se agruparon de acuerdo a lo propuesto por la FAO (2000). Cuadro 9.

Cuadro 10. Clasificación de la pérdida de suelo por erosión hídrica

Intensidad de Amenaza	Pérdida de suelo (tn/ha/año)
Baja	Menor a 5
Moderada	5 – 25
Media	25 – 50
Alta	50 – 100
Muy Alta	100 – 200
Crítica	Más de 200

Fuente: FAO 1998

### 3.3.6. Determinación la pérdida del suelo con el gradiente del terreno

El método propuesto por RENARD *et al.* (1997), menciona que “los valores más altos de LS, se encuentran en las zonas de mayor longitud y pendiente, ya que mientras mayor sea la longitud, mayor será el recorrido de una gota de lluvia hasta llegar al punto donde se concentra el flujo junto al suelo desprendido; de igual manera sucede con la pendiente ya que, la pérdida de

suelo se incrementa velozmente con pendientes muy empinadas en comparación con el incremento en longitud de la pendiente, coincidiendo con el autor (VELASQUEZ, 2008)".

Para este método, llamado también método del clavo de erosión, colocados a lo largo de un transecto a intervalos regulares que se adapten las características topográficas. En este caso se utilizó varillas de hierro liso de 3/8 de diámetro y 50 cm de largo, las cuales fueron marcadas al centro (25 cm) con un anillo de aproximadamente 10 cm. de ancho. La varilla marcada se introdujo en la tierra hasta la marca de los 25 cm., de manera que la parte inferior del anillo toque ligeramente la superficie del suelo. Estos se colocaron a distancias de 5 metros formando un transecto, en zonas donde se vio desprendimiento de suelo. Así mismo con el fin de realizar la comparación se aplicó la medición en cada tipo de cobertura (cultivos), identificadas en el área de estudio.

La toma de datos de las alturas de la lámina perdida se midió cuando se observó precipitaciones extremas en la cuenca. La cuantificación de los resultados se realizó en base de la siguiente fórmula:

$$P = H * A * DAP$$

Donde:

P= pérdida de suelo

H= altura de lámina perdida

A= área medida

DAP= densidad aparente

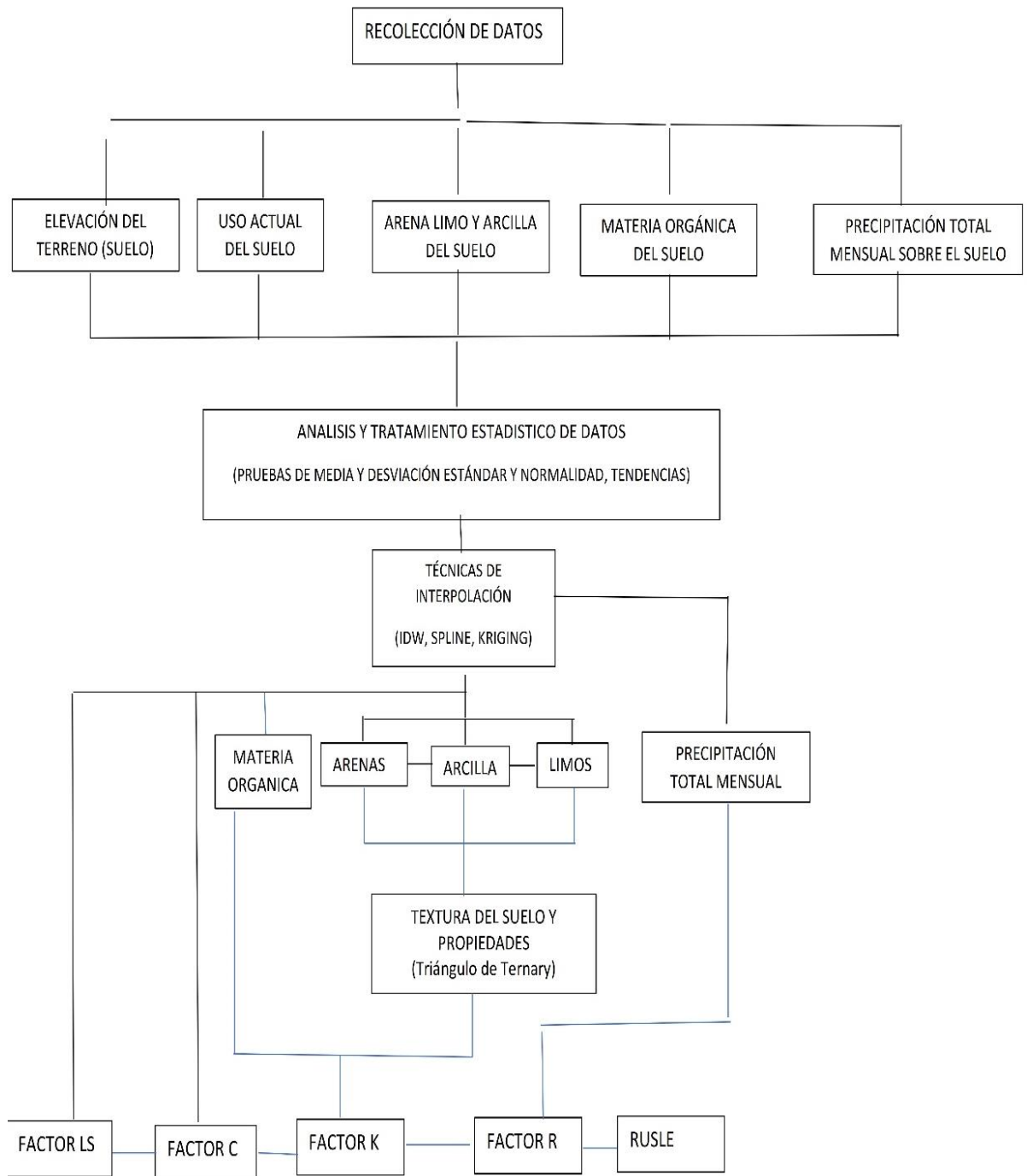


Figura 5. Diagrama metodológico

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Aproximación de la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando el modelo RUSLE

#### 4.1.1. Erosividad de las precipitaciones o factor (R)

En el Cuadro 10 y Figura 6, se aprecia los valores de erosividad (Factor R), para las siete estaciones meteorológicas de la zona de influencia de la cuenca Supte, donde se observa que la estación meteorológica Supte presenta un valor intermedio de 32.50, mientras que las estaciones meteorológicas Bella, Pavas y Tingo María, presentan valores alto, y valores bajos los presentan las estaciones Anda, Pendencia y Tulumayo, estas últimas tienen mayor influencia en la cuenca Supte.

Cuadro 11. Determinación de la erosividad del suelo o Factor R

N°	Estación meteorológica	Este (m)	Norte (m)	Altitud (mnsn)	Factor R
1	Tulumayo	386049.60	8991635.97	613.00	29.54
2	Pavas	393981.74	8965376.10	830.00	39.97
3	Bella	386213.55	8969356.85	985.00	40.74
4	Supte	395487.75	8974153.80	665.00	32.50
5	Pendencia	398514.14	8990498.81	668.00	29.47
6	Anda	382470.54	8999096.39	669.00	27.50
7	Tingo María	390221.71	8970880.49	660.00	40.50

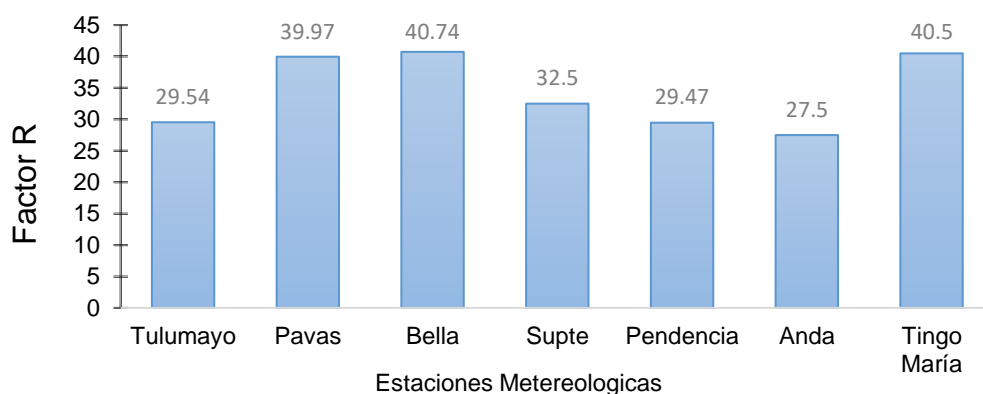


Figura 6. Valores de erosividad de las estaciones meteorológicas

#### 4.1.2. Índice de erodabilidad del suelo o factor (K)

En el Cuadro 11, se presenta la clasificación factor K, en las cuales se puede apreciar en mayor porcentaje (79,64 %) suelos fuertemente erodable y en segundo lugar se encuentra suelos medianamente erodable (19,54 %) y los otros niveles se encuentran en menor porcentajes.

Cuadro 12. Determinación de la erodabilidad del suelo o factor K

N°	Rango	Clasificación	Área (ha)	Porc. (%)
1	0.0775 - 0.1680	Débilmente erodable	29.46	0.37
2	0.1680 - 0.3230	Medianamente erodable	1552.23	19.54
3	0.3230 - 0.6784	Fuertemente erodable	6327.74	79.64
4	0.6784 - 1	Extremadamente erodable	35.73	0.45
<b>Superficie total</b>			<b>7945.18</b>	<b>100.00</b>

En la Figura 7, podemos notar que la cuenca Supte, se caracteriza por presentar suelos de fuerte a medianamente erodable, el primero se distribuye en la parte baja y alta de la cuenca y mientras que suelos medianamente erodable se pueden encontrar en la parte media de la cuenca.

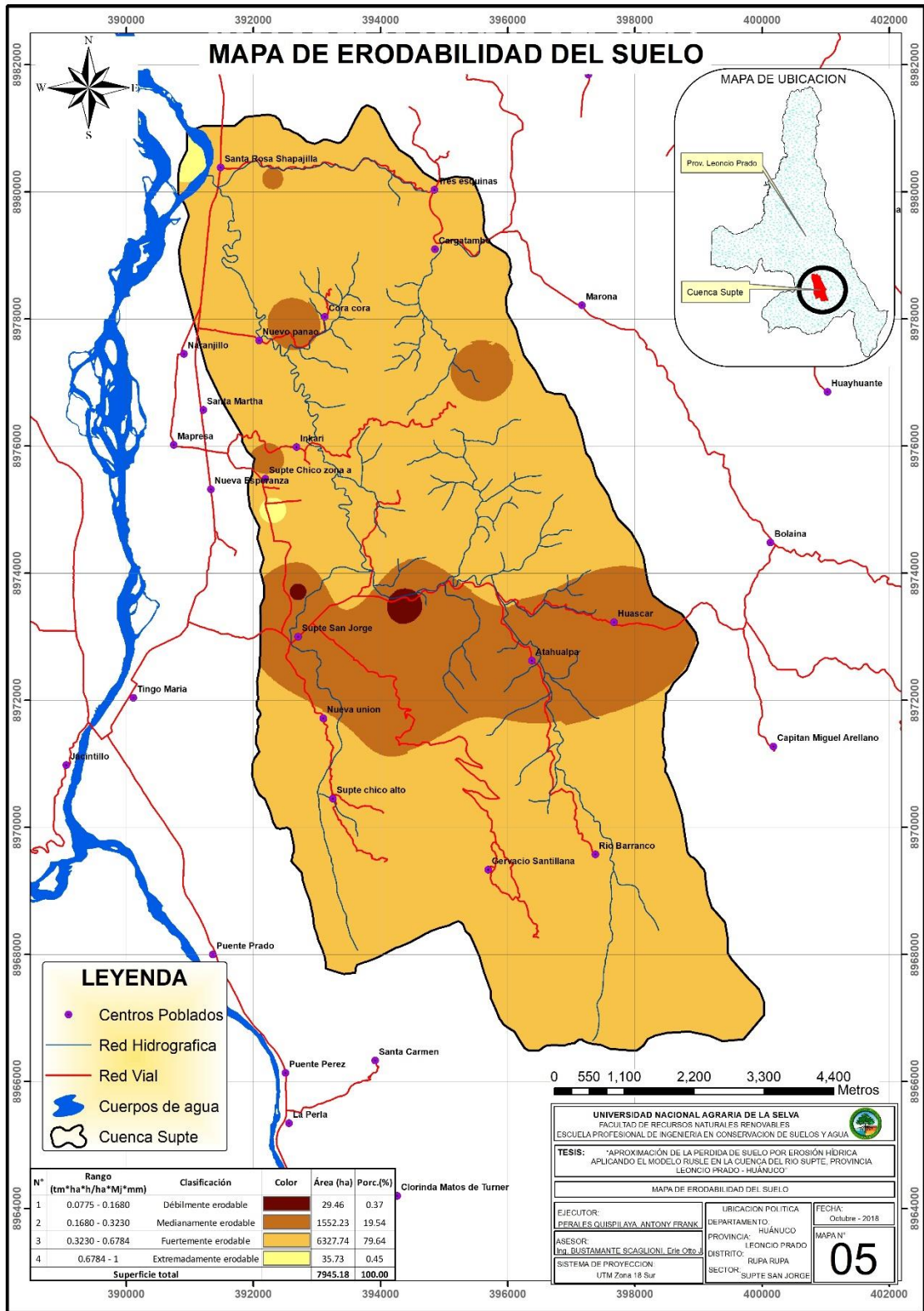


Figura 7. Mapa de erosividad del suelo o factor R

#### 4.1.3. Factor de longitud y gradiente de pendiente o factor LS

En el Cuadro 12, se muestra los niveles de calificación de la longitud y gradiente de pendiente, donde podemos ver que la cuenca Supte se caracteriza por presentar nivel muy alto que representa el 51.84 %, y seguido de nivel muy bajo que representa el 30.27 %, y los otros niveles se encuentran en menores porcentajes.

Cuadro 13. Determinación de longitud y gradiente de pendiente o factor LS

N°	Rango	Calificación	Área (ha)	Porcentaje (%)
1	< 1.5	Muy bajo	2404.88	30.27
2	1.5 - 3	Bajo	200.45	2.52
3	3 - 5	Moderado	429.44	5.40
4	5 - 7	Alto	791.89	9.97
5	> 7	Muy alto	4118.54	51.84
<b>Superficie total</b>			<b>7945.18</b>	<b>100.00</b>

En la Figura 8, muestra cómo están distribuidos los niveles calificación de longitud y gradiente de la pendiente (factor LS), donde se aprecia que en la parte baja de la cuenca y cerca a los cauces de los ríos, se distribuye nivel bajo a muy bajo, y mientras que los niveles alto a muy alto se distribuyen en las partes altas de la cuenca, y el nivel moderado esta en los intermedios.

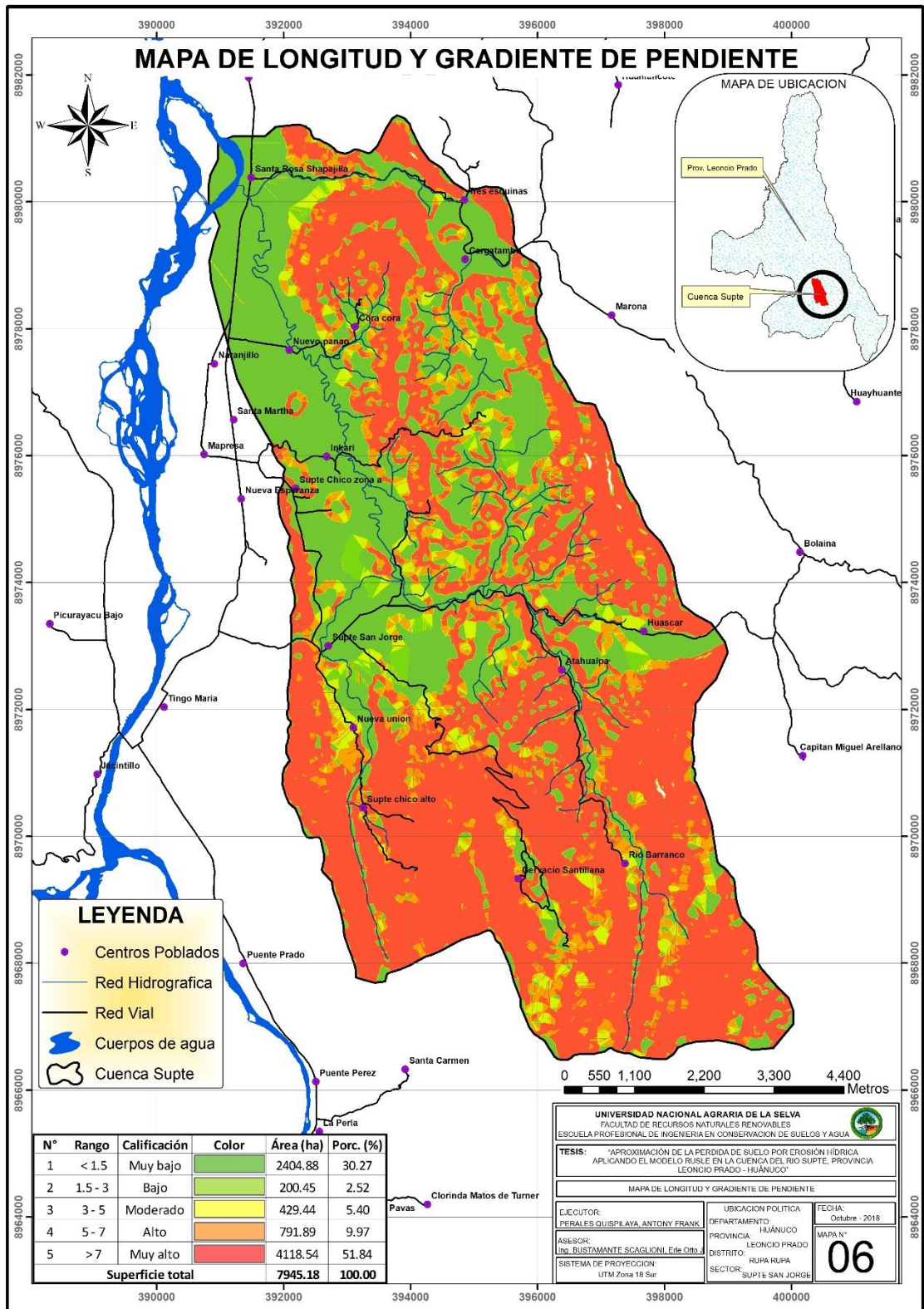


Figura 8. Mapa de longitud y gradiente de pendiente o factor LS

#### 4.1.4. Factor C o de cobertura vegetal

El Cuadro 7, detalla el área en hectáreas (ha) y en porcentaje (%) por uso de suelo en la cuenca Supte, donde bosque y purma son más representativos con el 37.25 % y 36.38 % respectivamente, estos últimos ayudan a que el suelo no se erosione, por lo contrario las zonas sin coberturas donde hay mayor pérdida de suelo representa el 12.37 %.

Cuadro 14. Uso actual de la tierra

N°	Uso de suelo	Factor C	Área (ha)	Porcentaje (%)
1	Bosque	0.001	2959.55	37.25
2	Cuerpo de agua	0.01	29.06	0.37
3	Cultivos agrícolas	0.25	337.68	4.25
4	Pastos	0.2	579.36	7.29
5	Purma	0.035	2890.58	36.38
6	Sin cobertura	1	983.13	12.37
7	Zona urbana	0.1	165.81	2.09
Superficie total			7945.18	100

En la Figura 9, se aprecia que en la cuenca existe bastante intervención del hombre esto en su mayoría por la zona céntrica de la cuenca, sin embargo a ambos lados de la cabecera de la cuenca se puede distinguir bosque que aún no han sido intervenidos, las zonas sin coberturas se extienden por zonas donde hay carreteras y centros poblados que en su mayoría está por la parte céntrica de la cuenca, por otro lado las zonas urbanas más extensas se encuentran cerca al punto de desembocadura al río Huallaga.

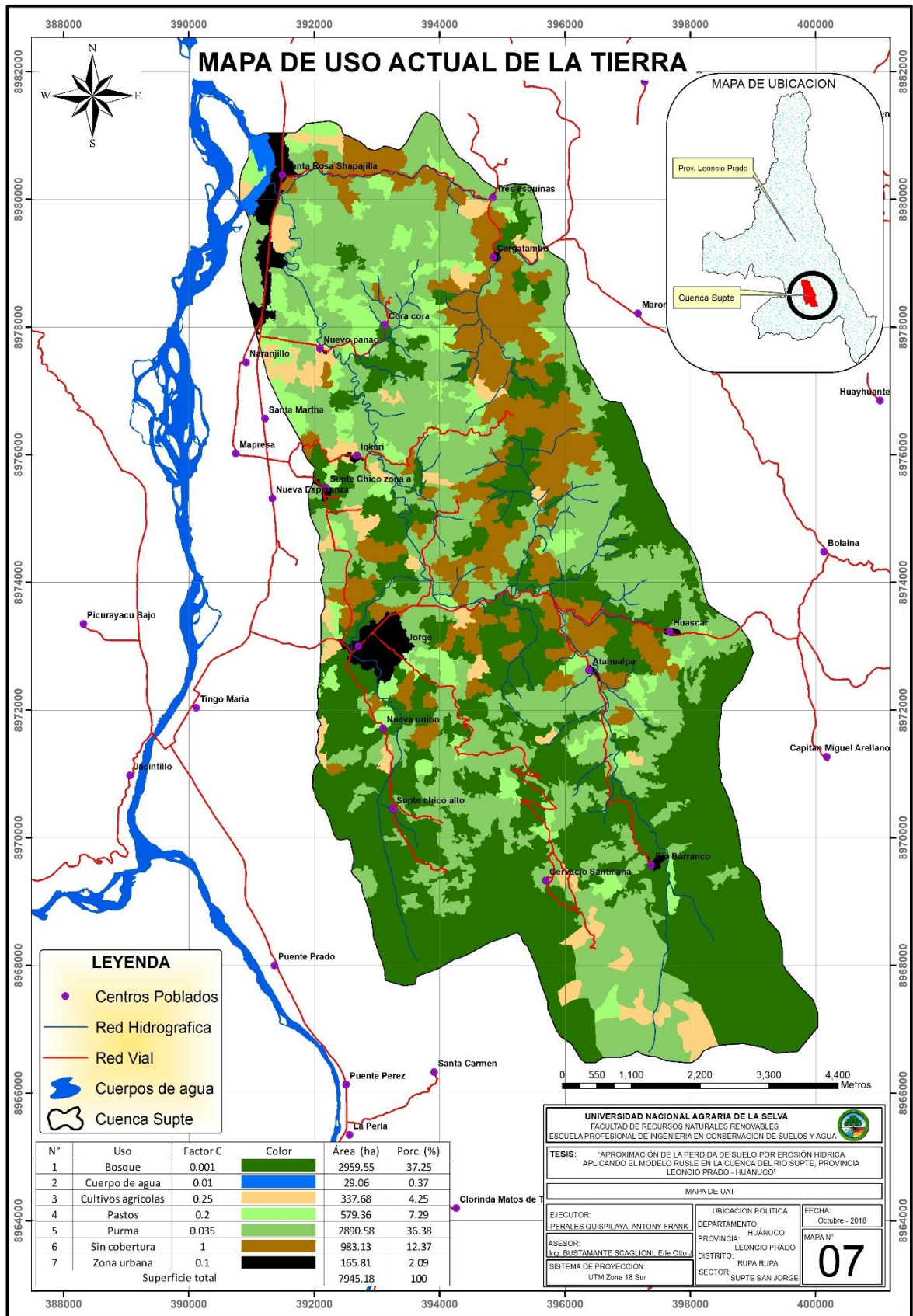


Figura 9. Mapa de uso actual de la tierra o factor C

#### 4.1.5. Perdida del suelo por erosión hídrica (Potencial)

En el Cuadro 14, se observa la pérdida de suelo por erosión hídrica potencial, es oportuno aclarar que para este cálculo no se tomó en cuenta el uso actual de la tierra ni tampoco el factor de prácticas de conservación (factor P), por lo que los valores están influenciados por la longitud y gradiente pendiente del terreno, acción de las lluvias y el tipo de suelo; en este sentido se aprecia que el nivel de erosión muy severa y normal ocupan el 61.67 % y 20.80% respectivamente, y las otras categorías en menores porcentajes.

Cuadro 15. Determinación de la erosión potencial.

Grado	Rango (T/ha/año)	Descripción	Área (ha)	Porc. (%)
1	<0.5	Normal	1652.35	20.80
2	0.5 - 5	Ligera	283.77	3.57
3	5 - 15	Moderada	127.75	1.61
4	15 - 50	Severa	345.78	4.35
5	50 - 200	Muy Severa	4899.66	61.67
6	> 200	Catastrófica	635.87	8.00
Superficie total			7945.18	100

En la Figura 10, se aprecia cómo están distribuidos erosión potencial, donde se pueda apreciar el mayor grado de erosión (catastrófica y muy severa) se encuentra en las cabecera de la cuenca y esto debido que en estas zonas la pendiente es más pronunciada e inversamente en las zonas planas y parte baja de la cuenca, se aprecia que ocurren menor erosión donde se aprecia erosión normal, ligera y moderada.

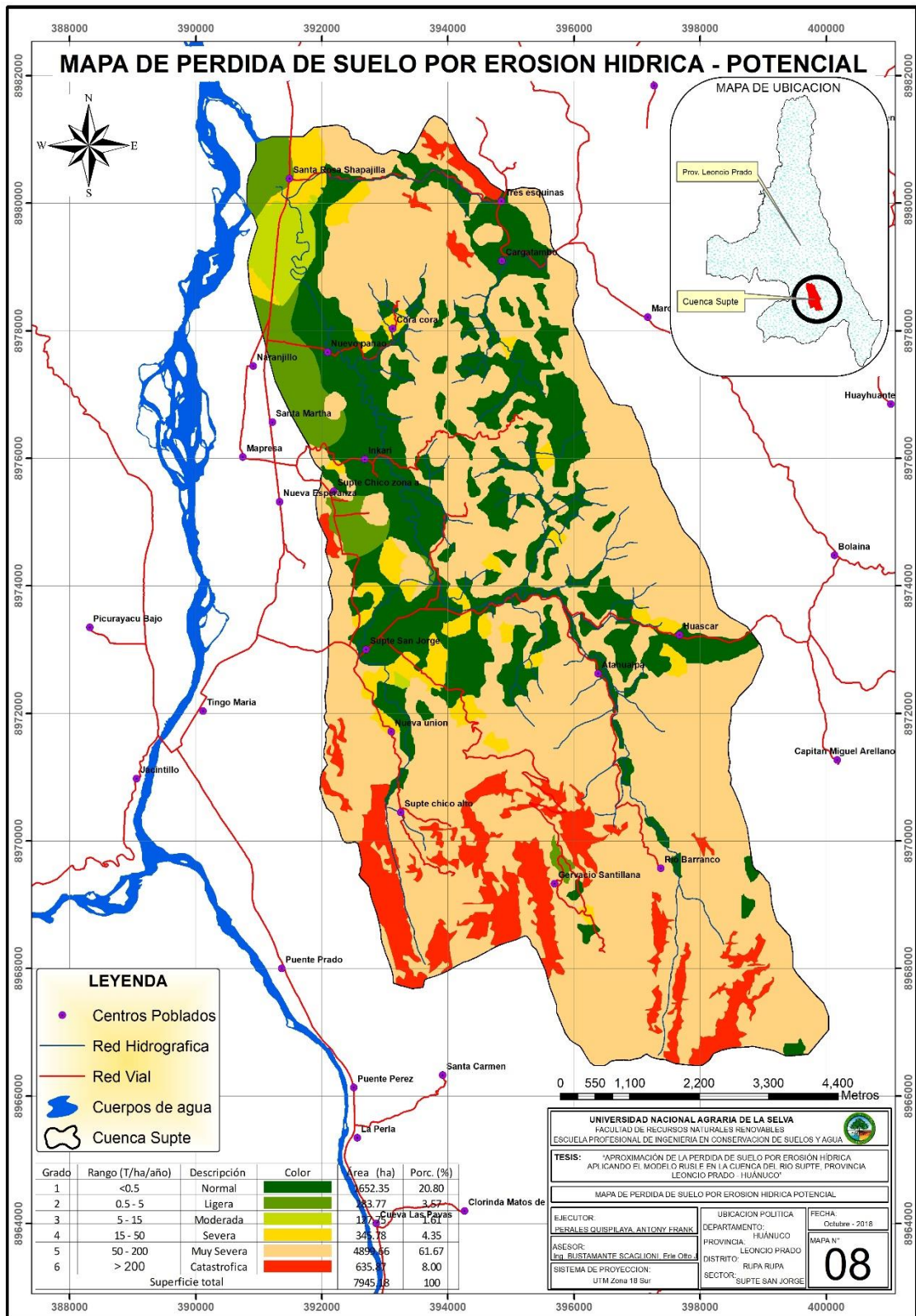


Figura 10. Mapa de erosión potencial del suelo

#### 4.1.6. Perdida del suelo por erosión hídrica (Actual)

En el Cuadro 15, se observa la pérdida de suelo por erosión hídrica actual, que a diferencia de la erosión potencial en este si se considera el uso actual de la tierra, y los valores están influenciados por el tipo usos de tierra; en este sentido el nivel de erosión normal y ligera son los más representativos con el 62.49% y 18.57% respectivamente, y las otras grados de erosión en porcentajes menores.

Cuadro 16. Determinación de la erosión actual

N°	Rango (t/ha/año)	Descripción	Área (ha)	Porcentaje (%)
1	<0.5	Normal	4964.41	62.49
2	0.5 - 5	Ligera	1475.36	18.57
3	5 - 15	Moderada	658.13	8.28
4	15 - 50	Severa	434.71	5.47
5	50 - 200	Muy Severa	411.81	5.18
Superficie total			7944.43	100

En la Figura 11, se aprecia cómo están distribuidos los niveles erosión actual, donde se puede apreciar que menor grado de erosión (normal y ligera) y al comparar con el mapa de uso actual de la tierra estos se encuentran en zonas donde existe mayor cobertura (bosque y purma) y por lo contrario las zonas donde hubo mayor intervención del hombre (sin cobertura, pastos y cultivos agrícolas), el grado de erosión es mayor (De severa a muy severa).

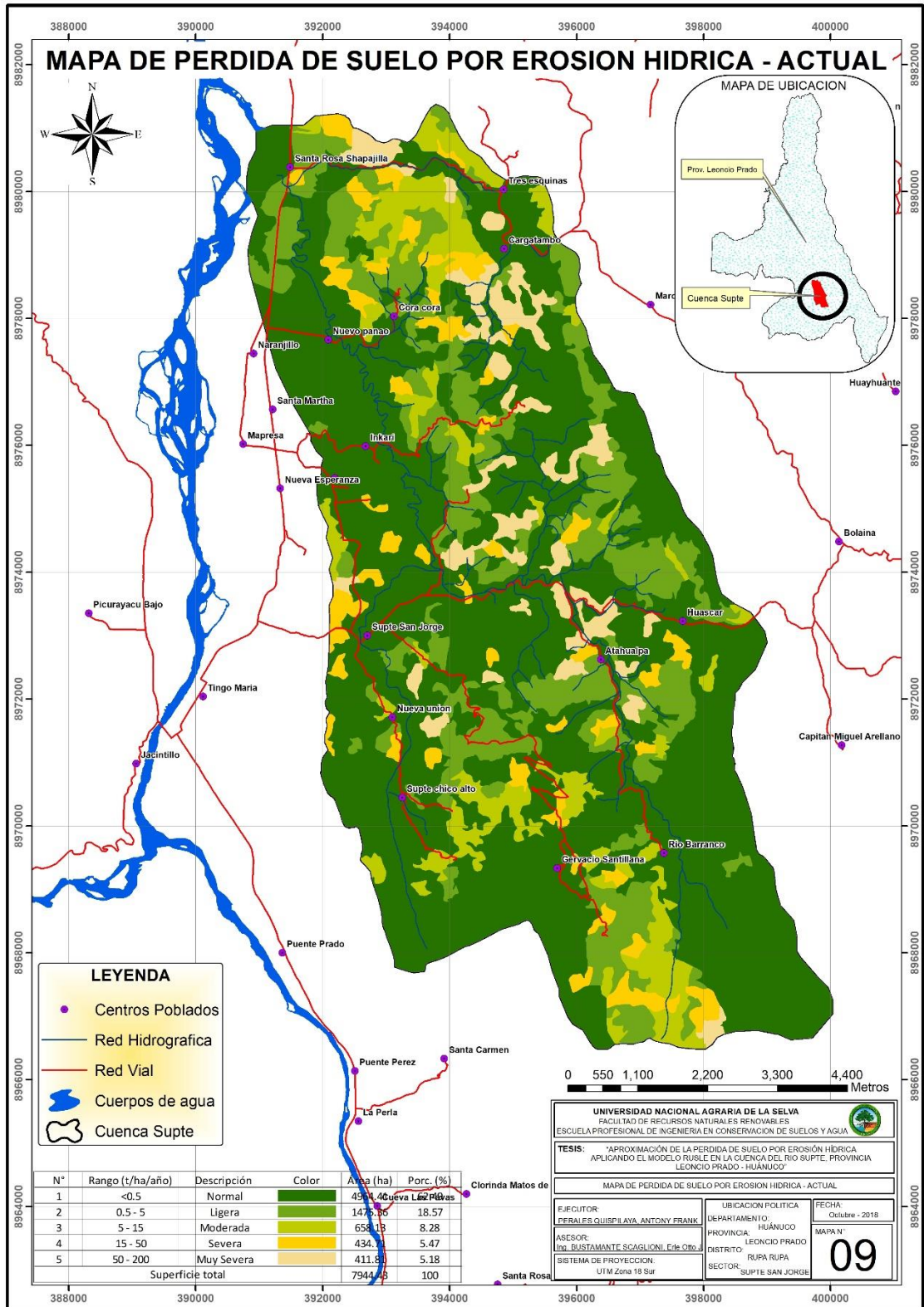


Figura 11. Mapa de erosión actual del suelo

#### 4.2. Medición de la pérdida del suelo según la gradiente del terreno

En el Cuadro 16, se aprecia la pérdida de suelos en diferentes coberturas y cultivos en la cuenca Supte, en lo que recalcar, en pasto el nivel de pérdida de suelo es catastrófica (9718.80 T/ha/año) esto debido que en la última medición (enero 2019) en dicha zona se produjo un deslizamiento del suelo, donde que al realizar las mediciones, de lámina promedio llega a 830.67 mm, mientras que en suelos sin cobertura se encontró un nivel muy severa (194.13 T/ha/año) influencia por las constantes lluvias en los últimos meses de medición y la falta de cobertura para mitigación del impacto de las lluvias, por otro lado las coberturas de maíz, cacao y purma presenta menores pérdida de suelo.

Cuadro 17. Determinación de la pérdida de suelo con clavos de erosión

Cobertura y/o cultivo	Pendiente (%)	Lamina perdida (mm)	DAP (gr/cm <sup>3</sup> )	Suelo perdido (T/ha/año)	Calificación
Sin cobertura	46.00	15.17	1.28	194.13	Muy severa
Pastos	44.00	830.67	1.17	9718.80	Catastrófica
Cacao	53.00	3.50	1.35	47.25	Severa
Maíz	18.00	5.33	1.28	68.27	Muy severa
Purma	19.00	1.33	1.07	14.27	Moderada

## V. DISCUSIÓN

La estimación de la pérdida del suelo por erosión hídrica potencial y actual en la cuenca Supte, nos permitió conocer las zonas con mayor susceptibilidad a ser erosionadas, encontrando en erosión potencial (sin coberturas), en mayores porcentaje presenta nivel de erosión muy severa (61.67 %), esto debido a que para dicho calculo no se consideró las coberturas existente (uso actual de tierra) y los resultados obtenidos se ven fuertemente incluidos con la longitud y gradiente de pendiente (factor LS), es por eso que en las zonas con pendiente pronunciadas y parte alta de la cuenca, tal como se puede constatar en el mapa de factor LS y para recalcar esta influencia del actor LS vemos que en la parte baja de la cuenca y con pendientes planas, la erosión presente en mayor porcentaje es de nivel normal ( $<0.5$  T/ha/año) represento el 20.80 % de la cuenca, “en lo que coincidimos con (DUMAS 2012), ya que en su estudio de riesgo de la erosión hídrica en la cuenca hidrográfica del río Mundo para los años 2000 y 2006, se estimó que el 45% de la superficie es potencialmente expuesta a una erosión hídrica importante localizando estas zonas en la parte más alta de la cuenca donde las precipitaciones son mayores al igual que las pendientes”, y además “podemos constatar con RUIZ (2011) con su investigación realiza en la cuenca Rumiyacu, región San Martín, donde menciona que la erosión potencial de los suelos alcanzó una cifra significativamente alta debido a que no se está teniendo en cuenta la protección que ejerce la cobertura vegetal ante las fuertes

precipitaciones sobre el suelo”, “por su parte también ALONSO *et al.* (2007), demuestran una gran correlación ( $R^2 = 79.96$ ) entre la erosión potencial y el factor LS”. Por su parte “Villanueva menciona que los valores del factor LS más altos se encuentran en las zonas de mayor longitud y pendiente, ya que mientras mayor sea la longitud, mayor será el recorrido de una gota de lluvia hasta llegar al punto donde se concentra el flujo junto al suelo desprendido; lo mismo sucede con la pendiente ya que, la pérdida de suelo se incrementa más rápidamente con pendientes muy escarpadas en comparación con el incremento en longitud de la pendiente”, quien también coincide con VELÁSQUEZ (2008).

En cuanto a la erosión actual es decir considerando el uso actual de la tierra, se observa que mayor porcentaje se encuentran niveles de erosión normal a ligera que representan el 62.49 % y 18.57 % respectivamente, en lo que podemos decir que está influenciado por la cobertura y uso actual de la tierra, debido la cobertura presente mitiga el impacto en las lluvias y la pérdida del suelo es normal, pero en zonas sin o con poca cobertura se encontró niveles pérdida de suelo de severa a muy severa que representan el 5.47 % y 5.18 % respectivamente, corroborando lo que menciona SOLANO (2016), en su estudio en la Subcuenca Shullcas, Huancayo, quien menciona que erosión hídrica real (actual) para los dos años de estudio 2000 y 2013, se reduce notablemente las superficies con erosión hídrica potencial, debido a que en estas zonas se cuentan con coberturas de plantaciones forestales, pajonales entre otros tipos de cobertura quienes ayudan a disminuir de manera notable la erosión potencial, por su parte FLORES 2015, menciona que “la erosión actual depende del tipo de uso y cobertura vegetal (factor C), ya que las zonas de bosque presentan el

menor valor debido a que esta cobertura supone un mejor amortiguamiento de las gotas de lluvia, una mejor distribución de raíces que además tienen mayor profundidad y por tanto mejor sostén para el suelo; mientras que los valores más altos se da en los suelos que no presentan cubierta vegetal, donde el valor C es máximo (0.95), esto se debe a que el suelo está desprovisto de protección y el daño que provocan las gotas de lluvia será el que determinen los demás factores”, quien además coincide con VELÁSQUEZ (2008) y RAMÍREZ (2010).

La determinación de la pérdida del suelo según la gradiente del terreno; determinado por el método del clavo de erosión, presenta niveles de erosión desde moderada a catastrófica, por lo que podemos ver que en suelos con poca o sin cobertura (pasto, maíz y sin cobertura) el nivel de calificación o rango de erosión va desde muy severa a catastrófica, este último se encontró en pasto, donde la pérdida de suelo presenta un valor extremo de 9718.80 t/ha/año esto sería justificable porque al realizar la última medición se observó en desprendiendo del terreno, mientras que en cultivo de cacao encontramos nivel severa (47.25 t/ha/año), esto porque en dicha área se observó que existen otras coberturas que ayudan a mitigar el impacto de las lluvias y en cuanto a zonas con mayor cobertura (purma), el nivel de erosión es moderada (14.27 t/ha/año), donde podemos notar que el descenso es considerable a comparación con otras zonas con poca o sin cobertura, lo arriba mencionado se corrobora con autores como FLORES (2015) que menciona que la erosión actual depende del tipo de uso y cobertura vegetal (factor C), SOLANO (2016), quien menciona que la erosión se reduce notablemente en zonas con coberturas de plantaciones forestales y pajonales.

## VI. CONCLUSIONES

1. Aplicando la metodología RUSLE, se estimó datos para erosión hídrica potencial (sin cobertura vegetal) encontrándose en mayor porcentaje (61.67 %) nivel de erosión muy severa ubicado en la parte alta de la cuenca; y por lo contrario en la parte plana se encontró erosión normal ocupando el 20.80 % de la cuenca; y en cuanto a la erosión actual, en mayor porcentaje se encontró erosión normal y ligera ocupando el 62.49 % y 18.57 % respectivamente y en menor porcentaje encontramos erosión severa y muy severa que representa el 5.47 % y 5.18 % respectivamente, esto generalmente en zonas sin o con poca coberturas.
2. Aplicando el método de clavos de erosión, donde el pasto presenta valores extremos de pérdida de suelo con valores de 9718.80 t/ha/año catalogado como catastrófica, zonas sin cobertura presenta pérdida de 194.13 t/ha/año, cultivo de maíz presenta 68.27 t/ha/año ambos catalogados como muy severa, mientras que el cultivo de cacao presenta 47.25 t/ha/año (severa), por último y con menor pérdida de suelo (14.27 t/ha/año) catalogado como moderada, se encuentra la zona de purma.

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. En zonas con poca o sin cobertura, implementar proyectos de reforestación y/o recuperación de suelos con especies maderables y leguminosas de rápido crecimiento y alto valor económico.
2. Capacitar a los agricultores que se instalen especies forestales en terrenos con fuertes pendientes, con la finalidad para mitigar la “pérdida de suelo por erosión hídrica”.
3. Controlar y proteger las zonas de alta pendiente y cabeceras de la cuenca, de la tala de árboles, para evitar posteriores desastres naturales en las zonas bajas de la cuenca.

## VIII. ABSTRACT

The present research work was carried out in the basin of the river Supte, located in the province of Leoncio Prado - Huánuco, with the objective of estimating the loss of soil by water erosion, applying the methodology of the Universal Equation of Soil Loss (RUSLE) proposed by RENARD *et al.* (1997) and modified by WISCHMEIER and SMITH (1978); for which GIS tools were used, and in addition, in situ soil loss measurement using the nails method was performed. For the estimation, we first collected the soil samples; According to the stratification by physiographic units, with the result of the laboratory analysis the K factor was calculated, the C factor was estimated from the Sentinel satellite image using GIS software, the R factor was estimated from the precipitation data of meteorological stations from the zone of influence and for the determination of the LS factor, the elevation model generated from the national chart was used. The results in terms of potential erosion (without considering the vegetation cover), the highest percentage of the basin (61.67%), presents a loss of 50 to 200 t / ha / year and a lower percentage (20.80%) of less than 0.5 t / ha / year, inverse to the values found in current erosion, where in a greater percentage (62.49%) it presents a loss of less than 0.5 t / ha / year and in a lower percentage it presents a loss of 15 to 200 t / ha / year. Regarding the measurement with the nails method in the different coverages: the grass shows a loss of 9718.80 t / ha / year (catastrophic), without coverage 194.13 t / ha / year, corn cultivation 68.27 t / ha / year, cocoa 47.25 t / ha / year and cocoa 14.27 t / ha / year. So to reduce the impact should implement reforestation projects with forest species

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALMOROX *et al.* 1994.- Métodos de estima de la erosión hídrica. Editorial agrícola española, 152 pp.

ALONSO, G., RUIZ, M., SCHIETTECATTE, W., DÍAZ, J., ALMOZA, Y. 2007.

ANTEZANA, J. 2001. Calibración de los factores de erosión utilizando la ecuación universal de pérdida de suelo revisado "RUSLE" en sistemas de producción agrícola de la cuenca taquiña. Centro de Levantamientos Aeroespaciales y aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos. Taquiña, Bolivia. 77 p.

ARNOLDUS, H.M. 1980. "Una Aproximación del Factor de Lluvias en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo". En De Boodt. M. and Gabriels, D. (Eds.). "Evaluación de la Erosión". John Wiley and Sons, Inc. Chichester, West Sussex, Uk.

ASTURIAS, R. (1986). Determinación del índice de erosividad de las lluvias para las estaciones pluviográficas de la zona Noroccidental de Guatemala. Tesis Ing. Ag. Guatemala. Universidad de San Carlos. Facultad de Agronomía  
48p

- BARRIOS, A y QUIÑONEZ, E, 2000 Evaluación de la erosión utilizando el modelo RUSLE con apoyo de SIG. Aplicación en una microcuenca de los andes venezolanos. Revista forestal venezolana. Trujillo – Venezuela.
- BARRIOS, A. y QUIÑONEZ, E. 2000. Evaluación de la erosión utilizando el modelo R (USLE) con apoyo de SIG. Aplicación en una microcuenca de los Andes Venezolanos. Rev. Forest. Ven. Trujillo, Venezuela. 7 p.
- 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. Tesis para optar el título de ingeniero agrícola. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima. 124 p.
- CERDÀ, A. 2001. “La erosión del suelo y sus tasas en España”. Ecosistemas 3.
- DEL AGUILA, A. 2010. Aplicación del modelo USLE/RUSLE para estimar la pérdida de suelos por erosión hídrica en la microcuenca Puente Pérez - Tingo María”. Tesis presentada para obtener el título profesional de ingeniero en recurso naturales renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 107 p.
- DESMET, P. y GOVERS, G.1996. Comparison of Routing Algorithms for Digital Elevation Models and Their Applications for Predicting Ephemeral Gullies. International Journal of GIS. 311-331 p.
- DUMAS, (2012), “Riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica del río mundo”.
- DUMAS, (2012), “Riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica del río

- ESTRADA, J. 1976. Fertilidad de suelos. Ed. Agronomía. La Molina. Lima Perú.
- FAO (1990). Organización de Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en <http://www.fao.org/soils-portal/degradacion-del-suelo/es/>.
- FAO, (2000). Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de tierras y aguas de la FAO N°8. Roma.
- FARFÁN, (2002): “Determinación del índice de erosividad pluvial (R) de la ecuación universal de pérdida de suelos, para dos estaciones pluviográficas de la VII región del Maule”. Chile: Investigación de tesis de ingeniería forestal.
- FAUSTINO, J. 2006. Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba–Costa Rica. 400 p.
- FLORES, A. 2015. Aproximación de riesgo por erosión hídrica aplicando un sistema de información geográfica en la subcuenca del Shambillo, distrito de Padre Abad”. Tesis presentada para obtener el título profesional de ingeniero en recurso naturales renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 144 p.
- FLORES, N. 2003. Restauración de bosques y manejo del agua. Foro – planificación y gestión municipal para el desarrollo sostenible. 20 al 22 de noviembre del 2003. Universidad Nacional Agraria de la Selva tingo María – Perú.

- FOSTER, G., NEARING, M., LANE L., Y FINKNER, S. (1977). A process-based soil erosion model for USDA-Water Erosion Prediction Project technology. Transactions, American Society of Agricultural Engineers
- GARCIA, J. 2008 Pérdida de suelo en cuencas. Capítulo 17 del Manual de Ingeniería de Ríos. 42 pp.
- GARCIA, J., 2005. Modelos paramétricos. Modelos USLE. Modelos RUSLE. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid- España. 51 P.
- GRUPO TRAGSA y Ministerio de Medio Ambiente, 1998. Restauración hidrológica forestal de cuencas y control de la erosión. Ed. Mundi-prensa. España. 945 p.
- GUANCA, (2010): “Determinación de la Erosión Hídrica de los Suelos de la Cuenca del Rio Pilcomayo – Salta”.
- HOLDRIGE, L. R. 1993. Guía explicativa del mapa ecológico del Perú. Cap. 1, Clasificación de las zonas de vida del mundo. Lima, Perú. 14p
- HUDSON, N. W. 2004. Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía, Boletín de Suelos de la FAO. No 68, [En línea]: FAO (<http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s00.htm#Contents>, 11 May. 2008)
- ICONA (1988): “Mapas de estados erosivos de la Cuenca Hidrográfica del Segura”0. Madrid. España

INRENA 1995. Mapa ecológico del Perú. Guía explicativa. Talleres gráficos de INRENA. Lima – Perú.

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES (INETER). 2005. Erosión hídrica. Mapa de Amenazas. Recomendaciones técnicas para su elaboración. Publicación del proyecto: Metodologías para el análisis y manejo de los riesgos naturales. Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). Managua, Nicaragua. 52 p.

KIRKBY, M. y MORGAN, R. 1984. Erosión de suelos. Ed. Limusa. México. 375p.

MANCILLA, G.A. (2008): “Apuntes docentes: Uso de la ecuación universal de pérdidas de suelo en el campo forestal”. Facultad de ciencias forestales. Departamento de Silvicultura. Universidad de Chile.

MANRIQUE, L. y CHÁVEZ, R. 1996. Estudio de suelos de la Microcuenca del río Supte. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María - Perú. 90 pp.

MENDOZA, M. 2005. Manual de métodos sencillos para estimación de erosión hídrica. Managua, Nicaragua. 61p.

MORGAN R. P. C. y KIRKBY, M.J 1984. Erosion de suelos. Editorial Limusa S.A – Mexico D.F 367 pp.

MORGAN, R.P.C. (1997). “Erosión y Conservación del Suelo”, edi. Mundi Prensa.

MORGAN, RPC., 1995. Soil erosion and conservation, Segunda edición. Longman Group and J. Wiley & Sons, Essex.

- NUNEZ, S. 2001. Manejo y conservación de suelos. Editorial Universidad estatal a distancia. 1ra edición. San José – Costa Rica 268 pp.
- OCAMPO, R. 1996. Programa de conservación de suelos y forestación. Manual de conservación de suelos. Asociación Arariwa. Cuzco – Perú.
- PORTA, J., LÓPEZ-ACEVEDO, M., ROQUERO, C. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 33 Edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 960 p.
- RAMÍREZ, F., HINCAPIÉ, E., SADEGUIAN, S., PÉREZ, U. 2007. Erosividad de las lluvias en la zona cafetera central y occidental del Departamento de Caldas. Caldas, Colombia. 14 p.
- RAMÍREZ, L. 2010. Estimación de la Pérdida de Suelos por Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Juramento-Salta. Tesina Profesional. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta. Argentina. 104 p.
- RAMOS, (2001): “Modelamiento Ambiental Para Análisis de Susceptibilidad Erosiva en la Cuenca Media y Alta del Rio Cañete y Determinación del Mapa de Erosión Lima – Perú
- RAMOS, (2001): “Modelamiento Ambiental Para Análisis de Susceptibilidad Erosiva en la Cuenca Media y Alta del Rio Cañete y Determinación del Mapa de Erosión Lima – Perú”.
- RENARD, K.G, Foster, G.R. et al. (1997): “Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss

Equation (RUSLE).” US Department of Agriculture, Washington, DC, vol.703.

RODRIGUEZ, F. 2005. El recurso del suelo en la Amazonia peruana, diagnóstico para su investigación. Instituto de investigaciones de la Amazonia Peruana Iquitos – Perú 60 pp.

RUIZ, R. 2011. Estimación de la erosión a través del modelo USLE en la microcuenca Rumiycacu, Region San Martín.

SMITH, D.D. 1958. Interpretation of soil conservation data for field use. Agr. Eng. 22, 173-175 p.

SOLANO, R. 2016. Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la subcuenca del río Shullcas 2000 – 2013. Huancayo Tesis presentada para optar el título profesional de ingeniero forestal y ambiental. Universidad Nacional del Centro Del Perú. Huancayo. 118 p.

TRUJILLO, L. 2009. Influencia de la cobertura en la variación de la erosión hídrica en parcelas demostrativas del bosque reservado de la universidad nacional agraria de la selva. Tesis presentada para obtener el título profesional de ingeniero en recurso naturales renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 82 p

VAHRSON, W; CERVANTES, C. 1991. Escorrentía superficial y erosión laminar en Puriscal Costa Rica. In. Vahrson, W; Alfaro, M; Palacios, G. Memoria del Taller de Erosión de Suelos. Heredia, CR, UNA

VASQUEZ, A. (2000). “Manejo de Cuencas Altoandinas”. Tomo I.

- VELAZQUEZ, S. 2008. Erosión de suelos utilizando el RUSLE. Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza. Cantón de Coronado - Costa Rica. 54pp.
- WISCHMEIER, W. Y SMITH D. 1978. Predicting rainfall erosion losses, A. guide to conservation planning. USDA Handbook N° 537. 58 p.
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D. 1959. A rainfall erosion index for the universal soil-loss equation. Soil Science Society American, Proceedings, EEUU. 23 (3); 246-249 pp
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D. 1959. A rainfall erosion index for the universal soil-loss equation. Soil Science Society American, Proceedings, EEUU. 23 (3); 246-249 pp.
- YOULTON, M. C. 2005. Cuantificación de la erosión en camellones a favor de pendiente para el cultivo frutal de laderas en el Valle de Quillota, V Región, Chile. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Fundación Isabel Caces de Brown. Laboratorio de Medio Ambiente. Quillota, Chile. 66 p. [En línea]: Altavoz, ([http://ucv.altavoz.net/prontus\\_unidacad/site/artic/20061206/asocfile/20061206101136/youlton\\_cristian.pdf](http://ucv.altavoz.net/prontus_unidacad/site/artic/20061206/asocfile/20061206101136/youlton_cristian.pdf), documentos, 05 Ene. 2009).
- ZINGG, A.W. 1940. Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. Agr. Eng. 21, 59-64 p.

**ANEXO**

## Anexo A. Panel fotográfico



Figura 12. Proceso de secado de las muestras de suelo



Figura 13. Muestras de suelo N° 8



Figura 14. Muestras de suelo N° 16



Figura 15. Extracción de muestras en parcela de coca.



Figura 16. Pesado de las muestras de suelo para realizar los análisis.



Figura 17. Análisis de la textura de las muestras de suelos.



Figura 18. Preparación de los clavos para la medir la erosión.



Figura 19. Instalación de los clavos en las parcelas.