

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS EN  
CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**



**APLICACIÓN DEL MODELO USLE/RUSLE PARA ESTIMAR LA PÉRDIDA  
DE SUELOS POR EROSIÓN HÍDRICA EN LA MICROCUENCA PUENTE  
PÉREZ – TINGO MARÍA**

**TESIS**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
MENCIÓN: CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

**MARIANELLA DEL AGUILA ANGULO**

**PROMOCIÓN 2007-II**

**TINGO MARÍA - PERÚ**

**2010**



P36

D53

Del Aguila Angulo, Marienella

Aplicación del Modelo USLE/RUSLE para Estimar la Pérdida de Suelos por Erosión Hídrica en la Microcuenca Puente Pérez-Tingo María. Tingo María, 2010

107 h.; 23 cuadros; 26 fgrs.; 21 anexo; 55 ref.; 30 cm.

Tesis (Ing. Recursos Naturales Renovables Mención: Conservación de Suelos y Agua) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Recursos Naturales Renovables.

MODELO USLE/RUSLE / EROSION HIDRICA / DEGRADACION-SUELO  
/ COBERTURA VEGETAL / ESCORRENTIA / METODOLOGIA / TINGO  
MARIA / RUPA RUPA / LEONCIO PRADO / HUANUCO / PERU.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

## ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 22 de Noviembre de 2010, a horas 07:00 p.m. en la Sala de Grados de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para calificar la tesis titulada:

### “APLICACIÓN DEL MODELO USLE/RUSLE PARA ESTIMAR LA PÉRDIDA DE SUELOS POR EROSIÓN HÍDRICA EN LA MICROCUENCA PUENTE PÉREZ – TINGO MARÍA”

Presentado por la Bachiller: **MARIANELLA DEL AGUILA ANGULO**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de **“MUY BUENO”**.

En consecuencia la sustentante queda apta para optar el **Título de INGENIERO en RECURSOS NATURALES RENOVABLES**, mención **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, 15 de Febrero de 2011

.....  
Ing. MSc. JOSÉ LEVANO CRISÓSTOMO  
Presidente

.....  
Ing. JAIME TORRES GARCÍA  
Vocal

.....  
Ing. JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO  
Vocal

.....  
Ing. RICARDO M. CHÁVEZ ASENCIO  
Asesor



## DEDICATORIA

A Dios nuestro creador  
todopoderoso, quien tiene en sus  
manos a mi querido y recordado  
abuelo **JULIO CESAR** (Q.E.P.D.)

A mis padres **ARMANDO Y FLOR  
DE MARÍA** con cariño y eterna  
gratitud.

A mis hermanas y cuñado  
**CAROLINA, FLOR DE MARÍA y  
DANIEL**, con cariño.

A mis sobrinos **ADRIANO Y  
DANYKA MARINA** con amor.

A mi **ADELA**, por su cariño y  
abnegación; a mis tíos **MARTIN,  
BETO** y en especial a **JULIA**.

A mis primos **SOLANGE, KEVIN y  
ANTONY** con cariño.

A mi abuelita **MARGARITA** y a mis  
tíos **CARLOS, BERTA, RUBEN,  
ERMA, FLORA, SUSANA,  
GUILLERMO, MARGARITA y  
MARCO ANTONIO** con cariño.

## **AGRADECIMIENTO**

- 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. Ricardo Martín Chávez Asencio, asesor del presente trabajo, por su labor como formador, su amistad, su apoyo desinteresado, su valiosa dirección y supervisión de la presente tesis
- A los Ings. Guillermo Villón Reyes y Juan Miguel Valencia Morey, por su valiosa colaboración y apoyo en el presente trabajo.
- A los miembros integrantes del jurado de tesis: Ing. M.Sc. José Lévano Crisóstomo, Ing. Jaime Torres García y al Ing. Juan Pablo Rengifo Trigozo.
- Al Blgo. Armando Eneque Puicón, por su apoyo para la redacción del presente trabajo de investigación.
- A mis amigas Lindsay Trujillo Funegra, a Karin Sheyla del Aguila Rojas y Angelo Lama Isminio, quienes comparten conmigo una amistad genuina, fueron mi apoyo durante toda la carrera profesional y en la ejecución del presente trabajo.

A mis amigos Deysi Contreras, Laura Cotrina, Heydin Reátegui, Daniel Villacorta, Erick Muñoz, Rolando Salas, Segundo Beteta, Pilar Villacorta, Luis Rojas y Samuel Quispe, 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 e Ingeniería Agrícola, 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. Distribución de la erosión del suelo .....	4
2.2. Procesos y mecanismos erosivos.....	6
2.3. Erosión hídrica.....	6
2.3.1. La erosión natural.....	7
2.3.2. La erosión acelerada.....	7
2.4. Principales formas de erosión hídrica.....	7
2.4.1. Erosión laminar .....	7
2.4.2. Erosión en surcos.....	8
2.4.3. Erosión en cárcavas.....	8
2.4.4. Erosión por salpicadura.....	8
2.5. Daños directos e indirectos causados por erosión hídrica.....	9
2.5.1. Daños directos.....	9
2.5.2. Daños indirectos.....	10
2.6. Ecuación universal de pérdida de suelos (USLE/RUSLE).....	11
2.6.1. Factor R o erosividad de la lluvia.....	18
2.6.1.1. Factor EI30 Método de Wischmeier (1959).....	19
2.6.1.2. Morgan (1974).....	20
2.6.1.3. Foster <i>et al.</i> (1981).....	21
2.6.1.4. Roose (1995).....	21
2.6.1.5. Índice modificado de Fournier.....	22

2.6.2.	Factor K o índice de erodabilidad.....	23
2.6.3.	Factor LS o longitud y gradiente de la pendiente.....	26
2.6.3.1.	Método Mintegui (1983).....	27
2.6.3.2.	Metodología de Renard <i>et al.</i> (1997).....	28
2.6.4.	Factor C o de cobertura vegetal.....	29
2.6.5.	Prácticas de conservación de suelos o factor P.....	30
2.6.6.	Pérdida de suelos (A).....	32
2.7.	Sensores espaciales.....	34
2.7.1.	Satélite IKONOS.....	34
2.7.2.	Satélite QUICKBIRD.....	35
2.8.	Modelos de elevación digital.....	37
2.8.1.	DEM ASTER de 30 m resolución espacial.....	38
2.8.2.	DEM SRTM (NASA).....	41
2.8.3.	Usos y aplicaciones de los DEM.....	43
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	45
3.1.	Lugar de ejecución.....	45
3.1.1.	Ubicación UTM de la microcuenca.....	47
3.2.	Características del área de estudio.....	47
3.2.1.	Clima.....	47
3.2.2.	Humedad.....	47
3.2.3.	Temperatura.....	49
3.2.4.	Características ecológicas.....	49
3.2.5.	Geología.....	49
3.2.6.	Fisiografía.....	49

3.2.7. Hidrografía.....	51
3.3. Materiales.....	51
3.3.1. Material cartográfico.....	51
3.3.2. Material satelital.....	51
3.3.3. Hardware y software.....	51
3.3.4. Equipos y material de campo.....	52
3.4. Componentes de estudio.....	52
3.5. Metodología.....	53
3.5.1. Primera etapa: recolección y complementación de la información básica.....	53
3.5.1.1. Adquisición de imágenes.....	53
3.5.1.2. Adquisición de los DEM.....	54
3.5.1.3. Corrección geométrica.....	54
3.5.1.4. Datos de precipitación.....	54
3.5.2. Segunda etapa: supervisión de campo.....	56
3.5.3. Tercera etapa: determinación y calibración de los factores de la ecuación universal de pérdida de suelos.....	57
3.5.3.1. Determinación del factor R.....	57
3.5.3.2. Determinación del factor K.....	59
3.5.3.3. Determinación del factor LS.....	62
3.5.3.4. Determinación del factor C.....	64
3.5.3.5. Determinación del factor P.....	65
3.5.3.6. Determinación de la pérdida de suelos.....	65
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	66

4.1.	Erosividad de las precipitaciones.....	66
4.1.1.	Índice modificado de Fournier (IMF).....	66
4.1.2.	Roose, Morgan y Foster.....	68
4.2.	Índice de erodabilidad del suelo o factor K.....	70
4.3.	Factor de longitud y gradiente de pendiente o LS.....	72
4.3.1.	Método Mintegui.....	72
4.3.2.	Método propuesto por Renard <i>et al.</i> (1997).....	74
4.4.	Factor de cobertura vegetal o factor C.....	75
4.5.	Estimación de la tasa de erosión hídrica (tm/ha/año).....	78
4.5.1.	Erosión promedio para la microcuenca Puente Pérez.....	84
4.5.2.	Correlación entre la pérdida de suelo y el factor C.....	88
4.5.3.	Validación de los resultados.....	90
V.	CONCLUSIONES.....	93
VI.	RECOMENDACIONES.....	95
VII.	ABSTRACT.....	96
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97
IX.	ANEXOS.....	107

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1.	Dimensiones y unidades de los factores del modelo (USLE/RUSLE).....	16
2.	Clasificación del índice modificado de Fournier para Latinoamérica.....	23
3.	Valores del factor LS en función a la pendiente.....	27
4.	Valores de C según el uso de la tierra.....	30
5.	Valores de P para cultivos en contorno y su máxima longitud permitida entre obras.....	31
6.	Valores de P para curvas a nivel.....	32
7.	Valores de P para barreras con la distancia máxima entre obras.....	32
8.	Niveles de intensidad de pérdida de suelo.....	33
9.	Clasificación de los niveles de intensidad de pérdida de suelos. Pérdidas de suelo tolerables.....	34
10.	Principales características del satélite IKONOS.....	35
11.	Principales características del satélite QUICKBIRD.....	37
12.	Principales características del sensor remoto ASTER...	40
13.	Comparación entre DEM ASTER y DEM SRTM.....	42
14.	Parámetros de evaluación.....	52
15.	Ubicación de las estaciones utilizados para este estudio.....	56
16.	Valores de R anual obtenidos para la microcuenca	

	Puente Pérez.....	68
17.	Valores del factor C obtenidos para la microcuenca Puente Pérez.....	76
18.	Área total de la microcuenca dividida en función al uso del suelo.....	77
19.	Área total de la microcuenca dividida en función al riesgo de erosión hídrica según Foster.....	80
20.	Área total de la microcuenca dividida en función al riesgo de erosión hídrica según IMF.....	82
21.	Área total de la microcuenca dividida en función a la erosión hídrica promedio.....	85
22.	Valores estadísticos de la tasa de erosión hídrica promedio (tm/ha/año).....	87
23.	Comparación de los resultados de RUSLE con los resultados de campo.....	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Nomograma de erodabilidad.....	25
2.	Configuración estéreo del subsistema VNIR.....	40
3.	Mapa de ubicación de la microcuenca Puente Pérez.....	46
4.	Mapa de Isoyetas de la microcuenca Puente Pérez.....	48
5.	Mapa fisiográfico de la microcuenca Puente Pérez.....	50
6.	Mapa de ubicación de las estaciones meteorológicas.....	55
7.	Flujograma para la obtención del mapa de erosividad.....	59
8.	Flujograma para la obtención del mapa de erodabilidad.....	61
9.	Flujograma para la obtención del mapa LS metodología 1....	63
10.	Flujograma para la obtención del mapa LS metodología 2....	63
11.	Flujograma para la obtención del mapa del factor C.....	64
12.	Flujograma para la obtención del mapa de pérdida de suelo...	65
13.	Mapa del índice de erosividad según IMF.....	66
14.	Mapa del índice de erosividad según Foster.....	70
15.	Mapa del índice de erodabilidad.....	71
16.	Mapa de LS según Mintegui (1983).....	73
17.	Mapa de LS según Renard <i>et al.</i> (1997).....	74
18.	Mapa de cobertura vegetal o factor C.....	76
19.	Área total de la cuenca expresada en % en función al uso....	78
20.	Mapa de estimación de pérdida de suelos empleando el factor R de Foster.....	80

21.	Área total de la expresada en % en función al riesgo de erosión hídrica según Foster.....	81
22.	Mapa de estimación de pérdidas de suelos empleando el factor R (IMF) de Renard <i>et al.</i> (1997).....	82
23.	Área total de la microcuenca expresada en % en función al riesgo de erosión hídrica según IMF.....	83
24.	Mapa de estimación de pérdida de suelo promedio.....	84
25.	Área total de la microcuenca expresada en % en función al riesgo de erosión hídrica promedio.....	85
26.	Análisis de correlación entre la erosión hídrica promedio y el factor C.....	89

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo	Pág.
A. Cálculo del factor de erosividad.....	108
A.1. Precipitación mensual y anual (mm) 2004 – 2009.....	108
A.2. Análisis de consistencia (Supte, Bella y Pavas).....	111
A.3. Análisis de consistencia (Anda y Pendencia).....	115
A.4. Análisis de correlación entre precipitación y altura.....	119
A.5. Datos para la elaboración del mapa de Isoyetas.....	123
A.6. Aplicación de metodología IMF.....	124
A.7. Análisis de correlación IMF vs altura.....	128
A.8. Datos para la elaboración del mapa IMF.....	130
B. Cálculo del factor de erodabilidad.....	131
B.1. Determinación del número de parcelas a muestrear....	131
B.2. Estratificación de la cuenca.....	132
B.3. Determinación de la estructura en campo.....	133
B.4. Determinación de materia orgánica, estructura y permeabilidad de acuerdo al uso del suelo.....	134
B.5. Parcelas adicionales muestreadas fuera de la microcuenca.....	135
B.6. Determinación del valor K para las parcelas muestreadas según el nomograma.....	136
B.7. Comparación entre los valores de K en función de la textura.....	137
C. Cálculo del factor LS.....	138

C.1.	DEM ASTER de 30 m de resolución espacial.....	138
C.2.	Mapa de pendientes en porcentaje.....	139
C.3.	Mapa de pendientes en grados.....	140
D.	Cálculo del factor C o de cobertura vegetal.....	141
D.1	Imagen QUICKBIRD del año 2008.....	141
D.2	Imagen IKONOS del año 2003.....	142
D.3	Verificación en campo de los usos obtenidos.....	143
E.	Panel fotográfico.....	144

## RESUMEN

La erosión hídrica constituye el principal proceso de degradación de suelos en zonas tropicales, por lo que su evaluación es primordial para promover estrategias de conservación. El presente trabajo de investigación se realizó en la microcuenca "Puente Pérez", ubicada en el distrito de Mariano Dámaso Beraún – Las Palmas, provincia de Leoncio Prado, con el objetivo de estimar la tasa de pérdida de suelo por erosión hídrica. Para ello se aplicó la metodología de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos Revisada (USLE/RUSLE) propuesta por Renard *et al.* (1997), que modifica la ecuación original de WISCHMEIER Y SMITH (1978), y que constituye la metodología más utilizada para la estimación anual de pérdida de suelos agrícolas en cuencas y la herramienta SIG (Sistema de Información Geográfica), empleando el programa Arcgis 9,2 para el análisis y representación de cada uno de los factores que componen la ecuación: erosividad de las precipitaciones, erodabilidad del suelo, longitud y gradiente de la pendiente y cobertura vegetal. La microcuenca "Puente Pérez" presenta una erosión promedio de entre 0 y 3046 tm/ha/año; que fue agrupada en rangos de acuerdo a las tablas adaptadas de FAO, UNESCO, PNUMA (1980); encontrándose que el 82% de la microcuenca presenta una erosión baja a moderada y el 18% restante una erosión que sobrepasa los límites aceptables, con zonas que incluso se califican como de riesgo muy crítico. Después de realizar el análisis de correlación entre la erosión y el factor C, se determinó que el uso y cobertura de la tierra influye de manera directa en los procesos de erosión ( $R = 0,87$ ).

## I. INTRODUCCIÓN

La erosión del suelo por escurrimiento hídrico, cuyo origen está en la acción del agua sobre una superficie desprovista de cobertura vegetal, es quizás el proceso más importante de degradación de suelos, dado que es irreversible y generalmente de gran magnitud (HONORATO *et al.*, 2001).

Son múltiples los factores que favorecen e incrementan la erosión hídrica: las lluvias, el suelo, la pendiente, el tipo de vegetación y la presencia o ausencia de medidas de conservación; además del hombre que actúa como uno de los principales factores, al alterar las condiciones ecológicas del lugar, ya sea por necesidad, por ignorancia o por aplicar técnicas inadecuadas en el uso de los recursos naturales renovables (OCAMPO *et al.*, 1996). MORGAN (1997) nos dice que, la consecuencia directa de la erosión del suelo es una disminución de la productividad agrícola, debido a la pérdida de nutrientes, a su deterioro físico, a la pérdida de profundidad y en casos extremos a la pérdida total del suelo. De esto se desprende la necesidad de medir o estimar la erosión potencial de los suelos para aplicar medidas que eviten la pérdida de este recurso (PANDO *et al.*, 2003).

En la estimación de este proceso degradativo, en términos de pérdida de suelo, se han desarrollado y diseñado una serie de procedimientos y modelos. Un modelo paramétrico que pretende interpretar los mecanismos erosivos por causas y efectos, de mayor aceptación y más amplia aplicación es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE/RUSLE) (RODRIGUEZ *et al.*, 2004).

Según FLORES (2003), en la provincia de Leoncio Prado de 494 982 ha se han deforestado 105 611 ha, es decir el 21% del territorio, observándose los impactos en la agricultura y el ambiente; además, los principales causantes de la alarmante situación que se vive en nuestros bosques, son los cultivos de hoja de coca ilegal en un 40% y la agricultura migratoria en un 60%. La deforestación con fines de uso agropecuario, en zonas con condiciones topográficas severas especialmente en Selva Alta, traen como consecuencia serios problemas de erosión (IIAP, 1995); lo cual es corroborado por AQUIZE (2005), quien nos dice que, la erosión hídrica en la selva fue de 14,83% y la erosión potencial de 69,89%, que representa 73 967 000 ha.

La microcuenca Puente Pérez, no es ajena a esta alarmante realidad, ya que se evidencia la deforestación de áreas de bosque para la introducción del cultivo de coca y una agricultura migratoria constante y agresiva sin ningún sistema conservacionista, todo esto sumado a las condiciones propias de selva alta, como son pendientes pronunciadas, altas e intensas precipitaciones y suelos ácidos con bajo contenido de materia orgánica, generan la necesidad de aplicar una metodología que nos permita

estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica y así establecer zonas de mayor riesgo para posteriormente proponer medidas y prácticas de conservación que permitan reducir dicha erosión.

Por lo antes expuesto se plantea la siguiente hipótesis: La pérdida de suelos por erosión hídrica de la microcuenca Puente Pérez es alta y sobrepasa los límites aceptables de erosión.

**Objetivo general:**

Estimar la pérdida de suelos por erosión hídrica de la microcuenca Puente Pérez – Las Palmas, mediante la aplicación de la metodología USLE/RUSLE.

**Objetivos Específicos:**

- Determinar el factor de erosividad de las precipitaciones (R) según Roose, Morgan, Foster y el índice modificado de Fournier.
- Determinar el factor de erodabilidad del suelo (K).
- Determinar el factor de longitud y gradiente de la pendiente (LS).
- Determinar el factor de cobertura vegetal o uso actual del suelo (C).

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Distribución de la erosión del suelo

MORGAN (1997) señala que, la erosión (del latín, *erosiō*, *-ōnis*, roedura) del suelo es la remoción del material superficial por acción del viento o del agua, englobando consigo el proceso de sedimentación, consta de una fase de desprendimiento de partículas individuales del suelo y su suspensión, una segunda fase de transporte de partículas por agentes hídricos o eólicos, y una tercera fase cuando la energía de estos agentes no es suficiente para transportar las partículas, causando su deposición.

Desde que la tierra se cultivó por primera vez, la erosión del suelo por el agua y el viento ha sido un problema constante. Las consecuencias de la erosión del suelo se manifiestan tanto en el lugar donde se produce como fuera de él (erosión difusa). Los efectos *in situ* son particularmente importantes en las tierras de uso agrícola, donde la redistribución y la pérdida de suelo, la degradación de su estructura y el arrastre de materia orgánica, y nutrientes, llevan a la pérdida del perfil cultural y al descenso de la fertilidad. La erosión reduce también la humedad disponible en el suelo, acentuando la aridez (MORGAN, 1997).

La sabiduría popular explica la erosión como una respuesta al aumento de la presión que se ejerce sobre el suelo por el crecimiento demográfico y al abandono de grandes áreas anteriormente productivas, que han dejado de serlo como resultado de la erosión, salinización y alcalinización (MORGAN, 1997).

MORGAN (1997), indica que los factores que determinan la tasa de erosión son la lluvia, la escorrentía, el viento, el suelo, la pendiente, la cobertura vegetal y la presencia o ausencia de medidas de conservación. Estos y otros factores relacionados con ellos, se pueden considerar bajo tres aspectos: energía, resistencia y protección. El aspecto energético incluye la capacidad potencial de la lluvia, la escorrentía y el viento, para provocar la erosión. Esta capacidad se denomina erosividad. También están incluidos otros factores que afectan directamente a la potencia de los agentes erosivos, como son la reducción de la longitud de la escorrentía o del recorrido del viento mediante terrazas y cortavientos, respectivamente. En el aspecto de la resistencia, resulta fundamental el factor de erosionabilidad del suelo que depende, sobre todo, de sus propiedades mecánicas y químicas. Los factores que favorecen la infiltración del agua en el suelo reducen la erosionabilidad, mientras que cualquier actividad que pulverice el suelo, la aumenta. El aspecto de protección se centra en los factores relacionados con la cobertura vegetal.

## **2.2. Procesos y mecanismos erosivos**

MORGAN (1997) nos dice que, la erosión del suelo es un proceso con dos fases consistentes en el desprendimiento de partículas individuales de la masa del suelo y su transporte por los agentes erosivos, como las corrientes de agua y el viento. Cuando la energía de estos agentes no es suficiente para transportar las partículas, se produce una tercera fase: su deposición.

La salpicadura es el agente más importante para el desprendimiento. El suelo también se disgrega por procesos de meteorización: mecánicamente (alternancia de humectación y desecación) y bioquímicamente. Además, el suelo se altera por el laboreo y el pisoteo de hombres y ganado. Las corrientes de agua y el viento son otros contribuyentes al desprendimiento de partículas del suelo. Todos estos procesos liberan partículas de suelo que luego son arrastradas por los agentes de transporte. La severidad de la erosión depende, sobre todo, de la cantidad de material desprendido y de la capacidad de los agentes erosivos para transportarlo (MORGAN, 1997).

## **2.3. Erosión hídrica**

INETER *et al.* (2005) indica que, la erosión hídrica es el proceso de separación y transporte de las partículas del suelo por acción del agua de lluvia. Es un proceso que destruye los suelos, ya que hace desaparecer el suelo superficial, a veces hasta dejar al descubierto la roca madre. Puede ser un proceso natural o acelerado. MORGAN (1997) nos dice que, la pérdida de suelo se expresa, habitualmente, en unidades de peso o volumen por unidad de superficie y tiempo (tm/ha/año).

### **2.3.1. La erosión natural**

Rodríguez *et al.* (2004) menciona que, la erosión natural o geológica es ocasionada por la acción permanente de los diversos fenómenos del intemperismo natural, y es tan lenta que requiere miles de años para producir cambios importantes en la configuración de la superficie terrestre. El suelo en estos casos se pierde tan lentamente que suele ser repuesto por los procesos naturales de descomposición y regeneración del sistema suelo.

### **2.3.2. La erosión acelerada**

Rodríguez *et al.* (2004) menciona que, es el proceso de desprendimiento y arrastre acelerado de las partículas de suelo causado por el agua. Ocurre cuando el hombre realiza sus actividades de uso del suelo de manera incorrecta, particularmente cuando deja el suelo sin su cobertura vegetal durante una parte del año (deforestación, sobrepastoreo, cultivos en limpio).

## **2.4. Principales formas de erosión hídrica**

### **2.4.1. Erosión laminar**

INETER *et al.* (2005), indica que es la pérdida superficial de suelo en forma más o menos uniforme, de tal manera que las raíces de las plantas quedan al descubierto. Este proceso es poco percibido por los agricultores, a pesar del gran daño que está produciendo a sus tierras, ya que se están perdiendo las partículas coloidales más importantes (arcilla, humus y nutrientes).

#### **2.4.2. Erosión en surcos**

INETER *et al.* (2005) menciona que, es la pérdida de suelo por el agua de lluvia, cuando esta se ha concentrado en pequeñas depresiones naturales, y empieza a desplazarse ladera abajo arrastrando el suelo, formando pequeñas zanjas con profundidades hasta de 50 cm. Este proceso es acelerado por el hombre, cuando hace un mal manejo del suelo, como el hacer surcos en dirección de la pendiente, el cual es una práctica común en la zona.

#### **2.4.3. Erosión en Cárcavas**

INETER *et al.* (2005) nos dice que, las cárcavas son zanjas profundas (mayores de 1 m) en las laderas, formadas por el arrastre de las partículas de suelo, de manera casi completa, hasta llegar incluso al lecho rocoso; cuando en las laderas hay una gran cantidad de cárcavas constituyen un paisaje que se denomina "bad lands". También en este caso el hombre es responsable en parte por el mal uso que le ha dado a estos suelos de ladera.

#### **2.4.4. Erosión por salpicadura**

INETER *et al.* (2005) menciona que, se debe al impacto de las gotas de lluvia sobre los agregados inestables de un suelo desnudo. Se producen pequeños cráteres de impacto con liberación de partículas.

Las partículas se desplazan como máximo 150 cm, siendo las arenas finas, las más afectadas. Generalmente las partículas se quedan a poca

distancia. Puede dar origen a una **costra superficial** que hará disminuir la infiltración. Sus efectos son más evidentes cerca de las divisorias de aguas.

## **2.5. Daños directos e indirectos causados por erosión hídrica**

OCAMPO *et al.* (1996) afirma que, los daños causados por la erosión pueden ser directos cuando afectan los cultivos o dañan la chacra, disminuyen la capacidad de producción y desvalorizan la propiedad.

OCAMPO *et al.* (2006) también nos dice que, la suma o conjunto de problemas de erosión de varias chacras ocasiona daños indirectos que se manifiestan en desequilibrios hidrológicos y ecológicos, en problemas de sedimentación y daños en las vías, en los acueductos y en las viviendas.

OCAMPO *et al.* (1996) afirma que, todos los daños directos e indirectos, significan grandes pérdidas económicas para el agricultor, la comunidad y el país, y en ocasiones la pérdida irreparable de vidas humanas y la esterilidad de vastas zonas.

### **2.5.1. Daños directos**

Los daños directos se identifican fácilmente. Estos daños son variables que se pueden cuantificar o medir. Algunos daños directos usualmente son de gran magnitud, cuando son catastróficos. Normalmente se estiman a grosso modo, con base en proyecciones de pérdidas de vidas humanas, de tierras, de ganado y de viviendas. Anualmente, este tipo de daños causa pérdidas millonarias (NUNEZ, 2001).

Según OCAMPO *et al.* (1996), los daños directos son los que se manifiestan visiblemente en un predio y que pueden ocurrir aún por la acción de una sola lluvia fuerte. Entre los principales daños directos están:

- Pérdida de siembra.
- Pérdida de suelos.
- Arrastre de nutrientes.
- Pérdida de agua.
- Pérdida de áreas de cultivo.

#### **2.5.2. Daños indirectos**

Según NUNEZ (2001), son daños causados en el ecosistema que no pueden cuantificarse de una manera clara, pero que ocurren insidiosamente todos los días. También se conocen como daños intangibles. Algunos ejemplos son los siguientes:

- Pérdida de riqueza genética de la fauna: ante los procesos de tala del bosque y avance continuo del frente agrícola, el banco genético de muchas especies animales disminuye por la muerte de muchos de sus miembros.
- Pérdida de especies de flora: debido a la heterogeneidad del bosque tropical húmedo y a la condición de poca densidad de especies forestales por hectárea, la deforestación puede incidir fácilmente en que algunas especies desaparezcan rápidamente de los ecosistemas forestales.

Según OCAMPO *et al.* (1996), la deforestación y tala indiscriminada de los bosques, de las cuencas hidrográficas hace más grandes las fluctuaciones de los caudales de quebradas y ríos; los máximos y mínimos

se hacen más críticos debido al desbalance entre la lluvia y la retención por parte de la vegetación y la cubierta muerta.

Los principales problemas ocasionados por este desequilibrio hidrológico con:

- Escasez de agua para el consumo.
- Colmatación de embalses y quebradas con disminución de su capacidad de almacenamiento y conducción.

## **2.6. Ecuación universal de pérdida de suelos / Ecuación universal de pérdidas de suelos revisada (USLE/RUSLE).**

RODRÍGUEZ *et al.* (2005) menciona que, la degradación de los suelos por erosión hídrica, es uno de los procesos más importantes en la pérdida de la capacidad productiva de la tierra. En la estimación de este proceso degradativo, en términos de pérdida de suelo, se han desarrollado y diseñado una serie de procedimientos y modelos.

Según VELÁSQUEZ (2008), la investigación en erosión de suelos y su efecto en la producción agrícola comenzó en los años 1930. Durante 1940 y 1956, los científicos empezaron a desarrollar procedimientos cuantitativos para estimar la pérdida de suelos en el cinturón maicero de los Estados Unidos. Varios factores fueron introducidos a una primera ecuación de pérdida de suelos, en la cual la pendiente y las prácticas culturales fueron consideradas. Se reconoció que la ecuación de pérdida de suelos podría tener un gran valor para la planificación de fincas y que la ecuación del cinturón maicero podría ser

adaptada a otras regiones. En 1946, un grupo de especialistas llevaron a cabo un taller en Ohio para replantear los factores previamente utilizados y adicionaron un factor de lluvia. En 1954, el Departamento de Agricultura de los EEUU (USDA) y el Servicio de Investigación Agrícola (ARS) establecieron el Centro Nacional de Datos de Escorrentía y Pérdida de Suelos (CNDEPS) en la Universidad de Purdue, con el objetivo de localizar, ensamblar y consolidar todos los datos disponibles a través de los EEUU.

Más de 10 000 parcelas experimentales de escorrentía, fueron tomadas en cuenta para medir la pérdida de suelo, en 49 localidades a lo largo de los EEUU (ALMOZA *et al.*, 2007).

Basados en los datos recopilados por el CNDEPS, Wischmeier, Smith y otros, desarrollaron la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS o USLE). Con una aceptación amplia, la USLE se ha consolidado como la mayor herramienta de planificación de la conservación que se usa en los EEUU y en otros países del mundo (VELÁSQUEZ, 2008).

Según MORGAN Y KIRKBY (1984), la USLE o EUPS se diseñó en principio como un auxiliar útil para la planificación de la conservación, también puede ser un útil instrumento de investigación, con tal de que uno sea más preciso para evaluar los factores de la ecuación que para la planificación de la conservación. Puede utilizarse para generar los datos de pérdida de suelo para correlacionarlos con otros parámetros. La ecuación se desarrolló para calcular la pérdida promedio anual de suelo a largo plazo. Por tanto, su aplicación a

determinado año o tempestad tal vez no sea adecuada. Cuando se utiliza en el caso de una tempestad específica, estimará la pérdida de suelo promedio si ese evento se repite mucho y, lo mismo que con cualquier promedio, la pérdida de suelo derivada de cualquiera de estos eventos puede variar considerablemente.

VELÁSQUEZ (2008), indica que los factores de la EUPS se desarrollaron mediante una unidad de evaluación llamada la parcela estándar. Una parcela estándar es de una longitud de 22,13 metros sobre una pendiente uniforme de 9 por ciento en sentido longitudinal. La parcela fue labrada hacia arriba y hacia abajo de la pendiente y estuvo bajo barbecho continuo durante por lo menos dos años. La parcela estándar es simplemente resultado del desarrollo histórico de la EUPS. Los datos básicos a menudo se obtenían de parcelas de 40,5 m<sup>2</sup> (0.01 acres) de tamaño. Para una anchura adecuada de 1,83 metros (6 pies) se requería una longitud de parcela de 22,13 metros (72,6 pies). Gran parte de los datos se tomaron de las superficies que se desviaban de la parcela estándar y permitía obtener las escalas para el análisis estadístico que condujeron a la formulación de la EUPS. Sin embargo, la parcela estándar se tomó como base para definir la variación en L, S, C, y P.

Con investigación adicional, experimentos, datos y recursos estuvieron a la disponibilidad de investigadores y científicos que continuaron mejorando la USLE, lo que llevó al desarrollo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (EUPSR o RUSLE) (Renard *et al.*, 1997, citado por VELÁSQUEZ, 2008).

Según ALONSO *et al.* (2007), la ecuación universal de pérdida de suelos modificada (RUSLE) es una revisión de USLE (Wischmeier y Smith, 1978), donde se mantiene la misma estructura general, pero se modificó la forma de obtención de cada uno de los factores del modelo (Renard *et al.*, 1997, citado por VEGA y FEBLES, 2005). Aunque fue desarrollado para pequeñas pendientes, USLE y sus resultados han sido incorporados en aplicaciones de modelación de erosión y transporte de sedimento a escala de cuenca. Los requerimientos de datos de entrada son bajos, comparado con muchos otros modelos: lluvia anual, un estimado de la erodabilidad, información de la cobertura de suelo y la topografía. Dando como resultado una estimación de la pérdida de suelo anual promedio (Merritt *et al.*, 2003, citado por ALONSO *et al.*, 2007).

$$A = R \times K \times L \times S \times P$$

**Donde:**

**A** es la cantidad de material erodado calculado o medido expresado en toneladas por hectárea para una duración de lluvia específica. A tiene las unidades de K, en el periodo de tiempo seleccionado para R.

**R** es el factor de lluvia en forma de un índice (EI30), que es medido por el poder erosivo de la lluvia expresado en toneladas metro por hectárea hora o en joule por metro cuadrado, una medida de la fuerzas erosivas de la lluvia y escurrimiento asociado;

**K** es el factor de erodabilidad del suelo, es erosión estándar en tonelada por hectárea por unidad de erosividad R, para un suelo específico con

una pendiente uniforme de 9% de gradiente y 22,1 m de longitud de pendiente en barbecho limpio labrado, es una medida de la susceptibilidad inherente de la partículas del suelo a la erosión;

**L** es el factor longitud de pendiente, expresa la relación de pérdida de suelo de una pendiente con una longitud dada y la pérdida de suelo de una pendiente con una longitud estándar de 22,13 m, con idénticos valores de erodabilidad y gradiente de pendiente;

**S** es el factor de gradiente de pendiente, expresa la relación de pérdida de suelo de una gradiente de pendiente específica y la pérdida de suelos de una pendiente con gradiente estándar de 9%, bajo otras condiciones similares, definen el efecto de la inclinación de la pendiente sobre la pérdida de suelo por unidad de área;

**C** es el factor combinado de vegetación y manejo, expresa relación de pérdida de suelo de un área con cobertura y manejo específicos a una área similar pero en barbecho continuamente labrado; y

**P** es el factor prácticas de conservación de suelo que expresa la relación de pérdida de suelo de un área con cobertura y manejo específico, como cultivo en contorno, cultivo en bandas o terrazas, con otro con labranza a favor de la pendiente.

Cuadro 1. Dimensiones y unidades de los factores del modelo USLE / RUSLE

Símbolo	Dimensión	Unidades métricas
A	$\frac{M}{L^2 * T}$	$\frac{tm}{ha * año}$
R	$\frac{L * F * L}{L^2 * T * T}$	$\frac{Mj * mm}{ha * hrs * año}$
K	$\frac{M * L^2 * T}{L^2 * L * F * L}$	$\frac{tm * ha * hrs}{ha * Mj * mm}$

Fuente: Renard *et al.* (1997), citado por MESEN (2009).

Según MESEN (2009), el producto de los primeros cuatro factores (R, K, L y S) es el potencial erosivo inherente en el sitio; eso es, la 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 especiales.

Del mismo modo RAMÍREZ (2010) nos dice que, los términos RKLS, establecen la influencia de los factores físicos del lugar, poco modificables por el hombre. Representan la pérdida de suelo que ocurriría en ese sitio si todo el año el suelo estuviese desnudo; por esa razón a este producto parcial se lo denomina erosión potencial (EP).

RAMÍREZ (2010), indica que el producto de (RKLS) por los valores de C y P permite estimar la erosión actual (EA). Estos valores dependen del porcentaje de cobertura natural y del manejo que cada productor haga de su

campo. Para diferentes manejos corresponden diferentes valores de C y P; estos valores se encuentran tabulados.

WISCHMEIER y SMITH (1978), describen cada uno de estos factores y proporcionan métodos para evaluarlos. El USLE / RUSLE fue desarrollado para:

- Predecir el movimiento promedio anual de suelos desde una pendiente específica, bajo condiciones de uso y manejo específicos.
- Orientar la selección de prácticas de conservación para localidades específicas. Para ello, es preciso conocer la tolerancia de pérdidas de suelo del terreno, lo que a su vez permitirá efectuar la ordenación agroecológica del espacio considerado.
- Estimar la reducción de pérdida de suelos que se puede lograr con cambios de manejo efectuados por el agricultor.
- Determinar el largo máximo de pendiente tolerable para un sistema de cultivo determinado.

Las ventajas del (R) USLE incluyen facilidad de uso, simplicidad, y una base de datos amplia sobre la cual fue desarrollado. Sin embargo, tiene varias limitaciones. Los métodos para estimar los seis factores no se encuentran disponibles en muchos lugares fuera de los Estados Unidos de Norteamérica. Su aplicación en praderas es limitada. Está basado sobre el supuesto de pendiente de terreno, suelos, cultivo y manejo uniformes. Es un procedimiento estadístico (empírico o "agrupado") que no contempla los

procesos físicos de separación, transporte y sedimentación en forma mecánica (WISCHMEIER y SMITH, 1978).

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

Uno de los factores que determinan la erosión es la agresividad o erosividad de la lluvia; se define como la capacidad potencial de la precipitación, de causar erosión en un período determinado de tiempo (PEREZ, 2001).

Según RAMÍREZ (2010), el factor R representa la capacidad potencial de las lluvias para generar erosión; es función de las características físicas de las mismas (intensidad, duración, velocidad y tamaño de las gotas) y además la altitud incide significativamente en los valores obtenidos (ANTEZANA, 2001), del mismo modo RAMÍREZ *et al.* (2007) nos dice que, existe una relación directa entre la erosividad y la precipitación anual, dada la definición misma de dicho índices.

ANTEZANA (2001) nos dice que, es el potencial erosivo de la lluvia que afecta el proceso de erosión del suelo. La erosión por gotas de lluvia incrementa con la intensidad de la lluvia. Una suave y prolongada lluvia puede tener la misma energía total que una lluvia de corta duración y más intensa.

Debido a la dificultad para calcular el factor R de la USLE, ya que para su cálculo debe contarse con registros pluviográficos diarios durante un número elevado de años, y calcular la energía cinética y la intensidad de los aguaceros en forma aislada, diversos autores han propuesto métodos

adicionales para definir el factor de erosividad de una manera simple y aplicable a las condiciones regionales (RAMÍREZ *et al.*, 2007).

INETER (2005) nos dice que, los más conocidos al respecto fueron desarrollados por: Smith y Wischmeier (1963), Athesian (1974), Delwaulle (1973), Roose (1975), Klingebiel (1972), Hudson (1971), Lal (1976), Arnoldus (1978), Morgan (1974) y Foster (1981).

#### **2.6.1.1. Factor EI30 método de Wischmeier (1959)**

Una estimación de la erosividad a partir de datos pluviométricos la obtuvo WISCHMEIER (1959), tras demostrar que la correlación entre la pérdida de suelo en distintas tormentas y la cantidad de lluvia caída o la cantidad máxima en distintos intervalos era pequeña, pero que el factor más correlacionado con la erosión era la energía cinética, el mejor estimador de la pérdida de suelo resultó ser un parámetro igual al producto de la energía cinética de la tormenta para la intensidad máxima registrada en 30 minutos (ELÍAS Y CASTELLVI, 2001).

RAMÍREZ (2010) nos dice que, el índice EI30, se define como el producto de la energía cinética (E) de un aguacero y su máxima intensidad en un intervalo de 30 minutos (I). El factor R resulta de promediar totales anuales de E\*I para un período de por lo menos 20 años de fajas pluviográficas.

A los fines prácticos, la ausencia de esta información en las estaciones meteorológicas ha limitado la aplicación de esta metodología; además la dificultad para determinar el factor R de la USLE, ya que para su

cálculo debe contarse con registros pluviográficos diarios durante un número elevado de años, y calcular la energía cinética y la intensidad de los aguaceros en forma aislada, diversos autores han propuesto métodos adicionales para definir el factor de la erosividad de una manera simple y aplicable a las condiciones regionales (RAMÍREZ *et al.*, 2007).

#### **2.6.1.2. Morgan (1974)**

MORGAN (1997) nos dice que, este método fue propuesto para lugares de alta precipitación y esta dado por la siguiente fórmula:

$$R = I30 (9,28P - 8383) / 1000$$

Donde:

I30 = 75 mm/h (valor recomendado por Wischmeier).

P = Precipitación promedio anual en mm.

#### **2.6.1.3. Foster *et al.* (1981)**

Este método citado por MORGAN (1997), es otro índice de erosividad, que se expresa por la siguiente fórmula:

$$R = 0,276P * I30 / 100$$

Donde:

I30 = 75 mm/h (valor recomendado por Wischmeier).

P = Precipitación promedio anual en mm.

- **Componente I30 de la ecuación MORGAN y FOSTER:**

Según MORGAN (1997), con intensidades mayores de 75 mm/h, la energía cinética se aproxima a un valor de  $29 \text{ Jm}^{-2}\text{mm}^{-1}$ , que parece representativo para muchas localizaciones (Kinnell, 1987). Cáster *et al.* (1974), comprobaron en el sur de USA, que la energía cinética aumentaba hasta un valor máximo para intensidades próximas a 75 mm/h, decrecía para intensidades hasta de 175 mm/h y, posteriormente, aumentaba de nuevo para mayores intensidades. Mientras que Osuji (1989), comprobó que los valores máximos de energía eran, generalmente, próximos a  $35 \text{ J m}^{-2}\text{mm}^{-1}$ , para intensidades mayores de 70 mm/h.

Según MORGAN Y KIRBY (1984), los estudios han demostrado que el tamaño mediano de las gotas de lluvia no continúa aumentando con intensidades de precipitación pluvial superiores a 75 mm/h (Cáster *et al.*, 1974 y Hudson, 1971). ELÍAS y CASTELLVI (2001), nos dice que por tanto, las recomendaciones actuales (Wischmeier y Smith, 1978) son que se utilice un límite superior de 76,2 mm/h para calcular la energía por unidad de precipitación pluvial y se establezca un límite inferior de 63,5 mm/h para el componente  $I_{30}$ , con un valor recomendado de 75 mm/h, para zonas de alta precipitación.

#### **2.6.1.4. Roose (1995)**

Este método citado por MORGAN (1997), es otro índice de erosividad que considera la precipitación promedio anual y se expresa por la siguiente fórmula:

$$R = 1,73 * 0,5 * P$$

Donde:

P = Precipitación promedio anual en mm.

#### 2.6.1.5. Índice Modificado de Fournier

INETER *et al.* (2005) y PIZARRO (2007) nos dicen que, el índice modificado de Fournier fue desarrollado por Arnoldus (1978), para corregir posibles desviaciones en el índice de Fournier, considerando las precipitaciones de todos los meses para un periodo de tiempo, considera no solamente el mes de mayor precipitación sino también el resto de los meses.

Según Arnoldus (1978), citado por RAMÍREZ (2010), basado en trabajos de Fournier, nos dice que el índice modificado de Fournier (IMF), es un método práctico que utiliza una fórmula obtenida por regresión lineal en la cual correlacionó valores conocidos de R con las lluvias medias anuales.

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

Donde:

i = número del mes

p = precipitación mensual en mm.

P = precipitación promedio anual en mm.

RAMÍREZ (2010) nos dice que, este índice fue utilizado por FAO en la elaboración del mapa universal de degradación de suelos. Las principales

ventajas que muestra son el empleo de datos meteorológicos simples y una buena correlación con valores medidos conocidos del factor R, empleando el índice I30. Esta ecuación se probó en diferentes regiones del mundo obteniéndose en general un alto grado de correlación (0,89).

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

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

Cuadro 2. Clasificación de IFM para Latinoamérica.

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

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

### 2.6.2. Factor K o índice de erodabilidad

Representa la susceptibilidad del suelo a ser erosionado. Algunos se erosionan más rápidamente que otros aún cuando las pendientes, lluvia,

cobertura y prácticas de manejo sean las mismas, debido a las propiedades intrínsecas del suelo (Villanueva *et al.*, 2002, citado por VELÁSQUEZ, 2008).

INETER *et al.* (2005) nos dice que, los suelos altos en limo o arena muy fina erosionan más rápidamente. La erodabilidad disminuye a medida que el contenido de partículas de arcilla y arena (excluyendo arena muy fina) incrementan. Del mismo modo VELÁSQUEZ (2008) y RAMÍREZ (2010) nos dicen que, los suelos con alto contenido de arcilla tienen bajos valores de K, por su resistencia al desprendimiento de las partículas de suelo. Suelos con texturas gruesas, como los arenosos, tienen también bajos valores de erodabilidad, aunque estos suelos son fácilmente erodables. Suelos con texturas medias como los francos, tienen un valor moderado de K, de cerca de 0,25 a 0,4 ya que son moderadamente susceptibles al desprendimiento y producen una escorrentía moderada. Suelos que contienen un alto contenido de limo son los más erodables, ya que son fácilmente desprendibles, tienden a formar una costra y producir altas tasas de escorrentía. Los valores de K de estos suelos tienden a ser mayores que 0,4.

La materia orgánica del suelo mejora la estructura, infiltración y agregación y disminuye la erodabilidad, pero agregados grandes pueden aun ser transportados por escorrentía de alta velocidad. La permeabilidad del perfil es importante debido a su influencia en la escorrentía (VELÁSQUEZ, 2008).

Valores más exactos de K pueden ser obtenidos usando el nomograma de erodabilidad. El nomograma gráficamente calcula K para un

suelo dado en función de la distribución de tamaño de las partículas, contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad del perfil. Se basa en una ecuación, que fue desarrollada de datos de campo de parcelas de erosión que se establecieron en los Estados Unidos.

$$100 K = 2,1 * (M^{1,14}/10\ 000) * [(12-a) + 3,25 (b-2) + 2,5 (c-3)]$$

Donde:

M = Limo + arena muy fina (%)

a = Materia orgánica (%)

b = Clase de estructura

c = Clase de permeabilidad

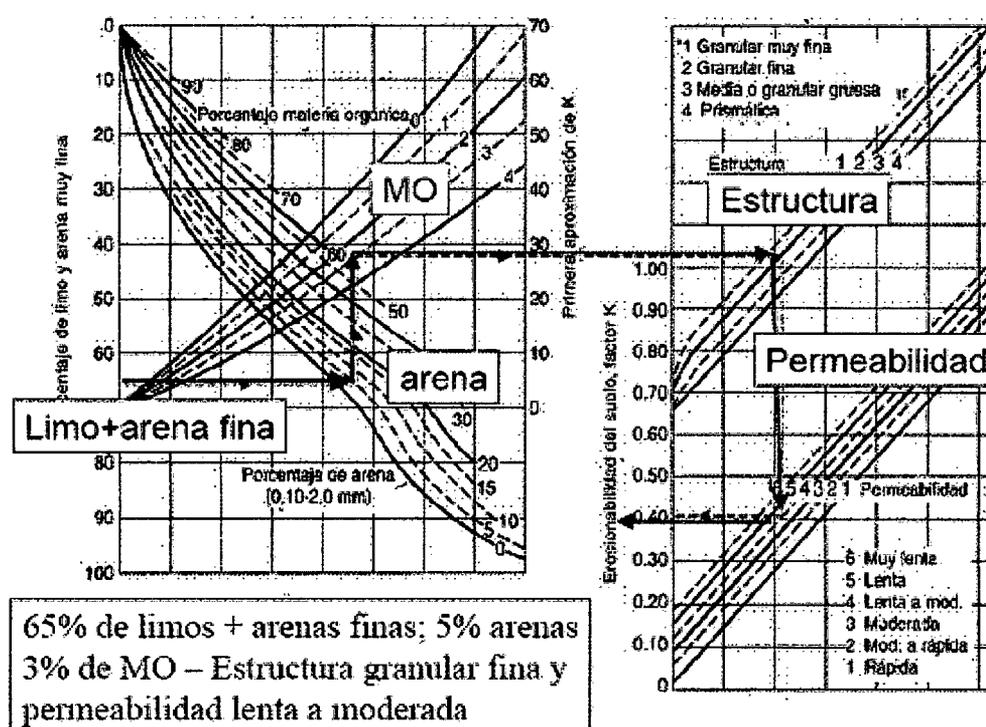


Figura 1. Nomograma de Erodabilidad para determinar el valor de K (unidades métricas).

### 2.6.3. Factor LS o longitud y gradiente de la pendiente

Según RAMÍREZ (2010), se conoce con el nombre de factor topográfico. Expresa el efecto del relieve sobre la pérdida de suelos, representando el efecto del largo y grado de la pendiente. Según INETER *et al.* (2005), a medida que la escorrentía se acumula en una pendiente alargada, su capacidad de desprender y transportar se incrementa.

**L** es el factor de longitud de la pendiente y representa su efecto en la erosión (adimensional). Es la razón entre la pérdida de suelo en la longitud de pendiente en campo con respecto a la longitud de una parcela de 22,1 m en el mismo tipo de suelo y gradiente. La longitud de la pendiente es la distancia desde el origen de la escorrentía superficial a lo largo de su vía de flujo a la localidad donde se concentra el flujo o donde se deposita el suelo desprendido. Afortunadamente, los valores de pérdida de suelo no son especialmente sensitivos a la longitud de la pendiente y las diferencias en longitud de +0 - 10% no son importantes en la mayoría de pendientes.

**S** es el grado de inclinación de la pendiente. Representa los efectos de la inclinación en la erosión. La pérdida de suelo se incrementa más rápidamente con pendientes muy escarpadas en comparación con el incremento en longitud de la pendiente. Se define como el cociente de la pérdida de suelo en el campo entre la que ocurre en una parcela de 9% de inclinación bajo idénticas condiciones. La relación entre la pérdida del suelo y la gradiente se ve influenciada por la densidad de la cobertura vegetal y el tamaño de las partículas del suelo.

Generalmente, el factor L y S se consideran juntos. Los factores LS juntos son iguales a 1 bajo condiciones de la parcela unitaria de 22,1 m y 9% de inclinación. Los valores de L y S son relativos y representan que tan erodable es una longitud e inclinación particulares en relación a los 22,1 m de largo y 9% de inclinación de la parcela unitaria, algunos valores de LS son menores que 1 y otros mayores que 1. Métodos para su determinación:

### 2.6.3.1. Método de Mintegui (1983)

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

Cuadro 3. Valores del factor LS en función de la pendiente.

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

Fuente: Método Mintegui (1983), citado por RAMOS (2001) y GARCÍA (2005).

### 2.6.3.2. Metodología de Renard *et al.*, 1997

Renard *et al.* (1997), citado por BARRIOS y QUIÑONEZ (2000) y VELÁSQUEZ (2008), nos dice que el factor LS se calcula aplicando las ecuaciones empleadas en RUSLE.

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

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

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

$$L_{(i,j)} = \frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{x^m \cdot D^{m+2} \cdot (22,13)^m}$$

Donde A (i, j) [m] es el área aportadora unitaria a la entrada de un pixel (celda), D es el tamaño del pixel y x es el factor de corrección de forma.

- **El factor S:** El ángulo  $\beta$  se toma como el ángulo medio a todos los subgrids en la dirección de mayor pendiente (McCOOL *et al.*, 1987,1989, citado 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) nos dice que, cuando se aplica esta fórmula en el Raster Calculator de Arcgis se debe tomar en cuenta que el ángulo deberá ser convertido a radianes (1 grado sexagesimal = 0,01745 radianes), para que pueda ser multiplicado por los demás componentes de las ecuaciones.

#### **2.6.4. Factor C o de cobertura vegetal**

INETER *et al.* (2005) nos dice que, la cobertura de suelo es la más grande defensa contra la erosión de suelo, pero un mantenimiento de variables de sistema de cultivos y manejo también influyen altamente en la habilidad de la superficie de suelo a resistir erosión. VELÁSQUEZ (2008) nos dice que, **C** es el factor de manejo de cultivo. El factor C se utiliza para reflejar el efecto del cultivo y las prácticas de manejo en las tasas de erosión. Es el factor que se utiliza más a menudo para comparar los impactos relativos de las opciones de manejo en los planes de conservación. El factor C indica cómo el plan de conservación afectará la pérdida promedio anual y cómo la pérdida potencial de suelo será distribuida en el tiempo durante las actividades de construcción, rotaciones de cultivo u otros esquemas de manejo.

El factor C se basa en el concepto de la desviación en relación a un estándar, en este caso un área limpia de cultivos y en barbecho continuo. La tasa de pérdida de suelo es entonces un estimado de la tasa de pérdida de suelo en las condiciones actuales en relación a aquella que se experimentaría bajo las condiciones de referencia.

“C” representa los efectos de las plantas, la cobertura del suelo, la biomasa del suelo y las actividades disturbadoras del suelo en los procesos de erosión. La RUSLE calcula las tasas de pérdida del suelo, que son las tasas de pérdida en un momento dado, en una secuencia de manejo de cobertura, en relación a la pérdida de suelo en la parcela unitaria. El valor del factor “C” es una tasa promedio ponderado con respecto al factor R durante el año.

Cuadro 4. Valores de “C” según el uso de tierra.

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).

### 2.6.5. Factor P o de prácticas de conservación de suelos

Según VELÁSQUEZ (2008), P es el factor de prácticas de control de erosión. El factor P de la RUSLE refleja el impacto que las prácticas de control tienen sobre la tasa de erosión.

INETER (2005) nos dice que, este factor representa el efecto de mejores prácticas como cultivo en contorno o en bandas. Su valor depende de la pendiente del terreno y puede ser obtenido de tablas. Los valores de P varían entre 0 y 1. La determinación del factor P por efecto de incluir prácticas de conservación de suelos, son obtenidos de valores obtenidos en ensayos experimentales.

En la zona de estudio no se observan prácticas de este tipo, por lo que este factor no se ha considerado, pero citamos las tablas como referencia:

Cuadro 5. Valores de "P" para cultivos en contorno y su máxima longitud permitida entre obras.

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

Fuente: Wischmeier y Smith (1978), citado por INETER (2005).

Cuadro 6. Valores de P para curvas a nivel.

Prácticas de conservación	Factor P
Cultivo a nivel $s = 0 - 1^\circ$	0,60
Cultivo a nivel $s = 2 - 5^\circ$	0,50
Cultivo a nivel $s = 6 - 7^\circ$	0,60
Cultivo a nivel $s = 8 - 9^\circ$	0,70
Cultivo a nivel $s = 10 - 11^\circ$	0,80
Cultivo a nivel $s = 12 - 14^\circ$	0,90

Fuente: Ramos (2001).

Cuadro 7. Valores de P para barreras con la distancia máxima entre obras.

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

Fuente: Wischmeier y Smith (1978), citado por INETER (2005).

### 2.6.6. Pérdida de suelo (A)

Según NUNEZ (2001), el concepto de “las pérdidas tolerables”, o niveles aceptables de erosión, manejado objetivamente, puede ser instrumento valioso en la identificación de problemas erosivos y en la selección de métodos de control para minimizar las pérdidas. Naturalmente, la pérdida aceptable de

suelo depende de las condiciones del mismo: si se trata de un suelo profundo con fertilidad similar a lo largo de todo el perfil, una pérdida de 25 mm en 30 años es mucho menos que si se trata de un suelo de pocos centímetros descansando sobre roca dura. En este caso la cifra tope excede raras veces 12,5 tm/ha/año; y frecuentemente es menor. En Estados Unidos son comunes objetivos de 2,5 a 12,5 tm/ha/año, y la Federación Centroafricana no admite más de 10 tm/ha/año para suelos arenosos y 12,5 tm/ha/año para suelos arcillosos (HUDSON, 2006).

Cuadro 8. Niveles de intensidad de pérdida de suelo.

Intensidad de amenaza	Pérdida de suelo (tm/ha/año)	Pérdida de suelo (mm)
Baja	5 – 12	0,4 – 2
Media	12 – 25	2 – 5
Alta	mayor a 25	mayor a 5

Fuente: Wischmeier y Smith (1978).

El límite de erosión aceptado internacionalmente como admisible oscila en torno a las 10 – 12 tm/ha/año, aunque se cree que en zonas húmedas esta cifra puede elevarse hasta las 25 tm/ha/año. Por encima de esta cifra no se garantiza la conservación de los suelos, ya que la destrucción es más rápida que la creación de suelo (RAMOS, 2001).

Según los valores de erosión aceptables se clasifica la pérdida de suelo por erosión de acuerdo a los siguientes rangos:

Cuadro 9. Clasificación de los niveles de intensidad de pérdida de suelo.

Pérdidas de suelo tolerables.

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

Fuente: Adaptado de FAO, UNESCO, PNUMA (1980), citado por EDES0 (1997), RAMOS (2001, 2009), VELÁSQUEZ (2008) y RAMÍREZ (2010).

## 2.7. Sensores espaciales

El sensor es un elemento fundamental en el sistema de teledetección. Su misión es la de registrar la radiación electromagnética reflejada o emitida por la superficie de la tierra. Generalmente se encuentran instalados en aviones o satélites, cuyo propósito es el de obtener información sobre las propiedades del objeto, sin entrar en contacto directo con ellos (Vargas, 1992, citado por CHÁVEZ, 2005).

### 2.7.1. Satélite IKONOS

Es el primer satélite de tipo comercial que posibilita la captación de imágenes hasta con un metro de resolución espacial. El término "IKONOS" proviene de un vocablo griego y significa imagen (REUTER, 2009).

- **Fecha de lanzamiento:** 24 de setiembre de 1999.
- **Lugar de lanzamiento:** Vandenberg Air Force Base, California.
- **Peso:** 720 kg.
- **Altitud:** 681 km.
- **Inclinación:** 98,1°.
- **Velocidad:** 7 km/s.
- **Sentido de la órbita:** descendente.
- **Duración de la órbita:** 98 minutos.
- **Tipo de órbita:** sincrónica con el sol.
- **Ángulo de visada:** rápida alternancia entre diferentes ángulos.
- **Tiempo de revista:** 1 a 3 días.

Cuadro 10. Principales características del satélite IKONOS.

<b>Espectro electromagnético</b>	<b>Resolución espectral</b>	<b>Resolución espacial</b>	<b>Resolución temporal</b>	<b>Resolución radiométrica</b>
Pancromático	0,45 – 0,90 $\mu\text{m}$			
Azul	0,45 – 0,52 $\mu\text{m}$	4 m	1,5 días	11 bits
Verde	0,52 – 0,60 $\mu\text{m}$			
Rojo	0,63 – 0,69 $\mu\text{m}$			
Infrarrojo cercano	0,76 – 0,90 $\mu\text{m}$	1 m	2,9 días	

Fuente: Adaptado por DEL AGUILA (2010), de PÉREZ (2005), MARTÍNEZ (2005) y REUTER (2009).

### 2.7.2. Satélite QUICKBIRD

Según REUTER (2009), QuickBird es un satélite de alta resolución de propiedad y operado por Digital Globe, utilizando un sensor exclusivo Sensor BGIS 2000 (PDF), QuickBird utiliza un sensor remoto con un

grado de detalle de 0,61 m píxeles de resolución. Este satélite es una excelente fuente de información ambiental para el análisis de los cambios en la utilización terrestre, en la agricultura y climatización forestal.

- **Fecha de lanzamiento:** 18 de octubre del 2001.
- **Vehículo de lanzamiento:** Boeing Delta II.
- **Lugar de lanzamiento:** Vandenberg Air Force Base, California.
- **Sensor:** BGIS 2000.
- **Peso:** 1028 kg.
- **Altitud:** 450 km.
- **Inclinación:** 97,2°, sincronización solar.
- **Velocidad:** 7,1 km/s – 25 560 km/hora.
- **Sentido de la órbita:** descendente.
- **Duración de la órbita:** 93,5 minutos.
- **Tipo de órbita:** heliosincrónica.
- **Tiempo de cruce del Ecuador:** 10:30 am.
- **Tiempo de revista:** 1 a 3,5 días dependiendo.
- **Ancho de pasada:** 16,5 km en el nadir.
- **Área de interés:** 16,5 x 16,5 km.
- **Exactitud métrica:** 23 m horizontal.

Cuadro 11. Principales características del satélite QUICKBIRD.

<b>Espectro electromagnético</b>	<b>Resolución espectral</b>	<b>Resolución espacial</b>	<b>Resolución temporal</b>	<b>Resolución radiométrica</b>
Pancromático	450 - 900 nm			
Azul	450 - 520 nm	2,4 m	1,0 días	11 bits
Verde	520 - 600 nm			
Rojo	630 - 690 nm			
Infrarrojo cercano	760 - 900 nm	0,6 m	3,5 días	

Fuente: Adaptado por DEL AGUILA (2010), de REUTER (2009) y UBEDA (2004).

## 2.8. Modelos de elevación digital (DEM)

Según ROA y KAMP (2006), un Modelo de Elevación Digital (MED) es una representación digital de la altitud como variable continua sobre una superficie bidimensional a través de una red regular de valores Z referenciados a un datum común. Los más comunes son los de estructura tipo raster, que consisten en una malla o matriz de celdas cuadradas con la información de elevación en cada celda o pixel (PUSINERI *et al.*, 2004).

Los MED se pueden generar a partir de mapas topográficos, fotografías aéreas, datos de radar (SRTM), sistemas láser (LIDAR), o de imágenes satelitales estereoscópicas. Estas últimas se representan por sistemas electro-ópticos procedentes del SPOT o del ASTER, los cuales usan imágenes satelitales en lugar de fotografías aéreas, cubriendo áreas mucho más extensas en una simple toma y generando, de esta forma, un MED más consistente dado que sus datos se generan bajo un mismo momento e igual

calibración del sensor, esto implica la obtención de información rápida, de bajo costo, mayor accesibilidad y de resolución variable (ROA y KAMP, 2006).

La utilización de pares estereoscópicos para la generación de un DEM se basa en la disparidad binocular o paralaje, definido como la “diferencia” de la imagen de un objeto proyectado en cada retina. El grado de disparidad entre las imágenes proyectadas de un objeto depende del ángulo de convergencia. La convergencia es la habilidad de enfocar el eje óptico de los dos ojos en un solo objeto. La sensación de cantidad de tensión muscular en los ojos, resultante de diferentes ángulos de convergencia, facilita una estimación indirecta de la distancia a un punto de vista. El principio de la disparidad binocular es aplicado en fotogrametría aérea y satelital para calcular la elevación del terreno a partir de la medida del paralaje entre dos imágenes (Toutin, 2001, citado por OÑATE y BOSQUE, 2007).

### **2.8.1. DEM ASTER de 30 m de resolución.**

El Ministerio de Economía, Comercio e Industria del Japón (METI) junto con la National Aeronautics and Space Administration (NASA), en un esfuerzo cooperativo, realizaron el nuevo Modelo de Elevación Digital del Planeta efectuado con datos del sensor remoto ASTER, el cual fue construido a partir lecturas de alturas del terreno tomadas cada 30 metros. ASTER significa *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometers*, y es un instrumento desarrollado por Japón que permite obtener datos detallados de temperatura, reflectancia y elevación de la superficie terrestre. Más de 1,2 millones de imágenes, adquiridas entre el año 2000 y el 2008, fueron usadas

para construir el DEM, el cual se encuentra disponible para todos los usuarios a través de descargas electrónicas, en forma gratuita desde Julio de 2009 (MUÑOZ, 2009).

- **Fecha de lanzamiento:** diciembre de 1999.
- **Lanzado a bordo:** satélite Terra de la NASA.
- **Altitud:** 705 km.
- **Velocidad:** 6,7 km/s.
- **Duración de la órbita:** 93,5 minutos.
- **Tipo de órbita:** circular heliosincrónica.
- **Tiempo de cruce del Ecuador:** 10:30 am.
- **Tiempo de revista o resolución temporal:** 16 días.
- **Área de interés:** 60 x 60 km (OÑATE y BOSQUE, 2007).

Características de las 2 bandas estereoscópicas:

- **Telescopio 1:** visión Nadir (3N).
- **Telescopio 2:** visión atrás o posterior (3B).
- **Tiempo entre las dos observaciones:** 55 segundos.
- **Subsistema:** VNIR (espectro visible e infrarrojo cercano).
- **Relación B/H:** 0,6 en dirección de la órbita.
- **Angulo:** 27,6° (OÑATE y BOSQUE, 2007).

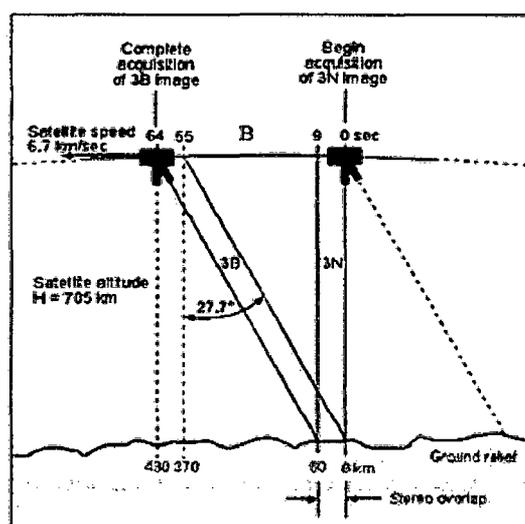


Figura 2. Configuración estéreo del subsistema VNIR.

Cuadro 12. Principales características del sensor remoto ASTER.

Espectro electromagnético	Número de banda	Resolución espectral ( $\mu\text{m}$ )	Resolución espacial	Resolución radiométrica
<b>VNIR</b> (espectro visible e infrarrojo cercano)	1	0,52 – 0,60	15 m	8 bits
	2	0,63 – 0,69		
	3N	0,78 – 0,86		
<b>SWIR</b> (infrarrojo de onda corta)	3B	0,78 – 0,86	30 m	8 bits
	4	1,600 – 1,700		
	5	2,145 – 2,185		
	6	2,185 – 2,225		
	7	2,235 – 2,285		
<b>TIR</b> (infrarrojo térmico)	8	2,295 – 2,365	90 m	12 bits
	9	2,360 – 2,430		
	10	8,125 – 8,475		
	11	8,475 – 8,825		
	12	8,925 – 9,275		
	13	10,25 – 10,95		
	14	10,95 – 11,65		

Fuente: Adaptado por DEL AGUILA (2010), de DI TOMMASO (2003) y OÑATE y BOSQUE (2007).

### 2.8.2. DEM SRTM (NASA)

La **SRTM** (Shuttle Radar Topography Mision), consistió de un sistema radar especialmente modificado que voló sobre el Trasbordador Espacial Endeavour (Misión STS - 99) durante once días del 11 al 22 de febrero del 2000, entre 56° S y 60° N, para generar una base completa de cartas topográficas digitales terrestre de alta resolución. SRTM es un proyecto internacional dentro de la esfera de la Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial (NGA) de los Estados Unidos y la Administración Nacional de Aeronáutica y Espacio (NASA) del mismo país (ROA y KRAMP, 2007).

- **Fecha de lanzamiento:** 11 de febrero de 2000.
- **Tipo de sensor:** radar.
- **Resolución espacial:** 3 segundos de arco o 90 m.
- **Resolución radiométrica:** 16 bits.
- **Datum:** WGS84.
- **Altitud:** 235 km.
- **Inclinación:** 57°.
- **Velocidad:** 7,5 km/s.
- **Tiempo de revista:** 11 días.

Según ROA y KRAMP (2007), la nave empleó dos antenas de radar con las que realizó una medición cada 30 metros. La primera de las antenas estaba alojada en la bodega de la nave; la segunda, en un mástil desplegado de 60 metros. El hecho de emplear dos ingenios separados que

fotografían de manera simultánea el planeta ha permitido obtener información sobre la altura de los accidentes geográficos que se captaban.

La técnica (llamada interferometría) es similar a la que empleamos los humanos para ver en tres dimensiones: la superposición de dos imágenes captadas desde puntos de vista levemente distintos. Los mapas resultantes, se forman a partir de tres puntos: dos en superficie (latitud y longitud) y uno en altura (GALLEGOS *et al.*, 2008).

Cuadro 13. Comparación entre DEM ASTER y DEM SRTM.

<b>DEM ASTER</b>	<b>DEM SRTM</b>
90 m de resolución	30 m de resolución
Alcance global	Alcance de escena satelital
No afecto por nubes	Afecto por nubes
(microondas ven a través de la atmósfera)	(ondas ópticas reflejan la atmósfera)
4 versiones, la última la mejor (ortorrectificada)	Tantas versiones como hay escenas satelitales

Fuente: Adaptado por DEL AGUILA (2010), de ANDERSON (2010).

Según ROA y KAMP (2007), la actual facilidad para la obtención, uso y aplicaciones de MED basados en datos e imágenes satelitales está siendo liderada por el uso de datos del SRTM, considerado como el mapeo tridimensional más preciso y extenso de la superficie terrestre, el cual puede obtenerse gratuitamente a través de algunos portales como NASA, USGS, etc. Del mismo modo, PÉREZ y MAS (2008), nos dicen que la versión con resolución de 90 m está disponible para el público y es considerada uno de los

mejores medios de información topográfica en la actualidad (GEOSCIENCE, 2005).

### 2.8.3. Usos y aplicaciones de los DEM

Los parámetros más importantes para el modelado de procesos hidrológicos y de erosión del suelo como la pendiente y la exposición pueden ser calculados a partir de un MED (VAN WESTEN, 1994), los que a su vez son importantes parámetros para el modelado de amenazas naturales tales como deslizamientos y riesgo por erosión hídrica a nivel de cuencas (ROA y KAMP, 2007).

Según ROA y KRAMP (2007), en lo referente a parámetros de la cuenca, un DEM nos sirve para extraer información automática, como por ejemplo:

- **Determinar la dirección del flujo hacia donde fluye cada celda (Flowdirección).**- consiste en determinar un patrón de movimiento a partir de las orientaciones de cada celda, calculadas en base a la pendiente. La dirección del flujo es el camino de menor resistencia que recorrerá una gota de agua drenando por gravedad, desde un punto de mayor a uno de menor elevación.
- **Calcular la acumulación del flujo (Flowaccumulation).**- consiste en determinar todas las celdas que drenan a una en particular. Parte de evaluar el recorrido del flujo para cada celda a partir de la malla de direcciones de flujo. De esta manera aquellas celdas que tengan mayor acumulación de flujo, serán las que forman los canales de drenaje.

- **Identificar las líneas de flujo (red de drenaje).**- consiste en determinar las redes de drenaje a partir de la acumulación del flujo, considerando aquellas que tengan un determinado valor de acumulación (umbral) a partir del cual la celda comienza a drenar.

- **Delinear la cuenca a partir de la identificación de un punto de salida.**- consiste en determinar el área aportante a un punto de salida o cierre de la cuenca, teniendo en cuenta la red de drenaje calculada en el punto anterior y el concepto de "umbral".

- **Cálculo de propiedades de la cuenca.**- nos sirve para hacer el cálculo de pendientes, en función de los puntos máximos y mínimos de altitud registrados en la cuenca; así mismo, posteriormente poder hacer el cálculo de áreas y longitudes.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Lugar de ejecución**

El presente trabajo de investigación se realizó en la microcuenca Puente Pérez, ubicada en el distrito de Mariano Dámaso Beraún - Las Palmas, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, a aproximadamente 15 minutos de la ciudad a través de la carretera Tingo María – Huánuco. La microcuenca en estudio, presenta una extensión aproximada de 840 ha y una altitud que va desde los 645 hasta los 1570 m.s.n.m. Su ubicación le confiere una fisiografía principalmente montañosa y colinosa, con una vegetación natural de bosques muy vistosa.

Así mismo, el trabajo de gabinete se llevó a cabo en la unidad de Recursos Hídricos de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, en la Estación Meteorológica José Abelardo Quiñones, en el Laboratorio de Análisis de suelos y en el Laboratorio de Ingeniería Agrícola de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva de Tingo María.



### **3.1.1. Ubicación UTM de la cuenca**

La microcuenca Puente Pérez se encuentra ubicada entre:

Este : 392474 m 395313 m

Norte : 8966192m 8968512 m

Altitud : 667 msnm 1560 msnm

## **3.2. Características del área de estudio**

### **3.2.1. Precipitación**

La estación Meteorológica José Abelardo Quiñonez de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, registra una precipitación promedio anual de 3400 mm y varía en intensidad, duración y frecuencia; muchas veces se manifiestan violentamente en forma de gotas gruesas, de poca duración y en pleno sol.

### **3.2.2. Humedad**

La estación Meteorológica José Abelardo Quiñonez de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, registra una humedad relativa media anual de 80%.

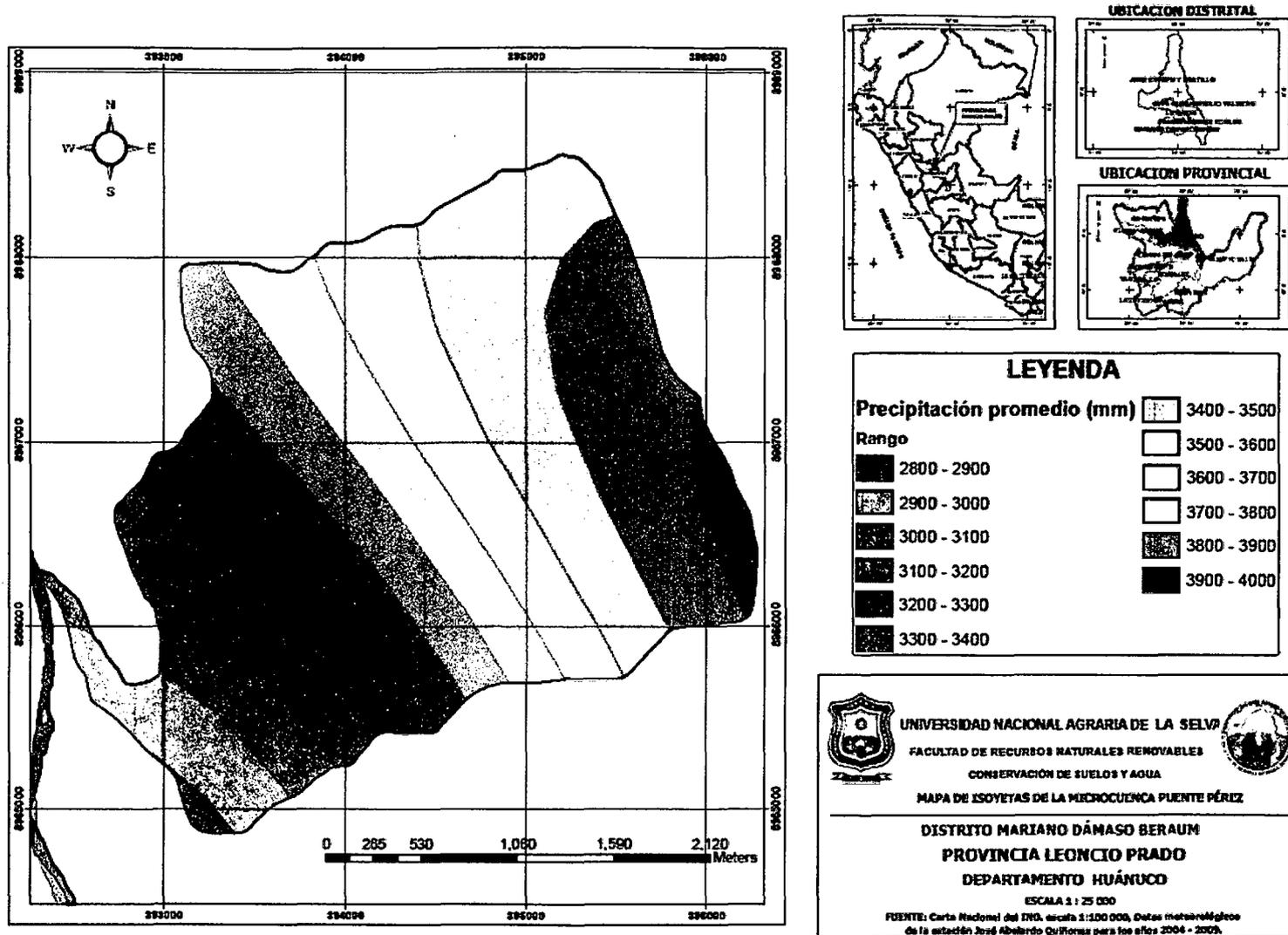


Figura 4. Mapa de Isoyetas o precipitación de la microcuena Puente Pérez

### **3.2.3. Temperatura**

Así mismo registra una temperatura máxima de 30°C, temperatura mínima de 20,3°C y una temperatura promedio de 25,2°C.

### **3.2.4. Características ecológicas**

Según Holdrige (1993), citado por Mapa Ecológico del Perú – INRENA (1995), el área estudiada corresponde a la zona de vida de transición: Bosque Muy Húmedo – Pre montano Tropical (bmh-PT) a Bosque Muy Húmedo – Subtropical (bmh-S).

### **3.2.5. Geología**

El área en 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.

### **3.2.6. Fisiografía**

De manera general el valle del Alto Huallaga y en especial la zona de estudio presentan dos paisajes bien diferenciados según Blanco *et al.* (1977), citado por MANRIQUE DE LARA y CHÁVEZ (1996), que son el paisaje aluvial y el paisaje de lomadas y colinas.

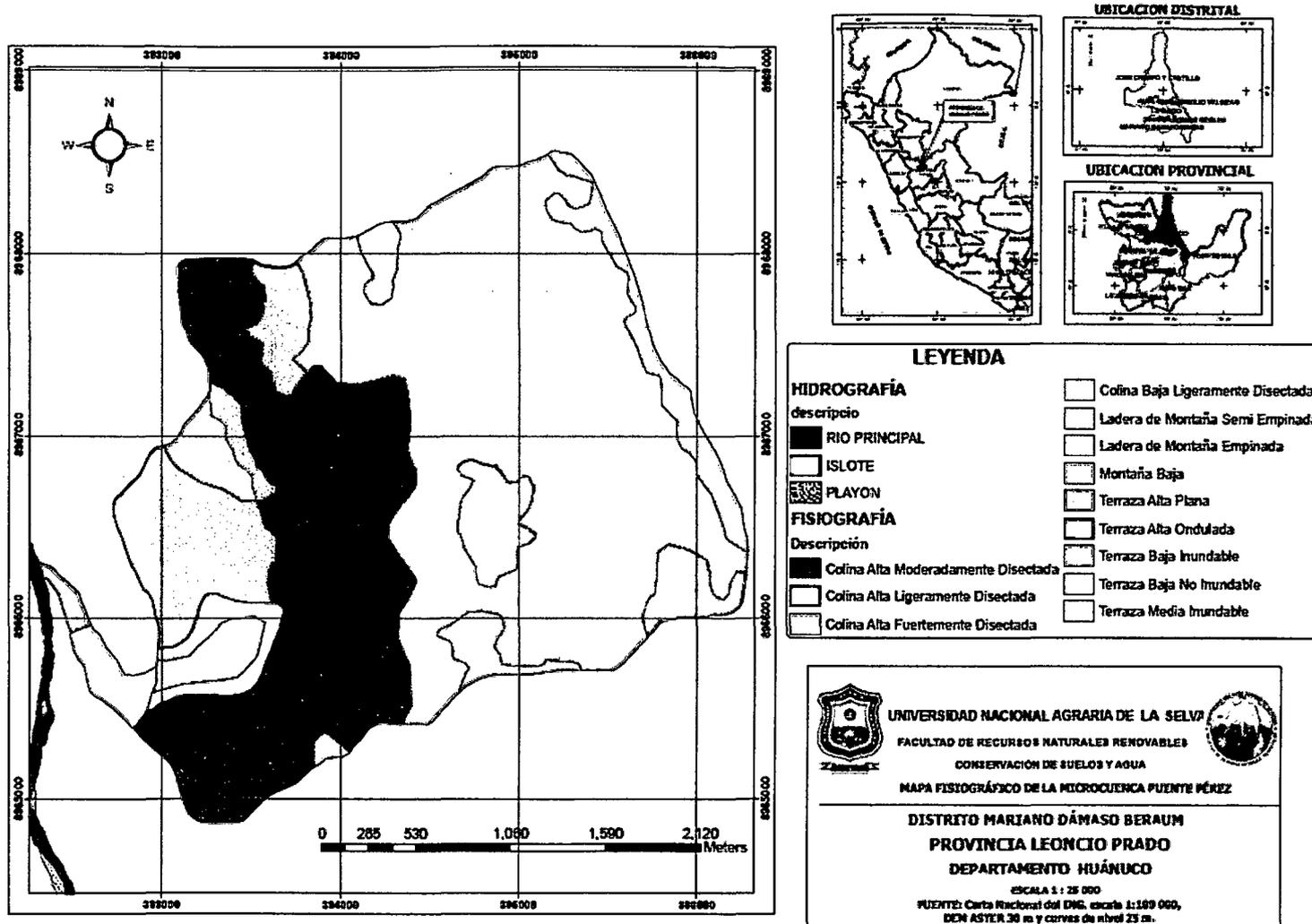


Figura 5. Mapa fisiográfico de la microcuenca Puente Pérez.

### **3.2.7. Hidrografía**

La microcuenca presenta como afluentes quebradas que forman el cauce principal que lleva por nombre “Quebrada Puente Pérez”, lo cual se puede evidenciar por la serie de atractivos turísticos con que cuenta la zona en estudio como son: El Ensueño, La catarata de Santa Carmen y el balneario de nombre “La Alcantarilla”; el cual desemboca en el río Huallaga.

### **3.3. Materiales**

#### **3.3.1. Material cartográfico**

- Carta Nacional a escala 1:100 000 elaborado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

#### **3.3.2. Material satelital**

- Imagen de satélite IKONOS. Fecha: 10 de junio del 2003. Sector: Tingo María
- Imagen de satélite QUICKBIRD. Fecha: 15 de junio del 2008. Sector: Tingo María.
- Modelo de elevación digital (DEM) ASTER de 30 m de resolución, disponible desde el 2009.
- Modelo de elevación digital (DEM) SRTM (versión 2) de 3 segundos de arco y 90 m de resolución, disponible desde el 2005.

#### **3.3.3. Hardware y software**

- 01 Laptop Dual Core 2.

- Software vectorial Arcgis 9.2.
- Otros: Windows 7, Office 2007 (Word, Excel), etc.

### 3.3.4. Equipo y material de campo

- Internet
- GPS (Sistema de Posicionamiento Global) marca Garmin.
- Cámara digital marca Canon.
- Datos digitales de las precipitaciones diarias (mm) de 4 estaciones: Tingo María, Bella, Pavas y Supte, proporcionados por la estación meteorológica José Abelardo Quiñónez (2003 - 2009).
- Libreta de campo.
- Útiles de escritorio en general.

### 3.4. Componentes de estudio

Cuadro 14. Parámetros de evaluación

Parámetro	Símbolo	Característica
Precipitación	Pp	Registrada en el pluviómetro expresada en mm/mes
Textura	Tx.	Calculada por el Método del Hidrómetro de Bouyoucos
Permeabilidad	K	Expresada en m/día
Materia orgánica	M.O	Calculada por el Método de Walkley y Black

		Expresada en tm/ha/año.
Pérdida de suelo		Calculada por la
(R/USLE)	A.	metodología de Wischmeier
		y Smith (1978), modificada
		por Renard <i>et al.</i> (1991).

---

Fuente: Elaboración propia.

### 3.5. Metodología

La realización del estudio comprendió el desarrollo de actividades en tres fases realizadas de manera continuada. Las acciones en cada una de las fases fueron las siguientes:

#### 3.5.1. Primera etapa: Recolección y complementación de información básica

Se realizó mediante investigación de la documentación básica y cartográfica existente, referida fundamentalmente a los aspectos, climáticos, hidrográficos, topográficos, de uso y manejo del suelo de la microcuenca Puente Pérez. La información básica consiste en:

##### 3.5.1.1. Adquisición de imágenes

- Se solicitó la imagen del satélite IKONOS (ortorrectificada) con una resolución espacial de 4 m del CADA (año 2003).
- Se descargó la imagen del satélite QUICKBIRD con una resolución de 2,5 m del programa Google Earth Pro (año 2008).

### **3.5.1.2. Adquisición de los DEM**

- Se descargó el DEM STRM versión 2 (ortorrectificada), de 90 m de resolución espacial. [En línea]: NASA (<https://wist.echo.nasa.gov/>, documentos, 24 May. 2010).
- Se descargó el DEM ASTER, de 30 m de resolución espacial, [En línea]: NASA (<http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>, documentos, 28 May. 2010).

### **3.5.1.3. Corrección geométrica**

Consistió en cambiar la posición de los pixeles de tal forma que estos tengan coordenadas reales. Las correcciones del DEM y las imágenes de satélite se hicieron mediante imágenes corregidas u ortorrectificadas, para el caso del DEM ASTER se usó el DEM SRTM de 90 m de resolución y para el caso de la imagen QUICKBIRD se usó la imagen IKONOS del año 2008, que fueron corregidas geoméricamente, con un sistema de referencia que corresponde a una proyección cartográfica UTM, zona 18 Sur, con Datum WGS84.

### **3.5.1.4. Datos de precipitación**

Se utilizó la información generada en la Estación Meteorológica José Abelardo Quiñones, ubicada en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de las estaciones Tingo María, Supte, Bella y Pavas, para el periodo 2003 – 2009.

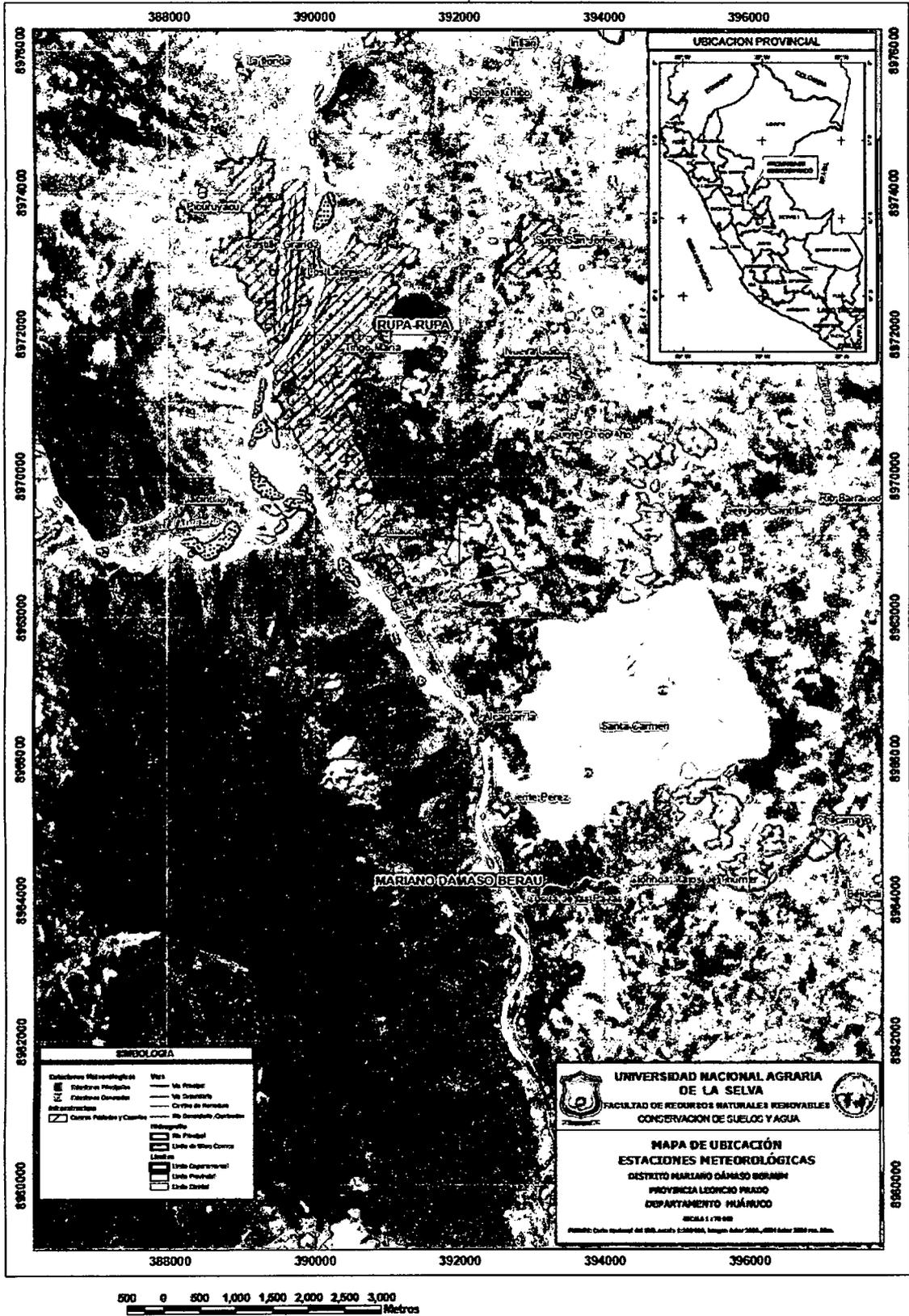


Figura 6. Mapa de ubicación de estaciones en estudio y generadas.

Cuadro 15. Ubicación de las estaciones utilizadas para este estudio.

Estación	Coordenadas UTM		Precipitación promedio (mm/año)	Z (m)
	X	Y		
Tingo María	390124,310	8970701,140	3376,54	660
Supte	394534,479	8972298,282	3042,91	665
Bella	386427,289	8969296,046	3777,78	985
Pavas	395688,075	8963117,557	3431,01	830

Fuente: Elaboración propia.

Para la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de suelos Revisada (RUSLE), se precisó la digitalización de los siguientes mapas antes del trabajo de campo, de manera que en el momento de visitar el lugar se conocieran algunas características de la cuenca y que sea posible priorizar el trabajo, de modo que volviendo de ella se puedan mejorar dichos mapas para su posterior análisis.

- Delimitación de la microcuenca.
- Mapa base de curvas de nivel, caminos, ríos y quebradas.
- Mapa de uso de suelos preliminar sobre las fotografías aéreas.
- Mapa de puntos de las estaciones climatológicas (precipitación).
- Determinación y ubicación de los puntos de muestreo sobre el mapa.

### 3.5.2. Segunda etapa: Supervisión de campo

- La visita de campo tuvo el objetivo realizar la verificación de las unidades de uso de suelo que existen en la microcuenca.

- Realizar el muestreo de suelos para cada unidad (con su respectiva georeferenciación), para su posterior análisis en laboratorio de suelos e ingeniería agrícola de la Facultad de Agronomía de la UNAS.
- Determinar la estructura del suelo por cada unidad de uso en función del cultivo y evaluar la erosión de acuerdo a la pérdida de horizontes en cada punto de muestreo.
- Identificar las prácticas de conservación que se realicen en la microcuenca, si las hubiera.

### **3.5.3. Tercera etapa: Determinación y calibración de los factores de la Ecuación Universal de Pérdida de suelo (RUSLE)**

#### **3.5.3.1. Determinación del factor R**

- Para la determinación del mapa del índice de erosividad primero se trabajaron las hojas de registro de datos pluviométricos (mm) de las estaciones: Tingo María, Supte, Bella, Pavas, Anda y Pendencia, proporcionadas por la Estación Meteorológica "José Abelardo Quiñones", acumulando los datos de precipitación mensual para el período 2004 – 2009 (ver Anexo A.1).
- Luego se realizó el análisis de consistencia de cada estación, comparándolas con la estación base - Tingo María (ver Anexo A.2).

- **Método de Roose, Morgan y Foster**

- Posteriormente, se hizo el análisis de correlación para 6 y 4 estaciones (precipitación vs altura). En este paso se desestimaron los datos de las estaciones de Anda y Pendencia, ya que sus valores promedios de precipitación anual eran muy bajos y además su ubicación es muy lejana de la zona de estudio, por tanto el valor de "R" o correlación era menor (lineal: 0,690 y polinomial: 0,691), que con 4 estaciones (lineal: 0,769 y polinomial: 0,790) (ver Anexo A.3.). En este punto se eligió la ecuación Polinómica, ya que presenta un valor de correlación más alto ( $R = 0,79$ ) (ver Anexo A.4.).
- Se generaron 5 estaciones adicionales, empleando la ecuación polinomial, para luego introducirlos en el programa Arcgis 9.2 y generar un shape de puntos (formato vector), con los cuales mediante interpolación (spline), se creó un raster de precipitación promedio (mm) para toda la cuenca, creando así un mapa de Isoyetas, con el que luego se aplicarían las fórmulas de Morgan (1974), Foster *et al.* (1981) y Roose (1995), citado por MORGAN (1997).

- **Método de índice de Agresividad Modificado de Fournier**

- Se aplicó la metodología del Índice Modificado de Fournier (Arnoldus, 1978, citado por RAMÍREZ, 2010) y se determinó un

valor de R para cada estación (Tingo María, Supte, Bella y Pavas) (ver Anexo A.5.).

- Con estos valores se realizó el análisis de correlación (IMF vs Altura), ajustándolo a una ecuación lineal con  $R = 0,709$  (ver Anexo A.6.).
- Con la ecuación obtenida se procedió a generar nuevamente 5 estaciones adicionales (ver anexo A.7.), para luego introducirlo en el programa Arcgis 9.2 y generar un shape de puntos (formato vector), con los cuales mediante interpolación (spline), se creó un raster de IMF para toda la microcuenca.

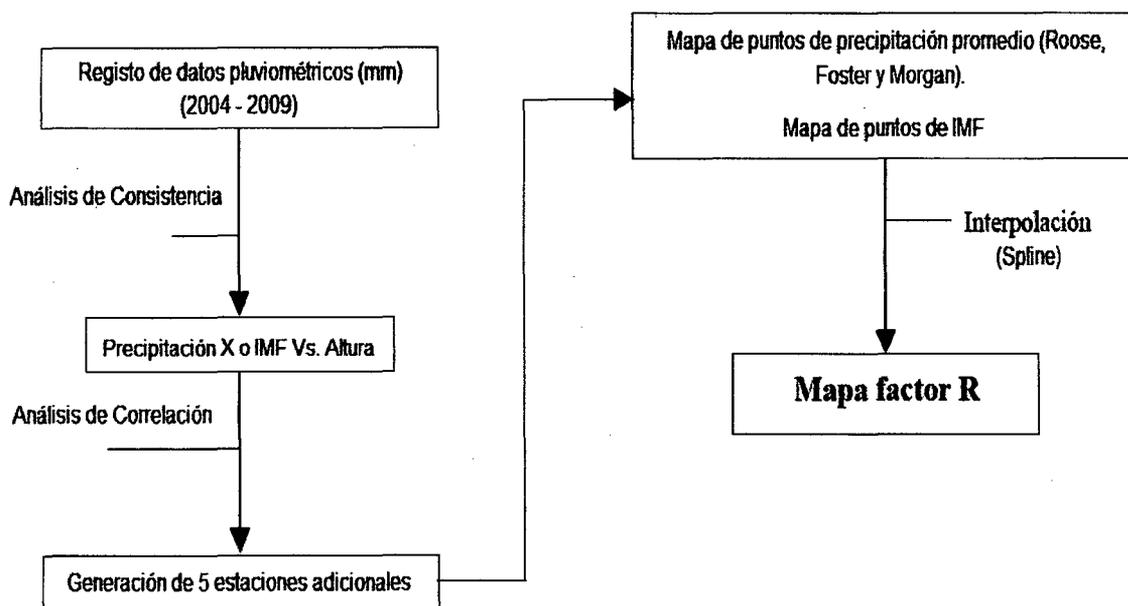


Figura 7. Flujograma para la obtención del mapa de erosividad de la lluvia.

### 3.5.3.2. Determinación del factor K

- Se determinaron los lugares a muestrear, en función al mapa de uso de suelo elaborado mediante la fotografía QUICKBIRD de

2,5 m de resolución, donde se encontraron 240 parcelas, divididas en 8 usos: bosque, arbolado denso, arbolado forestal claro, arbolado forestal muy claro, purma, cultivo, pasto y suelo desnudo; a partir de esto se determinó el número de parcelas a muestrear usando el programa estadístico STATSTM 2,0 (ver Anexo B.1).

- Con estos datos se hizo la estratificación, dividiendo la microcuenca en tres zonas: parte alta, media y baja; donde se muestreó 1 parcela por cada uso (ver Anexo B.2.). En la parte alta no se encontró el uso “arbolado forestal muy claro”, por lo cual solo se muestrearon 7 usos.
- En campo se muestrearon las parcelas elegidas al azar, tomando aproximadamente 1 kg de suelo en cada punto dentro de los primeros 20 cm, con la ayuda de un tubo muestreador , lo cual a la vez nos permitía analizar el horizonte superficial de cada parcela. Además se determinó la estructura (ver Anexo B.3.), y se muestrearon dos parcelas adicionales para tener puntos de referencia fuera de la cuenca (ver Anexo B.6.).
- Las muestras fueron llevadas al laboratorio de análisis de suelos y al laboratorio de ingeniería agrícola de la Facultad de Agronomía de la UNAS, para realizar el análisis de textura (método del hidrómetro), materia orgánica (método de Walkley y Black) y permeabilidad (método del permeámetro de carga variable) respectivamente (ver Anexo B.4.).

- Con todos los datos se utilizó el método del nomograma de erodabilidad propuesto por WISCHMEIER Y SMITH (1978) para hallar el valor de K para cada punto de muestreo.
- Se obtuvieron datos adicionales de 4 puntos ubicados fuera de la cuenca, de los trabajos de investigación de MANRIQUE y CHÁVEZ (1996) y TRUJILLO (2009).
- Estos datos fueron introducidos en el programa Arcgis 9.2 y se generó un shape de puntos (formato vector), con los cuales mediante interpolación (IDW), se creó un raster de erodabilidad para toda la microcuenca.

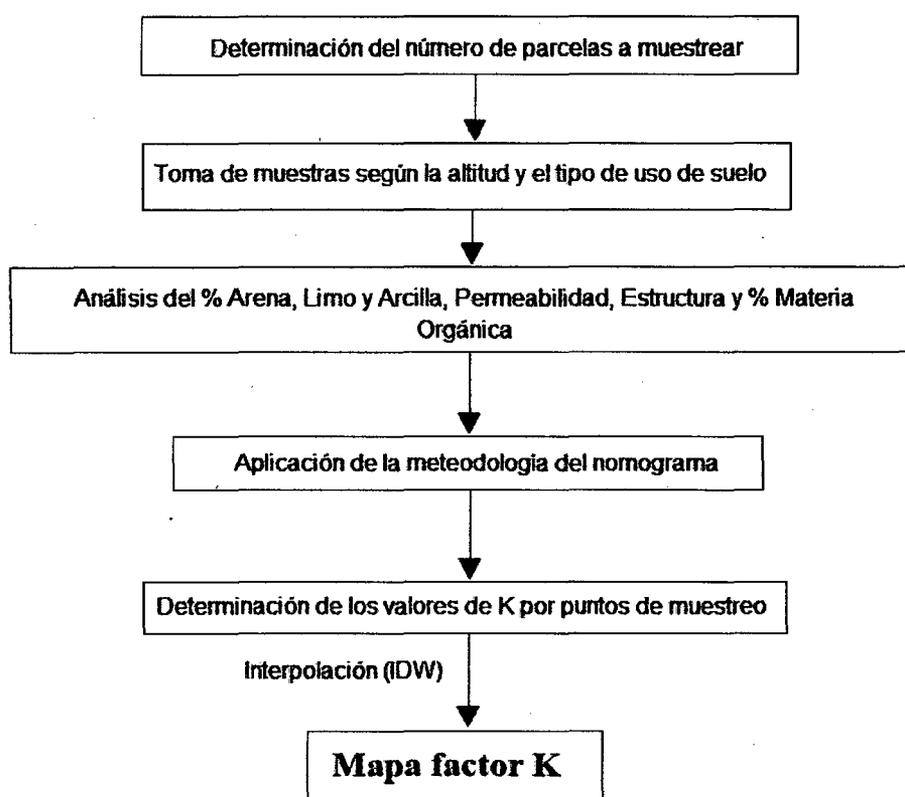


Figura 8. Flujograma para la obtención del mapa de erodabilidad.

### 3.5.3.3. Determinación del factor LS

- **Metodología 1: Ecuaciones aplicadas por Renard *et al.* (1997).**
  - A partir del modelo de elevación digital (DEM), con la herramienta “slope” del Arcgis 9.2, se obtuvo el mapa de pendientes en grados (formato raster 30 m de resolución espacial), así como la dirección y acumulación del flujo con las herramientas “Flow Direction” y “Flow Accumulation”, respectivamente.
  - Posteriormente se calculó el factor L con la herramienta “Raster Calculator”, aplicando la metodología de Foster *et al.* (1977), modificada por Desmet & Govers (1996), citada por VELÁSQUEZ (2008), que considera el área aportadora unitaria a la entrada de un pixel.
  - Con este raster se procede a calcular el factor S, aplicando la condición propuesta por la metodología de McCool *et al.* (1987, 1989), citado por BARRIOS Y QUIÑONEZ (2000), que compara la pendiente de cada pixel con la pendiente unitaria de valor 9%.
  - Finalmente se procede a multiplicar el factor L y el factor P, obteniéndose el mapa del factor LS.
  
- **Metodología 2: método Mintegui (1983).**
  - A partir del modelo de elevación digital (DEM), con la herramienta “slope” del Arcgis 9.2, se obtuvo el mapa de pendientes en porcentaje (formato raster 30 m de resolución espacial).<sup>\*</sup>

- Luego se hizo una clasificación del raster de acuerdo a los rangos de pendientes establecidos por el método Mintegui (1983), citado por RAMOS (2001) y se asignó un valor de LS.

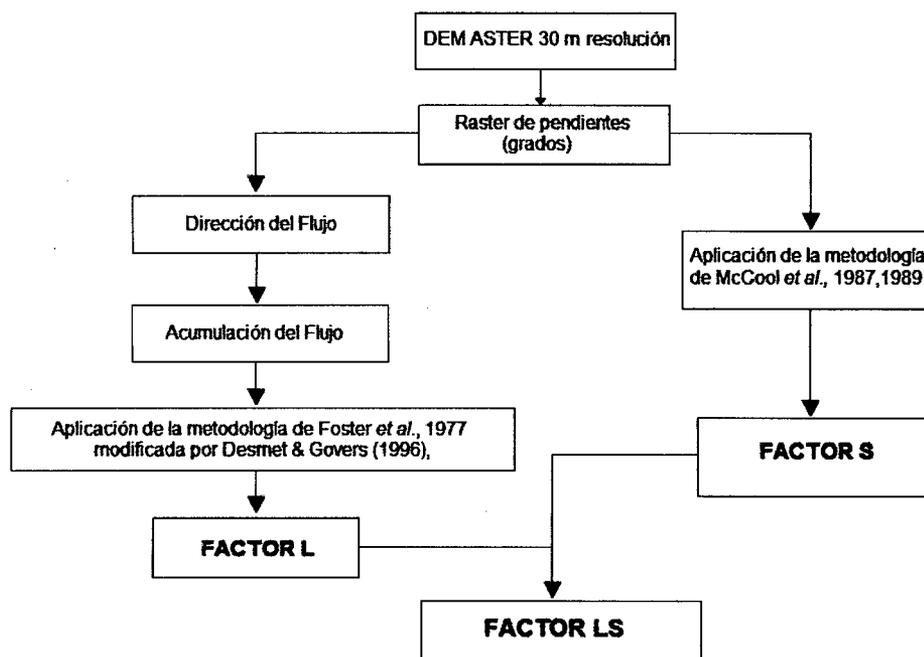


Figura 9. Flujograma para la obtención del mapa de LS – Metodología 1.

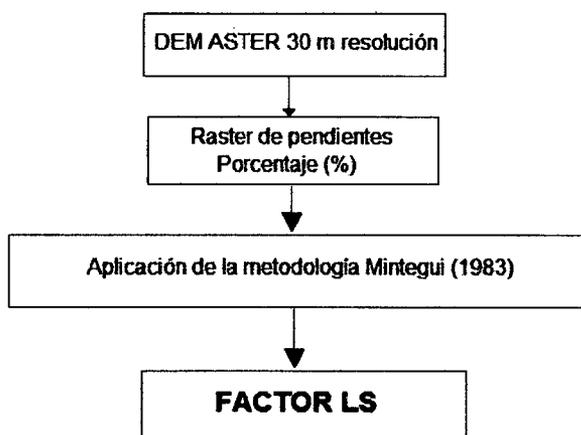


Figura 10. Flujograma para la obtención del mapa de LS – Metodología 2.

#### 3.5.3.4. Determinación del factor C

- Para hallar el factor C, primero se obtuvo la imagen del satélite QUICKBIRD de 2,5 m de resolución, de fecha 15 de junio del 2008.
- A partir de esta imagen se delimitaron parcelas en función del uso o cultivo, determinando 8 usos principales en la cuenca: bosque, arbolado denso, arbolado forestal claro, arbolado forestal muy claro, purma, cultivo, pasto y suelo desnudo.
- A estos usos se les asignó un valor para el factor C, empleando la metodología propuesta por WISCHMEIER Y SMITH (1978).
- Posteriormente estos usos fueron verificados en campo, visitando 23 parcelas elegidas al azar, que corresponde al número de parcelas muestreadas para determinar el factor K y que fue determinado por el programa STATSTM v2.0
- Luego el mapa de usos fue convertido a formato raster de 30 m de resolución mediante el programa Arcgis 9.2.

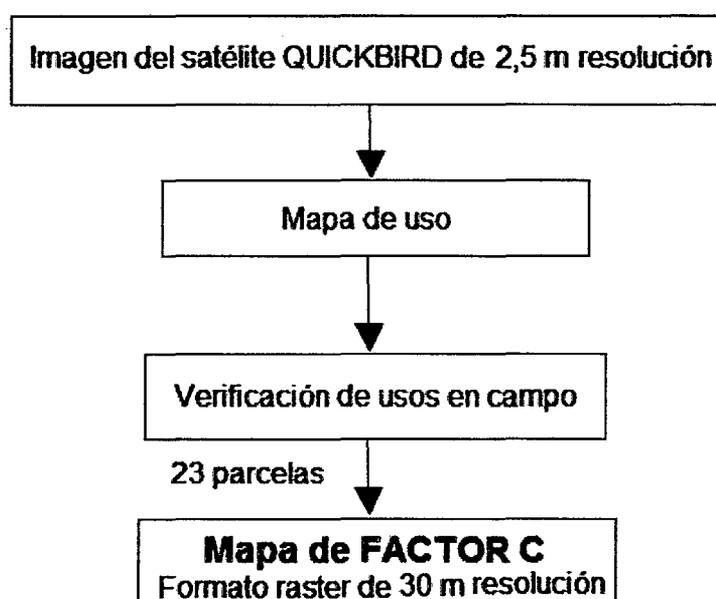


Figura 11. Flujograma para la obtención del mapa del factor C

### 3.5.3.5. Determinación del factor P

- Se asumió un valor del factor P igual a 1, al encontrarse que en las zonas agrícolas de la microcuenca Puente Pérez no se aplican prácticas de conservación de suelos.

### 3.5.3.6. Determinación de la pérdida de suelo (A en tm/ha/año)

- Con los mapas de los factores de R, K, LS y C en formato raster de 30 m de resolución; se procedió a aplicar la ecuación de RUSLE (Renard *et al.*, 1997, citada por BARRIOS y QUIÑONEZ, 2000 y VELÁSQUES, 2008), obteniéndose así el mapa con los valores de la tasa de pérdida de suelo "A".

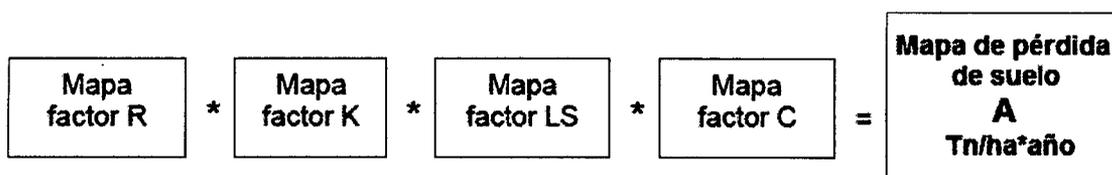


Figura 12. Flujograma para la obtención del mapa de pérdida de suelo.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Erosividad de las precipitaciones (Factor R)

#### 4.1.1 Índice Modificado de Fournier (IMF)

Con ayuda de los registros de precipitación acumulada mensual y anual del período 2004 al 2009, se calcularon los valores de R para toda la microcuenca aplicando el IMF (Arnoldus, 1978, citado por RAMÍREZ *et al.*, 2007).

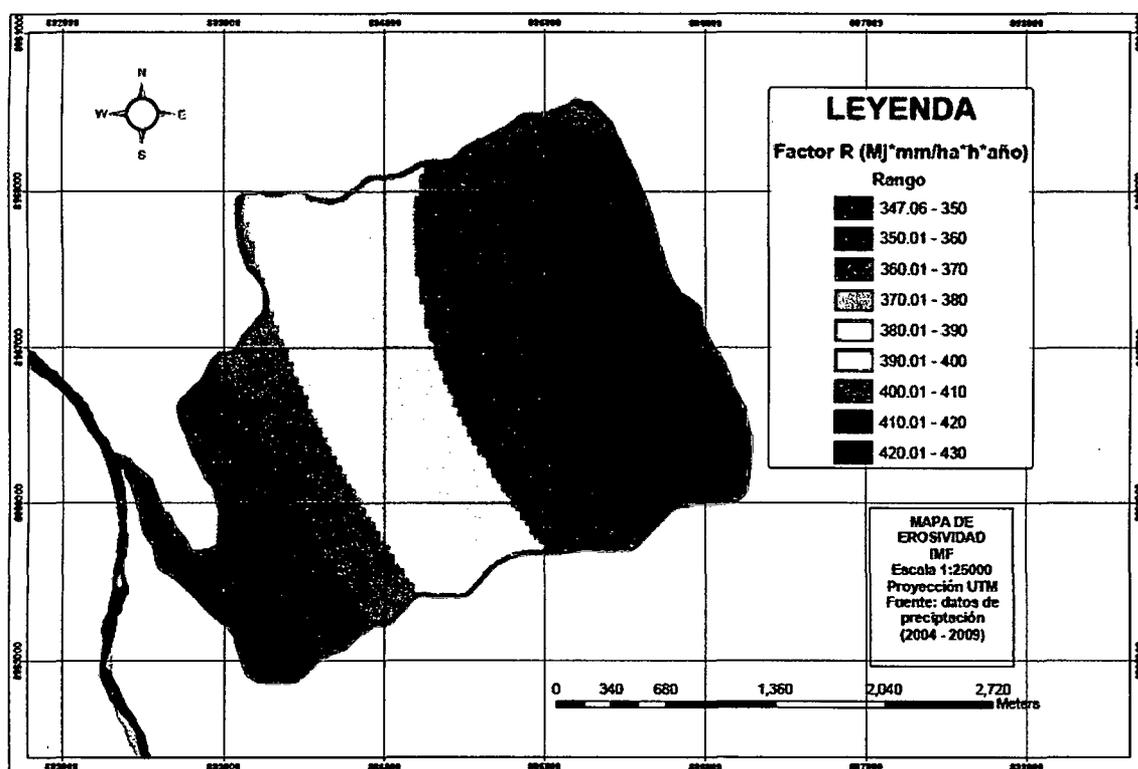


Figura 13. Mapa del Índice de erosividad según IMF, Arnoldus (1978).

Se observa (figura 13), que el índice de erosividad o factor R, oscila entre 347 - 430  $Mj*mm/ha*h*año$  para toda la microcuenca, obteniéndose los valores más altos en las zonas de mayor altura y mayor precipitación.

Según Arnoldus (1980) y Hoyos *et al.* (2005), citado por RAMÍREZ *et al.* (2007), el Índice de Fournier Modificado (*IFM*) es considerado como un buen estimador de la erosividad de las lluvias para el modelamiento de la erosión hídrica en zonas tropicales, por esto se considera una buena metodología para aplicar en la microcuenca Puente Pérez, por estar ubicada en la zona de vida de bosque muy húmedo – premontano tropical.

Del mismo modo RAMÍREZ (2010) nos dice que, este índice tiene muchas ventajas ya que emplea datos meteorológicos simples, lo cual facilitó mucho su aplicación en el presente trabajo, ya que la zona de Tingo María cuenta con varias estaciones meteorológicas que miden la cantidad de lluvia en mm, que es la base principal para la aplicación de esta metodología.

Así mismo estos autores establecen que existe una buena correlación entre el IMF con valores conocidos del factor R, empleando el índice I30, ya que dicha ecuación se probó en diferentes regiones del mundo obteniéndose en general un alto grado de correlación (0,89).

Además según la clasificación de Lobo *et al.* (2006), citado por RAMÍREZ *et al.* (2007), la microcuenca Puente Pérez presentó un valor mayor

a 160 por lo cual la erosividad de las precipitaciones puede ser clasificada como muy alta.

#### 4.1.2 Morgan, Foster y Morgan

Con ayuda de los registros de precipitación acumulada mensual y anual, se pudo obtener los valores de R para cada una de las estaciones utilizadas en el trabajo y generar estaciones con la ecuación polinomial ya que esta presentó una mejor correlación entre precipitación y altura ( $R = 0,79$ ) y mejor coeficiente de Pearson ( $r = 0,88$ ); a partir de estos datos se generó un mapa de Isoyetas para toda la microcuenca, con el que se aplicó las ecuaciones de Morgan (1974), Foster *et al.* (1981) y Roose (1995), citado por MORGAN (1997).

Cuadro 16. Valores de R anual obtenidos para la microcuenca Puente Pérez

Rango de precipitación	Precipitación promedio (mm)	R (Mj*mm/ha*h*año)		
		ROOSE	MORGAN	FOSTER
2800 – 2900	2850	2465	1355	590
2900 – 3000	2950	2552	1424	611
3000 – 3100	3050	2638	1494	631
3100 – 3200	3150	2725	1564	652
3200 – 3300	3250	2811	1633	673
3300 – 3400	3350	2898	1703	693
3400 – 3500	3450	2984	1772	714
3500 – 3600	3550	3071	1842	735
3600 – 3700	3650	3157	1912	756
3700 – 3800	3750	3244	1981	776
3800 – 3900	3850	3330	2051	797
3900 – 4000	3950	3417	2120	818

Fuente: elaboración propia (2010).

Se aprecia (cuadro 16) que tanto para Morgan, Roose y Foster; existe una relación directa entre la erosividad (R) y la precipitación promedio

anual; por tanto los mayores índices de erosividad se registran en las zonas de mayor precipitación, que además corresponden a las zonas más altas de la microcuenca, coincidiendo con ANTEZANA (2001) y RAMÍREZ *et al.* (2007).

Además se observa que los valores más altos de R, se obtienen empleando la ecuación de Roose, esto se debe a que dicha ecuación considera a la erosividad como la mitad de la precipitación anual promedio multiplicada por un factor de conversión (MORGAN, 1997), los valores oscilan entre 2465 - 3417  $Mj \cdot mm/ha \cdot hrs \cdot año$  para toda la microcuenca.

En lo que respecta a los valores de erosividad obtenidos con las ecuaciones de Morgan y Foster, estos oscilan entre 1355 - 2120  $Mj \cdot mm/ha \cdot h \cdot año$  y 590 - 818  $Mj \cdot mm/ha \cdot h \cdot año$  respectivamente. Esto se debe a que dichas ecuaciones no solo emplean la precipitación promedio anual sino también el índice I30, con un valor de 75 mm/h, que es el reconocido por Wischmeier y Smith (1978) como el mejor valor para zonas tropicales y de alta precipitación, de acuerdo con Elías y Castellvi (2001), citado por MORGAN y KIRBY (1984) y MORGAN (1997).

Después de analizar los valores de erosividad de las lluvias, calculados con las tres ecuaciones anteriormente mencionadas y compararlos con los generados por la ecuación IMF, se desestimaron los valores del factor R que se obtuvieron con Roose y Morgan por ser demasiado altos, lo cual originaría una sobreestimación de la tasa de erosión hídrica (A en  $tm/ha/año$ ).

A continuación se presentan los valores de de erosividad de las lluvias, calculados con la ecuación de Foster *et al.* (1981), citado por MORGAN (1997).

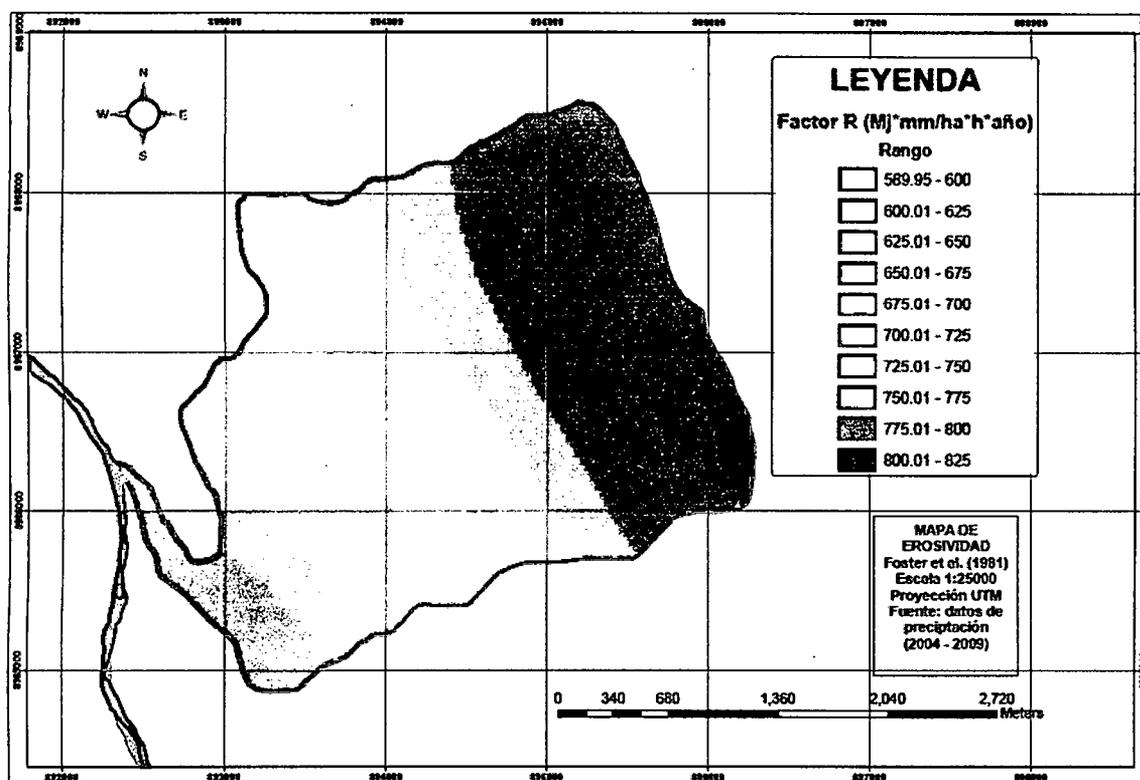


Figura 14. Mapa del Índice de erosividad según Foster *et al.* (1981).

#### 4.2. Índice de erodabilidad del suelo o factor K

Para hallar los valores de Erodabilidad (K), se utilizó la metodología del nomograma propuesta por WISCHMEIER Y SMITH (1978), que se basa en 4 componentes: estructura, permeabilidad, textura y porcentaje de materia orgánica (ver anexos B.3, B.4 y B.5); estos componentes se obtuvieron después de muestrear las 23 parcelas en función de los usos del suelo (ver anexo B.6). Con estos valores se procedió a calcular el valor de erodabilidad para toda la cuenca mediante interpolación.

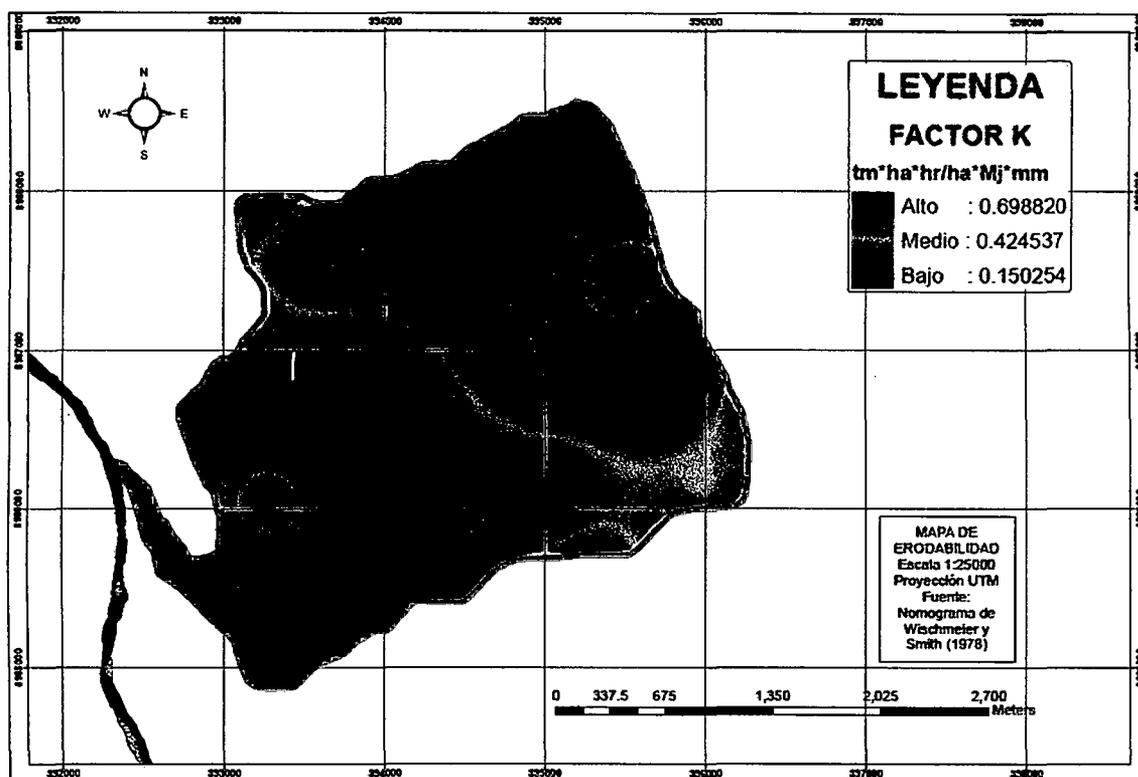


Figura 15. Mapa del Índice de erodabilidad o Factor K (nomograma de WISCHMEIER Y SMITH, 1978)

De la figura anterior se observa que los valores de erodabilidad para la microcuenca Puente Pérez oscilan entre 0,15 – 0,69  $tm^*ha^*h/ha^*Mj^*mm$ .

Los valores más bajos de erodabilidad corresponden a suelos de textura franco arenosa (hasta 0,25), los valores medios a suelos de textura franca (hasta 0,44) y los valores más altos a suelos de textura franco limosa (hasta 0,70); aunque este valor está estrechamente relacionado con la materia orgánica, por lo cual se presentan algunas excepciones en función al mayor o menor contenido de la misma (ver anexo B.7).

En el caso de los suelos franco - arenosos, el valor del índice de erodabilidad es menor, debido a que dichos suelos permiten el paso del agua a través del perfil y por lo tanto el escurrimiento es también menor, mientras que los suelos francos son moderadamente erodables por presentar cierta resistencia al desprendimiento y generar una escorrentía moderada, en el caso de los suelos de textura franco - limosa el factor K es mayor, ya que son fácilmente desprendibles y susceptibles a procesos erosivos porque producen encostramiento y alto escurrimiento, coincidiendo con VELÁSQUEZ (2008) y RAMÍREZ (2010).

#### **4.3. Factor de longitud y gradiente de pendiente o LS**

##### **4.3.1. Método Mintegui (1983)**

Este mapa se obtuvo a partir del mapa de pendientes en porcentaje, producto del DEM ASTER de 30 m de resolución espacial (ver anexo C.1 y C.2), al cual se clasificó según los rangos propuestos por éste método y luego se asignó un valor para el factor LS en función de los mismos.

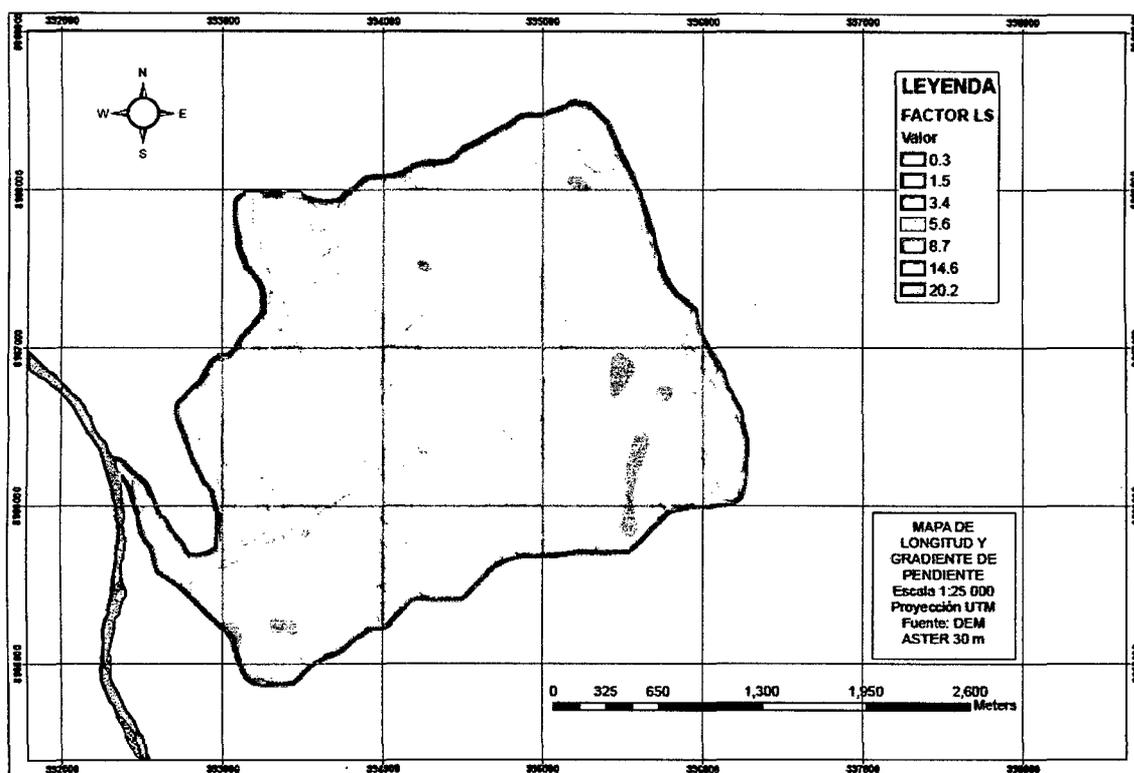


Figura 16. Mapa de longitud y gradiente de pendiente, método Mintegui (1983).

Se aprecia (figura 16) que los rangos de LS, varían entre 0,3 – 20,20 (adimensional), los valores más altos de LS, corresponden a las zonas de mayor pendiente, ya que la pérdida de suelo se incrementa más rápidamente con pendientes muy escarpadas.

En este método no se calcula el valor de la longitud de la pendiente, simplemente se asigna un valor en función del porcentaje de pendiente, por lo cual el valor de LS determinado, puede sobreestimar la pérdida de suelo por erosión hídrica al aplicar el modelo RUSLE.

#### 4.3.2. Método propuesto por Renard *et al.* (1997)

El factor LS se calculó aplicando las ecuaciones usadas en RUSLE (Renard *et al.*, 1997, citado por VELÁSQUEZ, 2008), teniendo como punto de partida el DEM ASTER de 30 m de resolución al igual que en el método anterior y el ángulo de inclinación del terreno.

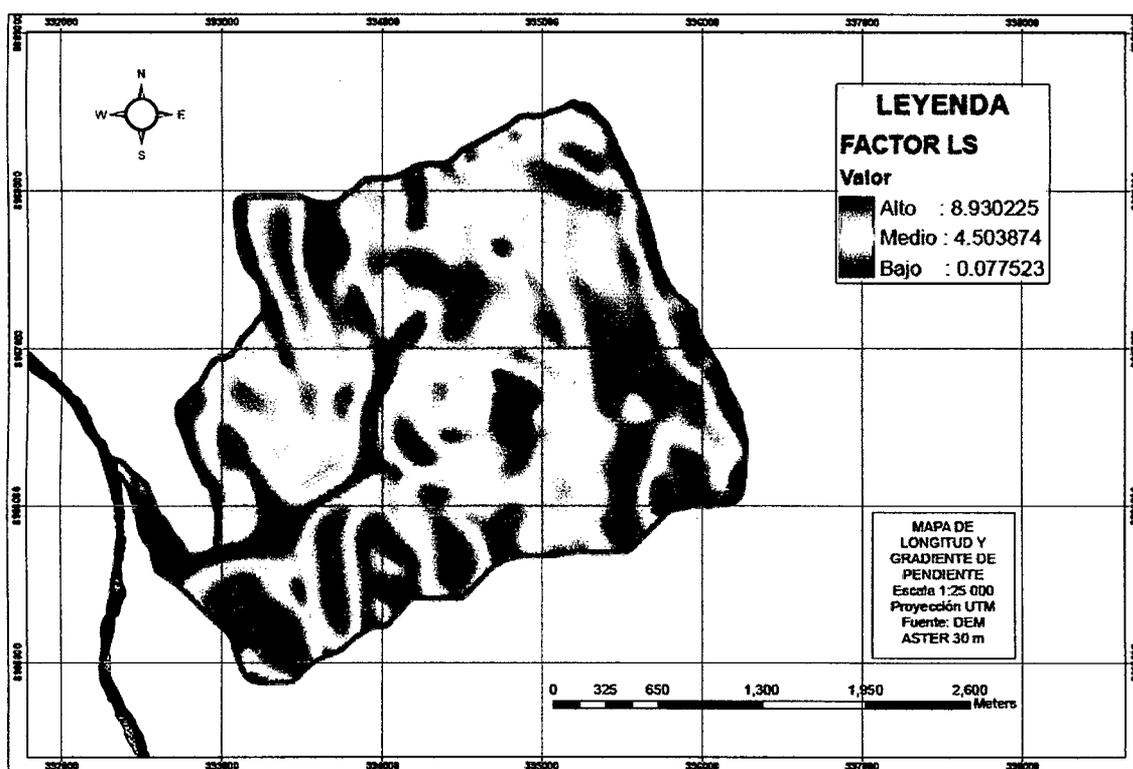


Figura 17. Mapa de longitud y gradiente de pendiente Renard *et al.* (1997).

Se aprecia que los valores de LS según este método varían entre 0,07 – 8,93, los valores 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, coincidiendo con VELÁSQUEZ (2008).

Comparando el método Mintegui (1983) (RAMOS, 2001), con el método de Renard *et al.* (1997) (BARRIOS Y QUIÑONEZ, 2000), se observa que en el primer caso el factor LS excede en un 150% al segundo, con esto se comprueba que el método Mintegui sobreestima los valores de erosión total ( $A$  en  $\text{tm/ha/año}$ ), por tanto se descartan y se usan los valores de LS obtenidos con las ecuaciones propuestas por Renard *et al.* (1997), ya que estos son más acordes con la realidad y además están basados en un cálculo y no sólo en una aproximación.

#### **4.4. Factor de cobertura vegetal o factor C**

El factor C se determinó de manera distribuida en el espacio, empleando la imagen del satélite QUICKBIRD de 2,5 m de resolución tomada el año 2008, la cual fue posteriormente verificada en campo mediante la visita de 23 parcelas seleccionadas al azar (ver anexo D.1), encontrándose un porcentaje de coincidencia de 91% (ver anexo D.2). Para esto se usaron las tablas publicadas por diversos investigadores que definen los valores de C para los tipos más comunes de cultivos, así como las áreas forestales. Estos valores fueron adaptados a los usos encontrados en la microcuenca se muestran en la tabla que se muestra a continuación.

Cuadro 17. Valores del factor C obtenidos para la microcuenca Puente Pérez.

USO	FACTOR C
Bosque	0,001
Arbolado denso	0,002
Arbolado forestal claro	0,006
Arbolado muy claro	0,041
Purma	0,035
Cultivo	0,250
Pasto	0,150
Suelo desnudo	1,000

Fuente: elaboración propia (2010).

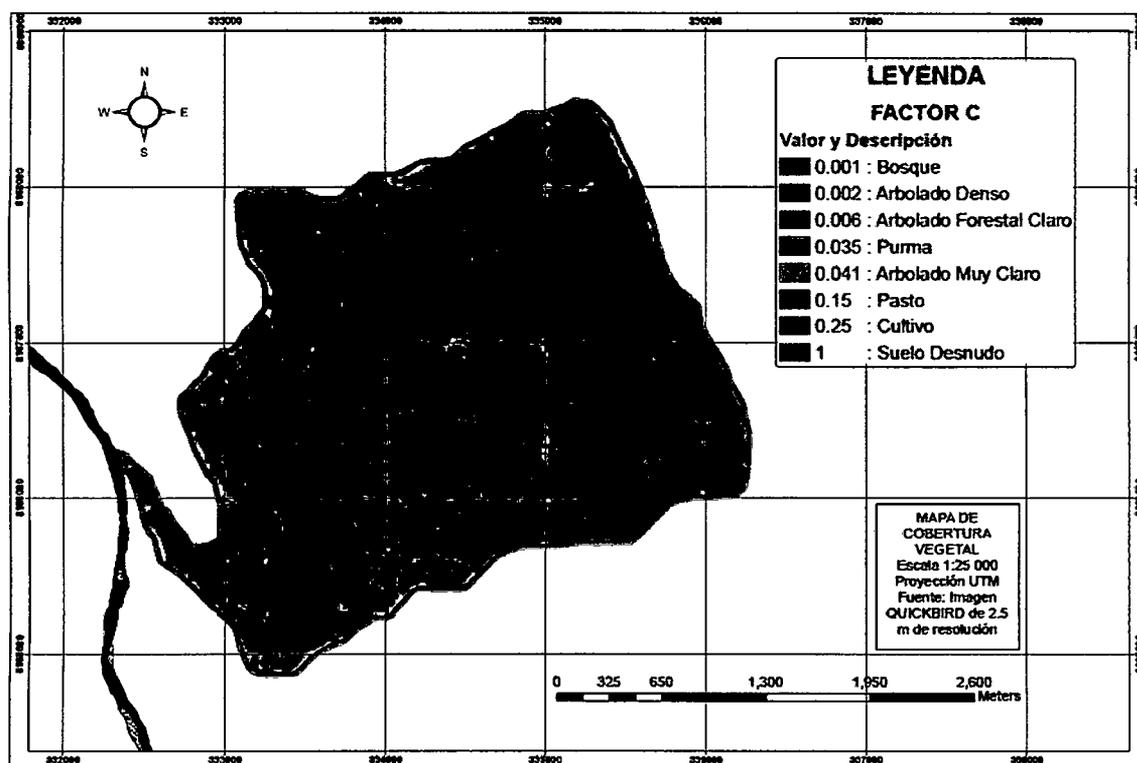


Figura 18. Mapa de factor de cobertura vegetal o factor C.

Se observa (cuadro 17 y figura 18) que los valores del factor C, para la microcuenca Puente Pérez oscilan entre 0,001 hasta 1, esto depende

del tipo de uso, 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 (1), 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, coincidiendo con VELÁSQUEZ (2008) y RAMÍREZ (2010).

A continuación se muestra la distribución de áreas y sus porcentajes de acuerdo al factor C, los valores más pequeños suponen una influencia positiva en la reducción de la pérdida de suelo por erosión hídrica.

Cuadro 18. Área total de la microcuenca dividida en función al uso del suelo.

USO	AREA (m <sup>2</sup> )	AREA (ha)	ÁREA (%)
Bosque	3603820,33	360,38	43
Arbolado denso	1809472,72	180,95	22
Arbolado forestal claro	1096573,12	109,66	13
Arbolado muy claro	369844,83	36,98	4
Purma	248492,94	24,85	3
Cultivo	236740,21	23,67	3
Pasto	593992,95	59,40	7
Suelo desnudo	435303,67	43,53	5
<b>AREA TOTAL</b>	<b>8394240,76</b>	<b>839,42</b>	<b>100</b>

Fuente: elaboración propia (2010).

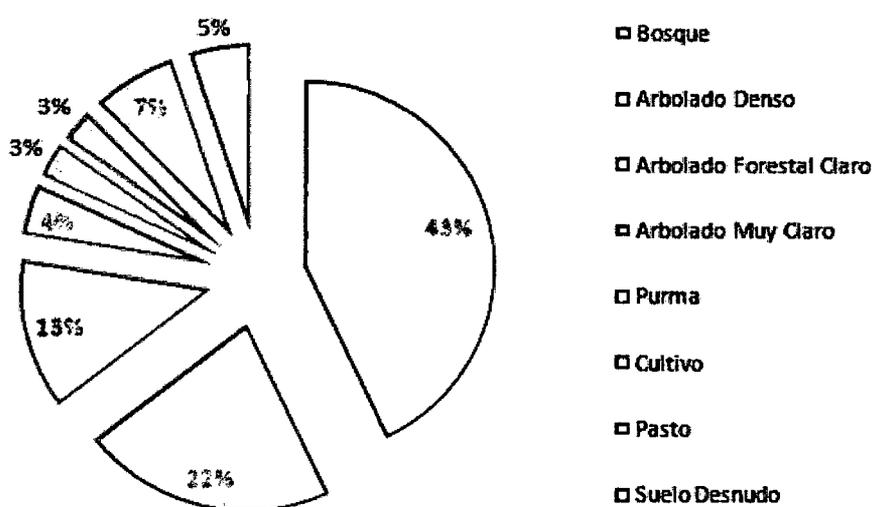


Figura 19. Área total de la microcuenca expresada en porcentaje en función del uso.

Se aprecia (cuadro 18 y figura 19) que, aproximadamente el 22% de la microcuenca ha sufrido intervención por parte del hombre, ya sea para la introducción de áreas de pasto, cultivos de pan llevar o cultivos de coca, encontrándose un 5% de áreas que no presentan ningún tipo de vegetación desde el año 2003, lo cual se evidencia por la imagen IKONOS del mismo año. Las áreas más susceptibles a erosión son las de suelo desnudo, pasto, cultivo y purma; más aun si son instalados sin ningún tipo de práctica de conservacionista.

#### 4.5. Estimación de la tasa de erosión hídrica (tm/ha/año)

El cálculo de la pérdida de suelo por erosión hídrica, es considerablemente compleja, debido a la cantidad de variables que intervienen en el proceso; ya que el modelo está basado en pequeños componentes del

proceso de erosión como por ejemplo: la erosión por el impacto de la gota de lluvia (índice de erosividad), la medida en que el suelo está expuesto o cubierto por la vegetación (índice de protección), y el tipo de suelo (erodabilidad).

El mapa de erosión hídrica actual ó pérdida de suelo en el presente trabajo, parte de la aplicación de la ecuación USLE/RUSLE, que es un modelo empírico donde cada una de las variables, en este caso los índices de erosividad, erodabilidad, longitud, gradiente de pendiente y cobertura, están cuantificadas y luego se combinan multiplicándolos espacialmente pixel a pixel. Para facilitar los cálculos, la información espacial correspondiente a cada uno de los mapas índices fue inicialmente trabajada, y luego, rasterizada, para realizar la operación matemática de multiplicación utilizando una herramienta del Arcgis 9.2, que permite manejar y analizar importantes volúmenes de información.

Después de realizar todo el proceso de determinación y cálculo de las variables que componen dicha ecuación, se pudo obtener dos mapas de erosión, uno con el IMF (Arnoldus, 1978, citado por RAMÍREZ, 2010) y otro obtenido mediante la ecuación de Foster *et al.* (1981), citado por MORGAN (1997).

Los resultados obtenidos después de multiplicar los factores con cada uno de los métodos se muestran en los mapas a continuación.

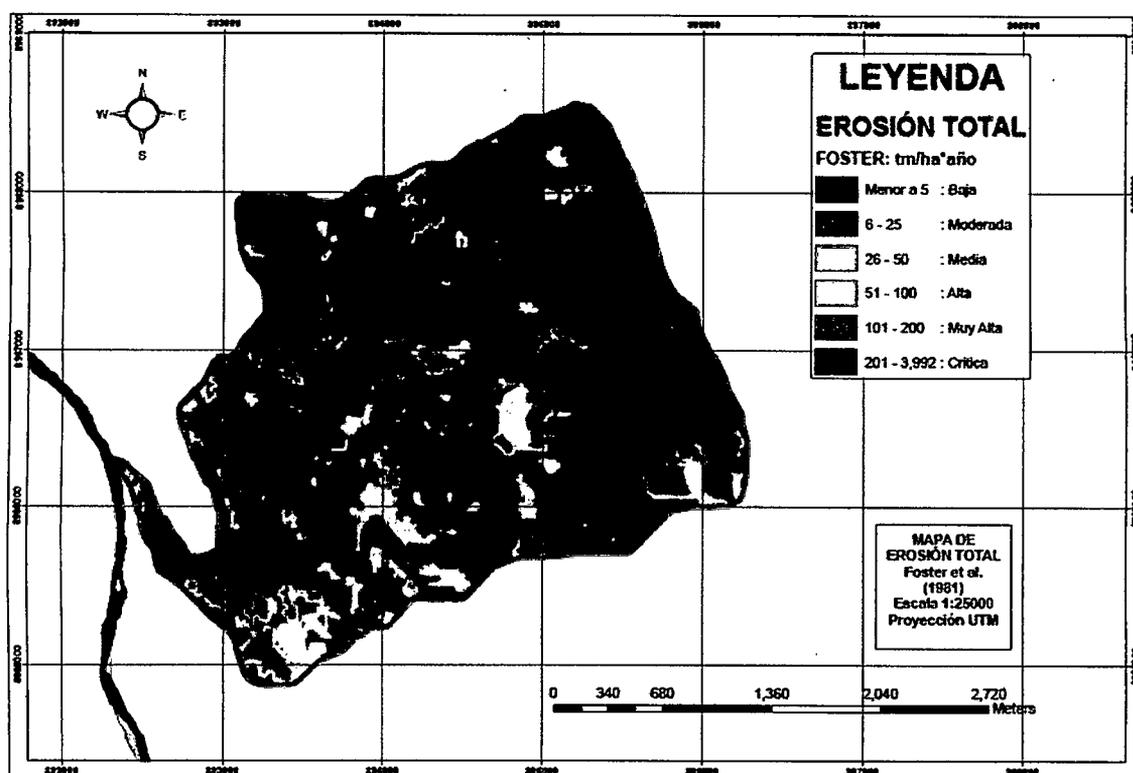


Figura 20. Mapa de estimación de pérdida de suelos empleando el factor R de Foster *et al.* (1981).

Cuadro 19. Área total de la microcuenca dividida en función al riesgo de erosión hídrica según Foster *et al.* (1981).

RANGO	EROSION	AREA ( $\text{m}^2$ )	AREA (ha)	AREA (%)
Menor a 5	Baja	5737015,14	573,70	68
5 – 25	Moderada	1010325,25	101,03	12
25 – 50	Media	344604,63	34,46	4
50 – 100	Alta	256277,84	25,63	3
100 – 200	Muy alta	396620,32	39,66	5
200 – 3992	Crítica	649397,58	64,94	8
<b>AREA TOTAL MICROCUENCA</b>		<b>8394240,76</b>	<b>839,42</b>	<b>100</b>

Fuente: elaboración propia (2010).

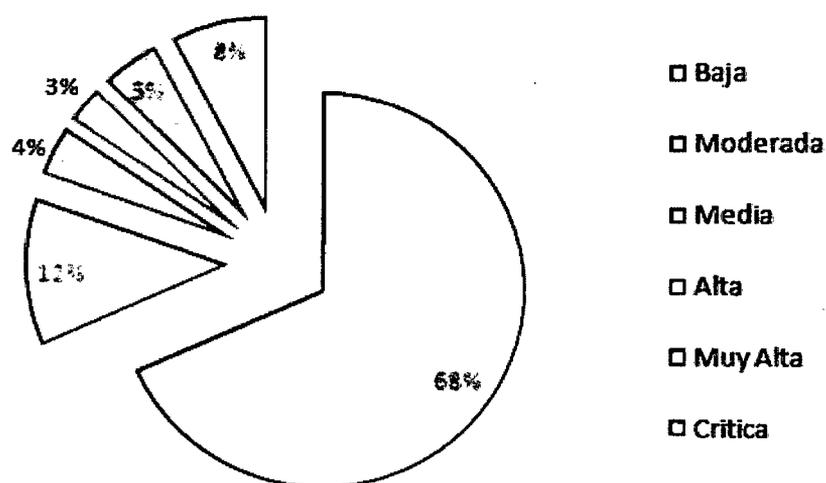


Figura 21. Área total de la microcuenca expresada en porcentaje en función del riesgo de erosión hídrica.

Del cuadro y las figuras anteriores, se estima una erosión total para la microcuenca Puente Pérez de 0 – 3 992 tm/ha/año, que fueron agrupadas en rangos de acuerdo a las tablas adaptadas de FAO, UNESCO, PNUMA (1980), citado por EDESO (1997), RAMOS (2001, 2009), VELÁSQUEZ (2008) y RAMÍREZ (2010). Según estos rangos un 20% del área total de la microcuenca Puente Pérez, equivalente a 164,69 ha, presentan una erosión que sobrepasa los límites permisibles, dichas áreas tienen como cubierta vegetal, pastos, purmas o cultivos; como también zonas de suelo desnudo, es decir, desprovistas de cualquier tipo de cubierta; mientras que un 68% equivalente a 573,70 ha presentan una erosión baja o casi nula, esto se debe principalmente a que esas zonas tienen como cubierta vegetal bosque o arbolado denso, que interceptan las gotas de lluvia y evitan la pérdida del suelo.

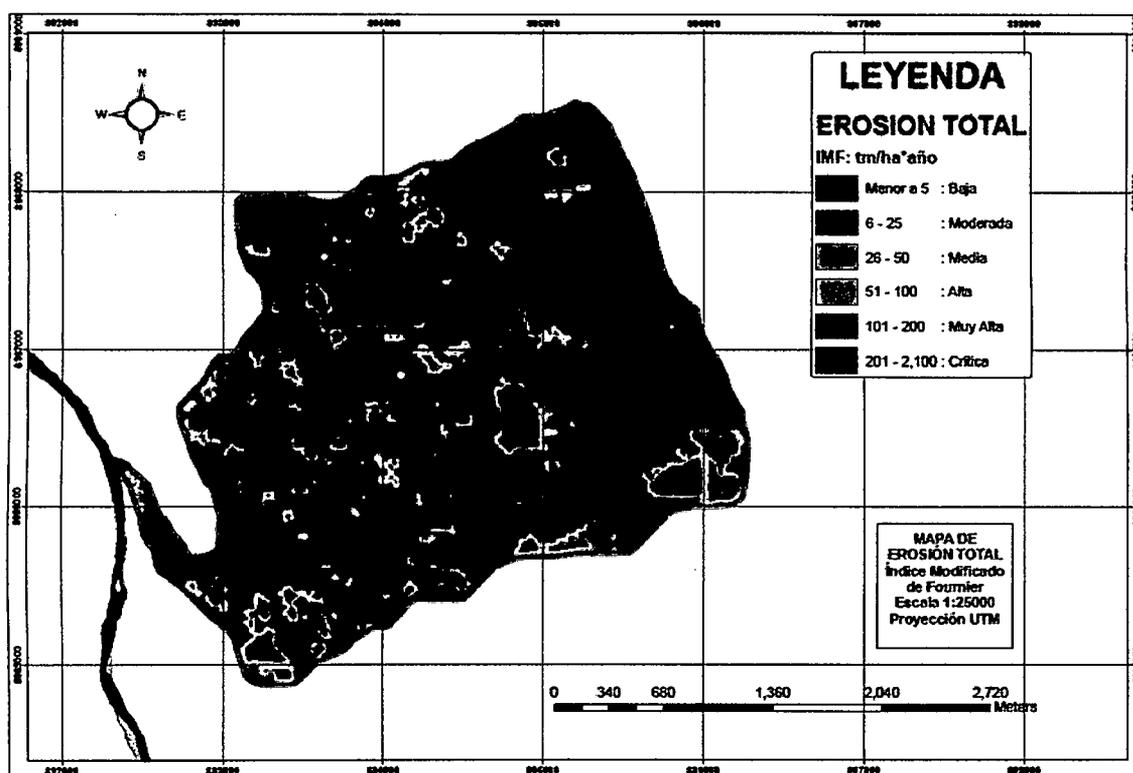


Figura 22. Mapa de estimación de pérdida de suelos empleando el IMF según Arnoldus (1978).

Cuadro 20. Área total de la microcuenca dividida en función al riesgo de erosión hídrica según IMF propuesto por Arnoldus (1978).

RANGO	EROSIÓN	AREA (m <sup>2</sup> )	AREA (ha)	AREA (%)
Menor a 5	Baja	6382114,30	638,21	76
5 – 25	Moderada	684208,81	68,42	8
25 – 50	Media	245809,61	24,58	3
50 – 100	Alta	413704,90	41,37	5
100 – 200	Muy alta	220158,53	22,02	3
200 – 2100	Crítica	448244,60	44,82	5
<b>AREA TOTAL MICROCUENCA</b>		<b>8394240,76</b>	<b>839,42</b>	<b>100</b>

Fuente: elaboración propia (2010).

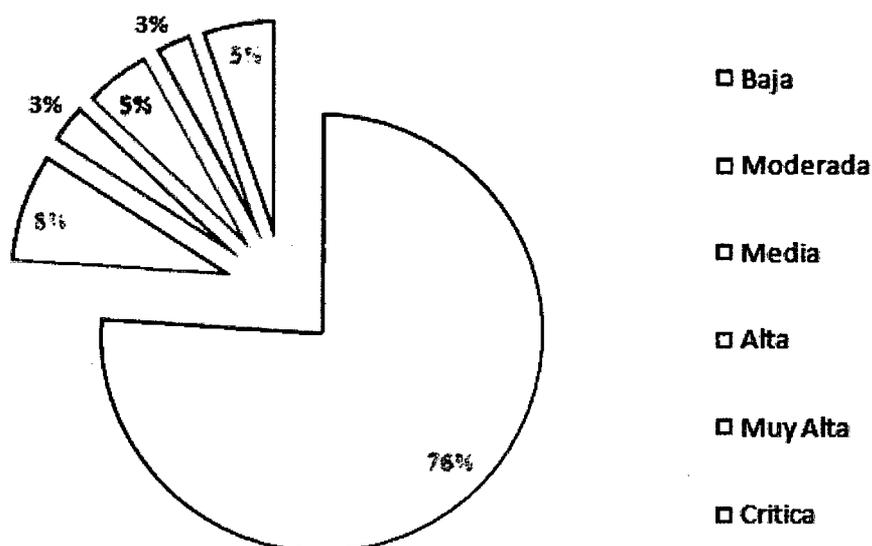


Figura 23. Área total de la microcuenca expresada en porcentaje en función del riesgo de erosión hídrica.

Del cuadro 20 y las figuras 22 y 23, al igual que en el caso anterior, se estima una erosión total para la microcuenca, de 0 – 2 100 tm/ha/año, que fueron agrupadas, en rangos de acuerdo a las tablas adaptadas de FAO, UNESCO, PNUMA (1980), citado por EDES0 (1997), RAMOS (2001, 2009), VELÁSQUEZ (2008) y RAMÍREZ (2010). Según estos rangos un 16% del área total de la microcuenca, equivalente a 132,79 ha, presentan una erosión que sobrepasa los límites permisibles, dichas áreas tienen como cubierta vegetal, pastos, purmas o cultivos; como también zonas de suelo desnudo es decir, desprovistas de cualquier tipo de cubierta; mientras que un 76% equivalente a 638,21 ha presentan una erosión baja o casi nula, esto se debe principalmente a que esas zonas tienen como cubierta vegetal bosque o arbolado denso, que interceptan las gotas de lluvia y disminuyen la pérdida del suelo.

#### 4.5.1. Erosión promedio para la microcuenca Puente Pérez.

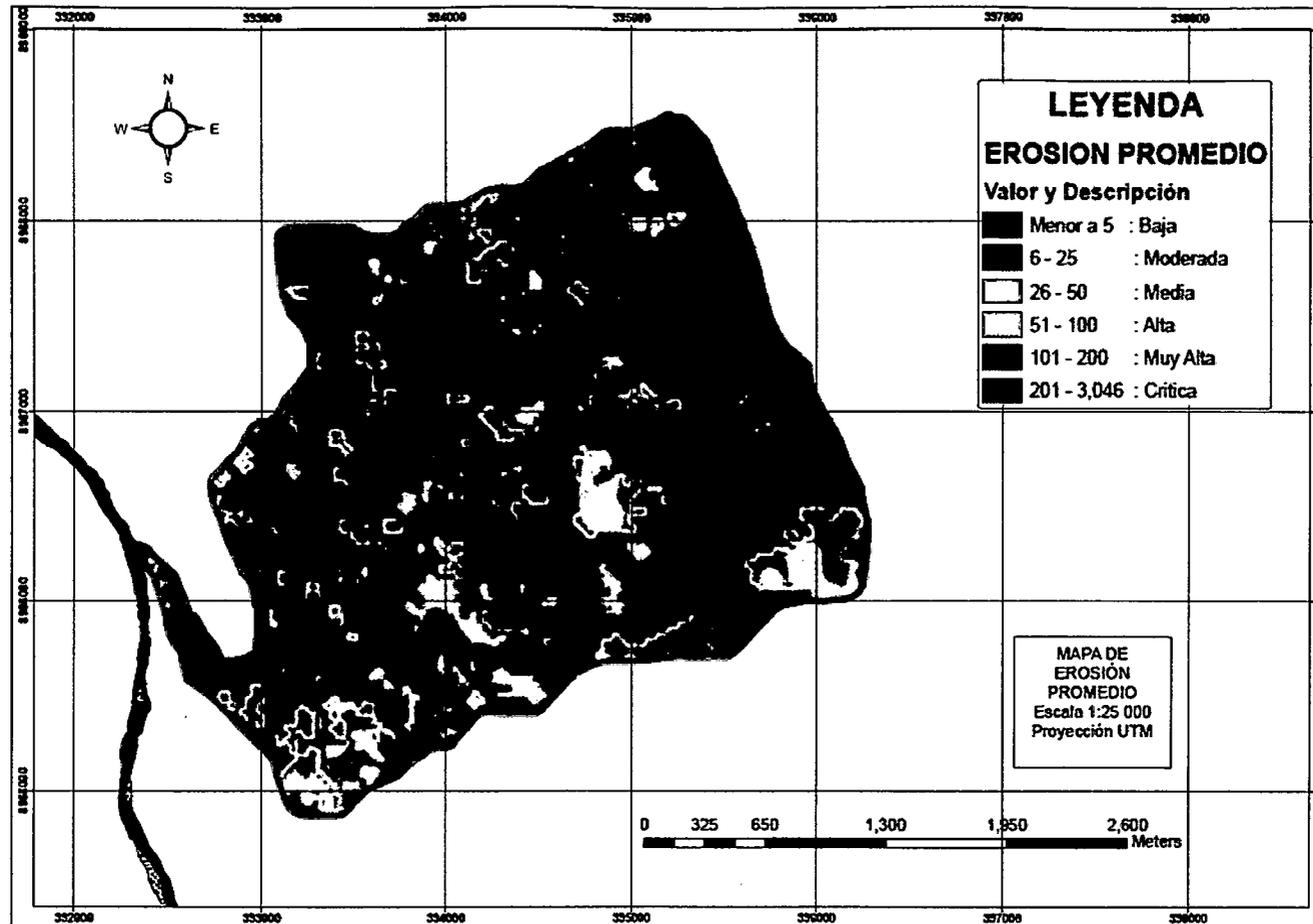


Figura 24. Mapa de estimación de pérdida de suelos promedio.

Cuadro 21. Área total de la microcuenca dividida en función al riesgo de erosión hídrica promedio.

RANGO	EROSION	AREA (m <sup>2</sup> )	AREA (ha)	AREA (%)
Menor a 5	Baja	6132256,95	613,23	73
5 – 25	Moderada	738048,85	73,80	9
25 – 50	Media	330289,29	33,03	4
50 – 100	Alta	315128,71	31,51	4
100 – 200	Muy alta	330163,17	33,02	4
200 – 3046	Critica	548353,78	54,84	6
<b>AREA TOTAL MICROCUENCA</b>		<b>8394240,76</b>	<b>839,42</b>	<b>100</b>

Fuente: elaboración propia (2010).

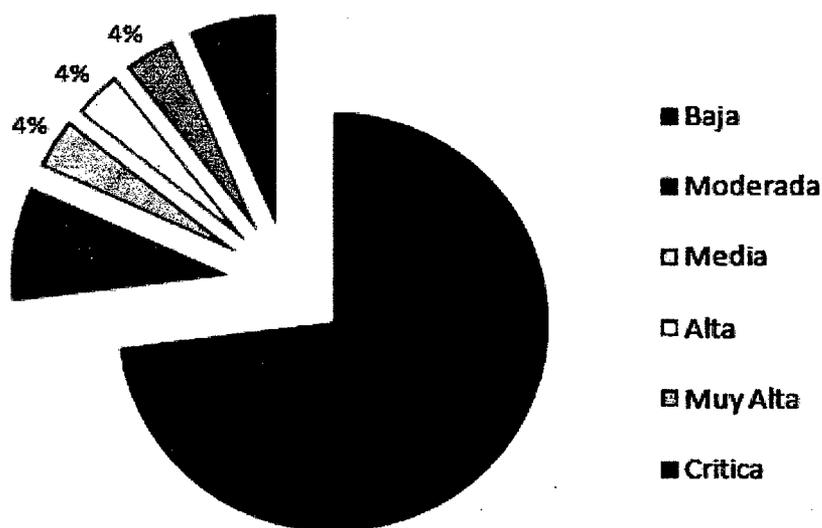


Figura 25. Área total de la microcuenca expresada en porcentaje en función del riesgo de erosión hídrica promedio.

Los valores finales de erosión hídrica para la microcuenca fueron estimados promediando los valores obtenidos con las dos metodologías mostradas anteriormente. Los valores de pérdida de suelos por erosión hídrica oscilan entre 0 a 3 046 tm/ha/año y fueron agrupados en intervalos o clases de

erosión, asignándole de acuerdo a estos, un nivel de riesgo, que permite identificar de forma rápida las zonas con mayor susceptibilidad a ser erosionadas, de acuerdo con PÉREZ (2001), ANTEZANA (2001) y RAMOS (2001).

Dicha tasa de erosión puede ser disminuida si se incluyera el factor P y se instalaran otro tipo de cultivos con una mejor distribución de raíces, con un buen porcentaje de cubrimiento de terreno y que produzcan una gran cantidad de residuos orgánicos, los cuales contribuirán a mejorar las propiedades físicas y biológicas del suelo, al haber un incremento considerable de materia orgánica (VELÁSQUEZ, 2008).

RAMOS (2001), nos dice que el límite de erosión aceptado internacionalmente como admisible oscila en torno a las 10 - 12 tm/ha/año, aunque en zonas húmedas esta cifra puede elevarse hasta las 25 tm/ha/año. MORGAN (1997) afirma que, por encima de esta cifra no se puede garantizar la conservación de los suelos, ya que la destrucción es más rápida que la creación de suelo. Obedeciendo a estas premisas es claro que la erosión en la microcuenca Puente Pérez sobrepasa ampliamente los límites aceptables de erosión. Encontrándose que el 82% de la microcuenca tiene una erosión baja o nula que se considera como aceptable, lo cual equivale a 687,03 ha y el 18% restante que equivale a 152,39 ha, se clasifica como erosión moderada, alta y crítica. En todos los casos, las zonas de suelo desnudo, pasto y cultivo, están consideradas como las más frágiles y la deforestación de los árboles nativos empeora esta situación.

Estos son los lugares en los que se debe intervenir, mejorando los dos únicos componentes de la ecuación que pueden ser modificados, el índice de cobertura vegetal o factor C y el índice de prácticas de conservación o factor P; ya que los demás componentes representan la erosión potencial que se generaría en la zona de no existir ninguna cobertura por representar las características inherentes o propias de la zona y no pueden ser modificadas.

Cuadro 22. Valores estadísticos de la tasa de erosión hídrica promedio (tm/ha/año).

<b>Parámetro Estadístico</b>	<b>Erosión Promedio</b>
Mínimo	0,03
Máximo	3045,00
Desviación estándar	265,36
Media	71,10

Fuente: elaboración propia (2010).

De la tabla anterior se concluye que el valor medio de erosión hídrica para la microcuenca Puente Pérez es de 71,10 tm/ha/año. Las razones por las cuales se da esta variación en las tasas de erosión, se debe a la conjunción de factores que predisponen a la erosión, como son: alta erosividad, material erodable (material suelto), factor topográfico (LS) elevado, escasa cobertura vegetal y ausencia de prácticas de control de erosión.

Finalmente según MORGAN (1997), las ventajas de (R)USLE incluyen facilidad de uso, simplicidad, y una base de datos amplia sobre la cual fue desarrollado, esto se evidenció en el presente trabajo, ya que en general se

contaron con todas las herramientas y los datos necesarios para la aplicación de este modelo. Sin embargo, tiene varias limitaciones. Los métodos para estimar los seis factores no se encuentran disponibles en muchos lugares fuera de los Estados Unidos de Norteamérica, ya que la mayoría de ecuaciones que componen el modelo, fueron desarrolladas en dicho país, pero como se evidencia en la bibliografía, este modelo se aplica en varios países de Latinoamérica, incluyendo el Perú, obteniendo en general buenos índices de correlación.

Es un procedimiento estadístico (empírico o "agrupado") que no contempla los procesos físicos de separación, transporte y sedimentación en forma mecánica (WISCHMEIER y SMITH, 1978). Está basado sobre el supuesto de pendiente de terreno, suelos, cultivo y manejo uniformes. Por lo expuesto podemos decir, que la metodología RUSLE, se comporta como un buen estimador de la erosión hídrica, que nos permite identificar lugares con mayor susceptibilidad a ser erosionado de acuerdo a las características propias del lugar, más no es una medida exacta de la pérdida de suelos como tal, pero con su aplicación podemos determinar en qué áreas es necesaria la intervención del hombre para disminuir lo más que se pueda dicha erosión aplicando cultivos y prácticas de conservación adecuadas.

#### **4.5.2. Correlación entre la tasa de erosión hídrica y el factor C**

Después de analizar la ecuación y en vista de que los únicos componentes que pueden ser modificados son el factor C y el factor P; se estableció una correlación entre el factor C y la pérdida de suelo promedio por

erosión hídrica en tm/ha/año a partir de los datos calculados para cada punto de muestreo, ya que el factor P no fue considerado porque en la microcuenca Puente Pérez no se aplica ningún tipo de prácticas conservacionista. Dicha correlación se muestra a continuación:

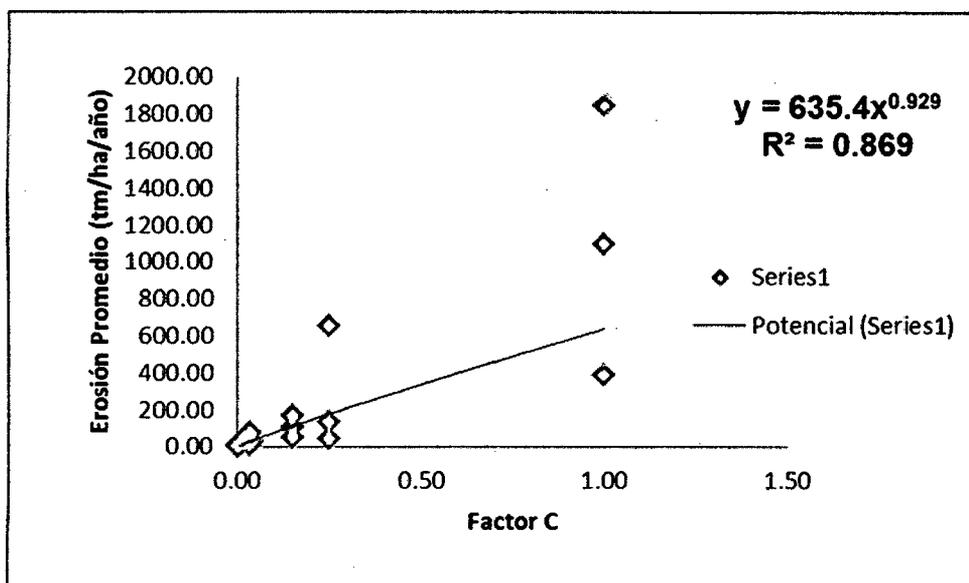


Figura 26. Análisis de correlación entre la erosión promedio anual y el factor C.

De la figura anterior se establece que existe un alto índice de correlación entre la pérdida de suelo por erosión hídrica y el factor C, coincidiendo con VELÁSQUEZ (2008), ya que si el factor de C es igual a 0,001 en el caso de un suelo con cubierta vegetal bosque, esto quiere decir que la

pérdida de suelo será reducida a 0,1% de la cantidad que hubiera ocurrido de no existir dicha cobertura. Por lo cual el factor C, se convierte un factor fundamental para controlar la erosión.

#### 4.5.3. Validación de los resultados

Los resultados obtenidos de pérdida de suelo por erosión hídrica mediante la aplicación de la metodología RUSLE, fueron comparados con los resultados de los análisis de suelo (materia orgánica, textura) y el análisis del horizonte superficial en campo, los resultados de la comparación se muestran en el cuadro 23.

Cuadro 23. Comparación de los resultados de USLE con los resultados de campo.

Uso actual	Textura	M.O (%)	Estructura	Horizontes	Rango (tm/ha/año)	USLE
<b>ZONA DE MUESTREO: PARTE ALTA</b>						
Bosque alto	Franco	3,8	3: Granular	A	0 – 5	Baja
Arbolado denso alto	Franco	4,5	3: Granular	A	0 – 5	Baja
Arbolado forestal claro alto	Franco	1,0	3: Granular	A15 cm, B	5 – 25	Moderada
Purma alto	Franco Limoso	2,2	4: Blocosa	B	50 – 100	Alta
Cultivo alto (coca)	Franco Limoso	2,2	4: Blocosa	A 3 cm, B	Mayor a 200	Crítica
Pasto alto	Franco	2,8	3: Granular	A 6 cm, B	50 – 100	Alta
Suelo desnudo alto	Franco Limoso	1,9	4: Blocosa	B	Mayor a 200	Crítica

**ZONA DE MUESTREO: PARTE MEDIA**

Bosque medio	Franco Limoso	2,4	3: Granular	A	0 – 5	Baja
Arbolado denso medio	Franco	5,3	3: Granular	A	0 – 5	Baja
Arbolado forestal claro medio	Franco	1,3	3: Granular	A 20 cm, B	5 – 25	Moderada
Arbolado forestal muy claro medio	Franco	3,9	3: Granular	A 10 cm, B	5 – 25	Moderada
Purma medio	Franco Limoso	2,8	3: Granular	A 7cm, B	50 – 100	Alta
Cultivo medio (cocona)	Franco Limoso	1,6	3: Granular	A 7 cm, B	50 – 100	Alta
Pasto medio	Franco Limoso	1,3	4: Blocosa	A 3 cm, B	100 - 200	Muy Alta
Suelo desnudo medio	Franco Arcilloso	1,3	4: Blocosa	B	Mayor a 200	Crítica

**ZONA DE MUESTREO: PARTE BAJA**

Bosque bajo	Franco Arenoso	2,2	3: Granular	A	0 – 5	Baja
Arbolado denso bajo	Franco Arcilloso	5,0	3: Granular	A 20 cm, B	0 – 5	Baja
Arbolado forestal claro bajo	Franco Arenoso	1,9	3: Granular	A 10 cm, B	5 – 25	Moderada
Arbolado forestal muy claro bajo	Franco Arenoso	3,5	3: Granular	A 12 cm, B	5 – 25	Moderada
Purma bajo	Franco Arenoso	2,6	3: Granular	A	0 – 5	Baja
Cultivo bajo (plátano recién instalado)	Franco Limoso	1,3	4: Blocosa	A 3 cm, B	100 - 200	Muy Alta
Pasto bajo	Franco	3,8	4: Blocosa	A 5 cm, B	50 – 100	Alta
Suelo desnudo bajo	Franco Arcilloso	1,3	4: Blocosa	B	Mayor a 200	Crítica

Fuente: Elaboración propia (2010), a partir de datos del Laboratorio de análisis de suelos de la facultad de agronomía y datos observados en campo.

Del cuadro mostrado anteriormente, se evidencia que el modelo RUSLE, se ajusta a los valores de erosión determinados en campo mediante la evaluación del horizonte superficial del suelo, ya que en las zonas donde el rango de erosión hídrica es menor, el horizonte A se encuentra presente con más de 30 cm de profundidad (longitud de la muestra que nos permite obtener el tubo muestreador); y así sucesivamente hasta llegar a las zonas de suelo desnudo donde sólo se aprecia el horizonte B. Además se evidencia que en general el contenido de materia orgánica en la microcuenca Puente Pérez es pobre a medio, siendo mayor en las zonas donde el rango de erosión hídrica es menor, salvo algunas excepciones donde el contenido de materia orgánica es alto; esto se debe a dos causas, la mejor cobertura de dichas parcelas (bosque, arbolado denso, etc.) y la ubicación de las mismas, como es el caso de las parcelas que se encuentran en la parte baja, ya que como es sabido el suelo erosionado siempre se acumula en esta zona de las cuencas. En lo referente a la textura, los suelos franco limosos son los que generalmente tienen mayor rango de erosión (alta, muy alta y crítica), esto se debe a que este tipo de texturas son las más susceptibles a erosión, como se mencionó anteriormente; en el caso particular de los suelos desnudos que tienen una textura franco arcillosa y franco limosa, un bajo contenido de materia orgánica y ausencia de horizonte A, con un rango de erosión muy crítica, se hace evidente que la carencia de una cubierta vegetal, genera la máxima erosión posible, coincidiendo con VELÁSQUEZ (2010) y MORGAN (1997).

## V. CONCLUSIONES

1. Se determinó el índice de erosividad de las precipitaciones o Factor R, mediante dos métodos: el IMF y la ecuación Foster, con valores de 347 a 430  $Mj*mm/ha*h*año$  y 589 a 825  $Mj*mm/ha*h*año$  para toda la microcuenca Puente Pérez, respectivamente.
2. Se determinó el índice de erodabilidad del suelo o factor K, con valores que oscilan entre 0,15 a 0,70  $tm*ha*h/ha*Mj*mm$ . Los valores más altos de erodabilidad corresponden a suelos de textura franco limosa, por ser los más susceptibles a la erosión.
3. Se determinó el factor de longitud y gradiente de la pendiente o factor LS, con valores entre 0 a 8,93 para toda la microcuenca.
4. Se determinó el factor de cobertura vegetal o factor C, obteniéndose 8 tipos de usos principales en la microcuenca: bosque con 0,001, arbolado denso con 0,002, arbolado forestal claro con 0,006, arbolado muy claro con 0,041, purma con 0,035, cultivo con 0,25, pasto con 0,15 y suelo desnudo con valor 1.

5. Se determinó que el 22% del área total de la microcuenca ha sufrido un cambio de uso de suelo y que el 72% restante conserva la vegetación propia o nativa de la zona.
6. Se estimó la pérdida de suelo por erosión hídrica promedio para toda la microcuenca, encontrándose una erosión que oscila entre 0,03 a 3 046 tm/ha/año.
7. El 82% de la microcuenca Puente Pérez presenta una erosión baja o moderada y el 18 % presenta una erosión que sobrepasa los límites aceptables, llegando en algunas áreas a ser incluso muy crítica.
8. Se determinó la ecuación que relaciona el uso y cobertura de la tierra, siendo  $Y = 635,4X^{0,929}$ , con un índice de correlación alto ( $R^2 = 0,869$ ).

## **VI. RECOMENDACIONES**

- 1. Concientizar a la población involucrada y a los responsables del manejo y gestión de los recursos naturales, para propiciar la conservación de los mismos.**
- 2. Elaborar un plan de restauración y conservación de la cobertura vegetal mediante el enriquecimiento forestal con la instalación de especies de rápido crecimiento (heliófilas nativas), manejo silvopastoril y programas de reforestación que constituyen obras biológicas de restauración.**
- 3. Promover el manejo de actividades y el uso adecuado del suelo: aprovechamiento forestal sostenible y aplicación de buenas prácticas agrícolas.**
- 4. Controlar la tala indiscriminada y no autorizada en zonas de fragilidad ambiental en pendientes superiores al 5% y en las cabeceras de los principales ríos.**

## VII. ABSTRACT

Water erosion is the main process of land degradation in tropical areas, so that its evaluation is essential to promote conservation strategies. This research was conducted in the micro sewer, located in the district of Mariano Damaso Beraún - Las Palmas Province of Leoncio Prado, with the aim of estimating the rate of soil loss by water erosion. We applied the methodology of the Universal Equation Revised Soil Loss (USLE / RUSLE) proposed by Renard *et al.* (1997), amending the original equation of Wischmeier and Smith (1978), and is the methodology used to estimate annual loss of agricultural land in micro basin "Puente Pérez" s and GIS tool (GIS) using Arcgis version 9.2 for the analysis and representation of each of the factors that make the equation: rainfall erosivity, erodibility soil, length and slope gradient and vegetation cover. The micro basin "Puente Pérez" has an average erosion of 0 and 3046 tm/ha/year, which was grouped in ranges according to the tables adapted from FAO, UNESCO, UNEP (1980), being found that 82% of the micro basin "Puente Pérez" has a erosion low to moderate and the remaining 12% a erosion that exceeds acceptable limits, with areas that even qualify as very critical risk. After performing the analysis of correlation between erosion and the factor C, it was determined that the use and cover of soil directly affects the processes of erosion ( $R = 0,87$ ).

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMOZA, I., SCHIETTECATTE, W., MEDINA, H., ALONSO, G. 2007. Metodología para la estimación del factor erosividad de las precipitaciones en el modelo (RUSLE). Universidad Agraria de La Habana. La Habana – Cuba. 9 pp.
- ALONSO, G., RUIZ, M., SCHIETTECATTE, W., DÍAZ, J., ALMOZA, Y. 2007. Riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica La Guira, Río Cuyaguaje, Cuba. Universidad Agraria de La Habana. La Habana – Cuba. 15 pp.
- ANAYA, N. 2008. Mapa de riesgo de erosión de suelo para la cuenca del río Yagüez en Puerto Rico. Universidad de Puerto Rico Recinto de Mayagüez. Mayagüez – Puerto Rico. 16 pp.
- ANDERSON, R. 2010. Adquisición de imágenes satelitales y datos SIG para modelación y análisis ambiental. Centro del agua del trópico húmedo para América latina y el Caribe. Panamá – República de Panamá. 30 pp.

- 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 pp.
- BARRIOS, A. y QUIÑÓÑEZ, E. 2000. Evaluación de la erosión utilizando el modelo R (USLE) con apoyo de SIG. Aplicación en una microcuenca de los Andes Venezolanos. Revista Forestal Venezolana. Trujillo – Venezuela. 7 pp.
- BODOQUE, M., PEDRAZA, J., MARTÍN - DUQUE, J., SANZ, M., CARRASCO, R., DÍEZ, A., MATTERA, M. 2001. Evaluación de la degradación específica en la cuenca vertiente al embalse del Puente Alta (Segovia). *Rev. C. & G.*, 15 (3-4), 21- 36. Madrid – España.
- CARVAJAL, F. y GIRÁLDEZ, J. 2000. Análisis de la producción de sedimentos en una cuenca con un sistema de información geográfica. El sistema Cubillas - Colomera. Universidad de Almería. Almería – España. 15 pp.
- CASANOVA, P. 2003. Conservación de suelos: predicción de la erosión hídrica vía modelo USLE. Santiago – Chile. 27 pp.
- CASTILLO, F. y CASTELLVI, F. 2001. Agro - Meteorología. Edit. Grupo Mundi Prensa. 2da edición. Madrid – España. 470 pp.

- CHÁVEZ, T. 2007. Determinación de suelos degradados mediante técnicas de teledetección en la Microcuenca del río Delfín – Pozuzo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Pozuzo – Perú. 84 pp.
- CLÉRICI, C. y GARCÍA, F. Aplicaciones del modelo USLE/RUSLE para estimar pérdidas de suelo por erosión en Uruguay y la región sur de la cuenca La Plata. Rev. Agrociencia. Vol. V N°1, Pp 92 - 103. Montevideo – Uruguay.
- DE LUIS, M., GONZALES - HIDALGO, J., RAVENTÓS, J., SÁNCHEZ J., CORTINA, J. 1997. Distribución espacial de la concentración y distribución de las lluvias en el territorio de la comunidad Valenciana. Cuaternario y Geomorfología. Vol. N° 11, 33 – 44. Zaragoza – España.
- DI TOMAMSO, I. 2003. Modelo digital de elevaciones ASTER, una herramienta útil para generar cartografía a escala 1:100 000. Primer congreso de la ciencia cartográfica y VIII semana nacional de cartografía, Buenos Aires 25 al 27 de junio del 2003.
- DÍAZ, J., PÉREZ, D., RODRÍGUEZ, Y., FEBLES, J. 2008. Determinación de índices de erosión de suelos aplicando análisis SIG para la localidad de San Andrés en la provincia de Pinar del Río. Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente. Vol. 14 N° 001, 15 – 19 pp. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo – México.

- EDESO, J., MARAURI, P., MERINO, A., GONZALEZ, M. 1997. Determinación de la tasa de erosión hídrica en función del manejo forestal: la cuenca del río Santa Lucía. Larrualde, 20. Pág. 67 – 104.
- FALLAS, J. 2007. Modelos digitales de elevación: Teoría, métodos de interpolación y aplicaciones. Costa Rica. 86 pp.
- 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.
- GARCIA, J., 2005. Modelos paramétricos. Modelos USLE. Modelos RUSLE. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid – España. 51 pp.
- GUERRA, F., GÓMEZ, H., GONZÁLEZ, J., ZAMBRANO, Z. 2006. Uso actual de métodos y técnicas para el estudio de la precipitación incluyendo plataformas SIG. Universidad de los Andes. Geoenseñanza, Vol. 11, Núm. 1, pp. 97 - 106. Venezuela.
- HONORATO, R., BARRALES, L., PEÑA I., BARRERA, F. 2001. Evaluación del modelo USLE en la estimación de la erosión en seis localidades entre la IV y IX región de Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago – Chile. 8 pp.

HUDSON, N. 1997. Medición sobre el terreno de la erosividad del suelo y la escorrentía. Boletín de suelos del FAO N°68. Roma – Italia. 25 pp.

HUDSON, N. 2006. Conservación del suelo. Editorial Reverté S.A. Reimpresión. Barcelona – España. 290 pp.

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES, AGENCIA SUIZA PARA EL DESARROLLO Y LA COOPERACIÓN. 2005. Erosión Hídrica: mapa de amenazas. Managua – Nicaragua. 52 pp.

INRENA. 1995. Mapa ecológico del Perú. Guía explicativa. Talleres Gráficos de INRENA. Lima – Perú. 221 pp.

KIRBY, M.J. y MORGAN, R.P.C. 1984. Erosión de suelos. Editorial Limusa S.A. México D.F – México. 367 pp.

LOPEZ, J., SÁNCHEZ J., ANDRESSEN, R. 2001. Comparación de varios métodos para la representación cartográfica de información climática en zonas altas del estado Lara. Bioagro N° 13 Vol. 1. 39 – 46 pp.

MANRIQUE, L. y CHÁVEZ, R. 1996. Influencia de los tipos de cobertura de suelos en el desarrollo de la vegetación nativa y cultivada de la Microcuenca de las Pavas – Tingo María. Tingo María – Perú. 126 pp.

- MANRIQUE, L. y CHÁVEZ, R. 2000. Estudio de suelos de la Microcuenca del río Supte. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María – Perú. 90 pp.
- MARTÍNEZ, J. 2005. Percepción remota: Fundamentos de teledetección espacial. Comisión Nacional del Agua. México D.F – México. 62 pp.
- MEJÍA, F., MESA, O., POVEDA, G., VÉLEZ, J., HOYOS, H., MANTILLA, R., BARCO, J., CUARTAS, A., MONTOYA, M., BOTERO, B. 2000. Distribución espacial y ciclos anuales y semianuales de la precipitación en Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 30 pp.
- MESÉN, R. 2009. Consideraciones y conclusiones al aplicar el modelo de erosión RUSLE en algunas cuencas de la fila costeña, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. San José – Costa Rica. 30 pp.
- MORGAN, R.P.C. 1997. Erosión y conservación de suelos. Ediciones Mundi – Prensa Libros S.A. Editorial Aedos. Madrid – España. 306 pp.
- MUNOZ, P. 2009. Evaluación Modelo Digital de Elevación Global Aster GDEM. Centro de Información de Recursos Naturales. Chile. 10 pp.
- NUNEZ, S. 2001. Manejo y conservación de suelos. Editorial Universidad Estatal a distancia. 1era edición. San José – Costa Rica. 268 pp.

- OCAMPO, R., MEDINA, C., LOVATÓN, G. 1996. Programa de conservación de suelos y forestación. Manual de conservación de suelos. Asociación Arariwa. Cuzco – Perú. 30 pp.
- OÑATE, F. y BOSQUE, S. 2007. Extracción de modelos digitales de elevación a partir de imágenes ASTER para la determinación de características morfométricas de cuencas hidrográficas. Universidad Técnica Particular de Loja. Loja – Ecuador. 10 pp.
- PANDO, M., GUTIÉRREZ, M., MALDONADO, A., PALACIO, J., ESTRADA, A. 2003. Comparación de métodos en la estimación de erosión hídrica. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. – México. 14 pp.
- PÉREZ, A. y FRANÇOIS, J. 2009. Evaluación de los errores de modelos digitales de elevación obtenidos por cuatro métodos de interpolación Investigaciones Geográficas (Mx), Núm. 69, 2009, pp. 53 - 67. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- PEREZ, J. y MESA, O. 2002. Estimación del factor de erosividad de la lluvia en Colombia. Simposio Latinoamericano de Control de Erosión. Medellín – Colombia. 10 pp.
- PÉREZ, S. 2001. Modelo para evaluar la erosión hídrica en Colombia utilizando sistemas de información geográfica. Universidad Industrial de Santander. Bogotá – Colombia. 77 pp.

- PÉREZ, U. 2005. La percepción remota. Universidad de Tolima. Ibagué – Tolima. 35 pp.
- PUSINERI, G., PEDRAZA, R., LOZECO, C. 2004. Usos de modelos digitales de elevación y de sistemas de información geográfica en la modelación hidrológica. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe – Argentina. 10 pp.
- RAMÍREZ, L. 2010. Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Juramento - Salta. Universidad Nacional de Salta. Salta – Argentina. 104 pp.
- 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 pp.
- RAMOS, C. 2001. Modelamiento ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del río Cañete y determinación del mapa de erosión. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú. 30 pp.
- RAMOS, C. 2009. Modelamiento ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca del Chancay Lambayeque y determinación del mapa de erosión. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lambayeque – Perú. 40 pp.

- REUTER, F. 2009. Plataformas orbitales y sensores. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero – Argentina. 64 pp.
- ROA, J. y KAMP, U. 2008. Modelos de elevación digital (MED) a partir de sistemas satelitales. Una introducción y análisis comparativo en la cordillera de Mérida - Venezuela. Revista Geográfica Venezolana, Vol. 49(1) 2008, 11 - 42 pp.
- RODRÍGUEZ, F. 1995. El recurso del suelo en la amazonia peruana, diagnostico para su investigación. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Iquitos – Perú. 60 pp.
- RODRIGUEZ, M., FLORENTINO, A., GALLARDO, J., GARCÍA, R. 2004. Sistemas de Información geográfica en la evaluación de la erosión hídrica en Badajoz - España aplicando la metodología USLE. Agronomía Tropical v. 54 n. 4. Maracay.
- VALENZUELA, B. y MORALES, L. 2004. Estimación del factor de erosividad de las precipitaciones en la Región de Coquimbo. Universidad de Chile, Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables. Santiago – Chile. 3 pp.
- VEGA, M. y FEBLES, J. 2005. La investigación de suelos erosionados: métodos e índices de diagnóstico. Universidad Nacional Agraria de la Habana. La Habana – Cuba. 20 pp.

- VELÁSQUEZ, S. 2008. Erosión de suelos utilizando la EUPSR (RUSLE).  
Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza. Cantón de  
Coronado – Costa Rica. 54 pp.
- VILLON, M. 2002. Hidrología “Precipitación y análisis de la tormenta”. Segunda  
edición. Editorial Villón. Lima – Perú. 432 pp.
- WISCHMEIER, W. y SMITH, A. 1978. Predicting Rainfall erosion Losses.  
Aguide to Concervation Planning. Agricultural Handbook N°. 537.  
United States Department of Agriculture, Washington DC., USA. 258 p.

**IX. ANEXOS**

## ANEXO A. Cálculo del factor R o erosividad

### A.1. Precipitación mensual y anual (mm) para el período 2004 – 2009

#### ESTACION TINGO MARIA

LATITUD 09° 18' 30.60" SUR

LONGITUD 76° 00' 1.59" OESTE

ALTITUD 660 m.s.n.m

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Prom. Mensual	Pp Anual
2004	304.40	298.10	420.00	180.60	137.00	86.90	237.00	73.60	196.80	303.30	466.10	340.00	253.65	3043.80
2005	238.80	299.30	545.70	118.40	142.70	190.00	56.20	81.60	204.90	259.70	208.70	553.40	241.62	2899.40
2006	286.60	533.70	397.00	277.70	119.62	137.12	88.76	138.87	235.43	423.56	521.34	626.74	315.54	3786.44
2007	617.15	323.64	494.45	347.78	214.51	15.80	190.97	108.57	136.20	304.29	314.25	565.14	302.73	3632.75
2008	501.92	608.42	400.45	232.58	130.35	117.78	265.56	54.20	166.30	339.70	138.70	373.10	277.42	3329.06
2009	490.00	405.60	307.10	301.90	340.60	169.50	184.00	150.00	177.60	111.80	406.90	522.80	297.32	3567.80
Prom/Mes	406.48	411.46	427.45	243.16	180.80	119.52	170.42	101.14	186.21	290.39	342.67	496.86	Prom. anual	3376.54

#### ESTACION RIO SUPTE

LATITUD 09° 12' 30" SUR

LONGITUD 75° 55' 07" OESTE

ALTITUD 665 m.s.n.m

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Prom. Mensual	Pp Anual
2004	216.70	286.00	383.80	177.40	112.50	138.00	301.50	80.70	225.50	300.00	457.80	262.50	245.20	2942.40
2005	196.00	300.10	424.50	132.70	159.80	212.90	62.90	83.70	202.90	257.50	162.80	400.50	216.36	2596.30
2006	280.70	539.70	369.40	152.50	73.50	104.20	77.80	120.90	135.50	439.00	411.60	668.00	281.07	3372.80
2007	371.50	240.80	370.20	258.50	172.50	8.20	101.70	36.80	112.40	333.50	298.30	480.00	232.03	2784.40
2008	422.40	528.70	401.40	207.80	87.40	84.60	201.50	52.10	109.30	233.90	111.90	447.30	240.69	2888.30
2009	491.00	408.40	337.80	278.70	354.00	175.70	186.53	150.35	118.80	157.70	490.96	523.30	306.10	3673.24
Prom/Mes	329.72	383.95	381.18	201.27	159.95	120.60	155.32	87.43	150.73	286.93	322.23	463.60	Prom. anual	3042.91

**ESTACION RIO BELLA**

LATITUD 09° 19' 20" SUR

LONGITUD 76° 02' 10" OESTE

ALTITUD 985 m.s.n.m

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Prom. Mensual	Pp Anual
<b>2004</b>	287.00	310.30	481.50	265.10	186.50	118.70	221.60	102.50	224.10	314.00	509.00	374.80	<b>282.93</b>	<b>3395.10</b>
<b>2005</b>	237.50	452.40	621.90	104.50	169.80	226.10	104.00	238.50	225.30	314.20	285.00	421.50	<b>283.39</b>	<b>3400.70</b>
<b>2006</b>	391.50	553.90	539.00	279.50	131.90	223.40	202.50	162.80	237.60	520.80	470.30	615.90	<b>360.76</b>	<b>4329.10</b>
<b>2007</b>	508.00	260.10	609.40	363.00	284.00	29.10	184.30	96.20	107.50	320.60	321.00	528.00	<b>300.93</b>	<b>3611.20</b>
<b>2008</b>	590.00	611.70	404.20	271.30	102.00	98.40	229.20	125.20	283.50	390.00	200.30	294.70	<b>300.04</b>	<b>3600.50</b>
<b>2009</b>	603.00	485.00	364.30	360.00	402.00	266.00	244.00	137.00	179.00	115.00	554.60	620.20	<b>360.84</b>	<b>4330.10</b>
<b>Prom/Mes</b>	<b>436.17</b>	<b>445.57</b>	<b>503.38</b>	<b>273.90</b>	<b>212.70</b>	<b>160.28</b>	<b>197.60</b>	<b>143.70</b>	<b>209.50</b>	<b>329.10</b>	<b>390.03</b>	<b>475.85</b>	<b>Prom. Anual</b>	<b>3777.78</b>

**ESTACION RIO LAS PAVAS**

LATITUD 09° 20' 43" SUR

LONGITUD 75° 54' 50" OESTE

ALTITUD 830 m.s.n.m

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Prom. Mensual	Pp Anual
<b>2004</b>	360.70	263.60	370.90	221.40	122.50	148.30	249.20	106.90	252.60	283.30	497.70	322.90	<b>266.67</b>	<b>3200.00</b>
<b>2005</b>	201.20	295.70	477.10	134.30	161.90	215.60	63.70	124.10	155.40	361.40	207.00	401.80	<b>233.27</b>	<b>2799.20</b>
<b>2006</b>	386.80	479.60	422.50	175.30	91.50	281.00	81.60	122.00	237.90	417.60	382.20	555.20	<b>302.77</b>	<b>3633.20</b>
<b>2007</b>	601.90	304.30	452.30	286.00	298.00	27.00	172.20	187.40	170.50	207.00	334.20	624.00	<b>305.40</b>	<b>3664.80</b>
<b>2008</b>	509.00	601.00	391.40	238.00	85.30	78.40	182.80	68.40	220.27	323.20	263.30	505.40	<b>288.87</b>	<b>3466.47</b>
<b>2009</b>	656.40	528.00	299.80	229.00	297.50	127.50	185.00	181.20	180.00	123.00	532.00	483.00	<b>318.53</b>	<b>3822.40</b>
<b>Prom/Mes</b>	<b>452.67</b>	<b>412.03</b>	<b>402.33</b>	<b>214.00</b>	<b>176.12</b>	<b>146.30</b>	<b>155.75</b>	<b>131.67</b>	<b>202.78</b>	<b>285.92</b>	<b>369.40</b>	<b>482.05</b>	<b>Prom. Anual</b>	<b>3431.01</b>

Fuente: elaboración propia a partir de datos de la estación meteorológica José Abelardo Quiñones.

**ESTACION RIO ANDA**

LATITUD 09° 05' 15" SUR

LONGITUD 76° 01' 14" OESTE

ALTITUD 669 m.s.n.m

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Prom. Mensual	Pp Anual
2004	289.00	169.40	460.00	220.20	102.50	79.50	215.30	58.00	209.50	254.10	477.10	273.70	234.03	2808.30
2005	318.90	186.40	322.40	113.90	137.40	183.00	63.00	77.90	156.80	250.00	118.10	390.70	193.21	2318.50
2006	203.60	412.20	256.30	210.40	130.00	162.00	67.50	124.80	152.20	475.40	526.50	566.80	273.98	3287.70
2007	406.10	182.00	364.10	248.00	192.90	84.40	134.00	34.20	25.20	344.00	280.30	400.90	224.68	2696.10
2008	409.10	478.70	301.90	214.60	82.20	76.90	118.20	79.00	140.66	252.80	98.50	356.00	217.38	2608.56
2009	391.20	379.70	327.20	214.00	207.00	138.60	137.50	133.50	76.20	162.00	377.00	481.00	252.08	3024.90
Prom/Mes	336.32	301.40	338.65	203.52	142.00	120.73	122.58	84.57	126.76	289.72	312.92	411.52	Prom. Anual	2790.68

**ESTACION RIO PENDENCIA**

LATITUD 09° 08' 27" SUR

LONGITUD 75° 57' 00" OESTE

ALTITUD 688 m.s.n.m

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Prom. Mensual	Pp Anual
2004	355.40	196.00	337.70	202.90	103.80	104.80	149.50	76.80	200.60	229.80	498.80	321.30	231.45	2777.40
2005	293.50	290.20	267.50	117.10	124.80	166.10	69.10	43.30	97.40	282.00	169.80	342.80	188.63	2263.60
2006	270.80	296.00	275.70	132.00	116.40	133.00	42.50	172.50	102.80	451.00	417.90	689.00	258.30	3099.60
2007	541.60	226.80	305.00	230.70	209.70	46.30	222.00	84.00	56.50	334.90	172.60	453.40	240.29	2883.50
2008	420.00	480.70	333.00	156.10	91.00	115.00	211.20	60.00	127.70	326.40	107.00	395.50	235.30	2823.60
2009	309.00	467.70	278.80	208.00	262.00	140.00	192.00	167.00	126.00	230.00	367.90	432.00	265.03	3180.40
Prom/Mes	365.05	326.23	299.62	174.47	151.28	117.53	147.72	100.60	118.50	309.02	289.00	439.00	Prom. Anual	2838.02

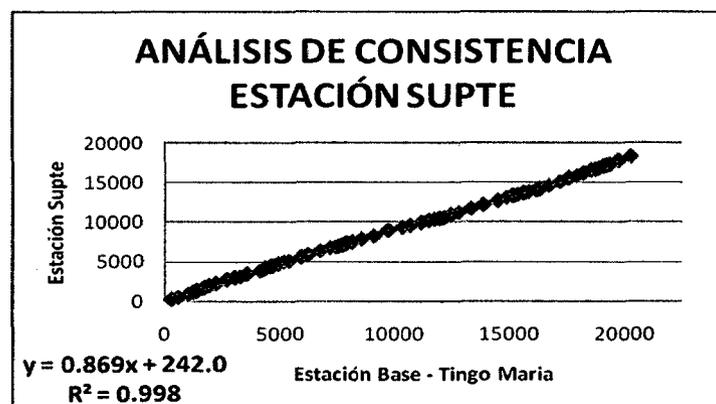
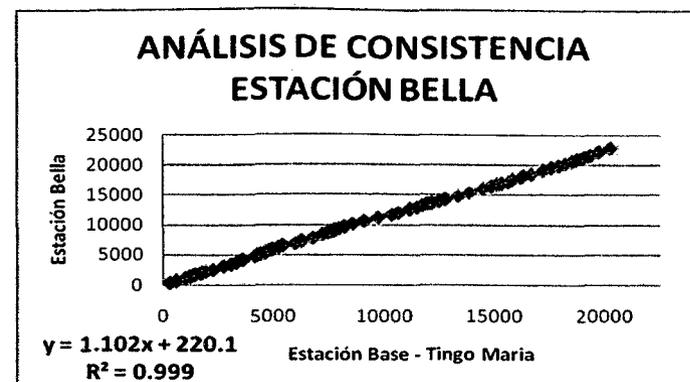
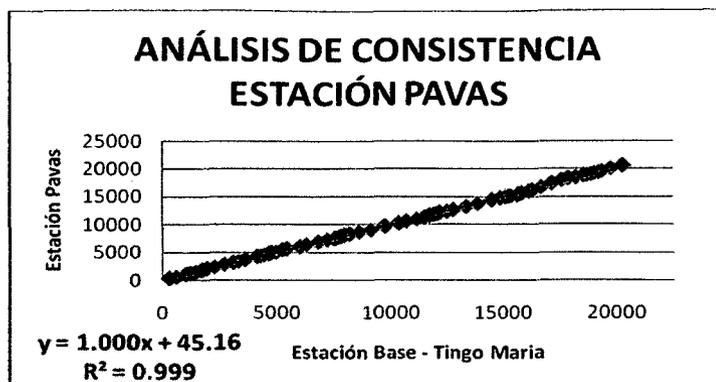
Fuente: elaboración propia a partir de datos de la estación meteorológica José Abelardo Quiñones.

**A.2. Análisis de consistencia de las estaciones Tingo María, Supte, Bella y Pavas (años 2004 – 2009)**

AÑO	MES	Est. BASE (Pp mm)	PP Acumulada Est. Base	Est. SUPTE (Pp mm)	PP Acumulada Est. Supte	Est. BELLA (Pp mm)	PP Acumulada Est. Bella	Est. PAVAS (Pp mm)	PP Acumulada Est. Pavas
2004	Enero	304.40	304.40	216.70	216.70	287.00	287.00	360.70	360.70
	Febrero	298.10	602.50	286.00	502.70	310.30	597.30	263.60	624.30
	Marzo	420.00	1022.50	383.80	886.50	481.50	1078.80	370.90	995.20
	Abril	180.60	1203.10	177.40	1063.90	265.10	1343.90	221.40	1216.60
	Mayo	137.00	1340.10	112.50	1176.40	186.50	1530.40	122.50	1339.10
	Junio	86.90	1427.00	138.00	1314.40	118.70	1649.10	148.30	1487.40
	Julio	237.00	1664.00	301.50	1615.90	221.60	1870.70	249.20	1736.60
	Agosto	73.60	1737.60	80.70	1696.60	102.50	1973.20	106.90	1843.50
	Septiembre	196.80	1934.40	225.50	1922.10	224.10	2197.30	252.60	2096.10
	Octubre	303.30	2237.70	300.00	2222.10	314.00	2511.30	283.30	2379.40
	Noviembre	466.10	2703.80	457.80	2679.90	509.00	3020.30	497.70	2877.10
	Diciembre	340.00	3043.80	262.50	2942.40	374.80	3395.10	322.90	3200.00
2005	Enero	238.80	3282.60	196.00	3138.40	273.50	3668.60	201.20	3401.20
	Febrero	299.30	3581.90	300.10	3438.50	452.40	4121.00	295.70	3696.90
	Marzo	545.70	4127.60	424.50	3863.00	621.90	4742.90	477.10	4174.00
	Abril	118.40	4246.00	132.70	3995.70	140.50	4883.40	134.30	4308.30
	Mayo	142.70	4388.70	159.80	4155.50	169.80	5053.20	161.90	4470.20
	Junio	190.00	4578.70	212.90	4368.40	226.10	5279.30	215.60	4685.80
	Julio	56.20	4634.90	62.90	4431.30	104.00	5383.30	63.70	4749.50
	Agosto	81.60	4716.50	83.70	4515.00	238.90	5622.20	124.10	4873.60
	Septiembre	204.90	4921.40	202.90	4717.90	225.30	5847.50	155.40	5029.00
	Octubre	259.70	5181.10	257.50	4975.40	314.20	6161.70	361.40	5390.40

	Noviembre	208.70	5389.80	162.80	5138.20	285.00	6446.70	207.00	5597.40
	Diciembre	553.40	5943.20	400.50	5538.70	421.50	6868.20	401.80	5999.20
2006	Enero	286.60	6229.80	280.70	5819.40	391.50	7259.70	386.80	6386.00
	Febrero	533.70	6763.50	539.70	6359.10	553.90	7813.60	479.60	6865.60
	Marzo	397.00	7160.50	369.40	6728.50	539.00	8352.60	422.50	7288.10
	Abril	277.70	7438.20	152.50	6881.00	279.50	8632.10	175.30	7463.40
	Mayo	119.62	7557.82	73.50	6954.50	131.90	8764.00	91.50	7554.90
	Junio	137.10	7694.92	104.20	7058.70	223.40	8987.40	281.00	7835.90
	Julio	88.76	7783.68	77.80	7136.50	202.50	9189.90	81.60	7917.50
	Agosto	138.87	7922.55	120.90	7257.40	162.80	9352.70	122.00	8039.50
	Septiembre	235.43	8157.98	135.50	7392.90	237.60	9590.30	237.90	8277.40
	Octubre	423.55	8581.53	439.00	7831.90	520.80	10111.10	417.60	8695.00
	Noviembre	521.36	9102.89	411.60	8243.50	470.30	10581.40	382.20	9077.20
	Diciembre	626.74	9729.63	668.00	8911.50	615.90	11197.30	555.20	9632.40
2007	Enero	617.13	10346.76	371.50	9283.00	508.00	11705.30	601.90	10234.30
	Febrero	323.60	10670.36	240.80	9523.80	260.10	11965.40	304.30	10538.60
	Marzo	494.50	11164.86	370.20	9894.00	609.40	12574.80	452.30	10990.90
	Abril	347.80	11512.66	258.50	10152.50	363.00	12937.80	286.00	11276.90
	Mayo	214.50	11727.16	172.50	10325.00	284.00	13221.80	298.00	11574.90
	Junio	16.00	11743.16	8.20	10333.20	29.20	13251.00	27.00	11601.90
	Julio	190.97	11934.13	101.70	10434.90	184.30	13435.30	172.20	11774.10
	Agosto	108.60	12042.73	36.80	10471.70	96.20	13531.50	187.40	11961.50
	Septiembre	136.20	12178.93	112.40	10584.10	107.50	13639.00	170.50	12132.00
	Octubre	304.00	12482.93	333.50	10917.60	320.60	13959.60	207.00	12339.00
	Noviembre	314.25	12797.18	298.30	11215.90	321.00	14280.60	334.20	12673.20
	Diciembre	564.40	13361.58	480.00	11695.90	528.00	14808.60	624.00	13297.20

2008	Enero	501.92	13863.50	422.40	12118.30	590.00	15398.60	509.00	13806.20
	Febrero	608.42	14471.92	528.70	12647.00	611.70	16010.30	601.00	14407.20
	Marzo	400.45	14872.37	401.40	13048.40	404.20	16414.50	391.40	14798.60
	Abril	232.58	15104.95	207.80	13256.20	271.30	16685.80	238.00	15036.60
	Mayo	130.35	15235.30	87.40	13343.60	102.00	16787.80	85.30	15121.90
	Junio	117.78	15353.08	84.60	13428.20	98.40	16886.20	78.40	15200.30
	Julio	265.56	15618.64	201.50	13629.70	229.20	17115.40	182.80	15383.10
	Agosto	54.20	15672.84	52.10	13681.80	125.20	17240.60	68.40	15451.50
	Septiembre	166.30	15839.14	109.30	13791.10	283.50	17524.10	220.27	15671.77
	Octubre	339.70	16178.84	233.90	14025.00	390.00	17914.10	323.20	15994.97
	Noviembre	138.70	16317.54	111.90	14136.90	200.30	18114.40	263.30	16258.27
	Diciembre	373.10	16690.64	447.30	14584.20	294.70	18409.10	505.40	16763.67
2009	Enero	490.00	17180.64	491.00	15075.20	603.00	19012.10	656.40	17420.07
	Febrero	405.60	17586.24	408.40	15483.60	485.00	19497.10	528.00	17948.07
	Marzo	307.10	17893.34	337.80	15821.40	364.30	19861.40	299.80	18247.87
	Abril	301.90	18195.24	278.70	16100.10	360.00	20221.40	229.00	18476.87
	Mayo	340.60	18535.84	354.00	16454.10	402.00	20623.40	297.50	18774.37
	Junio	169.50	18705.34	175.70	16629.80	266.00	20889.40	127.50	18901.87
	Julio	184.00	18889.34	186.53	16816.33	244.00	21133.40	185.00	19086.87
	Agosto	150.00	19039.34	150.35	16966.68	137.00	21270.40	181.20	19268.07
	Septiembre	177.60	19216.94	118.80	17085.48	179.00	21449.40	180.00	19448.07
	Octubre	111.80	19328.74	157.70	17243.18	115.00	21564.40	123.00	19571.07
	Noviembre	406.90	19735.64	490.96	17734.14	554.60	22119.00	532.00	20103.07
	Diciembre	522.80	20258.44	523.30	18257.44	620.20	22739.20	483.00	20586.07



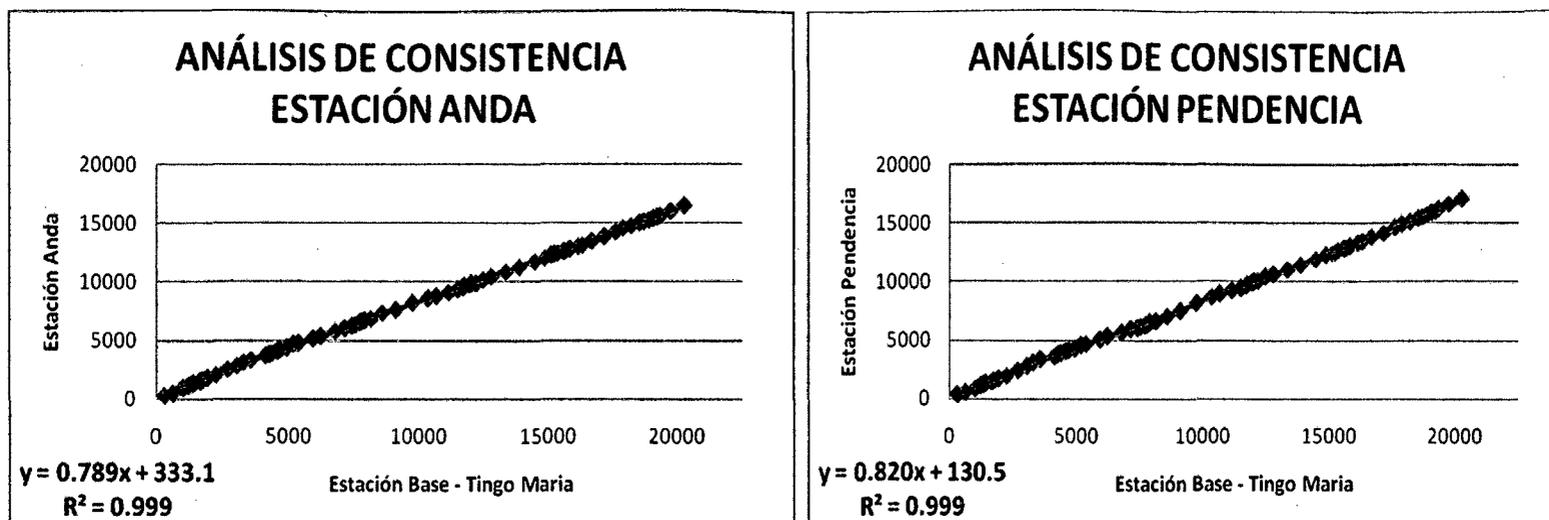
Fuente: elaboración propia a partir de datos de la estación meteorológica José Abelardo Quiñones.

### A.3. Análisis de consistencia de las estaciones Anda y Pendencia (años 2004 – 2009)

AÑO	MES	Est. Base (Pp mm)	PP Acumulada Est. Base	Est. ANDA (Pp mm)	PP Acumulada Est. Supte	Est. PENDENCIA (Pp mm)	PP Acumulada Est. Bella
2004	Enero	304.40	304.40	289.00	289.00	355.40	355.40
	Febrero	298.10	602.50	169.40	458.40	196.00	551.40
	Marzo	420.00	1022.50	460.00	918.40	337.70	889.10
	Abril	180.60	1203.10	220.20	1138.60	202.90	1092.00
	Mayo	137.00	1340.10	102.50	1241.10	103.80	1195.80
	Junio	86.90	1427.00	79.50	1320.60	104.80	1300.60
	Julio	237.00	1664.00	215.30	1535.90	149.50	1450.10
	Agosto	73.60	1737.60	58.00	1593.90	76.80	1526.90
	Septiembre	196.80	1934.40	209.50	1803.40	200.60	1727.50
	Octubre	303.30	2237.70	254.10	2057.50	229.80	1957.30
	Noviembre	466.10	2703.80	477.10	2534.60	498.80	2456.10
	Diciembre	340.00	3043.80	273.70	2808.30	321.30	2777.40
2005	Enero	238.80	3282.60	318.90	3127.20	293.50	3070.90
	Febrero	299.30	3581.90	186.40	3313.60	290.20	3361.10
	Marzo	545.70	4127.60	322.40	3636.00	267.50	3628.60
	Abril	118.40	4246.00	113.90	3749.90	117.10	3745.70
	Mayo	142.70	4388.70	137.40	3887.30	124.80	3870.50
	Junio	190.00	4578.70	183.00	4070.30	166.10	4036.60
	Julio	56.20	4634.90	63.00	4133.30	69.10	4105.70
	Agosto	81.60	4716.50	77.90	4211.20	43.30	4149.00
	Septiembre	204.90	4921.40	156.80	4368.00	97.40	4246.40
	Octubre	259.70	5181.10	250.00	4618.00	282.00	4528.40

	Noviembre	208.70	5389.80	118.10	4736.10	169.80	4698.20
	Diciembre	553.40	5943.20	390.70	5126.80	342.80	5041.00
2006	Enero	286.60	6229.80	203.60	5330.40	270.80	5311.80
	Febrero	533.70	6763.50	412.20	5742.60	296.00	5607.80
	Marzo	397.00	7160.50	256.30	5998.90	275.70	5883.50
	Abril	277.70	7438.20	210.40	6209.30	132.00	6015.50
	Mayo	119.62	7557.82	130.00	6339.30	116.40	6131.90
	Junio	137.10	7694.92	162.00	6501.30	133.00	6264.90
	Julio	88.76	7783.68	67.50	6568.80	42.50	6307.40
	Agosto	138.87	7922.55	124.80	6693.60	172.50	6479.90
	Septiembre	235.43	8157.98	152.20	6845.80	102.80	6582.70
	Octubre	423.55	8581.53	475.40	7321.20	451.00	7033.70
	Noviembre	521.36	9102.89	256.50	7577.70	417.90	7451.60
	Diciembre	626.74	9729.63	566.80	8144.50	689.00	8140.60
2007	Enero	617.13	10346.76	406.10	8550.60	541.60	8682.20
	Febrero	323.60	10670.36	182.00	8732.60	226.80	8909.00
	Marzo	494.50	11164.86	364.10	9096.70	305.00	9214.00
	Abril	347.80	11512.66	248.00	9344.70	230.70	9444.70
	Mayo	214.50	11727.16	192.90	9537.60	209.70	9654.40
	Junio	16.00	11743.16	84.40	9622.00	46.30	9700.70
	Julio	190.97	11934.13	134.00	9756.00	222.00	9922.70
	Agosto	108.60	12042.73	34.20	9790.20	84.00	10006.70
	Septiembre	136.20	12178.93	25.20	9815.40	56.50	10063.20
	Octubre	304.00	12482.93	344.00	10159.40	334.90	10398.10
	Noviembre	314.25	12797.18	280.30	10439.70	172.60	10570.70
	Diciembre	564.40	13361.58	400.90	10840.60	453.40	11024.10

2008	Enero	501.92	13863.50	409.10	11249.70	420.00	11444.10
	Febrero	608.42	14471.92	478.70	11728.40	480.70	11924.80
	Marzo	400.45	14872.37	301.90	12030.30	333.00	12257.80
	Abril	232.58	15104.95	214.60	12244.90	156.10	12413.90
	Mayo	130.35	15235.30	82.20	12327.10	91.00	12504.90
	Junio	117.78	15353.08	76.90	12404.00	115.00	12619.90
	Julio	265.56	15618.64	118.20	12522.20	211.20	12831.10
	Agosto	54.20	15672.84	79.00	12601.20	60.00	12891.10
	Septiembre	166.30	15839.14	140.66	12741.86	127.70	13018.80
	Octubre	339.70	16178.84	252.80	12994.66	326.40	13345.20
	Noviembre	138.70	16317.54	98.50	13093.16	107.00	13452.20
	Diciembre	373.10	16690.64	356.00	13449.16	395.50	13847.70
2009	Enero	490.00	17180.64	391.20	13840.36	309.00	14156.70
	Febrero	405.60	17586.24	379.70	14220.06	467.70	14624.40
	Marzo	307.10	17893.34	327.20	14547.26	278.80	14903.20
	Abril	301.90	18195.24	214.00	14761.26	208.00	15111.20
	Mayo	340.60	18535.84	207.00	14968.26	262.00	15373.20
	Junio	169.50	18705.34	138.60	15106.86	140.00	15513.20
	Julio	184.00	18889.34	137.50	15244.36	192.00	15705.20
	Agosto	150.00	19039.34	133.50	15377.86	167.00	15872.20
	Septiembre	177.60	19216.94	76.20	15454.06	126.00	15998.20
	Octubre	111.80	19328.74	162.00	15616.06	230.00	16228.20
	Noviembre	406.90	19735.64	377.00	15993.06	367.90	16596.10
	Diciembre	522.80	20258.44	481.00	16474.06	432.00	17028.10

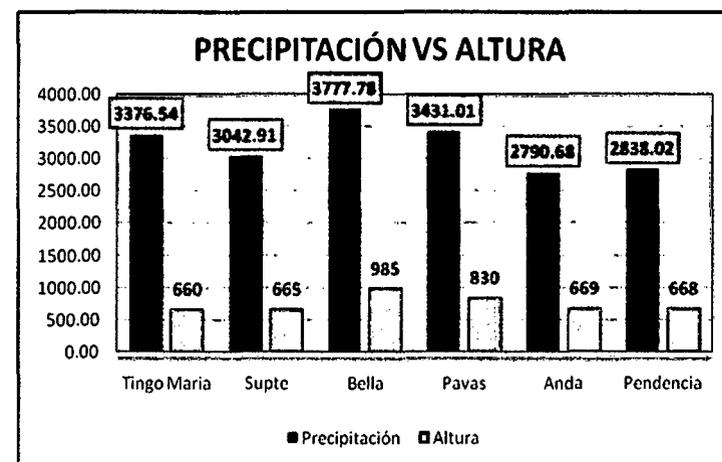
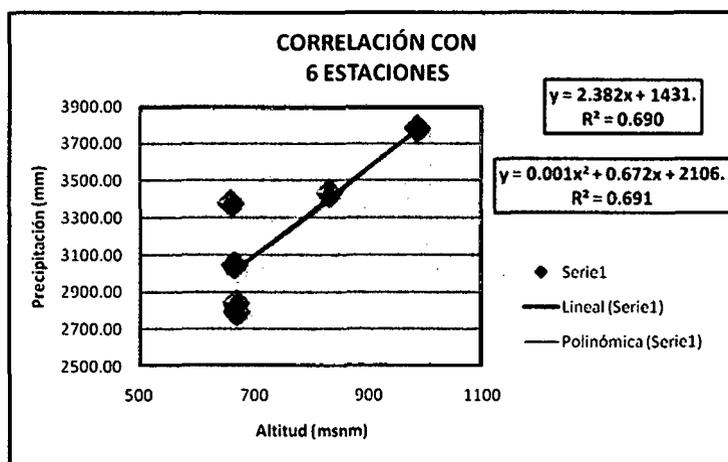


Fuente: elaboración propia a partir de datos de la estación meteorológica José Abelardo Quiñones.

#### A.4. Análisis de correlación entre Precipitación Vs Altura

– Con 6 estaciones:

ESTACIÓN	COORDENADAS UTM		Precipitación Promedio (mm/año)	Z (m)
	X	Y		
Tingo María	390124.310	8970701.140	3376.54	660
Supte	394534.479	8972298.282	3042.91	665
Bella	386427.289	8969296.046	3777.78	985
Pavas	395688.075	8963117.557	3431.01	830
Anda	397207.863	9000194.415	2790.68	669
Pendencia	399360.810	8993964.860	2838.02	668



Fuente: elaboración propia a partir de datos de la estación meteorológica José Abelardo Quiñones.

- r de Pearson -

Valores para X		Valores para Y		r de Pearson				
X	X <sup>2</sup>	Y	Y <sup>2</sup>	XY				
660	3376.54	3376.54	11,401,022.37	2,228,516.40				
665	3042.91	3,042.91	9,259,301.27	2,023,535.15				
985	3777.78	3,777.78	14,271,621.73	3,721,113.30				
830	3431.01	3,431.01	11,771,829.62	2,847,738.30				
669	2790.68	2,790.68	7,787,894.86	1,866,964.92				
668	2838.02	2,838.02	8,054,357.52	1,895,797.36				
<b>4,477.00</b>	<b>3,430,735.00</b>	<b>19,256.94</b>	<b>62,546,027.37</b>	<b>14,583,665.43</b>				

r de Pearson

Grados de libertad

r de la tabla/Nivel de confianza 0.05

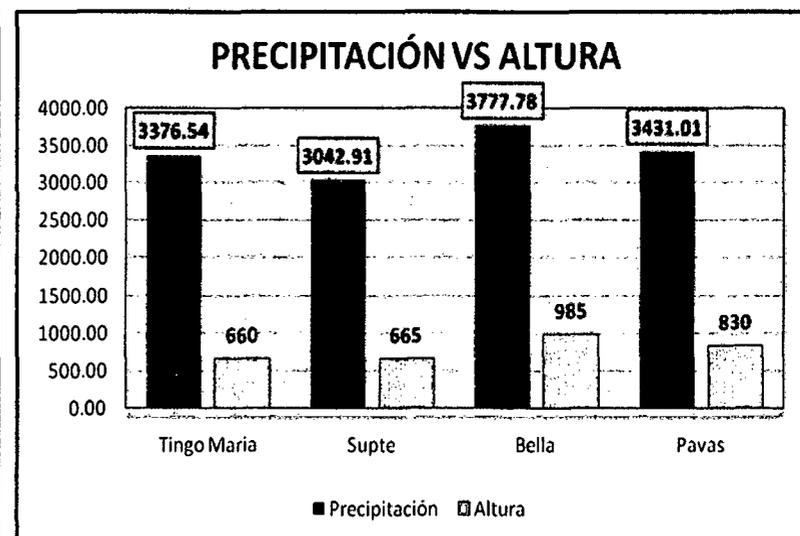
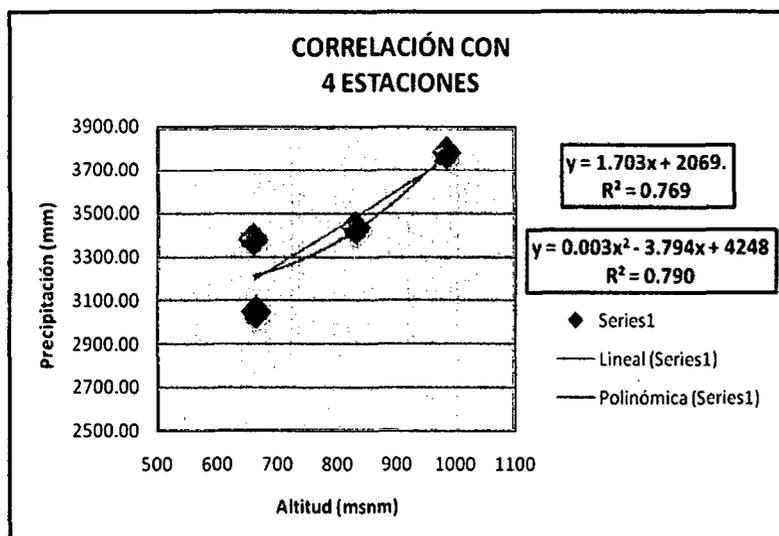
r de la tabla/Nivel de confianza 0.01

Coefficiente de Pearson ( $r = 0.83097$ )

Fuente: STATS TM v2.0.

- Con 4 estaciones:

ESTACIÓN	COORDENADAS UTM		Precipitación Promedio (mm/año)	Z (m)
	X	Y		
Tingo María	390124.310	8970701.140	3376.54	660
Supte	394534.479	8972298.282	3042.91	665
Bella	386427.289	8969296.046	3777.78	985
Pavas	395688.075	8963117.557	3431.01	830



Fuente: elaboración propia a partir de datos de la estación meteorológica José Abelardo Quiñones.

- r de Pearson -

Valores para X		Valores para Y		r de Pearson				
660		3376.54		X	X2	Y	Y2	XY
665		3042.91		660.00	435,600.00	3,376.54	11,401,022.37	2,228,516.40
985		3777.78		665.00	442,225.00	3,042.91	9,259,301.27	2,023,535.15
830		3431.01		985.00	970,225.00	3,777.78	14,271,621.73	3,721,113.30
				830.00	688,900.00	3,431.01	11,771,829.62	2,847,738.30
				3,140.00	2,536,950.00	13,628.24	46,703,774.99	10,820,903.15

r de Pearson 0.87747

Grados de libertad 2

r de la tabla/Nivel de confianza 0.05 0.95

r de la tabla/Nivel de confianza 0.01 0.99

Calcular    **Recomponer**    Ayuda    Imprimir    Salir

Coefficiente de Pearson ( $r = 0.87747$ )

Fuente: STATS TMv2.0

### A.5. Datos para la elaboración del mapa de Isoyetas

Ecuación de correlación Lineal:

$$y = 1.703x + 2059.$$

$$R^2 = 0.769$$

Ecuación de correlación Polinomial:

$$y = 0.003x^2 - 3.794x + 4248$$

$$R^2 = 0.790$$

ESTACIÓN	COORDENADAS UTM		PRECIPITACIÓN PROMEDIO (mm/año)	Z (m)
	X	Y		
Tingo María	390124.310	8970701.140	3376.54	660
Supte	394534.479	8972298.282	3042.91	665
Bella	386427.289	8969296.046	3777.78	985
Pavas	395688.075	8963117.557	3431.01	830
<b>ECUACIÓN LINEAL</b>				
ESG2	394799.24	8966967.97	<b>3937.19</b>	1097
ESG3	392303.45	8966306.69	<b>3152.11</b>	636
ESG4	397551.00	8967159.95	<b>4100.68</b>	1193
ESG6	397081.70	8970445.00	<b>3475.68</b>	826
ESG7	393775.33	8965794.74	<b>3491.01</b>	835
<b>ECUACIÓN POLINÓMICA</b>				
ESG2	394799.24	8966967.97	<b>3696.21</b>	1097
ESG3	392303.45	8966306.69	<b>3048.50</b>	636
ESG4	397551.00	8967159.95	<b>3991.51</b>	1193
ESG6	397081.70	8970445.00	<b>3160.98</b>	826
ESG7	393775.33	8965794.74	<b>3171.69</b>	835

Fuente: elaboración propia a partir de datos de la estación meteorológica José Abelardo Quiñones y DEM ASTER de 30 m resolución.

### A.6. Aplicación de metodología del Índice Modificado de Fournier desarrollado por Arnoldus (1978).

ESTACION TINGO MARIA

LATITUD 09° 18' 30.60" SUR

LONGITUD 76° 00' 1.59" OESTE

ALTITUD 660 m.s.n.m

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio Mensual	Precipitación Anual
2004	304.4	298.1	420.0	180.6	137.0	86.9	237.0	73.6	196.8	303.3	466.1	340.0	253.7	3043.8
2005	238.8	299.3	545.7	118.4	142.7	190.0	56.2	81.6	204.9	259.7	208.7	553.4	241.6	2899.4
2006	286.6	533.7	397.0	277.7	119.6	137.1	88.8	138.9	235.4	423.6	521.3	626.7	315.5	3786.4
2007	617.2	323.6	494.5	347.8	214.5	15.8	191.0	108.6	136.2	304.3	314.3	565.1	302.7	3632.8
2008	501.9	608.4	400.5	232.6	130.4	117.8	265.6	54.2	166.3	339.7	138.7	373.1	277.4	3329.1
2009	490.0	405.6	307.1	301.9	340.6	169.5	184.0	150.0	177.6	111.8	406.9	522.8	297.3	3567.8
<b>Prom/Mes</b>	<b>406.5</b>	<b>411.5</b>	<b>427.5</b>	<b>243.2</b>	<b>180.8</b>	<b>119.5</b>	<b>170.4</b>	<b>101.1</b>	<b>186.2</b>	<b>290.4</b>	<b>342.7</b>	<b>496.9</b>	<b>Prom. Anual (P)</b>	<b>3376.5</b>

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	$\sum p_i^2$	Sumatoria $p_i^2/P$
2004	92659.4	88863.6	176400.0	32616.4	18769.0	7551.6	56169.0	5417.0	38730.2	91990.9	217249.2	115600.0	942016.2	279.0
2005	57025.4	89580.5	297788.5	14018.6	20363.3	36100.0	3158.4	6658.6	41984.0	67444.1	43555.7	306251.6	983928.6	291.4
2006	82139.6	284835.7	157609.0	77117.3	14308.9	18801.9	7878.3	19284.9	55427.3	179399.7	271795.4	392803.0	1561401.0	462.4
2007	380874.1	104742.8	244480.8	120950.9	46014.5	249.6	36469.5	11787.4	18550.4	92592.4	98753.1	319383.2	1474849.0	436.8
2008	251923.7	370174.9	160360.2	54093.5	16991.1	13872.1	70522.1	2937.6	27655.7	115396.1	19237.7	139203.6	1242368.3	367.9
2009	240100.0	164511.4	94310.4	91143.6	116008.4	28730.3	33856.0	22500.0	31541.8	12499.2	165567.6	273319.8	1274088.4	377.3
													<b>Prom. Anual(P)</b>	<b>3376.5</b>
													<b>R Promedio</b>	<b>369.1</b>

Fuente: elaboración propia a partir de datos de la estación meteorológica José Abelardo Quiñones.

**ESTACION RIO SUPTE**

LATITUD 09° 12' 30" SUR

LONGITUD 75° 55' 07" OESTE

ALTITUD 665 m.s.n.m

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio Mensual	Precipitación Anual
2004	216.7	286.0	383.8	177.4	112.5	138.0	301.5	80.7	225.5	300.0	457.8	262.5	245.2	2942.4
2005	196.0	300.1	424.5	132.7	159.8	212.9	62.9	83.7	202.9	257.5	162.8	400.5	216.4	2596.3
2006	280.7	539.7	369.4	152.5	73.5	104.2	77.8	120.9	135.5	439.0	411.6	668.0	281.1	3372.8
2007	371.5	240.8	370.2	258.5	172.5	8.2	101.7	36.8	112.4	333.5	298.3	480.0	232.0	2784.4
2008	422.4	528.7	401.4	207.8	87.4	84.6	201.5	52.1	109.3	233.9	111.9	447.3	240.7	2888.3
2009	491.0	408.4	337.8	278.7	354.0	175.7	186.5	150.4	118.8	157.7	491.0	523.3	306.1	3673.2
<b>Prom/Mes</b>	<b>329.7</b>	<b>384.0</b>	<b>381.2</b>	<b>201.3</b>	<b>160.0</b>	<b>120.6</b>	<b>155.3</b>	<b>87.4</b>	<b>150.7</b>	<b>286.9</b>	<b>322.2</b>	<b>463.6</b>	<b>Prom. Anual (P)</b>	<b>3042.9</b>

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	$\sum p_i^2$	Sumatoria $p_i^2/P$
2004	46958.9	81796.0	147302.4	31470.8	12656.3	19044.0	90902.3	6512.5	50850.3	90000.0	209580.8	68906.3	855980.4	281.3
2005	38416.0	90060.0	180200.3	17609.3	25536.0	45326.4	3956.4	7005.7	41168.4	66306.3	26503.8	160400.3	702488.9	230.9
2006	78792.5	291276.1	136456.4	23256.3	5402.3	10857.6	6052.8	14616.8	18360.3	192721.0	169414.6	446224.0	1393430.5	457.9
2007	138012.3	57984.6	137048.0	66822.3	29756.3	67.2	10342.9	1354.2	12633.8	111222.3	88982.9	230400.0	884626.7	290.7
2008	178421.8	279523.7	161122.0	43180.8	7638.8	7157.2	40602.3	2714.4	11946.5	54709.2	12521.6	200077.3	999615.4	328.5
2009	241081.0	166790.6	114108.8	77673.7	125316.0	30870.5	34793.4	22605.1	14113.4	24869.3	241041.7	273842.9	1367106.5	449.3
													<b>Prom. Anual(P)</b>	<b>3042.9</b>
													<b>R Promedio</b>	<b>339.8</b>

Fuente: elaboración propia a partir de datos de la estación meteorológica José Abelardo Quiñones.

**ESTACION RIO BELLA**

LATITUD 09° 19' 20" SUR

LONGITUD 76° 02' 10" OESTE

ALTITUD 985 m.s.n.m

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio Mensual	Precipitación Anual
2004	287.0	310.3	481.5	265.1	186.5	118.7	221.6	102.5	224.1	314.0	509.0	374.8	282.9	3395.1
2005	237.5	452.4	621.9	104.5	169.8	226.1	104.0	238.5	225.3	314.2	285.0	421.5	283.4	3400.7
2006	391.5	553.9	539.0	279.5	131.9	223.4	202.5	162.8	237.6	520.8	470.3	615.9	360.8	4329.1
2007	508.0	260.1	609.4	363.0	284.0	29.1	184.3	96.2	107.5	320.6	321.0	528.0	300.9	3611.2
2008	590.0	611.7	404.2	271.3	102.0	98.4	229.2	125.2	283.5	390.0	200.3	294.7	300.0	3600.5
2009	603.0	485.0	364.3	360.0	402.0	266.0	244.0	137.0	179.0	115.0	554.6	620.2	360.8	4330.1
<b>Prom/Mes</b>	<b>436.2</b>	<b>445.6</b>	<b>503.4</b>	<b>273.9</b>	<b>212.7</b>	<b>160.3</b>	<b>197.6</b>	<b>143.7</b>	<b>209.5</b>	<b>329.1</b>	<b>390.0</b>	<b>475.9</b>	<b>Prom. Anual(P)</b>	<b>3777.8</b>

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	$\sum p_i^2$	Sumatoria $p_i^2/P$
2004	82369.0	96286.1	231842.3	70278.0	34782.3	14089.7	49106.6	10506.3	50220.8	98596.0	259081.0	140475.0	1137633.0	301.1
2005	56406.3	204665.8	386759.6	10920.3	28832.0	51121.2	10816.0	56882.3	50760.1	98721.6	81225.0	177662.3	1214772.4	321.6
2006	153272.3	306805.2	290521.0	78120.3	17397.6	49907.6	41006.3	26503.8	56453.8	271232.6	221182.1	379332.8	1891735.3	500.8
2007	258064.0	67652.0	371368.4	131769.0	80656.0	846.8	33966.5	9254.4	11556.3	102784.4	103041.0	278784.0	1449742.7	383.8
2008	348100.0	374176.9	163377.6	73603.7	10404.0	9682.6	52532.6	15675.0	80372.3	152100.0	40120.1	86848.1	1406992.9	372.4
2009	363609.0	235225.0	132714.5	129600.0	161604.0	70756.0	59536.0	18769.0	32041.0	13225.0	307581.2	384648.0	1909308.7	505.4
													<b>Prom. Anual(P)</b>	<b>3777.8</b>
													<b>R Promedio</b>	<b>397.5</b>

Fuente: elaboración propia a partir de datos de la estación meteorológica José Abelardo Quiñones.

**ESTACION RIO LAS PAVAS**

LATITUD 09° 20' 43" SUR

LONGITUD 75° 54' 50" OESTE

ALTITUD 830 m.s.n.m

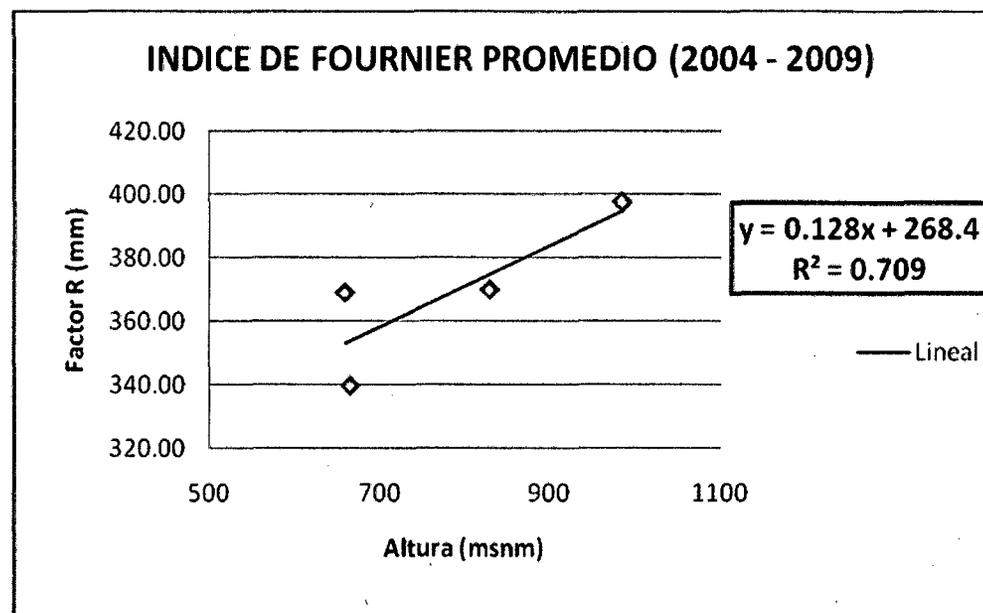
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio Mensual	Precipitación Anual
2004	360.7	263.6	370.9	221.4	122.5	148.3	249.2	106.9	252.6	283.3	497.7	322.9	266.7	3200.0
2005	201.2	295.7	477.1	134.3	161.9	215.6	63.7	124.1	155.4	361.4	207.0	401.8	233.3	2799.2
2006	386.8	479.6	422.5	175.3	91.5	281.0	81.6	122.0	237.9	417.6	382.2	555.2	302.8	3633.2
2007	601.9	304.3	452.3	286.0	298.0	27.0	172.2	187.4	170.5	207.0	334.2	624.0	305.4	3664.8
2008	509.0	601.0	391.4	238.0	85.3	78.4	182.8	68.4	220.3	323.2	263.3	505.4	288.9	3466.5
2009	656.4	528.0	299.8	229.0	297.5	127.5	185.0	181.2	180.0	123.0	532.0	483.0	318.5	3822.4
<b>Prom/Mes</b>	<b>452.7</b>	<b>412.0</b>	<b>402.3</b>	<b>214.0</b>	<b>176.1</b>	<b>146.3</b>	<b>155.8</b>	<b>131.7</b>	<b>202.8</b>	<b>285.9</b>	<b>369.4</b>	<b>482.1</b>	<b>Prom. Anual(P)</b>	<b>3431.0</b>

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	$\sum p_i^2$	Sumatoria $p_i^2/P$
2004	130104.5	69485.0	137566.8	49018.0	15006.3	21992.9	62100.6	11427.6	63806.8	80258.9	247705.3	104264.4	992737.0	289.3
2005	40481.4	87438.5	227624.4	18036.5	26211.6	46483.4	4057.7	15400.8	24149.2	130610.0	42849.0	161443.2	824785.7	240.4
2006	149614.2	230016.2	178506.3	30730.1	8372.3	78961.0	6658.6	14884.0	56596.4	174389.8	146076.8	308247.0	1383052.6	403.1
2007	362283.6	92598.5	204575.3	81796.0	88804.0	729.0	29652.8	35118.8	29070.3	42849.0	111689.6	389376.0	1468542.9	428.0
2008	259081.0	361201.0	153194.0	56644.0	7276.1	6146.6	33415.8	4678.6	48518.9	104458.2	69326.9	255429.2	1359370.2	396.2
2009	430861.0	278784.0	89880.0	52441.0	88506.3	16256.3	34225.0	32833.4	32400.0	15129.0	283024.0	233289.0	1587628.9	462.7
													<b>Prom. Anual(P)</b>	<b>3431.0</b>
													<b>R Promedio</b>	<b>370.0</b>

Fuente: elaboración propia a partir de datos de la estación meteorológica José Abelardo Quiñones.

### A.7. Análisis de correlación IMF Vs Altura

ESTACIÓN	ALTURA (msnm)	R Promedio
Tingo María	660	369.15
Supte	665	339.77
Bella	985	397.51
Pavas	830	369.96



Fuente: elaboración propia a partir de datos de la estación meteorológica José Abelardo Quiñones y DEM ASTER de 30 m resolución.

**- r de Pearson -**

**Valores para X**

660  
665  
985  
830

**Valores para Y**

369.15  
339.77  
397.51  
369.96

**r de Pearson**

X	X2	Y	Y2	XY
660.00	435,600.00	369.15	136,271.72	243,639.00
665.00	442,225.00	339.77	115,443.65	225,947.05
985.00	970,225.00	397.51	158,014.20	391,547.35
830.00	688,900.00	369.96	136,870.40	307,066.80
<b>3,140.00</b>	<b>2,536,950.00</b>	<b>1,476.39</b>	<b>546,599.98</b>	<b>1,168,200.20</b>

<b>r de Pearson</b>	0.84229	<b>r de la tabla/Nivel de confianza 0.05</b>	0.95
<b>Grados de libertad</b>	2	<b>r de la tabla/Nivel de confianza 0.01</b>	0.99

Calcular
Recomponer
Ayuda
Imprimir
Salir

Coefficiente de Pearson (r = 0.84229)

Fuente: STATS TMv2.0

### A.8. Datos para la elaboración del mapa IMF

Ecuación de correlación Lineal:

$$y = 0.128x + 268.4$$

$$R^2 = 0.709$$

ESTACIÓN	ALTURA (msnm)	R Promedio
Tingo María	660	369.15
Supte	665	339.77
Bella	985	397.51
Pavas	830	369.96
ESG2	1097	408.82
ESG3	636	349.81
ESG4	1193	421.10
ESG6	826	374.13
ESG7	835	375.28

Fuente: elaboración propia de acuerdo a los datos proporcionados por la estación meteorológica José Abelardo Quiñones.

## ANEXO B. Cálculo del factor K o erodabilidad

### B.1. Determinación del número de parcelas a muestrear

Pruebas estadísticas Apéndices de las tablas estadísticas Salir

**STATS™**

	Media, varianza, desviación estándar		Áreas bajo la curva normal
	Tamaño de la muestra		Distribución "t" de Student
	Error estándar		Valores de "F" al nivel de confianza de .05 y .01
	Chi-cuadrada		Valores de X <sup>2</sup> a los niveles de confianza de .05 y .01
	Números aleatorios		Números Aleatorios (apéndice)
	Diferencia de dos proporciones independientes		
	Diferencia de dos medias independientes		
	r de Pearson		
	Coefficiente $\rho$ de correlación por rangos-ordenados de Spearman		
	Coefficiente $\tau$ de correlación entre rangos de Kendall		
	Coefficiente de concordancia W de Kendall		

- Tamaño de la muestra -

¿Tamaño del universo?

¿Error máximo aceptable?  %

¿Porcentaje estimado de la muestra?  %

¿Nivel deseado de confianza?

Tamaño de la muestra

Fuente: STATS™ v.2.0.



### B.3. Determinación de estructura en campo

USO ACTUAL	ESTRUCTURA
Bosque Alto	3: Granular
Bosque Medio	3: Granular
Bosque Bajo	3: Granular
Arbolado Denso Alto	3: Granular
Arbolado Denso Medio	3: Granular
Arbolado Denso Bajo	3: Granular
Arbolado Forestal Claro Alto	3: Granular
Arbolado Forestal Claro Medio	3: Granular
Arbolado Forestal Claro Bajo	3: Granular
Arbolado Forestal Muy Claro Medio	3: Granular
Arbolado Forestal Muy Claro Bajo	3: Granular
Purma Alto	4: Blocosa
Purma Medio	3: Granular
Purma Bajo	3: Granular
Cultivo Alto	4: Blocosa
Cultivo Medio	3: Granular
Cultivo Bajo	4: Blocosa
Pasto Alto	3: Granular
Pasto Medio	4: Blocosa
Pasto Bajo	4: Blocosa
Suelo Desnudo Alto	4: Blocosa
Suelo Desnudo Medio	4: Blocosa
Suelo Desnudo Bajo	4: Blocosa

Fuente: elaboración propia.

**B.4. Determinación de permeabilidad, materia orgánica y textura de los puntos de muestreo por zonas de acuerdo a su tipo de uso.**

USO ACTUAL	CILINDRO		L muestra (cm) h2	Altura Agua (cm)	T1	T2	Tiempo (Min)	Tiempo T (seg)	Permeabilidad (cm/seg)	Permeabilidad (m/día)	Clasificación
	Lon. h1 (cm)	Radio (cm)									
Suelo Desnudo Alto	6.40	2.30	4.00	2.40	10:07	11:11	64	3840	0.00048904	0.42	Moderadamente Lenta
Suelo Desnudo Medio	6.30	2.20	3.60	2.70	10:06	13:24	204	12249	0.00016441	0.14	Moderadamente Lenta
Suelo Desnudo Bajo	6.40	2.20	3.90	2.50	13:24	15:35	136	8160	0.00023647	0.20	Moderadamente Lenta
Pasto Alto	6.50	2.25	3.90	2.60	11:40	12:10	30	1800	0.00110555	0.96	Moderada
Pasto Medio	6.50	2.30	4.10	2.40	11:41	12:52	71	4260	0.00044301	0.38	Moderadamente Lenta
Pasto Bajo	6.40	2.30	4.10	2.30	11:50	12:48	58	3480	0.00052406	0.45	Moderadamente Lenta
Purma Alto	6.50	2.25	3.90	2.60	11:14	12:59	105	6300	0.00031587	0.27	Moderadamente Lenta
Purma Medio	6.30	2.20	4.10	2.20	11:15	11:47	32	1920	0.00091627	0.79	Moderada
Purma Bajo	6.50	2.35	3.90	2.60	11:16	11:33	17	1020	0.00195096	1.69	Moderadamente Rápida
Cultivo Alto	6.50	2.30	4.00	2.50	10:12	11:10	58	3480	0.00055743	0.48	Moderadamente Lenta
Cultivo Medio	6.50	2.30	3.90	2.60	10:20	11:35	75	4500	0.00044222	0.38	Moderadamente Lenta
Cultivo Bajo	6.50	2.25	4.10	2.40	10:22	11:28	66	3960	0.00047657	0.41	Moderadamente Lenta
Arbolado Forestal Muy Claro Medio	6.50	2.30	3.80	2.70	11:38	12:52	74	4440	0.00045891	0.40	Moderadamente Lenta
Arbolado Forestal Muy Claro Bajo	6.40	2.30	4.00	2.40	11:39	11:58	19	1140	0.00164728	1.42	Moderada
Arbolado Forestal Claro Alto	6.50	2.30	4.00	2.50	11:19	11:54	35	2100	0.00092374	0.80	Moderada
Arbolado Forestal Claro Medio	6.40	2.35	3.80	2.60	11:22	12:14	52	3120	0.00063420	0.55	Moderada
Arbolado Forestal Claro Bajo	6.40	2.25	4.20	2.20	11:23	11:45	22	1320	0.00133872	1.16	Moderada
Arbolado Denso Alto	6.50	2.30	3.90	2.60	11:52	12:49	57	3420	0.00058187	0.50	Moderadamente Lenta
Arbolado Denso Medio	6.50	2.30	3.80	2.70	12:12	12:50	38	2280	0.00089366	0.77	Moderada
Arbolado Denso Bajo	6.40	2.30	4.00	2.40	12:13	13:59	106	6360	0.00029527	0.26	Moderadamente Lenta
Bosque Alto	6.40	2.30	3.90	2.50	12:16	12:54	38	2280	0.00084631	0.73	Moderada
Bosque Medio	6.20	2.20	3.70	2.50	12:55	14:23	88	5280	0.00036134	0.31	Moderadamente Lenta
Bosque Bajo	6.40	2.25	4.00	2.40	12:56	13:38	42	2520	0.00074520	0.64	Moderada

Fuente: Laboratorio de Análisis de suelo e Ingeniería Agrícola de la Facultad de Agronomía.

**B.5. Parcelas adicionales muestreadas fuera de la microcuenca.**

USO ACTUAL	ESTRUCTURA
Pasto Externo	3: Granular Media
Suelo Desnudo Externo	4: Blocosa

USO ACTUAL	CILINDRO		L muestra (cm) h2	h agua (cm)	T1	T2	Tiempo (Min)	Tiempo (seg)	Permeabilidad (cm/seg)	Permeabilidad (m/día)	Clasificación
	Lon (cm) h1	Radio (cm)									
Suelo Desnudo Externo	6.50	2.25	4.00	2.50	12:57	15:09	132	7920	0.00024493	0.21	Moderadamente Lenta
Pasto Externo	6.40	2.30	4.10	2.30	12:57	13:10	13	780	0.00233811	2.02	Moderadamente Rápida

Fuente: Laboratorio de Análisis de suelo e Ingeniería Agrícola de la Facultad de Agronomía.

### B.6. Determinación del valor de K para las parcelas muestreadas mediante la metodología del nomograma.

USO ACTUAL	TEXTURA	ARENA (%)	LIMO (%)	M.O (%)	ESTRUCTURA	PERMEABILIDAD	FACTOR K
Bosque Alto	Franco	50	36	3.8	3: Granular	3: Moderada	0.26
Bosque Medio	Franco Limoso	12	64	2.4	3: Granular	4: Moderadamente Lenta	0.55
Bosque Bajo	Franco Arenoso	54	30	2.2	3: Granular	3: Moderada	0.25
Arbolado Denso Alto	Franco	38	48	4.5	3: Granular	4: Moderadamente Lenta	0.32
Arbolado Denso Medio	Franco	50	38	5.3	3: Granular	3: Moderada	0.26
Arbolado Denso Bajo	Franco Arcilloso	31	34	5.0	3: Granular	4: Moderadamente Lenta	0.25
Arbolado Forestal Claro Alto	Franco Limoso	32	50	1.0	3: Granular	3: Moderada	0.51
Arbolado Forestal Claro Medio	Franco	38	48	1.3	3: Granular	3: Moderada	0.44
Arbolado Forestal Claro Bajo	Franco Arenoso	58	28	1.9	3: Granular	3: Moderada	0.22
Arbolado Forestal Muy Claro Medio	Franco	46	30	3.9	3: Granular	4: Moderadamente Lenta	0.29
Arbolado Forestal Muy Claro Bajo	Franco Arenoso	69	18	3.5	3: Granular	3: Moderada	0.15
Purma Alto	Franco Limoso	28	56	2.2	4: Blocosa	4: Moderadamente Lenta	0.53
Purma Medio	Franco Limoso	28	67	2.8	3: Granular	3: Moderada	0.59
Purma Bajo	Franco Arenoso	66	22	2.6	3: Granular	2: Moderadamente Rápida	0.18
Cultivo Alto	Franco Limoso	28	67	2.2	4: Blocosa	4: Moderadamente Lenta	0.70
Cultivo Medio	Franco Limoso	27	60	1.6	3: Granular	4: Moderadamente Lenta	0.59
Cultivo Bajo	Franco Limoso	23	52	1.3	4: Blocosa	4: Moderadamente Lenta	0.45
Pasto Alto	Franco	39	48	2.8	3: Granular	3: Moderada	0.39
Pasto Medio	Franco Limoso	34	52	1.3	4: Blocosa	4: Moderadamente Lenta	0.49
Pasto Bajo	Franco	38	38	3.8	4: Blocosa	4: Moderadamente Lenta	0.25
Pasto Externo	Franco Arenoso	64	22	5.3	3: Granular	2: Moderadamente Rápida	0.13
Suelo Desnudo Alto	Franco Limoso	24	62	1.9	4: Blocosa	4: Moderadamente Lenta	0.64
Suelo Desnudo Medio	Franco Arcilloso	34	35	1.3	4: Blocosa	4: Moderadamente Lenta	0.34
Suelo Desnudo Bajo	Franco Arcilloso	38	34	1.3	4: Blocosa	4: Moderadamente Lenta	0.34
Suelo Desnudo Externo	Franco Arcilloso	22	40	0.3	4: Blocosa	4: Moderadamente Lenta	0.39

Fuente: elaboración propia.

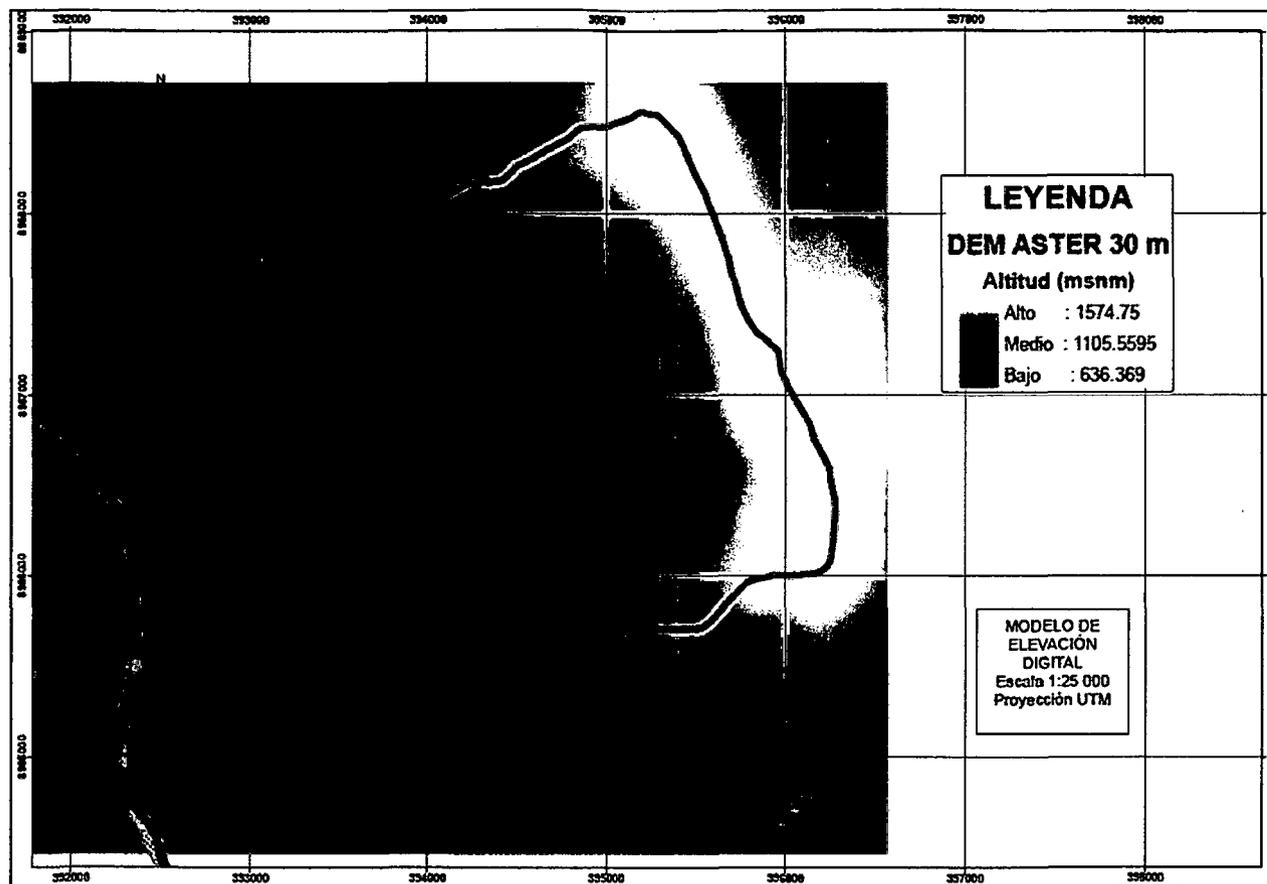
### B.7. Comparación entre los valores de K en función de la textura.

USO ACTUAL	TEXTURA	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)	M.O (%)	ESTRUCTURA	PERMEABILIDAD	K
Pasto Externo	Franco Arenoso	64	22	14	5.3	3	2	0.13
Arbolado Forestal Muy Claro Bajo	Franco Arenoso	69	18	13	3.5	3	3	0.15
Purma Bajo	Franco Arenoso	66	22	12	2.6	3	2	0.18
Arbolado Forestal Claro Bajo	Franco Arenoso	58	28	14	1.9	3	3	0.22
Bosque Bajo	Franco Arenoso	54	30	16	2.2	3	3	0.25
Arbolado Denso Bajo	Franco Arcilloso	31	34	35	5.0	3	4	0.25
Pasto Bajo	Franco	38	38	24	3.8	4	4	0.25
Bosque Alto	Franco	50	36	14	3.8	3	3	0.26
Arbolado Denso Medio	Franco	50	38	12	5.3	3	3	0.26
Arbolado Forestal Muy Claro Medio	Franco	46	30	24	3.9	3	4	0.29
Arbolado Denso Alto	Franco	38	48	14	4.5	3	4	0.32
Suelo Desnudo Medio	Franco Arcilloso	34	35	31	1.3	4	4	0.34
Suelo Desnudo Bajo	Franco Arcilloso	38	34	28	1.3	4	4	0.34
Pasto Alto	Franco	39	48	13	2.8	3	3	0.39
Suelo Desnudo Externo	Franco Arcilloso	22	40	38	0.3	4	4	0.39
Arbolado Forestal Claro Medio	Franco	38	48	14	1.3	3	3	0.44
Cultivo Bajo	Franco Limoso	23	52	25	1.3	3	4	0.45
Pasto Medio	Franco Limoso	34	52	14	1.3	4	4	0.49
Arbolado Forestal Claro Alto	Franco Limoso	32	50	18	1.0	3	3	0.51
Purma Alto	Franco Limoso	28	56	16	2.2	4	4	0.53
Bosque Medio	Franco Limoso	12	64	24	2.4	3	4	0.55
Purma Medio	Franco Limoso	28	67	5	2.8	3	3	0.59
Cultivo Medio	Franco Limoso	27	60	13	1.6	3	4	0.59
Suelo Desnudo Alto	Franco Limoso	24	62	14	1.9	4	4	0.64
Cultivo Alto	Franco Limoso	28	67	5	2.2	4	4	0.70

Fuente: elaboración propia.

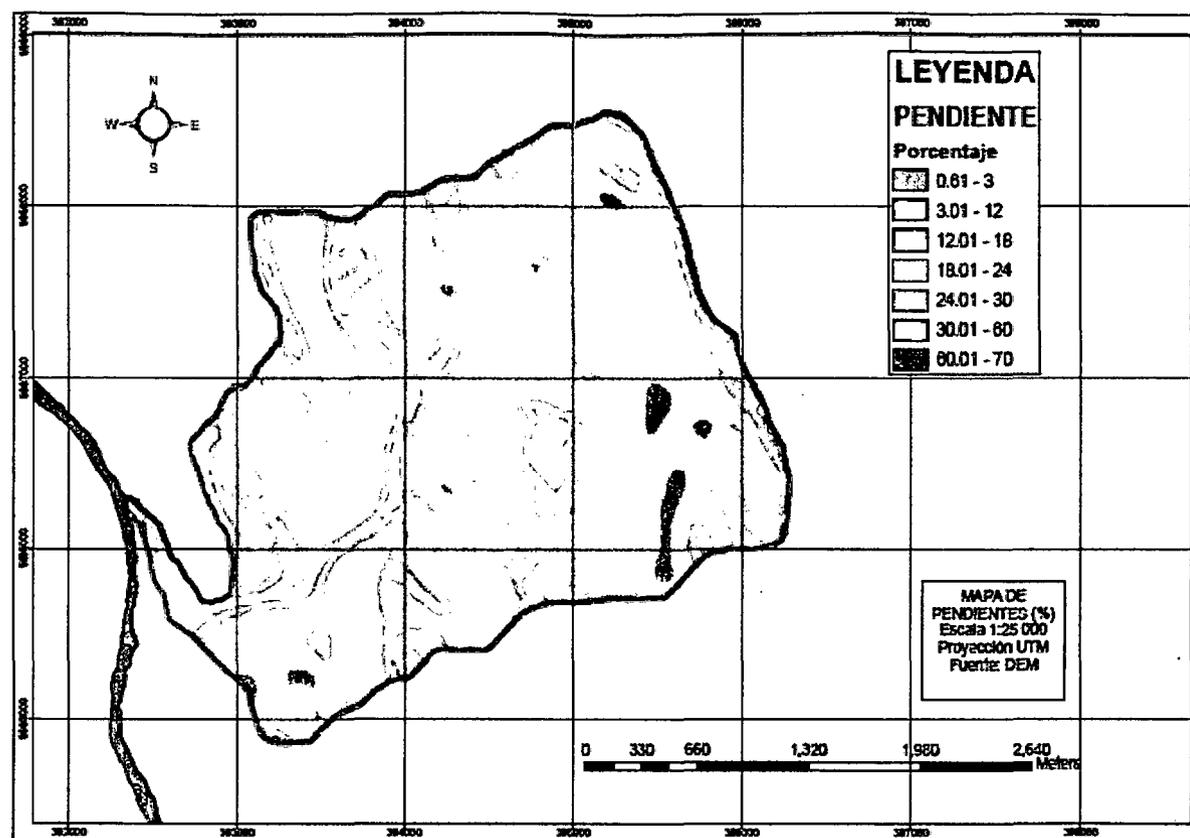
## ANEXO C. Cálculo del factor LS o longitud y gradiente de la pendiente.

### C.1. DEM ASTER 30m resolución espacial microcuenca Puente Pérez.



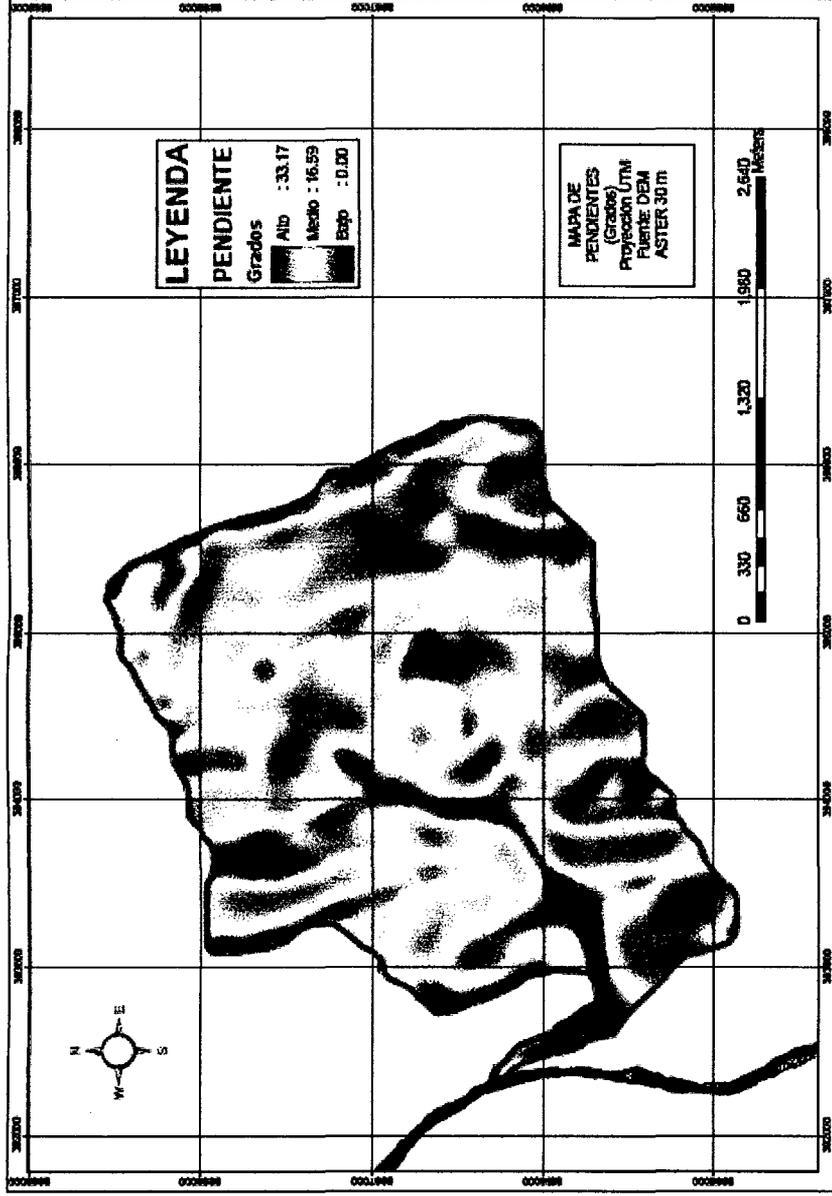
Fuente: <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>

## C.2. Mapa de pendientes (%) microcuenca Puente Pérez.



Fuente: elaboración propia.

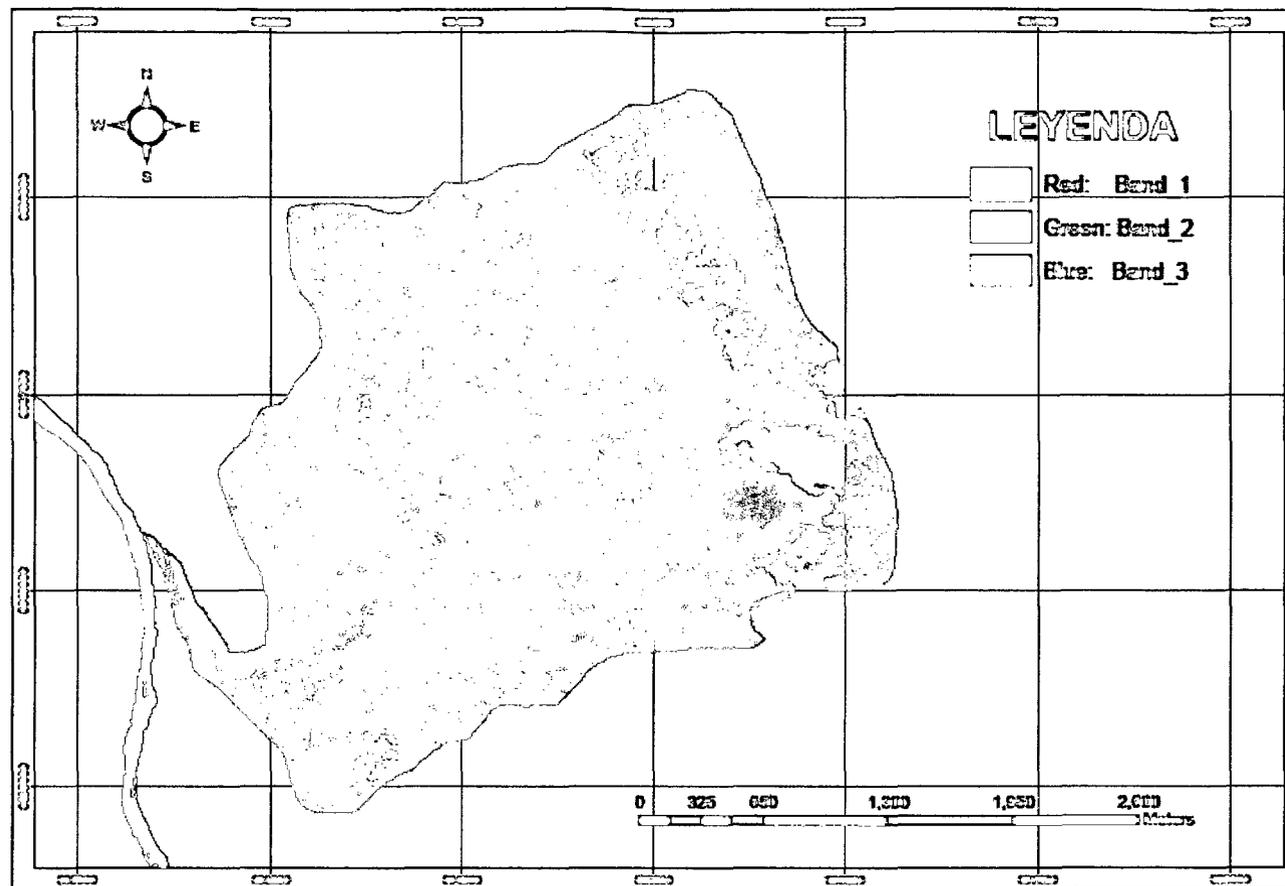
C.3. Mapa de pendientes (grados) microcuenca Puentes Pérez.



Fuente: elaboración propia.

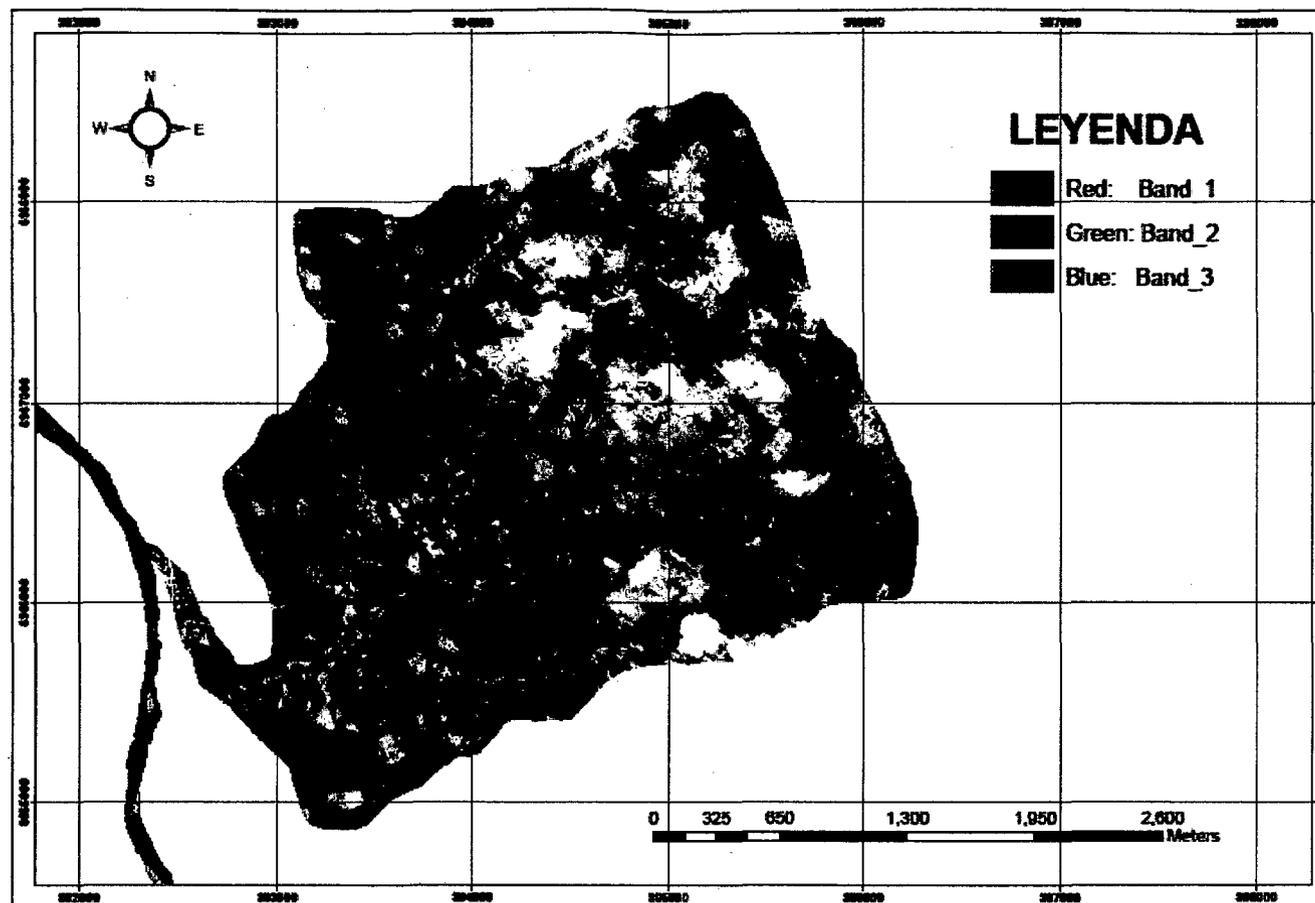
## ANEXO D. Cálculo del factor C o factor de cobertura vegetal.

### D.1. Imagen QUICKBIRD del año 2008.



Fuente: Google Earth pro 2007. Imagen del satélite QuickBird de 2.5 m de resolución

## D.2. Imagen IKONOS del año 2003.



Fuente: Proyecto Especial CADA. Imagen del satélite Ikonos de 4m de resolución espacial.

**D.3. Verificación en campo de los usos obtenidos mediante la imagen QUICKBIRD de 2.5m de resolución.**

N° Parcelas visitadas	23	100%
Cambio de uso	2	9%
<b>% Coincidencias</b>	<b>91%</b>	

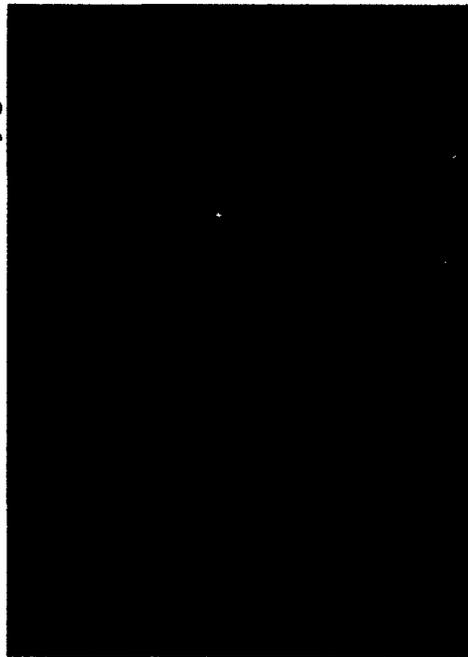
ZONA	USO IMAGEN	USO ACTUAL	UBICACIÓN	
			X	Y
Alta	Arbolado forestal muy claro	Arbolado forestal claro	395470	8968081
Media	Purma	Cultivo	393640	8967775

Fuente: elaboración propia.

**ANEXO E. Panel fotográfico.**



**Parcelas muestreadas y georreferenciadas en la parte alta de la microcuenca**





Recolectando las muestras de suelos y tomando la información respectiva





Diversos usos de la microcuena Puente Pérez





Tomando las muestras de suelos con ayuda del tubo muestreador





En el laboratorio de Ingeniería Agrícola haciendo el análisis de permeabilidad

