

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
DEPARTAMENTO ACADEMICO EN CIENCIAS DE
CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA



APROXIMACIÓN DE RIESGO POR EROSIÓN HÍDRICA
APLICANDO UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN
LA SUBCUENCA SHAMBILLO, DISTRITO DE PADRE ABAD

Tesis

Para optar el título de:

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

ÁNGEL LEONARDO FLORES VILLANUEVA

PROMOCION 2008 – II

Tingo María – Perú

2015



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María - Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

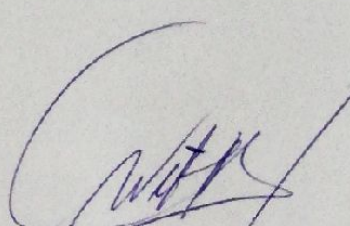
Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 25 de setiembre del 2015, a horas 10:30 a.m. en la Sala de Sesiones del Departamento Académico de Ciencias en Conservación de Suelos y Agua, para calificar la Tesis titulada:

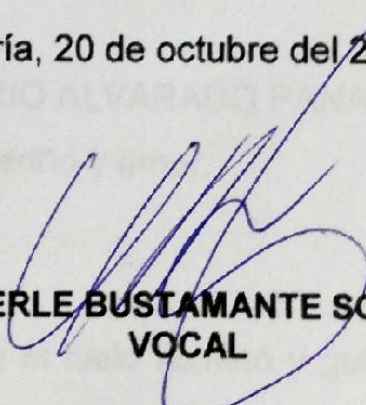
“APROXIMACIÓN DE RIESGO POR EROSIÓN HÍDRICA APLICANDO UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA SUBCUENCA SHAMBILLO, DISTRITO DE PADRE ABAD”

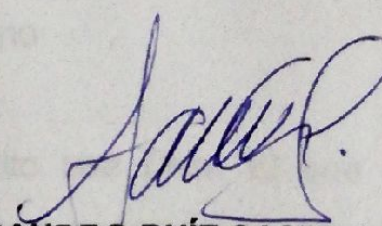
Presentado por el Bachiller: **FLORES VILLANUEVA, Angel Leonardo**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de **“MUY BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto 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, 20 de octubre del 2015.


Ing. Mg. **WILFREDO ALVA VALDIVIEZO**
PRESIDENTE


Ing. M.Sc. **ERLE BUSTAMANTE SCAGLIONI**
VOCAL


Ing. M.Sc. **SANDRO RUÍZ CASTRE**
VOCAL


Ing. M.Sc. **LUCIO MANRIQUE DE LARA SUÁREZ**
ASESOR



DEDICATORIA

A Dios por haberme adoptado
como hijo en imagen y
semejanza, y por dotarme del
mejor regalo: MÍ FAMILIA

A mí adorada madre LUCIOLA
VILLANUEVA SHICA, con todo mi
corazón y eterno agradecimiento por
haberme apoyado plenamente y creído
en mí.

A mis queridos hermanos: PABLO y
BETSY con un afecto especial por el
ejemplo de perseverancia, ánimo, fe y
apoyo incondicional.

A mis sobrinos y cuñada: Luchar con
sacrificio cada día que de ello depende
el fruto del futuro

A mí tío MARIO ALVARADO PANAIFO,
con mucho cariño y amor.

A PASTORA SHICA SEOPA: Mi abuelita que desde el cielo iluminó y guió mi
camino

Bendito sea Dios. El que nos conforta en toda prueba, para que también
nosotros seamos capaces de confortar a los que están en cualquier dificultad
(2Cor 1,3 - 4)

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables que contribuyeron en mi formación profesional.

A los docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables por contribuir en mi formación profesional.

Al Ing. M.Sc. Lucio Manrique De Lara Suárez, asesor de la tesis, por sus aportes durante todo el trabajo de investigación.

Al Equipo técnico del Centro de Conservación Investigación y Manejo de Áreas Naturales - CIMA, por haberme proporcionado información de la MicroZEE de las Comunidades Nativas Santa Rosa de Aguaytía, Mariscal Cáceres y Yamino.

Al Equipo técnico del PROTERRA del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana – IIAP, por haberme proporcionado información de la MicroZEE Shambillo.

A los jurados de tesis: Ing. M.Sc. Wilfredo Alva Valdiviezo, Ing. Erle Bustamante Scaglioni, Ing. M.Sc Sandro Ruiz Castre, Ing. M.Sc Ronald Puerta Tuesta por sus oportunas sugerencias.

Al Ing. Edgardo Miranda Ruiz mis agradecimiento, por la información oportuna.

Al Ing. Renán Shahuano Paredes por el apoyo oportuno e incondicional en distintas fases de mi formación profesional.

A mi hermano Tec. Pablo Flores Villanueva y su Esposa, por la fe y el apoyo moral.

A todos los forjadores de las bases de conocimiento, y a mis amigos que acompañaron y apoyaron de forma directa e indirecta en la cristalización de la investigación.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Erosión hídrica	4
2.1.1. Daños directos e indirectos causados por erosión	
Hídrica	4
2.1.1.1. Daños directos.....	4
2.1.1.2. Daños indirectos.....	4
2.1.2. Métodos de estimación de la erosión hídrica	5
2.2. Ecuación universal de pérdida de suelos / Ecuación	
Universal de pérdidas de suelos revisada - RUSLE.....	6
2.3.1. Factor R o índice de erosividad de la lluvia	11
2.3.1.1. Método de Morgan.....	12
2.3.1.2. Método de Foster.....	13
2.3.1.3. Método de Roose	13
2.3.1.4. Índice modificado de Fournier	14
2.3.2. Factor K o índice de erodabilidad	16
2.3.3. Factor LS o longitud y gradiente de la pendiente	21
2.3.3.1. Método de Mintegui	23
2.3.3.2. Método de Renard.....	24

2.3.4. Factor C o de cobertura vegetal	25
2.3.5. Factor P o de prácticas de conservación de suelos	26
2.3.6. Pérdida de suelo (A).....	28
2.3.6.1. Nula a ligera	30
2.3.6.2. Moderada	30
2.3.6.3. Alta y muy alta	31
2.3.7. Peso Relativo o grado de influencia de los Factores de la RUSLE.....	31
2.3. Investigaciones sobre estimación del riesgo aplicando un sistema de información geográfica.....	32
III. MATERIALES Y MÉTODOS	35
3.1. Características generales de la subcuenca.....	35
3.1.1. Ubicación política y geográfica.....	35
3.1.2. Clima	37
3.1.3. Ecología	37
3.1.4. Fisiografía.....	37
3.1.5. Hidrografía.....	37
3.1.6. Suelos	39
3.1.7. Vías de comunicación y transportes.....	39
3.2. Materiales.....	39
3.2.1. Material cartográfico	39
3.2.2. Material satelital	40
3.2.3. Material de información temática.....	40
3.2.4. Equipo y material de campo	41
3.2.5. Componentes de estudio.....	42

3.3.	Metodología	43
3.3.1.	Recolección y complementación de información	
	básica	43
3.3.2.	Trabajo de campo.....	44
3.3.3.	Determinación y calibración de los factores de la	
	Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (RUSLE)	45
3.3.3.1.	Determinación del factor R	45
3.3.3.2.	Determinación del factor K	47
3.3.3.3.	Determinación del factor LS	48
3.3.3.4.	Determinación del factor C	50
3.3.3.5.	Determinación del factor P	52
3.3.3.6.	Determinación de la pérdida de suelo	52
3.3.3.7.	Peso Relativo o grado de influencia de	
	los Factores de la RUSLE.....	53
IV.	RESULTADOS.....	54
4.4.	Determinación de los factores de erosividad de las	
	precipitaciones (R), erodabilidad del suelo (K), longitud y	
	gradiente de la pendiente (LS) y cobertura vegetal o	
	uso actual del suelo (C).....	54
4.4.1.	Erosividad de las precipitaciones o factor (R).....	54
4.4.1.1.	Índice modificado de Fournier (IMF)	54
4.4.1.2.	Roose, Morgan y Foster	56
4.4.2.	Índice de erodabilidad del suelo o factor (K)	58
4.4.3.	Factor de longitud y gradiente de la pendiente LS	60
4.4.3.1.	Método de Mintegui	60

4.4.3.2. Metodología de Renard	60
4.4.4. Factor C o de cobertura vegetal	63
4.5. Aproximación de la pérdida del suelo por erosiones potenciales y actuales	66
4.5.1. Erosión hídrica potencial	66
4.5.2. Erosión hídrica actual	68
4.5.3. Peso Relativo o grado de influencia de los Factores de la RUSLE	71
V. DISCUSION	75
VI. CONCLUSIONES	82
VII. RECOMENDACIONES	85
VIII. ABSTRACT	86
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
X. ANEXO	96

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Dimensiones y unidades de los factores del modelo RUSLE	10
2. Clasificación de IFM para Latinoamérica.....	15
3. Calificación del factor materia orgánica	17
4. Clase de permeabilidad según clase textural	18
5. Parámetros de estructura del suelo a profundidades de 15 a 18 cm superficiales	18
6. Clasificación de los grados de erodabilidad según USDA	20
7. Factores de erodabilidad del suelo K asociados a la textura y al contenido de materia orgánica según Kirkby y Morgan	20
8. Valores del factor LS en función de la pendiente	23
9. Valores de “C” según el uso de tierra	26
10. Valores de “P” para cultivos en contorno y su máxima longitud permitida entre obras.....	27
11. Valores de “P” para curvas a nivel.....	27
12. Valores de P para barreras con la distancia máxima entre obras....	28
13. Clasificación de los niveles de intensidad de pérdida de suelo. Pérdidas de suelo tolerables	29
14. Ubicación geográfica de la subcuenca	35
15. Principales ríos y quebradas de la subcuenca Shambillo.....	38
16. Parámetros de evaluación	42
17. Valores de R anual obtenidos para la subcuenca Shambillo.....	56
18. Valores del factor C obtenidos para la subcuenca Shambillo.....	63
19. Área total de la subcuenca dividida en función al uso y cobertura ..	64

20. Área total de la subcuenca dividida en función al rango de erosión hídrica potencial.....	68
21. Área total de la subcuenca dividida en función al riesgo de erosión hídrica actual.....	69

INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Nomograma de erodabilidad para determinar el valor de K	19
2. Mapa de ubicación de la subcuenca Shambillo	36
3. Flujograma para la obtención del mapa de erosividad de la lluvia-factor "R"	46
4. Flujograma para la obtención del mapa de erodabilidad factor "K"	48
5. Flujograma para la obtención del mapa de LS - Metodo 1	49
6. Flujograma para la obtención del mapa de LS - Metodo 2	50
7. Flujograma para la obtención del mapa del factor C	51
8. Flujograma para la obtención del mapa de pérdida de suelo	52
9. Mapa del Índice de erosividad según IMF	55
10. Mapa del Índice de erosividad según Foster	57
11. Mapa del Índice de erodabilidad o factor K.....	59
12. Mapa de longitud y gradiente de pendiente, método Mintegui	61
13. Mapa de longitud y gradiente de pendiente, método Renard	62
14. Mapa de factor de cobertura vegetal o factor C.....	65
15. Área total de la subcuenca expresada en porcentajes en función del uso y cobertura	66
16. Mapa de erosión hídrica potencial de subcuenca Shambillo	67
17. Área total de la subcuenca expresada en porcentaje en función	

del riesgo de erosión hídrica actual	69
18. Mapa de erosión hídrica actual de la subcuenca Shambillo	70
19. Análisis de Correlación entre el Factor LS y EP	71
20. Análisis de Correlación entre el Factor R y EP	72
21. Análisis de Correlación entre el Factor K y EP	73
22. Análisis de Correlación entre el Factor C y EA	81

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo	Página
1. Mapas temáticos del área de estudio	97
1a. Mapa de Isoyetas de la subcuenca Shambillo.....	97
1b. Mapa de Suelos de la subcuenca Shambillo.....	98
2. Calculo del factor R o erosividad	99
2a. Precipitación mensual y anual (mm) para el período 2001 a 2014 – Estación Aguaytía	99
2b. Precipitación mensual y anual (mm) para el período 2006 a 2014– Estación Boqueron	100
2c. Estaciones ubicadas en la provincia de Padre Abad	101
2d. Análisis de consistencia de las estaciones: Aguaytía (2000 - 2013), San Alejandro, Maronal, Palmeras de Ucayali (2002 - 2011), Boquerón - Subcuenca Shambillo (2006-2014), Neshuya, (1960-1964).....	102
2e. Análisis de correlación entre Precipitación Vs Altura con 06 estaciones pluviométricas	104
2f. Análisis de correlación entre Precipitación Vs Altura con 05 Estaciones pluviométricas.....	105
2g. Datos para la elaboración del mapa de Isoyetas	106
2h. Aplicación de la Metodología del Índice Modificado de Fournier desarrollado por Arnouldus (1978).....	107
2i. Análisis de correlación IMF Vs Altura.....	108
3. Cálculo del factor K o erodabilidad	109
3a. Determinación del valor de K para las muestras puntuales mediante la metodología del nomograma Wischmeier y	

Smith.....	109
3b. Ecuaciones de interpolación que fueron utilizados para calcular el factor K según Kirkby y Morga	111
3c. Comparación entre los valores de K en función de la textura ..	114
4. Calculo del factor LS o longitud y gradiente de la pendiente	116
4a. DEM RAPIDEYES 15m de resolución espacial Subcuenca Shambillo.....	116
4b. Mapa de Pendientes (%) subcuenca Shambillo	117
4c. Mapa de Pendientes (grados) subcuenca Shambillo	118
5. Calculo del factor C o Factor de cobertura vegetal.....	119
5a. Validación de la exactitud temática del mapa de uso y Cobertura	119
5b. Mapa de uso y Cobertura de la Subcuenca Shambillo.....	120
5c. Factor vegetación (factor C) por tipo de cobertura y uso	121
6. Panel fotográfico.....	126

RESUMEN

Se presenta en este trabajo de investigación una metodología para estimar el riesgo de erosión hídrica en la subcuenca Shambillo en el distrito de Padre Abad, aplicando un SIG y teledetección; el riesgo fue evaluado mediante el análisis multiplicativo de seis factores incluidos en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Modificada (USLE/RUSLE). Estos factores involucran la potencialidad erosiva de la lluvia y el escurrimiento (R), la susceptibilidad del suelo a la erosión (K) y el efecto del grado (S) y la longitud de la pendiente (L), la cobertura vegetal (C) y las practicas conservacionistas (P).

El factor R se determinó mediante dos métodos: el IMF y la ecuación Foster, con valores de 380.88 - 451.84 $Mj*mm/ha*h*año$ y 786.1 - 935.3 $Mj*mm/ha*h*año$, el factor K se obtuvo aplicando la fórmula propuesta por WISCHMEIER (1978), en el cual se considera los parámetros: textura, MO, estructura y permeabilidad, valores brindados de los resultados del análisis de muestras de suelos, la erodabilidad varia de 0,027– 0,048 $tm*ha*h/MJ*ha*mm$, el factor LS se determinó mediante el método de Renard *et al*, (1997) con valores entre 0.03 – 247.98, así mismo, se determinó el factor C, asignándole a cada uso y cobertura de suelo su valor correspondiente, basados en las cifras que oscilan entre 0.0047 – 0.95, se asumió un valor del factor P igual a 1, al considerarse que en las zonas agrícolas de la subcuenca Shambillo no se aplica ninguna práctica de conservación de suelos.

Se estimó la pérdida de suelos de la subcuenca Shambillo, simulando un área totalmente despejada (sin cubierta vegetal), alcanzándose valores anuales medios de 0.3496 - 2,810.64 ton/ha/año, y un valor medio anual 71.46 tm/ha/año, si se perdiera completamente la cobertura vegetal.

Finalmente se logró estimar y validar la pérdida actual de los suelos por acción hídrica de la subcuenca Shambillo, a través de la metodología predictiva USLE/RUSLE, obteniéndose valores que oscilan entre 0 a 1,132.64 tm/ha/año y una pérdida media anual 26.87 tm/ha/año, El 99.8% del área de la subcuenca Shambillo presenta una erosión baja o moderada y el 0.2 % presenta una erosión no significativa que sobrepasa los límites aceptables, llegando en algunas áreas a ser incluso muy crítica.

I. INTRODUCCION

Los procesos de degradación de los suelos principalmente son: el deterioro de la cubierta vegetal, la erosión hídrica, la erosión eólica y la salinización. Estos procesos determinativos principales, son denominados así porque sus efectos están más extendidos y tienen mayor repercusión en la productividad de las tierras y en las condiciones de vida (FAO, 1984).

La erosión de suelos en el Perú es un problema ambiental muy serio que afecta a gran parte del territorio nacional en diferentes grados de severidad. La conservación de suelos en el Perú se ha practicado desde tiempos prehispánicos por la cultura Inca. Sin embargo, la implementación de metodologías para predecir la pérdida de suelo por erosión en el Perú no ha sido muy extensa. Varias investigaciones han sido conducidas para cuantificar la tasa de erosión bajo diferentes usos del suelo al nivel de cuencas hidrológicas (FIGUEROA, 1975) y para evaluar la efectividad de diferentes coberturas vegetales en el control de la erosión en terrenos agrícolas utilizando parcelas de erosión o lotes de escurrimiento (RÍOS, 1987; VENTURA, 1988), pero pocos estudios se han enfocado a la predicción de la erosión con fines de planeación y diseño de prácticas de conservación de suelos (NEARING *et al.*, 1989).

La pérdida de tierra agrícola a nivel mundial debido a procesos erosivos se estima entre 6 y 7 millones de hectáreas por año, registrándose una pérdida adicional anual de 1.5 millones de hectáreas por encharcamiento, inundaciones, salinización y alcalinización (Brundtland *et al.*, 1987, citado por FAO, 2005).

La región Ucayali tiene una tasa de deforestación de 13142.28 ha/año, 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, la agricultura migratoria y la ganadería extensiva (LLACTAYO, 2013)

La subcuenca Shambillo, 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 aproximar 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: Al menos en determinadas variables es factible el empleo de los sistemas de información

geográfica en la aproximación del riesgo por erosión hídrica de la subcuenca Shambillo.

Objetivo general

Aproximar el riesgo por erosión hídrica de la subcuenca Shambillo, mediante la aplicación de la metodología USLE/RUSLE.

Objetivos específicos

- Determinar los factores de erosividad de las precipitaciones (R), erodabilidad del suelo (K), longitud y gradiente de la pendiente (LS) y cobertura vegetal o uso actual del suelo (C).
- Aproximar la pérdida del suelo por erosiones permisibles, potenciales y actuales de la subcuenca Shambillo.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Erosión hídrica

Se trata de un fenómeno natural, sin embargo, debido al uso intensivo de las tierras agrícolas y al manejo inadecuado, ha sido acelerado como consecuencia de tales actividades (FAO, 1990). La lluvia desprende las partículas y la escorrentía las transporta a distancias considerables causando azolve de ríos, presas, lagos e incluso de áreas del mar en la desembocadura de los ríos (MORGAN, 1986).

2.1.1. Daños directos e indirectos causados por erosión hídrica

2.1.1.1. 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).

2.1.1.2. Daños indirectos

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.

2.1.2. Métodos de estimación de la erosión hídrica

Para propósitos prácticos, tales como la planificación del uso del suelo y el desarrollo de estrategias de conservación, es necesario estimar las tasas de erosión del suelo e identificar situaciones especialmente vulnerables a las pérdidas del suelo debido a la erosión hídrica (OYARZÚN, 1993).

De forma general, los métodos para cuantificar la erosión hídrica se dividen en dos tipos: los directos y los indirectos, los primeros son aquellos que permiten la generación de información con base en la cual se puede hacer la modelación del fenómeno, a través de expresiones matemáticas, por ejemplo la medición de variaciones de nivel superficial, estacas de erosión, parcelas de escorrentía, cajas Gerlach, medición de la erosión por salpicadura, método de clavos y rondanas, transecto de cárcavas, entre otros (LEÓN, 2010).

MORGAN (1979) los métodos indirectos son estimaciones de las pérdidas de suelo; se dividen en determinísticos y paramétricos; los primeros están basados en ecuaciones matemáticas a objeto de describir los procesos involucrados en el modelo, tomando en consideración las leyes de conservación de la materia y energía. Por otra parte, los modelos de tipo paramétrico, se basan en la identificación de relaciones estadísticamente significativas entre variables, que se asume son importantes, cuando se cuenta con una razonable base de datos; como ejemplo de este modelo se destaca la ecuación universal de pérdida de suelo - EUPS.

2.2. Ecuación universal de pérdida de suelos / Ecuación universal de pérdidas de suelos revisada - RUSLE

VELÁSQUEZ (2008) menciona que 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 Estados Unidos.

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 m² (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.

Renard *et al.* (1997), citado por VELÁSQUEZ (2008) mencionan que, 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 (RUSLE).

ALONSO *et al.* (2007) indica que la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos Revisada (RUSLE) es una revisión de USLE o EUPS, 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).

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

Dónde:

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 métricas por hectárea hora o en joule por metro cuadrado, una medida de las fuerzas erosivas de la lluvia y escurrimiento asociado;

K es el factor de erodabilidad 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 22,13 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 la 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 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 MESÉN (2009)

RAMÍREZ (2010) nos dice que, los términos (R, K, L y S), 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) nos 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.

2.2.1. Factor R o índice de erosividad de la lluvia

RAMÍREZ (2010) nos dice que el factor R representa la capacidad potencial de las lluvias para generar erosión; es función de las características físicas de las mismas (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.

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

Para fines prácticos, por la ausencia de información de datos pluviográficos en estaciones meteorológicas ha limitado la aplicación de esta metodología Wischmeier; además la dificultad para determinar el factor R de la RUSLE, 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).

2.2.1.1. Método de Morgan

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

$$R = I30 (9,28P - 8383) / 1000 \quad (2)$$

Dónde:

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

P = Precipitación promedio anual en mm.

2.2.1.2. Método de Foster

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

$$R = 0,276P * I_{30} / 100 \quad (3)$$

Dónde:

I_{30} = 75 mm/h (valor recomendado por Wischmeier).

P = Precipitación promedio anual en mm.

Componente I_{30} de la ecuación Morgan y Foster

KIRBY y MORGAN (1984) mencionan que 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.

MANNAERTS (1999), 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.

2.2.1.3. Método de Roose

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

$$R = 1,73 * 0,5 * P \quad (4)$$

Dónde:

P = Precipitación promedio anual en mm.

2.2.1.4. Índice modificado de Fournier

INETER (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.

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.

$$R = \sum_{i=1}^{i=12} \frac{p_i^2}{P} \quad (5)$$

Dónde:

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).

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

2.2.2. Factor K o índice de erodabilidad

Representa la susceptibilidad del suelo a ser erosionado. Algunos se erosionan más rápidamente que otros aun 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).

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

Un suelo que mantiene una buena agregación hace difícil el proceso de erosión porque las partículas se mantienen unidas y porque permite el flujo de agua en su interior. En cambio, cuando los agregados se dispersan, las partículas son fácilmente erosionables, se taponan los poros y el agua en lugar de infiltrarse fluye en superficie. Otros factores que influyen sobre la erosionabilidad de un suelo son su permeabilidad y su contenido en materia orgánica.

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).

Cuadro 3. Calificación del factor materia orgánica

Clase	% MO	Calificación
Muy bajo	< 1%	1
Bajo	1-1.5%	2
Medio	1.5-2.5%	3
Alto	2.5-6%	4
Muy Alto	>6%	5

Fuente: IDEAM, 1999

Cuadro 4. Clase de permeabilidad según textura.

Clase de permeabilidad	USDA (1983)	Rawis <i>et al.</i> (1982)	Hudson (1982)
	Textura	K_{fs} (m día ⁻¹)	K_{fs} (m día ⁻¹)
1 (rápida y muy rápida)	Arenosa	>1.463	>3
2 (moderada a rápida)	Arenosa franca, franco arenosa	0.488 - 1.463	1.5 - 3
3 (moderada)	Franca, franco limosa, limosa	0.122 - 0.488	0.48 - 1.5
4 (lenta a moderada)	Franco arcillo arenoso, franco arcillosa	0.049 - 0.122	0.12 - 0.48
5 (lenta)	Franco arcillo limosa, arcillo arenosa	0.024 - 0.049	0.03 - 0.120
6 (muy lenta)	Arcillosa arcillo limosa	<0.024	<0.03

Fuente: Manual de suelos N° 430 (USDA, 1983)

Cuadro 5. Parámetros de estructura del suelo a profundidades de 15 a 18 cm
Superficiales

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

Fuente: Manual de suelos N° 430 (USDA, 1983)

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.

$$100 K = 0.1317 * [2.1 * (M^{1.14} / 10000) * (12 - a) + 3.25(b - 2) + 2.5(c - 3)] \quad (6)$$

Dónde:

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

$a = \text{Materia orgánica} (\%)$

$b = \text{Clase de estructura}$

$c = \text{Clase de permeabilidad}$

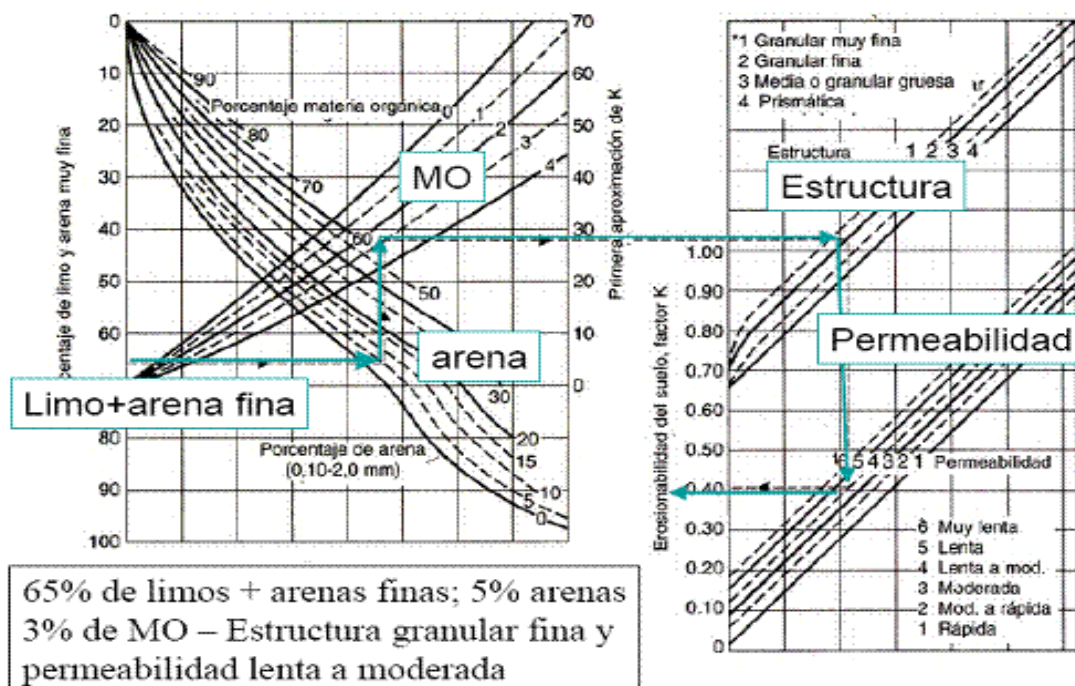


Figura 1. Nomograma de Erodabilidad para determinar el valor de K (unidades métricas).

Cuadro 6. Clasificación de los grados de erodabilidad según USDA (1962)

Valor de K (T ha. H/MJ MM ha.)	Clasificación
0.007902	Muy poco erodable
0.0079 - 0.0171	Débilmente erodable
0.0171 - 0.0329	Medianamente erodable
0.0342 - 0.0684	Fuertemente erodable
0.0684 - 0.1027	Extremadamente erodable

Fuente: AMESQUITA, 1990

Cuadro 7. Factores de erodabilidad del suelo K asociados a la textura y al contenido de materia orgánica según Kirkby y Morgan (1980)

Textura	Valores de K		
	Contenido de materia orgánica		
	<0.5%	2%	4%
Arena	0.007	0.004	0.003
Arena fina	0.021	0.018	0.013
Arena muy fina	0.055	0.047	0.037
Arena franca	0.016	0.013	0.011
Arena fina franca	0.032	0.026	0.021
Arena muy fina franca	0.058	0.05	0.04
Franco arenoso	0.036	0.032	0.025
Franco arenoso fino	0.046	0.04	0.032
Franco arenoso muy fino	0.062	0.054	0.043

Franco	0.05	0.045	0.038
Limo franco	0.063	0.055	0.043
Limo	0.079	0.068	0.055
Franco areno arcilloso	0.036	0.033	0.028
Franco arcilloso	0.037	0.033	0.028
Franco arcillo limoso	0.049	0.042	0.034
Arcilla arenosa	0.018	0.017	0.016
Arcilla limosa	0.033	0.03	0.025
Arcilla	0.017 - 0.038		

Fuente: KIRKBY y MORGAN (1980)

2.2.3. Factor LS o longitud y gradiente de la pendiente

RAMÍREZ (2010) afirma que, al factor LS 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 (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 22,13 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 22,13 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 22,13 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:

2.2.3.1. 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 8. 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: Mintegui (1983), citado por RAMOS (2001) y GARCÍA (2005)

2.2.3.2. Método de Renard

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.

a. El factor L

Donde λ es la longitud de la pendiente (m), m es el exponente de la longitud de la pendiente y β 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).

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,13} \right)^m \quad (7)$$

$$m = \frac{F}{(1+F)} \quad (8)$$

$$F = \frac{\sin \beta / 0,0896}{3(\sin \beta)^{0,8} + 0,56} \quad (9)$$

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

$$L_{(i,j)} = \frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{x^m \cdot D^{m+2} \cdot (22,13)^m} \quad (10)$$

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.

b. El factor S

El ángulo β 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).

$$S_{(i,j)} = \begin{cases} 10,8 \sin \beta_{(i,j)} + 0,03 & \tan \beta_{(i,j)} < 0,09 \\ 16,8 \sin \beta_{(i,j)} - 0,5 & \tan \beta_{(i,j)} \geq 0,09 \end{cases} \quad (11)$$

VELÁSQUEZ (2008) nos dice que, cuando se aplica esta fórmula en el Raster Calculator de ArcGIS 10.2.2, 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.

2.2.4. Factor C o de cobertura vegetal

INETER (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 9. 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)

2.2.5. Factor P o de prácticas de conservación de suelos

VELÁSQUEZ (2008), define al factor “P” como el factor de prácticas de control de erosión. El factor P de la RUSLE refleja el impacto que las prácticas de control que tienen sobre la tasa de erosión.

INETER (2005) nos dice que, el factor P 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 10. 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 11. 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 12. 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).

2.2.6. Pérdida de suelo (A)

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 (NUNEZ , 2001).

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).

Cuadro 13. 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 EDESO (1997), RAMOS (2001, 2009), VELÁSQUEZ (2008) y RAMÍREZ (2010)

La FAO clasifica la erosión de la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS o USLE) como lo muestran las siguientes clases (MARMOL, 2006).

2.2.6.1. Nula a ligera

Tierras sin degradación o que presentan erosión laminar. Los suelos mantienen aún sus características biológicas (materia orgánica) y físicas (estabilidad estructural), lo que permite realizar actividades agrícolas comunes de la zona con prácticas conservacionistas racionales (mínimo laboreo, rotaciones de cultivos con pasturas sembradas).

2.2.6.2. Moderada

Tierras que presentan surcos y cárcavas aisladas además de erosión laminar. Se observa un descenso importante de la materia orgánica en los suelos así como pérdida de estructura de los mismos. Estos niveles de degradación han obligado en muchas zonas a cambiar el uso de la tierra a sistemas más conservacionistas (más años de pasturas, forestación), además

de tener que implementar prácticas conservacionistas más costosas o específicas (laboreos en contorno siguiendo curvas a nivel, fajas empastadas, terrazas, etc.).

2.2.6.3. Alta y muy alta

Tierras que presentan cárcavas y surcos en forma significativa. En estos suelos además de haber perdido sus características biológicas y físicas originales se dificulta el pasaje de la maquinaria debido a la presencia de cárcavas.

2.2.7. Peso Relativo o grado de influencia de los Factores de la RUSLE

El interés principal del Análisis de Correlación lineal es medir la asociación entre dos variables aleatorias cualesquiera, sin necesidad de distinguir variables dependientes e independientes. (DI RIENZO *et al.*, 2001).

El coeficiente de correlación muestral se interpreta como la proporción de la variabilidad total en Y explicable por la variación de la variable independiente, X o como también es usual decir: la proporción de la variabilidad total explicada por el modelo. Por ser una proporción, el coeficiente de determinación varía entre 0 y 1. Cuanto más próximo esté a 1, mayor valor predictivo tendrá el modelo en el sentido que los valores observables estarán muy próximos a la esperanza estimada por la regresión. (DI RIENZO *et al.*, 2001).

2.3. Investigaciones sobre estimación del riesgo aplicando un sistema de información geográfica

MONTES *et al.* (1997), nos presentan en este trabajo una metodología para evaluar el riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica “Santa Catarina” en el Estado de Querétaro, México. El riesgo fue evaluado mediante el análisis multiplicativo de cuatro factores incluidos en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS). Los cuatro factores considerados involucran la potencialidad erosiva de la lluvia y el escurrimiento (factor R), la susceptibilidad del suelo a la erosión (factor K) y el efecto del grado (factor S) y la longitud de la pendiente (factor L). Los resultados obtenidos muestran total concordancia al coincidir las regiones ya erosionadas actualmente con aquellas encontradas con un riesgo muy alto de erosión. Los resultados sirvieron también para la planeación de un programa de manejo y conservación del recurso suelo de la cuenca.

VALCÁRCEL (2004), en la cuenca hidrográfica del río Mochuelo, al sur de la ciudad de Bogotá, se desarrolló la cuantificación de la pérdida de los suelos mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos -USLE, con el fin de evaluar la susceptibilidad de los suelos a la erosión. Se realizó un Muestreo Estratificado y los modelos de predicción se trabajaron bajo el análisis del concepto de la lógica difusa. En el laboratorio se determinaron los contenidos de humedad, densidad aparente, densidad real, estabilidad estructural, consistencia, granulometría, pH y carbono orgánico. Debido al factor de erosividad (entre 100 y 626 Mj.mm/ha.hr), a la alta susceptibilidad de los suelos, a las longitudes de la pendiente (entre 26 y 30 m), a las inclinaciones

de las laderas (entre 0,18 y 70%) y a la escasa cobertura vegetal y deficientes prácticas de manejo, la pérdida potencial de suelos de la cuenca hidrográfica de la quebrada El Mochuelo se estimó entre 50 Ton/ha/año y 500 Ton/ha/año.

CORPOICA (2006), aplicó la ecuación universal de pérdida de suelo con apoyo de la FAO en seis tratamientos de cobertura y uso de suelo como Arroz, Maíz, Brachiaria y Soya, entre otros, en los cuáles se les fue aplicado análisis estadísticos y matemáticos, de donde se examinó la importancia de analizar el factor de erosividad por la lluvia (R) puesto que permite determinar la potencialidad para producir erosión. Para la Orinoquia, este factor (R) posee una capacidad erosiva alta con un valor promedio de 1161Ton/ha-año. “Se encontró una relación directa entre los volúmenes de precipitación diaria, mensual y anual y la estimación del factor (R) para el periodo respectivo de forma independiente con la intensidad”. La clasificación en campo de los suelos estudiados presentó un comportamiento de suelos ligeramente erodables; aunque estas condiciones son extremadamente altas, se puede entender gracias a la intensidad y volumen de lluvias que inciden en las altas pendientes de los terrenos. Una vez realizados todos los análisis pertinentes, se estimó la pérdida total del suelo para las diferentes condiciones.

Se concluyó que, para la región considerada de la Orinoquia, se obtiene un coeficiente de erosividad medio alto. Los suelos representativos de la zona permiten ser catalogados como ligeramente erodables; de otra manera, la ecuación universal puede desestimar un porcentaje de la generación de

pérdida de suelo propio de la región ecuatorial, lo cual genera un margen de error en la investigación.

ALVARADO *et al.* (2008) evaluó el proceso de erosión en el estado de Tlaxcala utilizando la EUPS y el índice de erosión de suelos; sus resultados muestran que los valores de erosión varían de 1 hasta 650 Ton./Ha./año, lo que indica que áreas de dicho estado requieren aplicación de medidas urgentes de prevención y restauración de los suelos degradados.

HERNÁNDEZ (2010), calculó la tasa de erosión hídrica causada por una línea de tendido eléctrico en la Ventosa - Juile, Oaxaca utilizando la EUPS, obteniendo una tasa de erosión promedio de 21.55 Ton./Ha./año y una máxima de 310.57 Ton./ha./año que se presentó en el 21% del área de estudio. Tomando como base estos datos determinó los tipos de obras de conservación de suelos adecuados para mitigar los impactos negativos ocasionados a dicho recurso.

RAMÍREZ (2010) estimó por medio de la EUPS la pérdida de suelos por erosión hídrica en la Cuenca del Río Juramento-Salta para obtener de forma general los sectores más susceptibles a este tipo de erosión, demostró que el 53% del área de estudio presentaría problemas muy graves en ausencia de cobertura y que actualmente el 34% del área en cuestión presenta erosión alta y muy alta.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Características generales de la subcuenca

3.1.1. Ubicación política y geográfica

El presente trabajo de investigación se realizó en la subcuenca Shambillo, ubicada dentro de la cuenca del Aguaytía, centro poblado de Boquerón, distrito y provincia de Padre Abad, región Ucayali; aproximadamente a 16 km al oeste de la ciudad de Aguaytía y comprende una extensión 13 247.6 has y una altitud que va desde los 261 hasta los 1618 m.s.n.m.

La subcuenca Shambillo se ubicada: datum horizontal WGS 84, datum vertical de nivel medio del mar, Elipsoide WGS 84, zona UTM 18 sur.

Cuadro 14. Ubicación geográfica de la subcuenca

Coordenadas UTM		Altitud
Este (m)	Norte (m)	(m.s.n.m)
435674	9019481	261
423900	9003187	1618

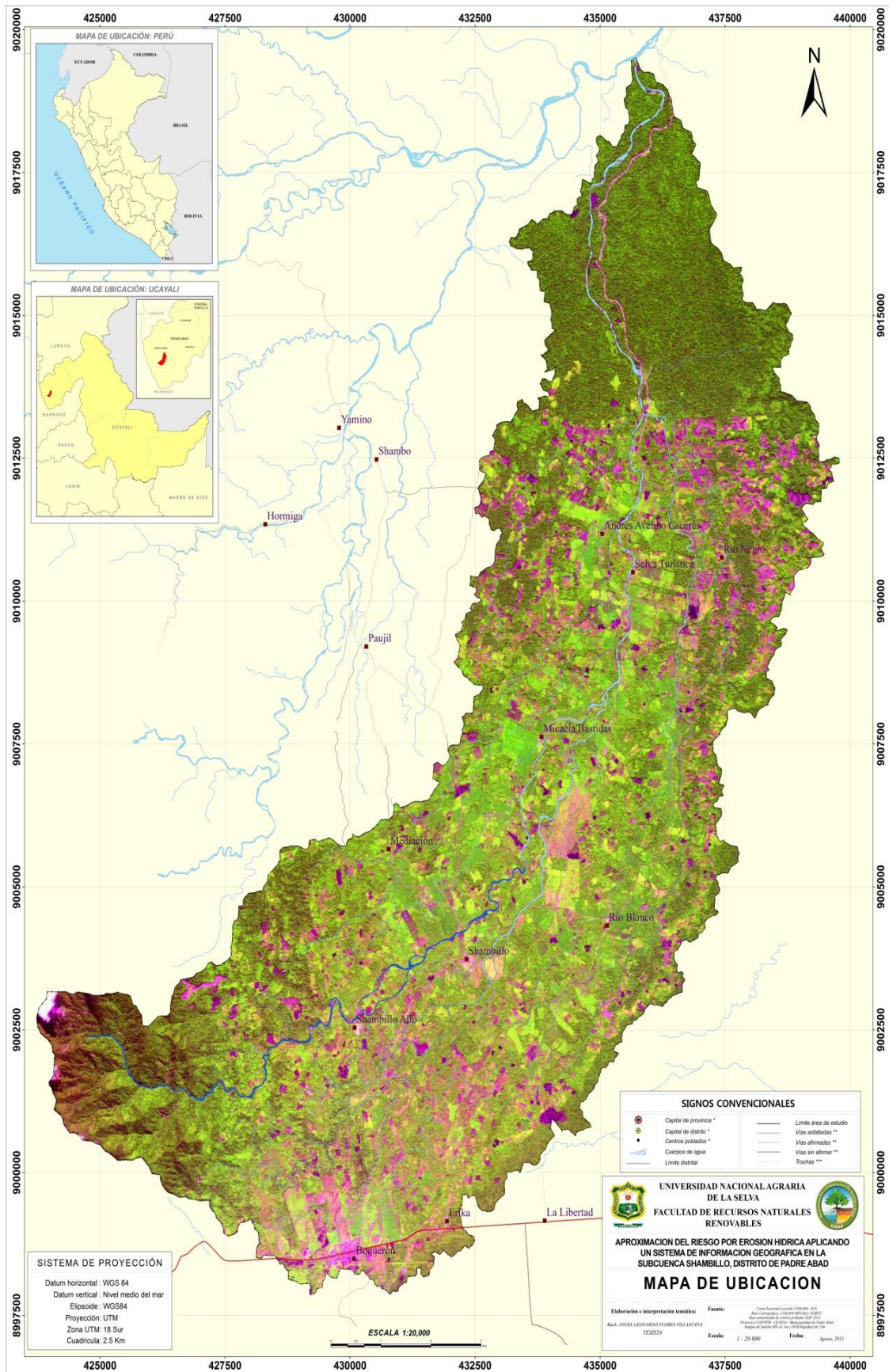


Figura 2. Mapa de ubicación de la subcuenca Shambillo

3.1.2. Clima

Según Gómez *et al.* (1992) citado por MPPA (2008), el estudio climatológico de la cuenca del río Aguaytía, las mayores precipitaciones se presentan en el sector Oeste, zona andina, lugar donde se ubica el área de estudio, con una temperatura promedio de 26.5 °C. La precipitación total anual oscila entre 3,000 a más de 5,000 mm (ver anexo 1a)

3.1.3. Ecología

Según Holdridge (1993), citado por MPPA (2008), la subcuenca en estudio corresponde a la zona de vida de transición: Bosque pluvial - Pre montano Tropical (bp-PT) a Bosque muy húmedo - Tropical (bmh-T)

3.1.1. Fisiografía

Desde el punto de vista fisiográfico el área de estudio presenta un paisaje de Colinas altas y bajas, así como colinas ligeras y moderadamente empinadas e inclinadas, terrazas medias y bajas.

3.1.4. Hidrografía

La red hidrográfica principal de la zona en estudio está representada por el río Shambillo, donde se presentan cuatro periodos hidrológicos: creciente, entre febrero - abril; media vaciante en los meses de mayo - junio; vaciante, entre julio - septiembre, y media creciente que ocurre durante los meses de octubre - enero.

Cuadro 15. Principales ríos y quebradas de la subcuenca Shambillo

Ríos	Quebradas			
Rio Ignacio	Primer Rio	Pastal	Daniel Danielito Rambo	
		Chavo		
	Ignacio	Verracazo	Zapote	
		Bagre		
		Shumi		
		Paredes		
	Celso	Celsito		
	Pañaquito	Nicoles		
		Geranio	S/N	
		Mriano	Agua Viva Paquito	S/N Javicho
Lobo		S/N		
Boquerón- Pierna	Huasaco			
San Benito				
S/N				
Rio Negro	Negro			
	Bagre			
	Raya			
	Rio Blanco			
	Gonzales-Cielito			
	Martínez	Aguajal		
	Uña de Gato			
	Aguja			
	Cantagallo			
	Gamarra			
Pescador				
Sangre				
Kelita				
Flores	Agua Viva			
	Pavayacu	Reyes		
	Perfume	Wagner		
Huangana				

3.1.5. Suelos

LAROTA *et al.* (2013), la subcuenca en estudio según la clasificación científica y la representación cartográfica está conformado por las siguientes taxonomía de suelos: Aquic udorthents, Aquic udorthents - Typic dystrodepts, Fluventic eutrudepts, Fluventic eutrudepts - Fluventic eutrudepts, Lithic udorthents - Typic dystrodepts, Lithic udorthents, Typic dystrodepts, Typic dystrodepts - Typic dystrodepts, Typic dystrodepts - Typic udorthents, Typic udorthents, Typic udorthents - Fluventic eutrudepts, Typic udorthents - Typic dystrodepts (ver anexo 1b)

3.1.6. Vías de comunicación y transportes

La subcuenca en estudio tiene como principal vía la carretera Federico Basadre-CFB, en la cual convergen el resto de las vías vecinales existentes. Esta vía principal conecta a la ciudad de Pucallpa con la ciudad de Lima. La situación de las vías de rodadura existentes a nivel de la subcuenca ha mejorado en los últimos años con el asfaltado de la carretera Federico Basadre.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Material cartográfico

- Carta Nacional a escala 1:100000 elaborado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN).
- Cuencas Hidrográficas del Perú escala 1:250000 elaborado por la ex Dirección General de Aguas y Suelos del INRENA hoy Autoridad Nacional Forestal y de Fauna Silvestre - SERFOR.

- Base Catastral de la Región Ucayali elaborado por la Dirección Regional de Ucayali (DRAU) y el Organismo de Formalización de la propiedad Informal (COFOPRI). Fecha: octubre 2013.

3.2.2. Material satelital

- Imagen de satélite QUICKBIRD. Fecha: 20 de agosto del 2014.
- Sector: área de estudio.
- Imagen de satélite RAPIDEYE. Fecha: 24 de Agosto del 2010.
Sector: área de estudio.
- Imagen de satélite LANDSAT-5TM. Fecha: 24 de Agosto del 2005.
Sector: área de estudio.
- Imagen de satélite LANDSAT-5TM. Fecha: 16 de mayo del 2010.
Sector: área de estudio.
- Imagen de satélite SPOT-5. Fecha: año 2005 y 2010, con 5m - 10m de resolución. Sector: área de estudio.
- Modelo de elevación digital (DEM) ASTER de 30m de resolución, disponible desde el 2009.
- Modelo de elevación digital (DEM) SRTM (versión 2) de 3 segundos de arco y 90m de resolución, disponible desde el 2005.
- Modelo de elevación digital (DEM) RAPIDEYE de 15m de resolución, disponible desde el 2010.

3.2.3. Material de información temática

- Mapas temáticos en digital de la meso zonificación ecológica económica de la cuenca del río Aguaytía elaborado por el Instituto

de Investigación de la Amazonia Peruana (IIAP) en el año 2002.

- Mapas temáticos en digital de la micro zonificación ecológica económica de la subcuenca Shambillo elaborado por el Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana (IIAP) en el año 2013.
- Mapas temáticos en digital de la meso zonificación ecológica económica de la región Ucayali elaborado por el AIDER y el gobierno Regional de Ucayali en el año 2013.
- Mapas temáticos en digital de la microzonificación ecológica económica de las comunidades nativas de Mariscal Cáceres, Yamino, Santa Rosa, elaborado por el CIMA en el año 2013.
- Mapas temáticos del plan de acondicionamiento territorial de la Provincia de Padre Abad elaborado por la Municipalidad Provincial de Padre Abad en el año 2009

3.2.4. Equipo y material de campo

- Laptop core i5
- Software Arcgis 10.2.2 versión en español
- Software extensiones del Arcgis: ArcHydro 2.0, ArcBrutile 0.33
- Software Google Earth pro 7.2 y SasPLANET
- Software Erdas Image 2014 y extensiones
- Software ENVI 5.0
- Software AUTOCAD 2007
- Otros: windows 7, office 2010 (word, excel), etc.
- Internet
- GPS navegador MAP 72s, marca Garmin.

- Cámara digital marca SONY de 14 mpixel.
- Datos digitales de registros de precipitación acumulada mensual y anual de las estaciones meteorológicas de la zona de influencia del área de estudio; Aguaytía (2000 -2014), San Alejandro, Maronal, Palmeras de Ucayali (2002 - 2011), Boquerón - Subcuenca Shambillo (2006-2014), Neshuya (1960-1964)
- Libreta de campo
- Pala recta
- Machete
- Cilindros muestreadores
- Bolsa de polietileno de baja densidad de 1kg
- Útiles de escritorio en general

3.2.5. Componentes de estudio

Cuadro 16. 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 metodología de
(R/USLE)	A.	Wischmeier y Smith (1978), modificada por Renard <i>et al.</i> (1991).

3.3. Metodología

El presente trabajo de investigación se realizó en tres etapas, cada una de ellas tuvieron las siguientes acciones:

3.3.1. Recolección y complementación de información básica

Se realizó la recopilación, clasificación y análisis sistemático de la información base (imágenes de satélite, informes y datos cartográficos), que contribuya a un mayor conocimiento de las dinámicas de uso y ocupación de la tierra, a los aspectos climáticos, hidrográficos, topográficos de la subcuenca Shambillo.

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 visualizaron algunas características de la cuenca y que fue posible priorizar el trabajo, de modo que volviendo de ella se pudo mejorar dichos mapas para su posterior análisis en gabinete.

A partir del análisis y sistematización del material recopilado y, mediante el empleo del programa SIG ArcGIS 10.2.2 en español con sus correspondientes extensiones de modelación hidrológica se obtuvieron:

- Mapa preliminar topográfico con las curvas de nivel.
- Delimitación de la subcuenca.
- Mapa preliminar de pendientes de la subcuenca.
- Mapa base con centros poblados, comunidades nativas, carreteras, red hídrica.
- Mapa de ubicación de las estaciones climatológicas (precipitación).
- Mapa preliminar fisiográfico de la subcuenca.
- Mapa preliminar de uso del suelo con imágenes satelitales.
- Determinación y ubicación de los puntos de muestreo sobre el mapa.

3.3.2. Trabajos de campo

- La visita de campo tuvo el objetivo realizar la verificación de las unidades de uso y cobertura del suelo que existen en la subcuenca.
- Recolección de muestras de suelos de los puntos muestrales (con su respectiva georeferenciación), para su posterior análisis en laboratorio de suelos de la especialidad de Conservación de Suelos y Agua.
- Determinación de la estructura del suelo en cada punto muestral.

- Identificación de prácticas de conservación que se realicen en la subcuenca, si las hubiera.

3.3.3. Determinación y calibración de los factores de la Ecuación Universal de Pérdida de suelo (RUSLE)

3.3.3.1. Determinación del factor R

- Para la determinación del mapa del índice de erosividad primero se trabajaron las hojas de registro de datos pluviométricos (mm) proporcionadas por las estaciones meteorológicas: Aguaytía (2000 -2014), San Alejandro, Maronal, Palmeras de Ucayali (2002 - 2011), Boquerón - Subcuenca Shambillo (2006-2014), Neshuya (1960-1964), acumulando los datos de precipitación mensual y anual para los períodos existentes (ver Anexos B.1, B.2 y B4).
- Luego se realizó el análisis de consistencia de cada estación, comparándolas con la estación base (ver Anexo B.4).

a. Método de Roose, Morgan y Foster

- Posteriormente, se hizo el análisis de correlación de las estaciones pluviométricas existentes (precipitación vs altura) (ver Anexo B.5)
- Después de haber realizado el análisis de correlación y generar una ecuación de ajuste, se generaron 14 estaciones adicionales (ver Anexo B.5), distribuyéndole en forma aleatoria dentro de la subcuenca, empleando así la ecuación de ajuste, para luego introducirlos en el programa ArcGIS 10.2.2 y generar un shape de

puntos (formato vector), con los cuales mediante interpolación (kriging lineal), se crearon un raster de precipitación promedio (mm) para toda la cuenca, creando así un mapa de isoyetas (ver anexo A.1), con el que luego se aplicaron las fórmulas de Roose, Morgan y Foster.

b. Método de índice de Agresividad Modificado de Fournier

- Se aplicó la metodología del Índice Modificado de Fournier (IMF) desarrollado por Arnoldus (1978) y se determinó un valor de R para cada estación.
- Con estos valores se realizó el análisis de correlación (IMF vs Altura), ajustándolo a una ecuación lineal (ver Anexo B.7)
- Con la ecuación obtenida se procedió a generar nuevamente 14 estaciones adicionales (ver Anexo B.9). para luego introducirlo en el programa ArcGIS 10.2.2 y generar un shape de puntos (formato vector), con los cuales mediante interpolación (IDW), se creará un raster de IMF para toda la subcuenca.

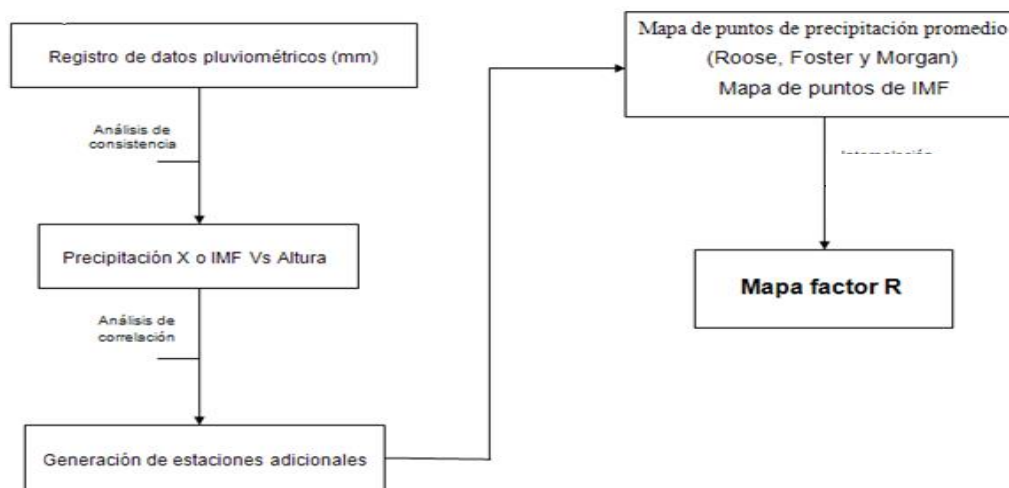


Figura 3. Flujograma para la obtención del mapa de erosividad de la lluvia

3.3.3.2. Determinación del factor K

a. Método del Nomograma

- Se determinó el tamaño de muestras del total de hectáreas de la subcuenca en estudio con la fórmula estadística de Cochran (1977) citado por GARCIA (2014), con un nivel de confianza del 95 % y error máximo permisible de 10%.
- Se aplicó el método aleatorio sitematizado no alineado estratificado en función de las superficies de las unidades de suelos de la subcuenca elaborado LAROTA *et al* (2013), ajustados con procesamiento visual y digitalización de imágenes de alta resolución.
- Se realizó la distribución espacial de los puntos de muestreo para cada unidad de suelo con el uso de la herramienta “crear puntos aleatorios” del Arctoolbox del programa ArcGIS 10.2.2 en español.
- 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 una pala recta, lo cual a la vez nos permitió determinar la estructura, textura y materia orgánica del suelo.
- Con todos los datos se aplicó el método del nomograma de erodabilidad propuesto por Wischmeier y Smith (1978) para hallar el valor de K para cada punto muestral. Además, se ha promediado con los valores de K obtenidos mediante el método de Kirkby y Morgan (1978)

- Estos datos serán introducidos en el programa ArcGIS 10.2.2 y se generará un shape de puntos (formato vector), con los cuales mediante interpolación (IDW), se creó un raster de erodabilidad para toda la subcuenca.

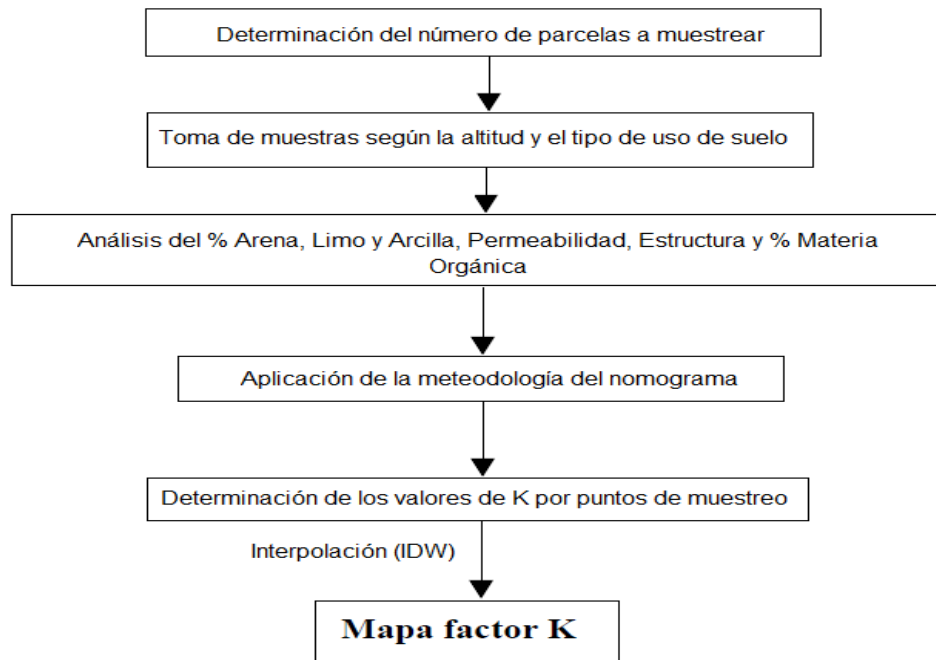


Figura 4. Flujograma para la obtención del mapa de erodabilidad

3.3.3.3. Determinación del factor LS

a. Método Renard

- A partir del modelo de elevación digital (DEM), con la herramienta “slope” del Arcgis 10.2.2, se obtendrá el mapa de pendientes en grados, así como la dirección y acumulación del flujo con las herramientas “flow dirección” y “flow accumulation”, respectivamente.
- Posteriormente se calculará el factor L con la herramienta “Raster Calculator”, aplicando la metodología de Foster *et al.*, (1977),

modificada por Desmet & Govers (1996), que considera el área aportadora unitaria a la entrada de un pixel.

- Con este raster se procederá a calcular el factor S, aplicando la condición propuesta por la metodología de McCool *et al.* (1987,1989), que compara la pendiente de cada pixel con la pendiente unitaria de valor 9%.
- Finalmente se procederá a multiplicar el factor L y el factor S, obteniéndose el mapa del factor LS.

b. Método Mintegui (1983)

- A partir del modelo de elevación digital (DEM), con la herramienta “slope” del Arcgis 10.2.2, se obtendrá el mapa de pendiente en porcentaje.
- Luego se hará una clasificación del raster de acuerdo a los rangos de pendientes establecidos por el método Mintegui (1983) y se asignará un valor de LS.

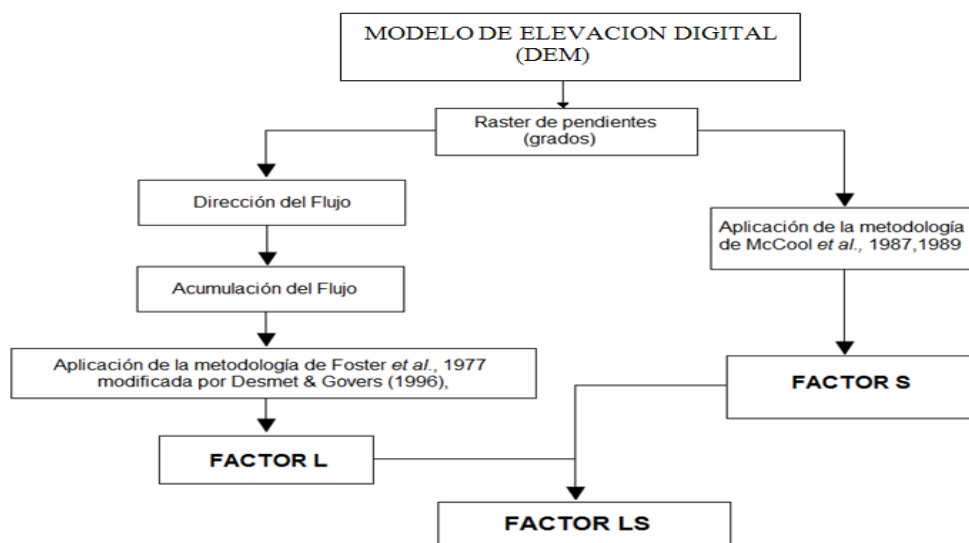


Figura 5. Flujograma para la obtención del mapa de LS – Método 1

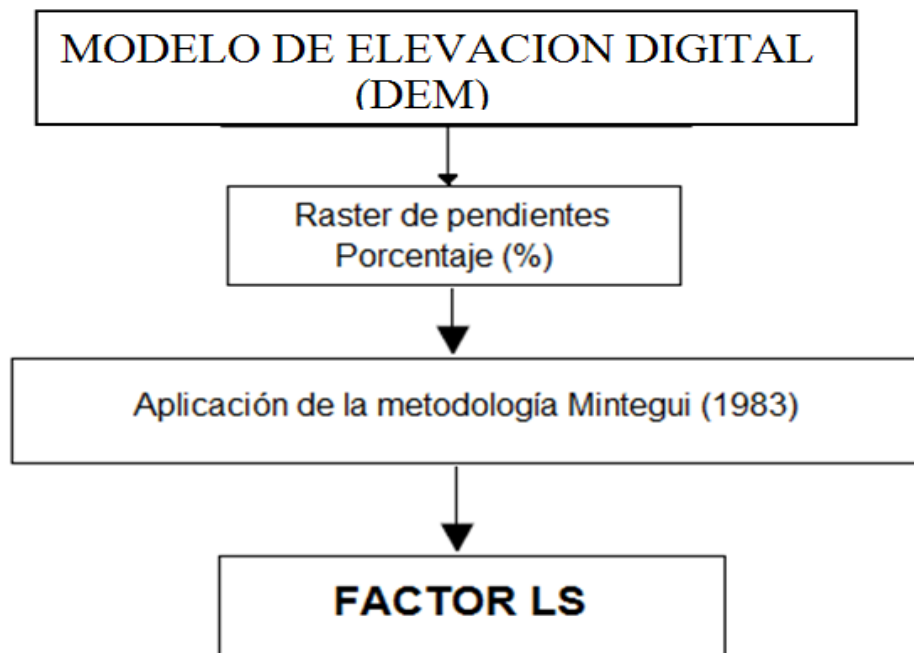


Figura 6. Flujograma para la obtención del mapa de LS – Método 2

3.3.3.4. Determinación del factor C

- El factor C se determinó de manera distribuida en el espacio, empleando mapas digitales en formato shape del estudio temático uso y cobertura de la tierra para la microzonificación ecológica económica de la subcuenca Shambillo (ver anexo 5b), que luego se ajustaron a los límites de la subcuenca y se determinó el grado de correlación de la clasificación de las unidades temáticas del mapa con la realidad medida en campo. Para ello se evaluó una muestra significativa 125 puntos para un nivel de confianza de 99% (Fórmula de Cochran) y un error probalístico del 5%.
- Posteriormente 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 (ver anexo 5b).

- Se consideró necesaria la utilización de una leyenda jerárquica que definiera tipos de coberturas mutuamente excluyentes y homogéneas a diferentes escalas. Teniendo en cuenta la necesidad de trabajar bajo una metodología estándar que permita sumar información desde los niveles locales hacia el nivel regional y nacional, y conociendo del esfuerzo realizado por el MINAM y la Universidad Nacional Agraria La Molina en el marco del proyecto análisis de las dinámicas de cambio de cobertura de la tierra en la Comunidad Andina en este mismo sentido, se acordó utilizar una adaptación del nivel III de la leyenda jerárquica definida por la metodología Corine Land Cover versión trabajada como parte de este proyecto.

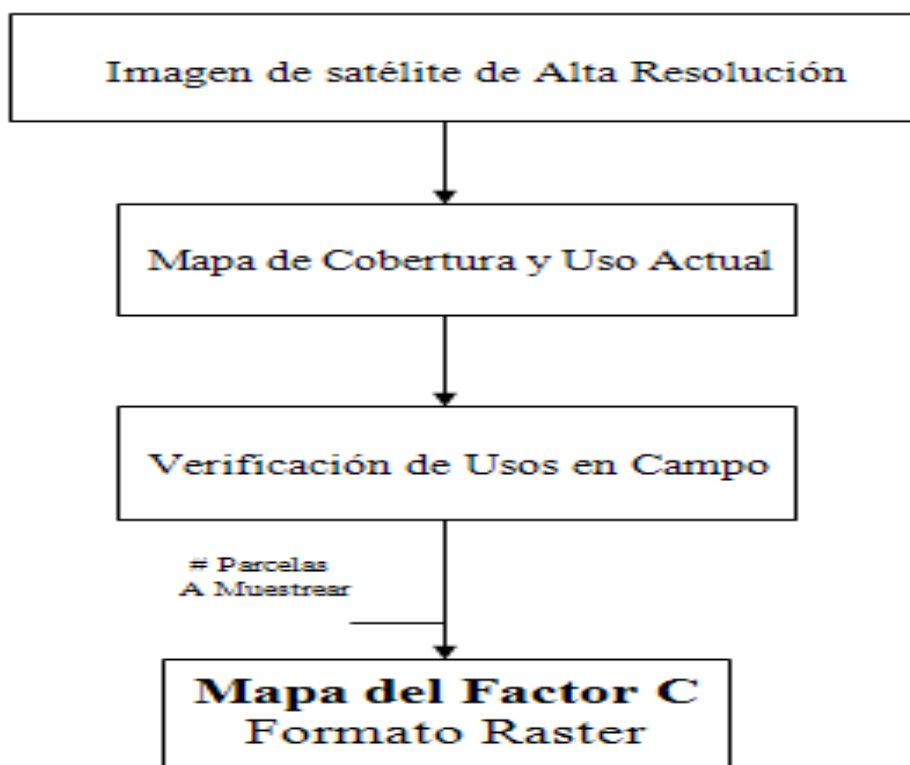


Figura 7. Flujograma para la obtención del mapa del factor C

3.3.3.5. Determinación del factor P

- Se asumirá un valor del factor P igual a 1, sí en caso no se encontrarse que en las zonas agrícolas de la Subcuenca Shambillo no se aplican prácticas de conservación de suelos.

3.3.3.6. Determinación de la pérdida de suelo

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

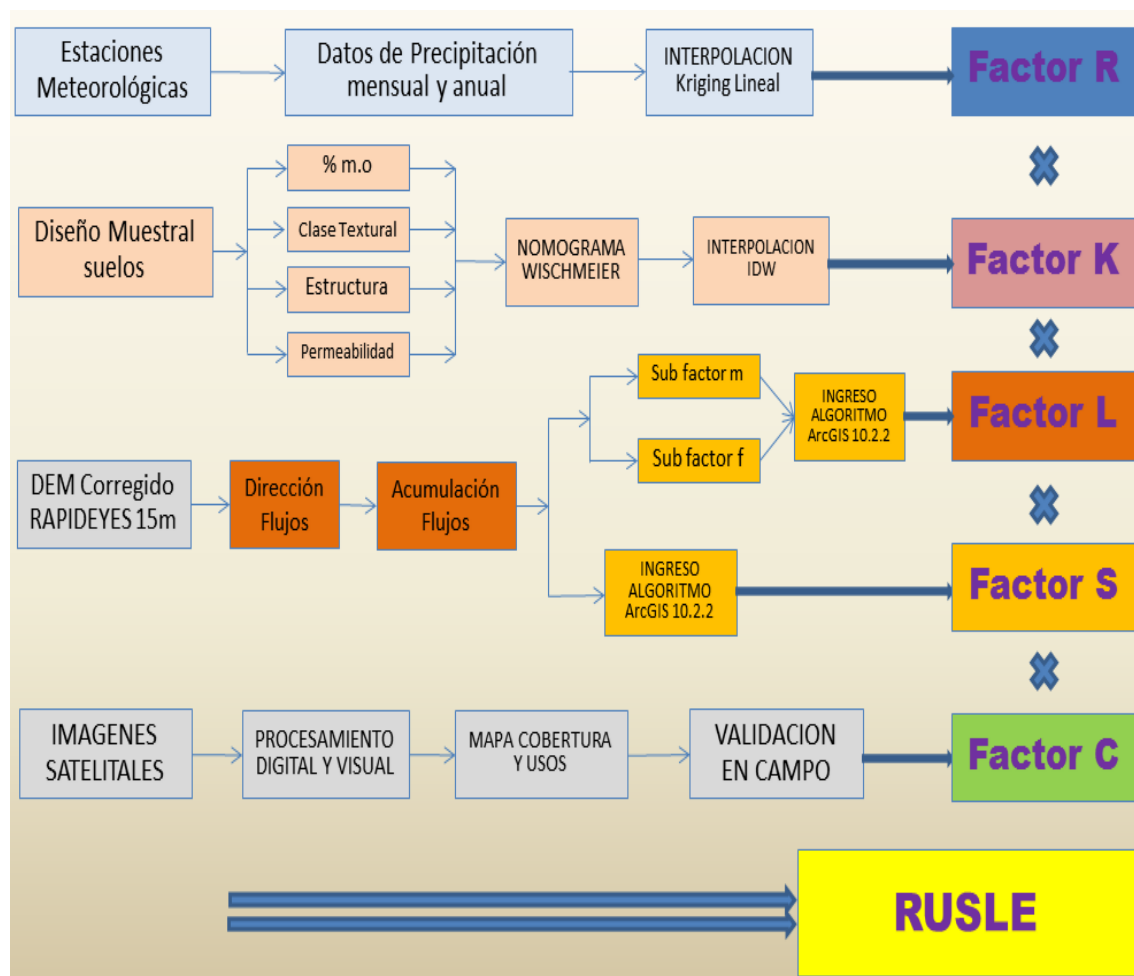


Figura 8. Flujograma para la obtención del mapa de pérdida de suelo.

3.3.3.7. Peso relativo o grado de influencia de los factores de la RUSLE

- Se determinó 125 puntos muestrales del total de hectáreas de la subcuenca en estudio con la fórmula estadística de Cochran (1977) citado por GARCIA (2014), con un nivel de confianza del 99 % y error máximo permisible de 5%.
- Se realizó la distribución espacial de los puntos de muestreo con el uso de la herramienta “crear puntos aleatorios” del Arctoolbox del programa ArcGIS 10.2.2 en español con una distancia mínima permitida entre dos puntos ubicados de manera aleatoria de 64m.
- Se extrajeron valores de cada ráster de entrada (factores R, K, LS, EP y EA) y se incorporaron un nuevo campo a cada uno de los 125 puntos muestrales.
- Se realizaron el análisis de correlación y determinaron el coeficiente de determinación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Determinación de los factores de erosividad de las precipitaciones (R), erodabilidad del suelo (K), longitud y gradiente de la pendiente (LS) y cobertura vegetal o uso actual del suelo (C)

4.1.1. Erosividad de las precipitaciones o factor (R)

4.1.1.1. Índice Modificado de Fournier (IMF)

Con ayuda de los registros de precipitación acumulada mensual y anual de las estaciones; Aguaytía (2000 -2014), San Alejandro, Maronal, Palmeras de Ucayali (2002 - 2011), Boquerón - Subcuenca Shambillo (2006-2014), Neshuya (1960-1964), se calcularon los valores de R para toda la subcuenca aplicando el IMF (Arnoldus, 1978. Citado por RAMIREZ et al., 2007).

Se observa (Figura 9), que el índice de erosividad o factor R, oscila entre 380.88 – 451.84 $Mj*mm/ha*h*año$ para toda la subcuenca, obteniéndose los valores más altos en las zonas de mayor altura y mayor precipitación. Lo que significa que las lluvias que se producen en las partes altas tienen mayor potencial erosivo, afectando de manera significativa en los procesos erosivos del suelo.

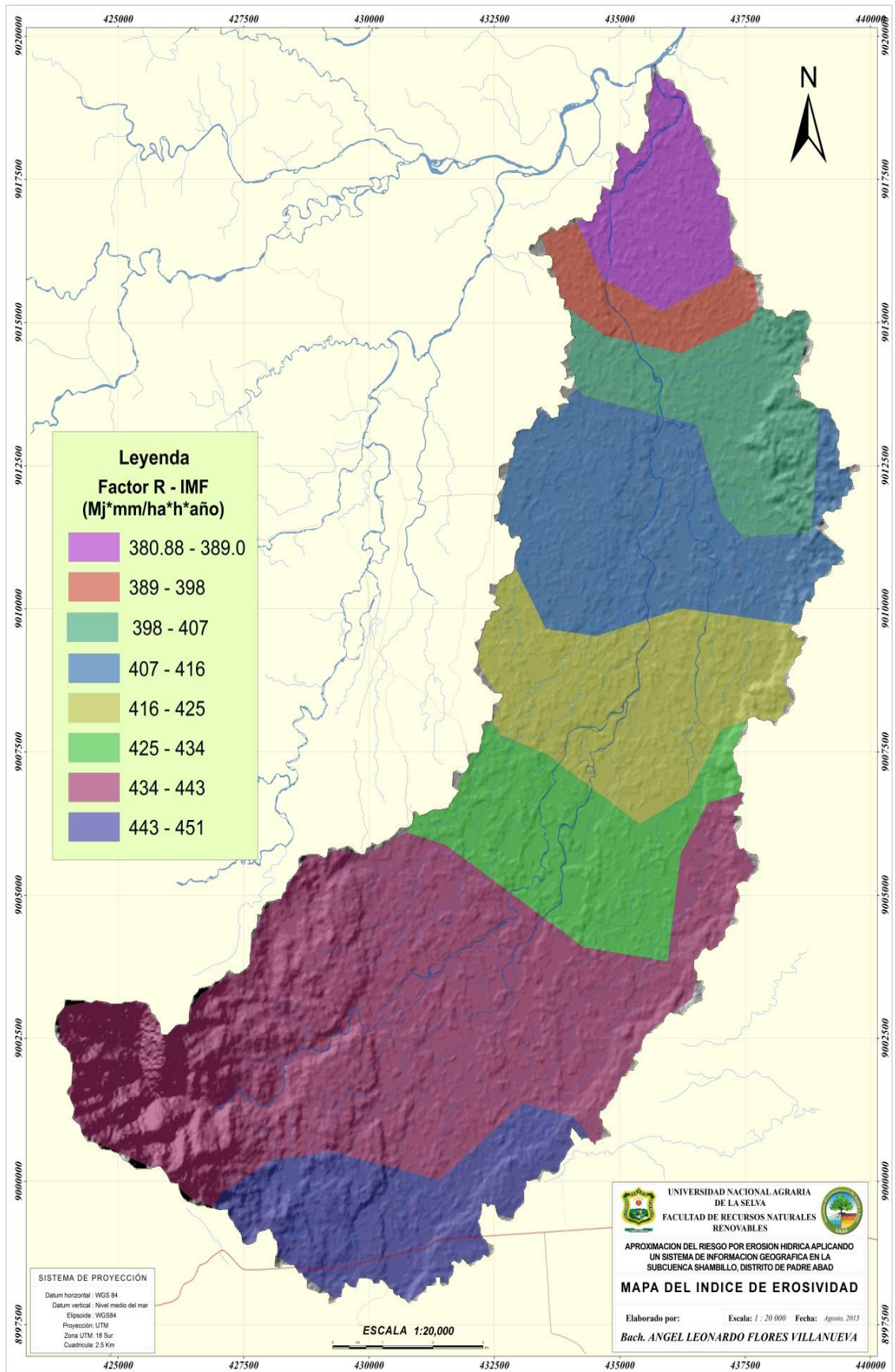


Figura 9. Mapa del Índice de erosividad según IMF

4.1.1.2. Roose, Morgan y Foster

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 ($R^2 = 0.985$) y mejor coeficiente de Pearson ($r = 0.979$); a partir de estos datos se generó un mapa de Isoyetas para toda la subcuenca, con el que se aplicó las ecuaciones de Roose (1995), Morga(1974) y Foster et al. (1981), citado por MORGAN (1997)

Cuadro 17. Valores de R anual obtenidos para la subcuenca Shambillo

Rango de precipitación		Precipitación Anual (mm)	R (Mj*mm/ha*h*año)		
			ROOSE	MORGAN	FOSTER
3755	3840	3797	3284.8	2014.3	786.1
3840	3960	3900	3373.5	2085.7	807.3
3960	4080	4020	3477.3	2169.2	832.1
4080	4200	4140	3581.1	2252.7	857.0
4200	4320	4260	3684.9	2336.2	881.8
4320	4440	4380	3788.7	2419.8	906.7
4440	4596.56	4518	3908.3	2516.0	935.3

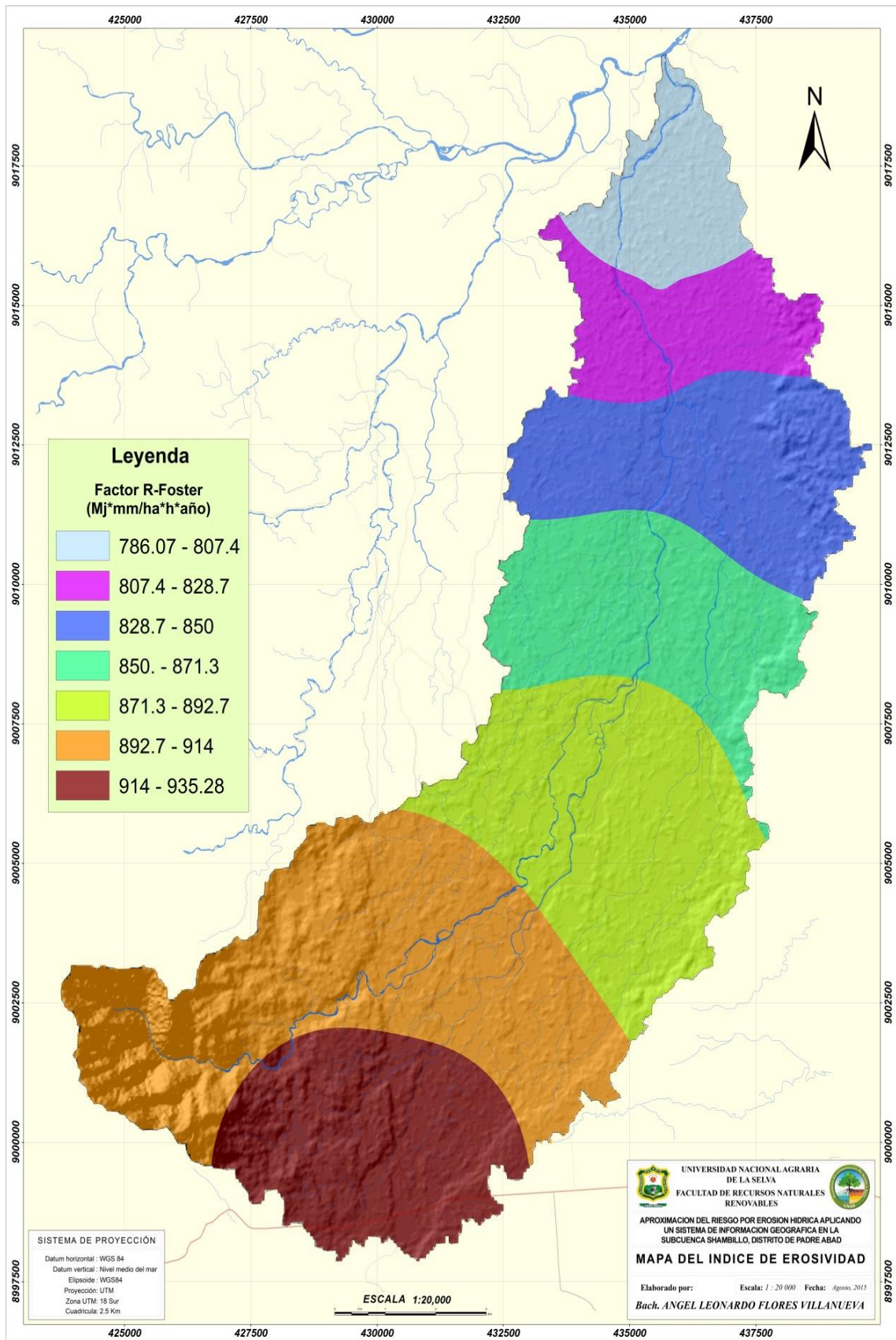


Figura 10. Mapa del Índice de erosividad según Foster

Se aprecia en el Cuadro 17 y Figura 10, que los valores de erosividad R por los diferentes métodos de Roose, Morgan y Foster oscilan: entre 3284.8 – 3908.3 $Mj*mm/ha*hrs*año$; 2014.3 - 2516 $Mj*mm/ha*h*año$ y 786.1 - 935.3 $Mj*mm/ha*h*año$ respectivamente.

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 $tm/ha/año$).

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

En la Figura 11 se observa que los valores de erodabilidad de la subcuenca Shambillo oscilan entre 0,027 - 0,048 $tm*ha*h/ha*Mj*mm$.

Los valores más bajos de erodabilidad corresponden a suelos de textura arcillo arenoso y franco arcillo arenoso (hasta 0.034), los valores medios a suelos de textura franco (hasta 0.0432) y los valores más altos a suelos de textura franco limosa (desde 0.0433); 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 3c).

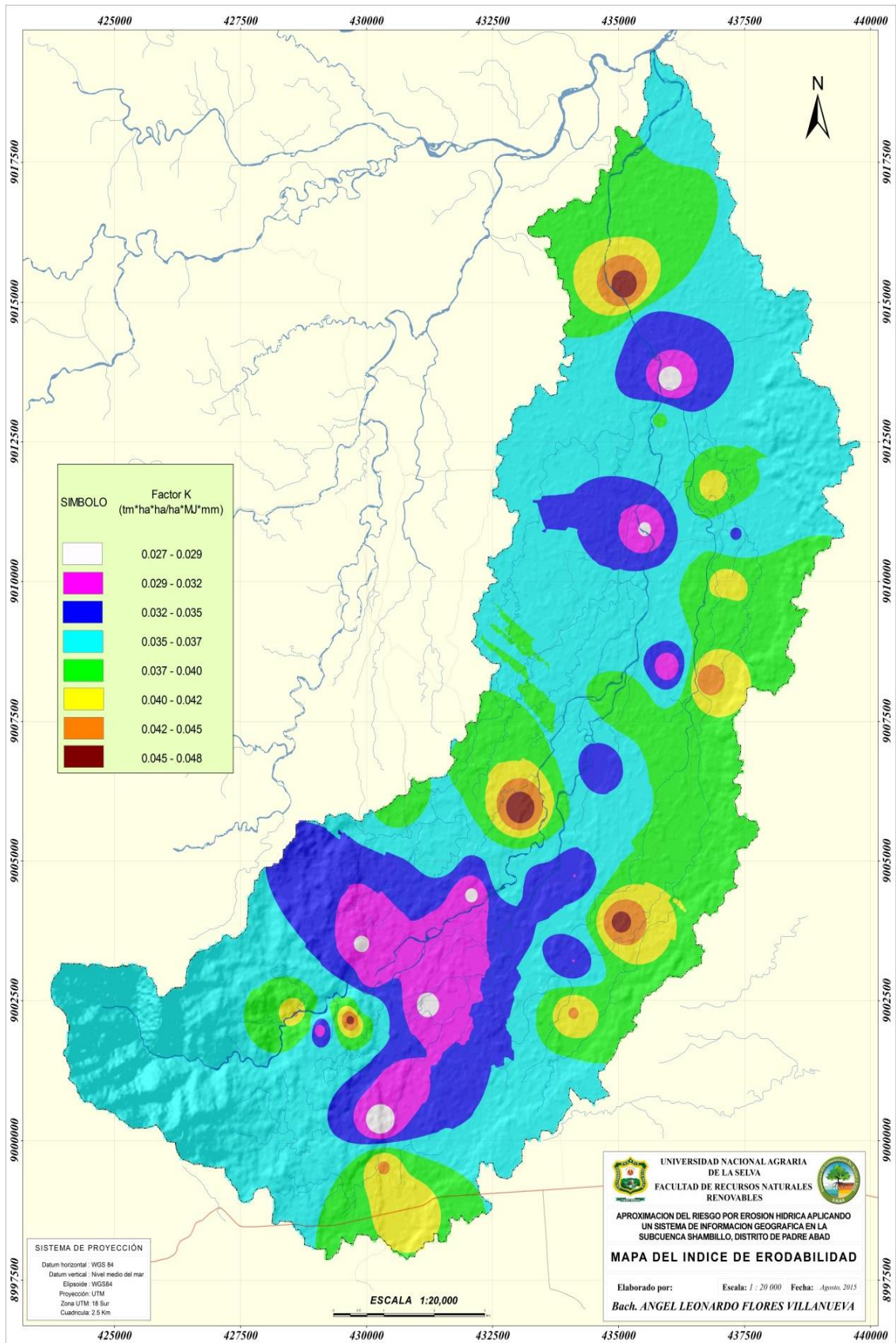


Figura 11. Mapa del Índice de erodabilidad o factor K

4.1.3. Factor de longitud y gradiente de pendiente o LS

4.1.1.3. Método de Mintegui

Este mapa se obtuvo a partir del mapa de pendientes en porcentaje, producto del DEM RAPIDEYES de 15m de resolución espacial (ver anexo D.1 y D.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.

Se aprecia (Figura 12) que los rangos de LS, varían entre 0,3 - 28,5 (adimensional), los valores más altos de LS, corresponden a las zonas de pendientes, ya que la pérdida de suelo se incrementa más rápidamente con pendientes muy escarpadas.

4.1.1.4. Método de Renard

Se aprecia (Figura 13) que los valores de LS, calculadas mediante la ecuación de Renard usadas en RUSLE, varían entre 0.03 – 247.976 (adimensional), además, estos valores 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

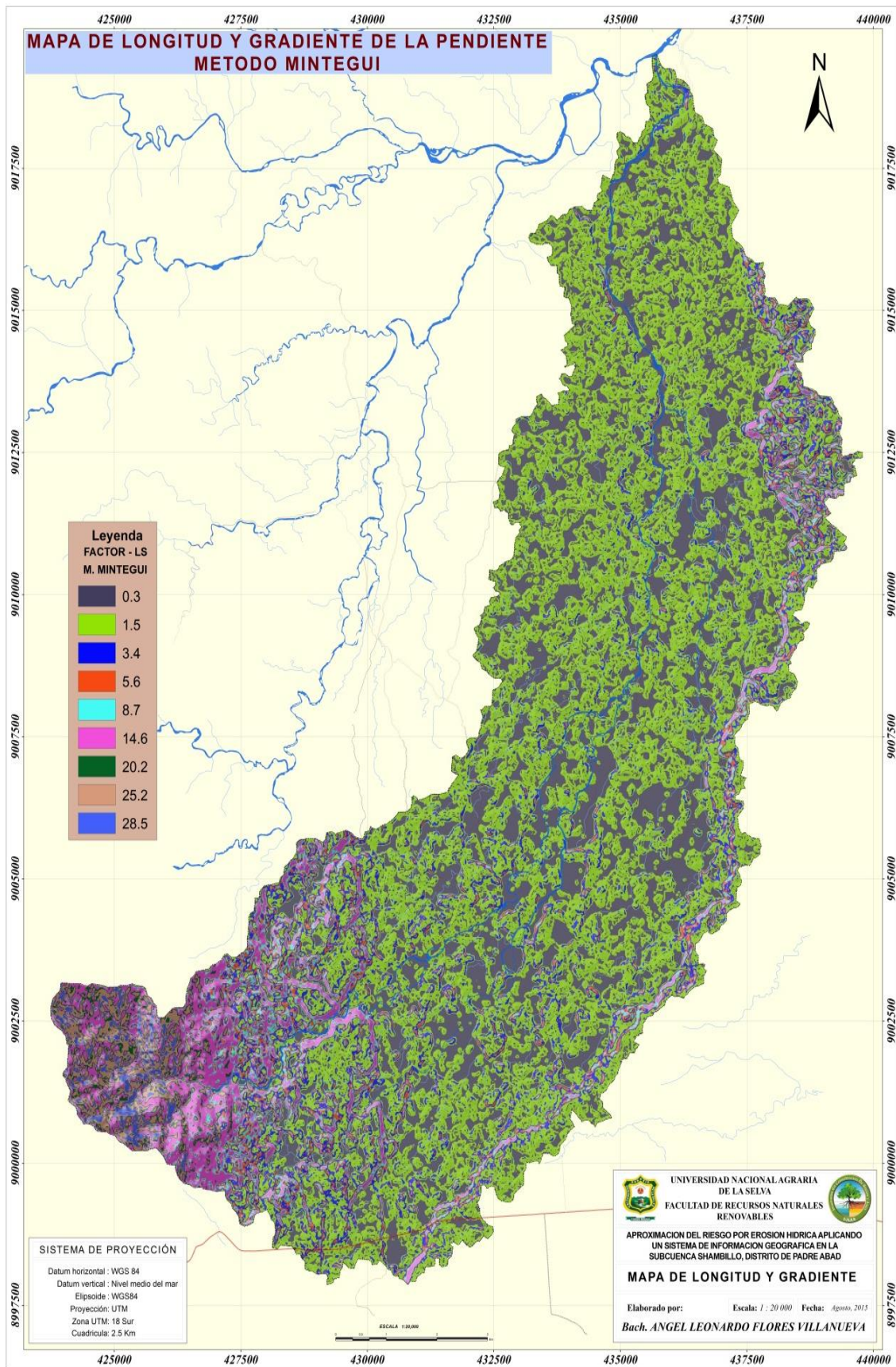


Figura 12. Mapa de longitud y gradiente de pendiente, método Mintegui

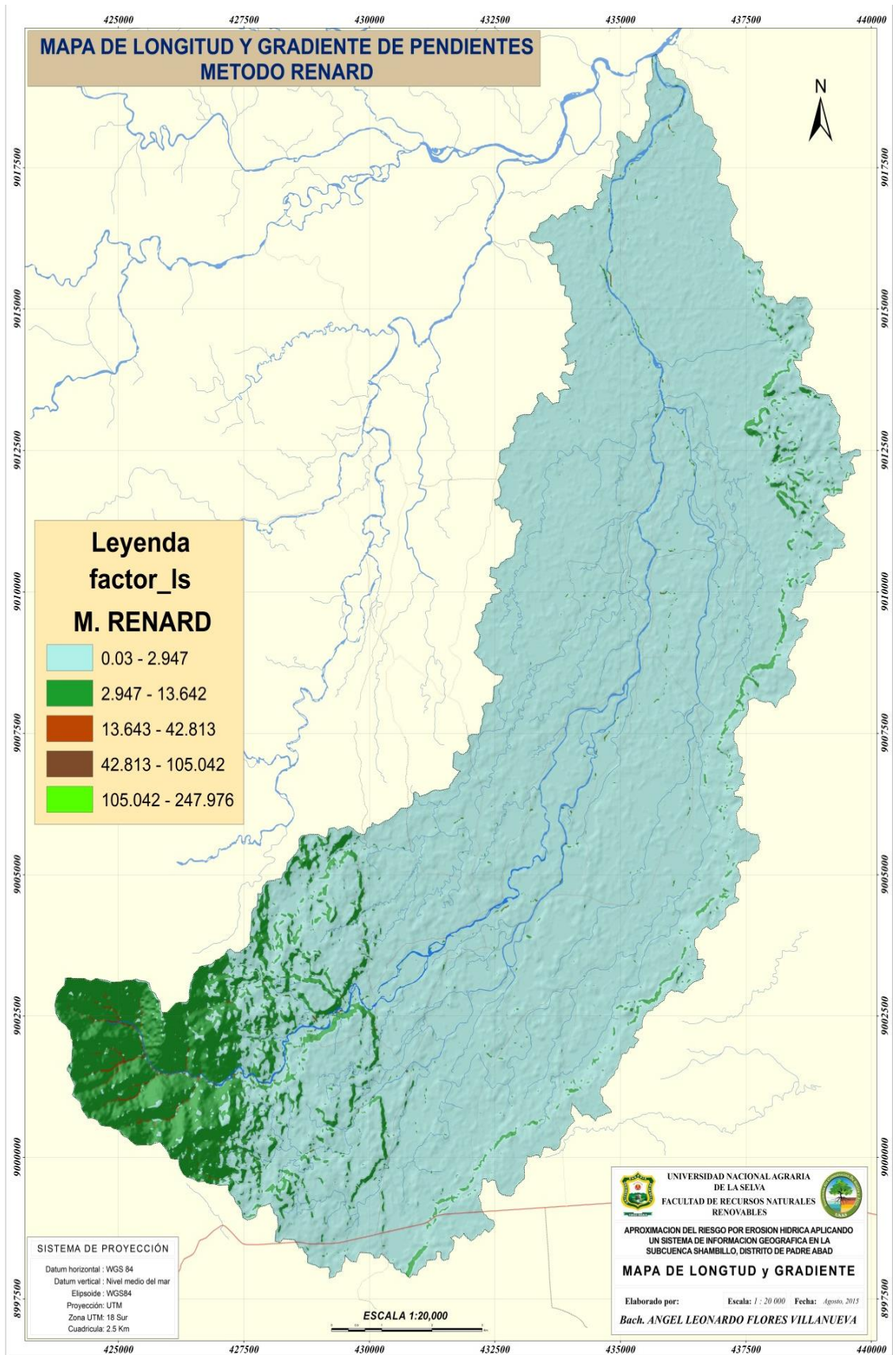


Figura 13. Mapa de longitud y gradiente de pendiente Renard

4.1.4. Factor C o de cobertura vegetal

Mapa de usos y cobertura vegetal elaborado tiene una coincidencia estimada de 92%, lo cual señala un alto grado de correlación con la realidad o exactitud temática (ver anexo 5a).

Se observa (Cuadro 18 y Figura 14) que los valores del factor C, para la subcuenca Shambillo oscilan entre 0,0001 hasta 0.95

Cuadro 18. Valores del factor C obtenidos para la subcuenca Shambillo

USO Y COBERTURA	FACTOR C
Bosque denso	0.0047
Bosque forestal claro	0.0060
Tejido urbano continuo	0.0093
Pasto para ganadería vacuna	0.0394
Bosque Forestal muy Claro	0.0410
Cultivo de plátano	0.0710
Cultivo de coca	0.0830
Cultivo de cacao	0.1500
Cultivo de palmito	0.1550
Cultivo de palma	0.2000
Cultivo de papaya	0.2100
Áreas agrícolas heterogéneas	0.2356
Cultivo de piña	0.2500
Cultivo de cocona	0.4175
Playas y playones temporales	0.9500

Se aprecia (Cuadro 19 y Figura 15) que, aproximadamente el 71% de la subcuenca ha sufrido intervención por parte del hombre, ya sea para la introducción de áreas de pasto, cultivos de pan llevar o cultivos de coca, lo cual se evidencia por la imagen de alta resolución del año 2014. Las áreas más susceptibles a erosión son las de suelo desnudo, pasto, cultivo y Áreas agrícolas heterogéneas; más aún si son instalados sin ningún tipo de práctica conservacionista.

Cuadro 19. Área total de la subcuenca dividida en función al uso y cobertura

USO y COBERTURA	SUPERFICIE (Ha)	PORCENTAJE (%)
Tejido urbano continuo	31.2	0.24
Tejido urbano discontinuo	17.9	0.13
Áreas industriales o comerciales	1.5	0.01
Red vial y terrenos asociados	167.5	1.26
Torre Alta Tensión	3.5	0.03
Cultivo de cacao	77.0	0.58
Cultivo de coca	107.1	0.81
Cultivo de cocona	0.9	0.01
Cultivo de palma	2145.7	16.20
Cultivo de palmito	6.8	0.05
Cultivo de papaya	2.2	0.02
Cultivo de piña	19.5	0.15
Cultivo de plátano	31.6	0.24
Pasto para ganadería vacuna	348.0	2.63
Áreas agrícolas heterogéneas	5344.4	40.34
Bosque denso	2936.3	22.17
Bosque forestal claro	875.0	6.61
Bosque forestal muy claro	992.0	7.49
Playas y playones temporales	19.2	0.14
Ríos	120.1	0.91
TOTAL SUPERFICIE SIG	13247.6	100.00

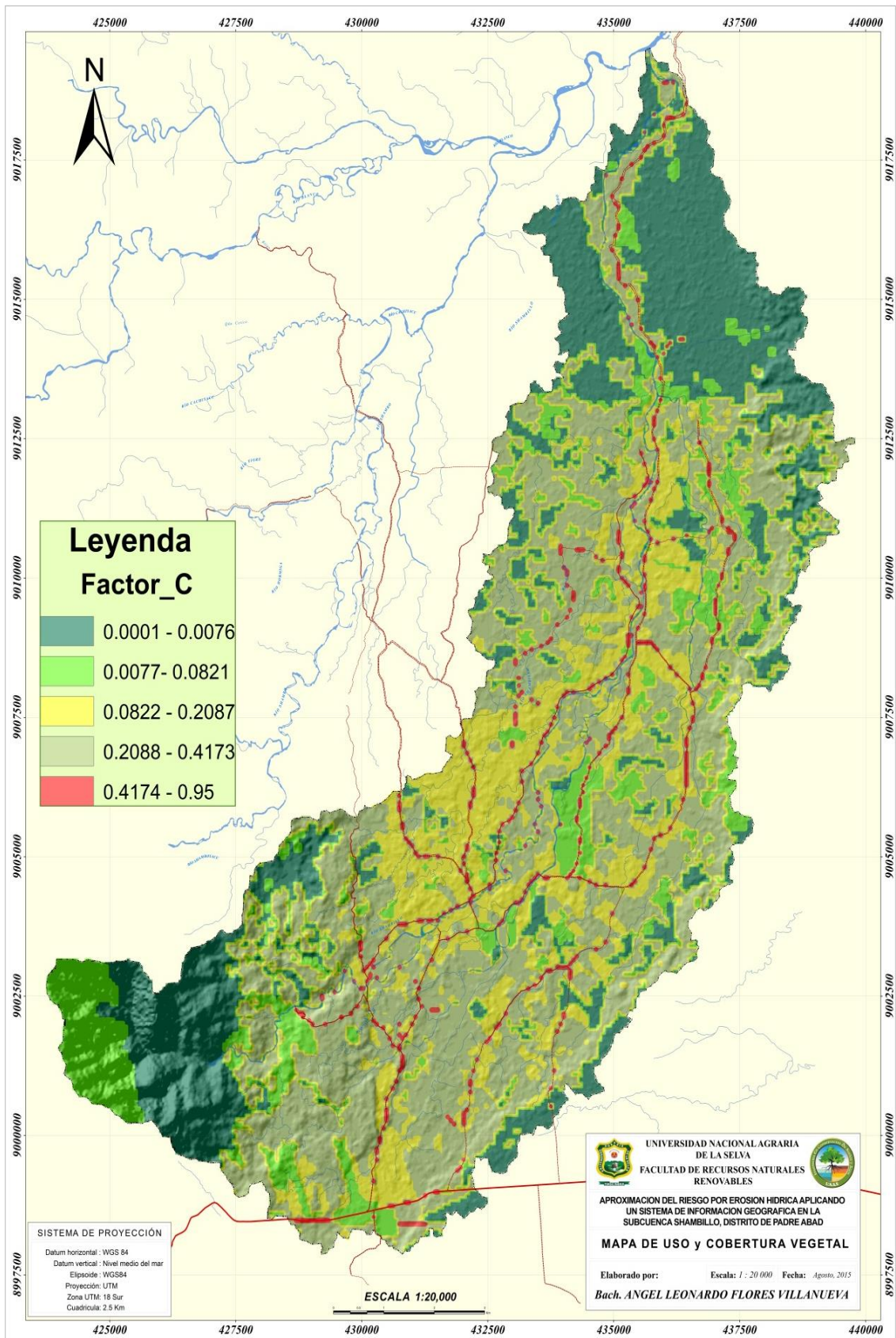


Figura 14. Mapa de factor de cobertura vegetal o factor C

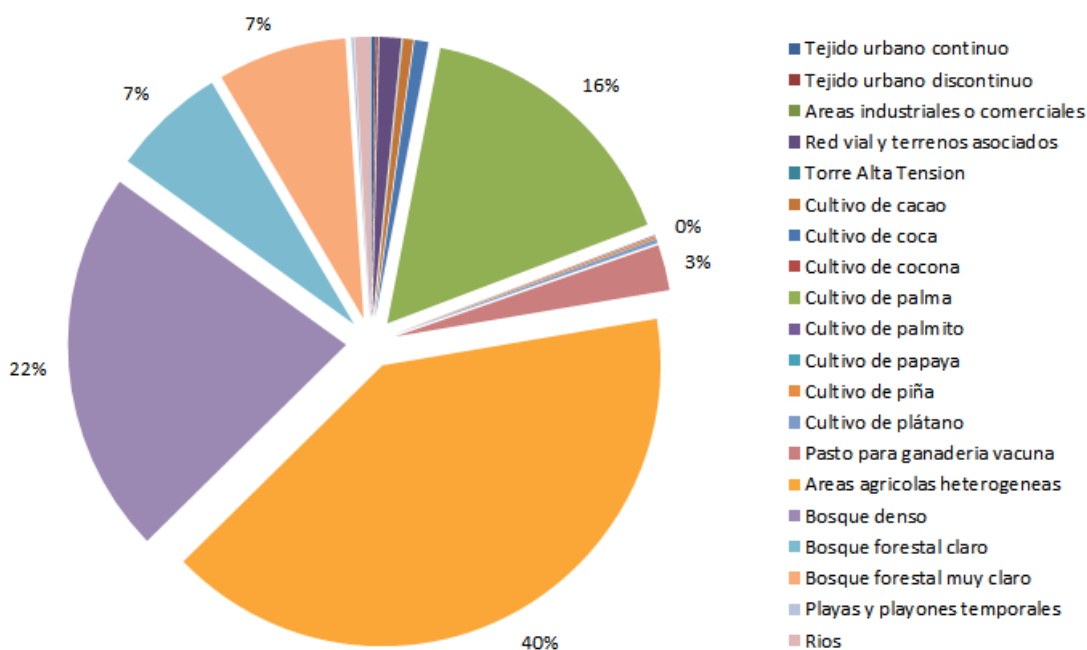


Figura 15. Área total de la subcuenca expresada en porcentajes en función del uso y cobertura

4.2. Aproximación de la pérdida del suelo por erosiones potenciales y actuales

4.2.1. Erosión hídrica potencial

Los factores de erosión evaluados son: R, K, L, S, los que permiten estimar la erosión máxima potencial teórica para cada zona ($R * K * L * S$). Este valor representa la pérdida de suelo en $tm/ha/año$ que se produciría en ese lugar si el suelo se mantuviese arado a favor de la pendiente y sin ningún tipo de cobertura durante un año, expuesto a la acción erosiva de las lluvias. Este valor pone de manifiesto la susceptibilidad erosiva de cada zona o unidad.

Del Cuadro 20 y la Figura 16, se estima una erosión hídrica potencial para la subcuenca Shambillo de 0.3496 - 2,810.7 $tm/ha/año$.

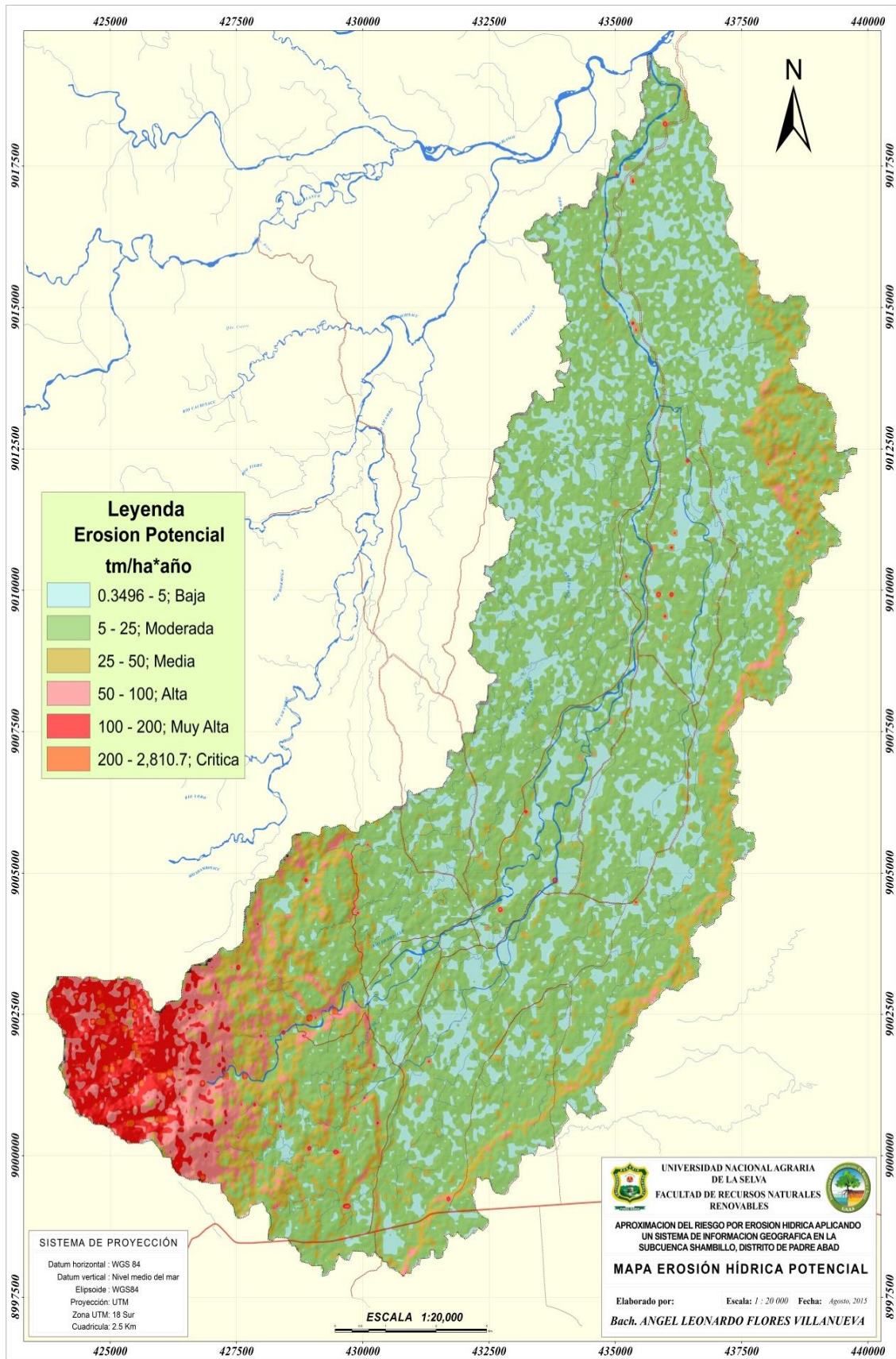


Figura 16. Mapa de erosión hídrica potencial de subcuenca Shambillo

Cuadro 20: Área total de la subcuenca dividida en función al rango de erosión hídrica potencial.

RANGO	EROSION	AREA (ha)	AREA (%)
< 5	Base	3487.37	26.3
5 - 25	Moderada	7035.82	53.1
25 - 50	Media	1384.93	10.5
50 - 100	Alta	819.32	6.2
100 - 200	Muy alta	490.65	3.7
200 - 2,810.64	Critica	29.48	0.2
SUPERFICIE SIG TOTAL		13247.56	100.0

4.2.2. Erosión hídrica actual

Los valores de pérdida de suelos por erosión hídrica actual oscilan entre 0 a 1,132.64 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). Según estos rangos un 0.2% del área total de la subcuenca Shambillo, equivalente a 31.18 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 89.3% equivalente a 11829.88 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.

Cuadro 21. Área total de la subcuenca dividida en función al riesgo de erosión hídrica actual

RANGO	EROSION	AREA (ha)	AREA (%)
< 5	Baja	11829.9	89.3
5 -- 25	Moderada	1386.5	10.5
25 – 50	Media	23.1	0.2
50 - 100	Alta	6.9	0.05
100 - 200	Muy alta	0.413	0.003
200 - 1,132.64	Crítica	0.826	0.006
SUPERFICIE SIG TOTAL		13247.56	100

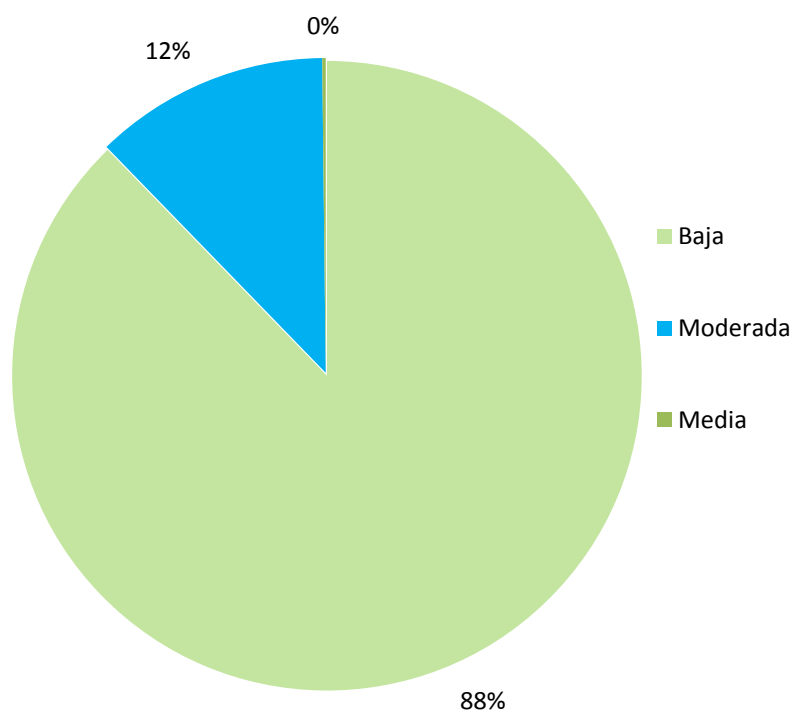


Figura 17. Área total de la subcuenca expresada en porcentaje en función del riesgo de erosión hídrica actual.

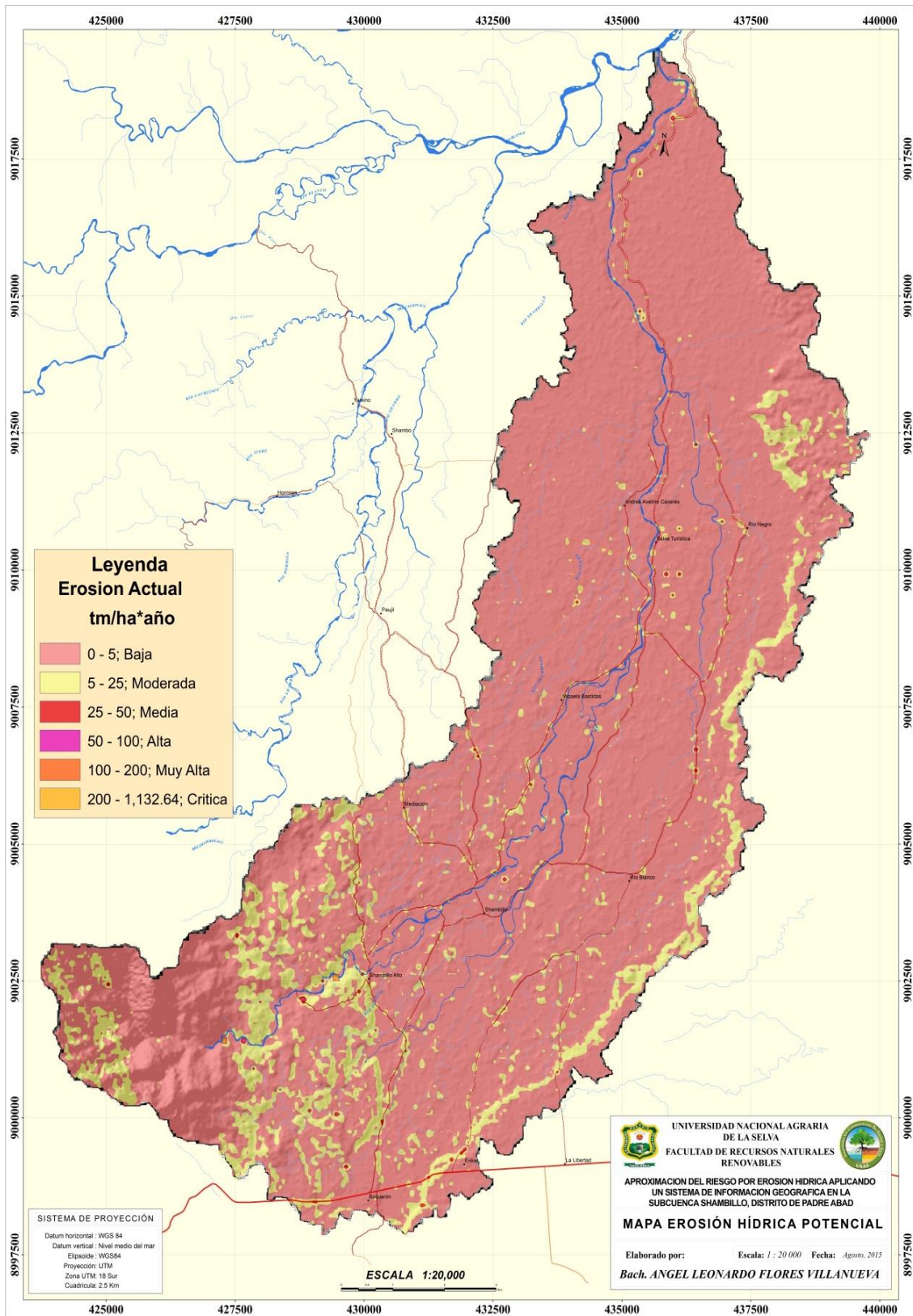


Figura 18. Área total de la subcuenca expresada en porcentaje en función del riesgo de erosión hídrica actual

4.2.3. Peso Relativo o grado de influencia de los Factores de la RUSLE

Para determinar la asociación o relación entre los factores o variables, se realizaron análisis de correlación y se determinaron su coeficiente de correlación para determinar cuál de ellos tiene mayor significancia o peso; efectuando la comparación de las correlaciones entre cada uno de los factores (LS, K y R) y (EP y EA).

Se observa (Figura 19) que en el diagrama de dispersión existe relación positiva entre los valores de los factores LS y EP. El coeficiente de determinación obtenido es de $R^2 = 0.438$, es decir el 43.8 por ciento de la suma de cuadrados totales de la variable independiente EP es explicada, a través de relación lineal, por la variación observada en la variable independiente.

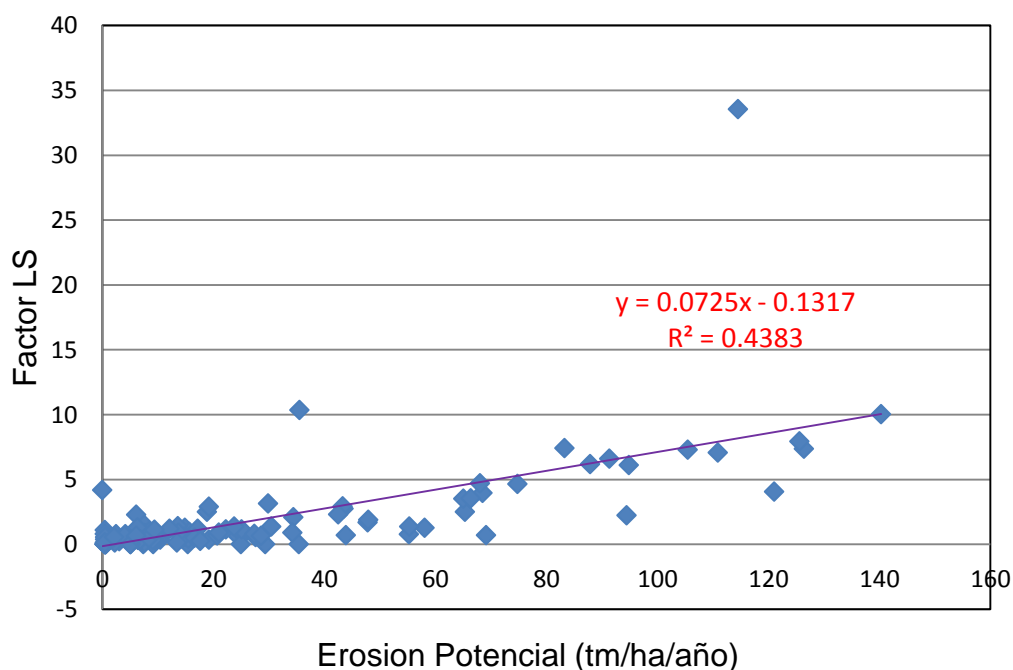


Figura 19. Análisis de Correlación entre el Factor LS y EP

Por otra parte se observa (figura 20) que en el diagrama de dispersión existe relación positiva entre los valores de los factores R y EP. El coeficiente de determinación obtenido es de $R^2 = 0.1832$, es decir el 18.3 por ciento de la suma de cuadrados totales de la variable independiente EP es explicada, a través de relación lineal, por la variación observada en la variable independiente.

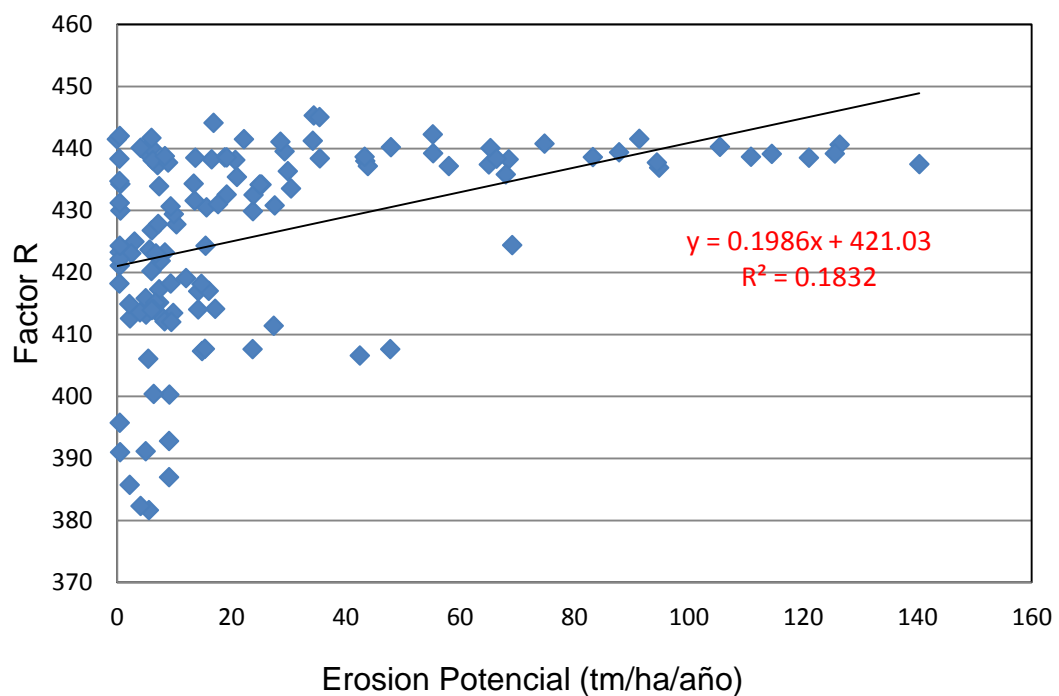


Figura 20. Análisis de Correlación entre el Factor R y EP

La Figura 21 nos muestra que en el diagrama de dispersión existe relación positiva entre los valores de los factores R y EP. El coeficiente de determinación obtenido es de $R^2 = 0.012$, es decir el 1.2 por ciento de la suma de cuadrados totales de la variable independiente EP es explicada, a través de relación lineal, por la variación observada en la variable independiente.

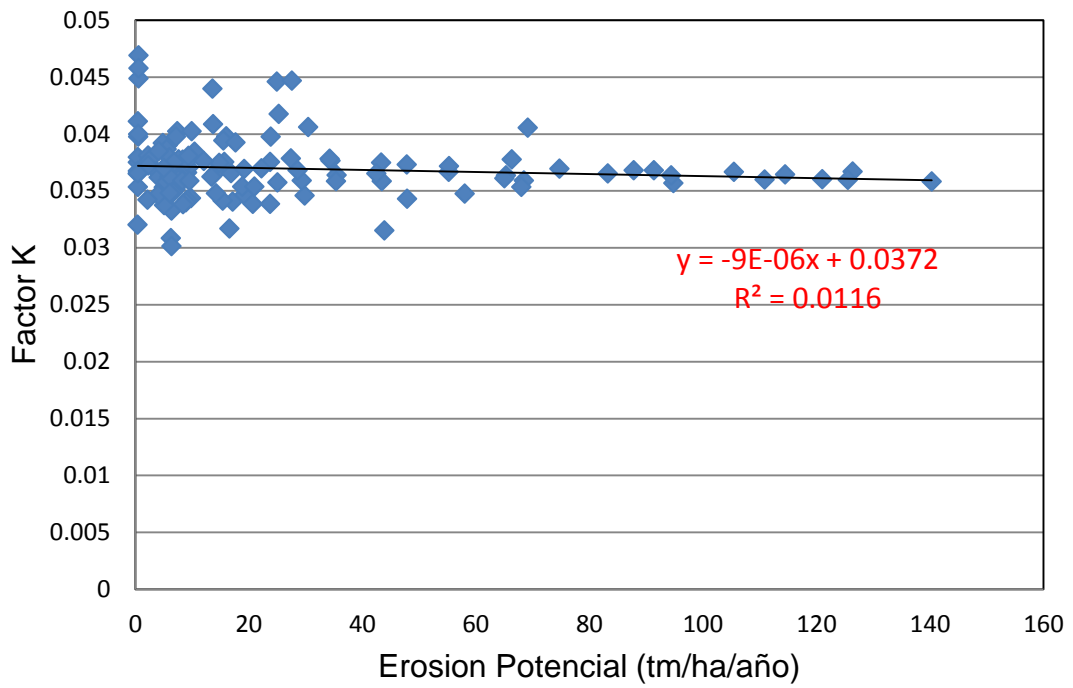


Figura 21. Análisis de Correlación entre el Factor K y EP

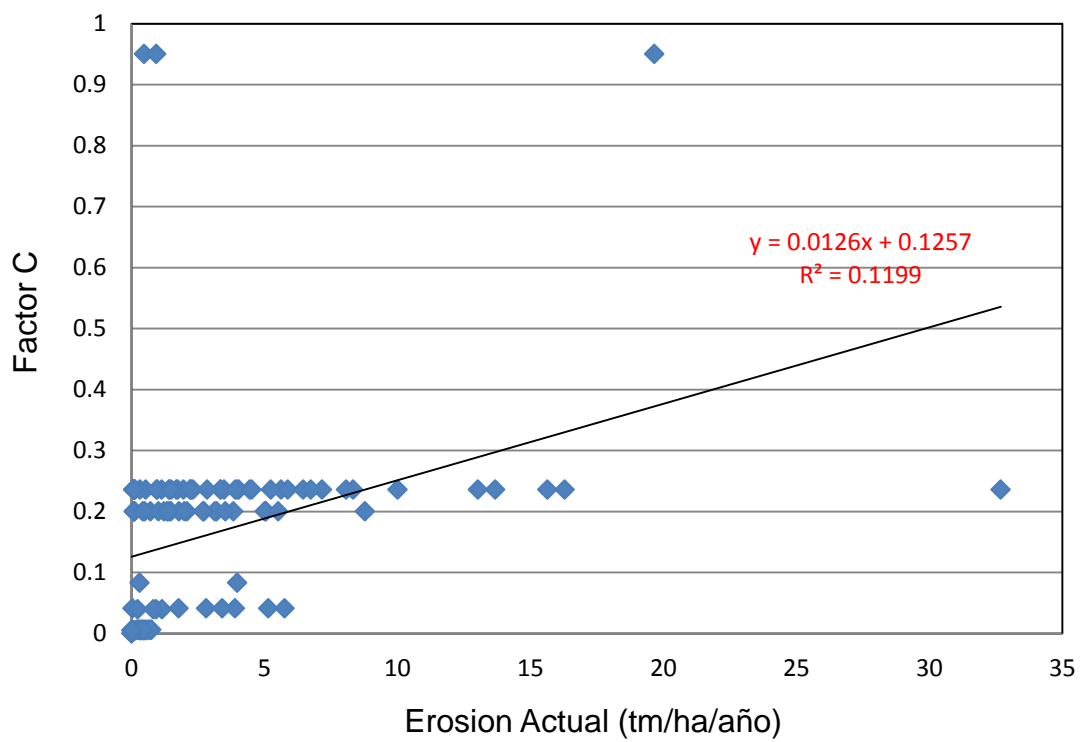


Figura 22. Análisis de Correlación entre el Factor C y EA

Se observa (Figura 22) que en el diagrama de dispersión existe relación positiva entre los valores de los factores C y EA. El coeficiente de determinación obtenido es de $R^2 = 0.12$, es decir el 12 por ciento de la suma de cuadrados totales de la variable independiente EP es explicada, a través de relación lineal, por la variación observada en la variable independiente.

V. DISCUSION

5.1. Determinación de los factores de erosividad de las precipitaciones (R), erodabilidad del suelo (K), longitud y gradiente de la pendiente (LS) y cobertura vegetal o uso actual del suelo (C)

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 subcuenca Shambillo, por estar ubicada en la zona de Bosque pluvial - Pre montano Tropical (bp-PT) a Bosque muy húmedo - Tropical (bmh-T) (Arnoldus, 1980 y Hoyos *et al.* 2005, citado por RAMÍREZ *et al.* 2007),

Del mismo modo RAMÍREZ (2010) nos dice que el IFM tiene muchas ventajas por que emplea datos meteorológicos simples, lo cual facilitó mucho su aplicación en el presente trabajo, ya que la subcuenca Shambillo 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 subcuenca Shambillo presentó un valor mayor a 160 por lo cual la erosividad de las precipitaciones puede ser clasificada como muy alta.

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)

En lo que respecta a las ecuaciones de Morgan y Foster no solo emplean la precipitación promedio anual sino también el índice I30, con un valor de 75mm/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).

Las ecuaciones de 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 subcuenca, coincidiendo con ANTEZANA (2001) y RAMÍREZ *et al.* (2007).

Respecto a los valores de erodabilidad o factor K, según la clasificación USDA (1962), citado por AMESQUITA (1990), la erosividad de las precipitaciones puede ser clasificada medianamente y fuertemente erodable.

En el caso de los suelos arcillo arenoso y franco arcillo arenoso, 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 generan 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).

De los dos métodos determinados, en lo referente al índice de longitud y gradiente de la pendiente o factor topográfico LS, el método Mintegui simplemente asigna un valor a la longitud 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. Mientras que el método de Renard considera la Longitud y la gradiente de la Pendiente (Renard *et al.*, 1997, citado por VELÁSQUEZ, 2008),

Los valores del factor LS más altos se encuentran en las zonas de mayor longitud y pendiente, ya que mientras mayor sea la longitud, mayor será el recorrido de una gota de lluvia hasta llegar al punto donde se concentra el flujo junto al suelo desprendido; lo mismo sucede con la pendiente ya que, la pérdida de suelo se incrementa más rápidamente con pendientes muy escarpadas en comparación con el incremento en longitud de la pendiente, coincidiendo con VELÁSQUEZ (2008).

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

5.2. Aproximación de la pérdida del suelo por erosiones potenciales y actuales

La erosión hídrica potencial fueron agrupadas en rangos de acuerdo a las tablas adaptadas de FAO, UNESCO, PNUMA (1980), citado por EDESOS (1997), RAMOS (2001, 2009), VELÁSQUEZ (2008) y RAMÍREZ (2010), una cifra significativamente moderada debido a que no se está teniendo

en cuenta la protección que ejerce la cobertura vegetal ante las fuertes precipitaciones sobre el suelo, sin embargo, nos muestra un panorama futuro catastrófico de la zona de estudio, al no realizar prácticas conservacionistas de suelos y continuar deforestando desmesuradamente los bosques de la subcuenca.

La tasa de erosión potencial de la subcuenca 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).

La pérdida de suelo por erosión hídrica actual, 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).

Los valores de pérdida de suelos por erosión hídrica actual 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). Según estos rangos un 0.2% del área total de la subcuenca Shambillo, equivalente a 31.18 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 89.3% equivalente a 11829.88 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.

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.

Morgan (1997), nos indica que las ventajas de RUSLE 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.

RUSLE 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.

VI. 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 380.88 – 451.84 $Mj*mm/ha*h*año$ y 786.1 - 935.3 $Mj*mm/ha*h*año$ para toda la subcuenca Shambillo, respectivamente.
2. Se determinó el índice de erodabilidad del suelo o factor K, con valores que oscilan entre 0,027– 0,048 $tm*ha*h/ha*Mj*mm$. 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 índice topográfico LS, mediante el método de Renard *et al.* (1997) con valores entre 0.03 – 247.98 para toda la subcuenca.
4. Se determinó el factor de cobertura vegetal o factor C, obteniéndose 19 clases de usos y coberturas principales en la subcuenca según la clasificación: bosque denso con 0.0047, bosque forestal claro con 0.006, bosque forestal muy claro con 0.04, pasto para ganadería bovina con 0.0394, cultivo de plátano con 0.071, Cultivo de

coca con 0.083, cultivo de cacao con 0.15, cultivo de palmito con 0.155, cultivo de palma con 0.2, cultivo de papaya con 0.21, cultivo de piña con 0.25, cultivo de cocona con 0.4175, áreas agrícolas heterogéneas con 0.2356, tejido urbano continuo con 0.0093, Tejido urbano discontinuo con 0.0093, áreas industriales o comerciales con 0.0093, Red vial y terrenos asociados con 0.95, torre alta tensión con 0.95, playas y playones temporales con 0.95.

5. El mapa de uso y cobertura vegetal tiene un alto grado de correlación con la realidad o exactitud temática (coincidencia estimada de 92%).
6. El 71% del área total de la subcuenca ha sufrido un cambio de uso de suelo y que el 22% restante conserva la vegetación propia o nativa de la zona.
7. La erosión hídrica potencial de la subcuenca se considera como significativamente alta, es de 0.3496 ton/ha/año pudiendo incrementarse hasta 2,810.64 ton/ha/año y un valor medio anual 71.46 ton/ha/año, si se perdiera completamente la cobertura vegetal en la subcuenca.
8. Se estimó la pérdida de suelo por erosión hídrica Actual para toda la subcuenca, encontrándose una erosión que oscila entre 0 a 1,132.64 tm/ha/año y un valor medio anual de 26.87 tm/ha/año.

9. El 99.8% del área de la subcuenca Shambillo presenta una erosión baja o moderada y el 0.2 % presenta una erosión no significativa que sobrepasa los límites aceptables, llegando en algunas áreas a ser incluso muy crítica.

10. los valores de R^2 obtenidos para cada uno de los factores de la RUSLE, en relación a EP y EA, el determinante es el factor LS para la EP y el factor C para la EA.

VII. RECOMENDACIONES

1. Emplear la metodología Índice Modificado de Fournier para cuencas que tienen datos pluviométricos.
2. Concientizar a la población involucrada y a los responsables del manejo y gestión de los recursos naturales, para propiciar la conservación de los mismos.
3. 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 silvo pastoril y programas de reforestación que constituyen obras biológicas de restauración.
4. Elaborar una propuesta de medidas de conservación y recuperación para los sectores más sensibles a la erosión hídrica.
5. Controlar la tala indiscriminada y no autorizada en zonas de fragilidad ambiental en pendientes superiores al 5% y en las cabeceras de los principales quebradas.

VIII. ABSTRACT

This paper presents a research methodology for estimating the risk of water erosion in the watershed Shambillo in the District of Padre Abad, applying a GIS and remote sensing; the risk was evaluated through the analysis of six multiplicative factors included in the Universal Soil Loss Equation Amended (USLE /RUSLE). These factors involve the erosive potential of the rain and runoff (R), the susceptibility of the soil to erosion (K) and the effect of the degree (S) and the length of the slope (L), the vegetation (C) and the conservation practices (P). The R factor was determined by two methods: the IMF and the equation Foster, with values of 380.88 - 451.84 $\text{Mj mm/ha}^* \text{h}^* \text{year}$ and 786.1 - 935.3 $\text{Mj mm/ha}^* \text{h}^* \text{year}$, the K-factor was obtained by applying the formula proposed by WISCHMEIER (1978), which considers the parameters: texture, MO, structure and permeability, values provided in the results of the analysis of soil samples, the erodibility varies from 0.027 - 0.048 $\text{tm}^* \text{ha}^* \text{h}^* / \text{MJ}^* \text{ha}^* \text{mm}$, the LS factor was determined by the method of Renard et al. (1997), With values between 0.03 - 247.98 , was also determined the factor C, assigning to each use and land cover its corresponding value, based on the figures that range between 0.0047 - 0.95 , it was assumed a value of the factor

P equal to 1, to be considered that in the agricultural areas of the subbasin Shambillo does not apply any practice soil conservation; It was felt the loss of soils in the subbasin Shambillo, simulating an uncluttered area (without land cover), reaching average annual values of 0.3496 - 2,810.64 tm/ha/year, and an average annual value 71.46 tm/ha/year, if I missed completely the vegetation cover; Finally managed to estimate and validate the current loss of soil by water action of the subbasin Shambillo through predictive methodology of the USLE/RUSLE, obtaining values ranging between 0 to 1,132.64 tm/ha/year , and an average annual loss 26.87 tm/ha/year, 99.8 % of the area of the subbasin Shambillo presents a low or moderate erosion and the 0.2 % presents a non-significant erosion that exceeds acceptable limits, arriving in some areas to be even very critical.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO, G.; RUIZ, M., SCHIETTECATTE, W.; DÍAZ, J.; ALMOZA, Y. 2007. Riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica La Guira, río Cuyaguaje. Universidad Agraria de La Habana. Cuba. 15 p.
- ALVARADO, M.; COLMENERO, A. y VALDERRÁBANO, M. 2008. La erosión hídrica del suelo en un contexto ambiental, en el estado de Tlaxcala, México. Red de revistas científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal, 317- 326 p.
- ANTEZANA, J. 2001. Calibración de los factores de erosión utilizando la ecuación universal de pérdida de suelo revisado "RUSLE" en sistemas de producción agrícola de la cuenca taquiña. Centro de Levantamientos Aeroespaciales y aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos. Taquiña, Bolivia. 77 p.
- AMEZQUITA, E. 1990. El agua y la erodabilidad de los suelos. En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos plantas y aguas para riego. Memorias del Seminario Taller Sociedad colombiana de la Ciencia del Suelo, Santa Fe de Bogotá. 1990.

- 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. Rev. Forest. Ven. Trujillo, Venezuela. 7 p.
- CATIE, 2003. Caracterización y diagnóstico de las subcuencas tributarias del Sistema Hidroeléctrico Birrís. Informe de consultoría presentado a la Junta Administrativa del Servicio Eléctrico de Cartago (JASEC). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 33 p.
- CERDÀ, A. 2001. "La erosión del suelo y sus tasas en España". Ecosistemas 3.
- DESMET, P. y GOVERS, G. 1996. Comparison of Routing Algorithms for Digital Elevation Models and Their Applications for Predicting Ephemeral Gullies. International Journal of GIS. 311-331 p.
- DI RIENZO, J.; CASANOVES, F.; GONZALEZ, L.; TABLADA, .E; DIAZ, M.; ROBLEDO, C. y BALZARINI. M. 2001. Estadística para las Ciencias Agropecuarias. Cuarta Edición Córdoba. Argentina.
- EDESOS, 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. 37 p.
- FAO. 1984. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma, Italy. 86 p.

FAO. 1989. Evaluación de los Estados de Erosión Hídrica de los Suelos y Delimitación de Áreas Críticas por Pérdida del Horizonte A en la cuenca del Río Reventazón. Gobierno de Costa Rica. Informe Técnico No. 1-E. Roma: FAO. 133 p.

FAO/UNESCO. 1990. Guide lines for soil description. Rome, Italy.

FAO. 2005. Erosión y Pérdida de Fertilidad del Suelo. [En línea]. [Citado 28/04/05]. Documentos de la FAO. <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S06.htm>

FIGUEROA, B. (1975). Pérdida de suelo y nutrimentos y su relación con el uso del suelo en la cuenca del río Texcoco. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. 209 p.

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

GÓMEZ, R. 2002. Evaluación de la erosión potencial y producción de sedimentos en tres cuencas de Costa Rica. Trabajo de Graduación para obtener el grado de Licenciado en Ingeniería Civil. UCR. San José, Costa Rica. 191.

GONZÁLEZ, G. 2003. Automatización del Sistema de Evaluación y Diagnóstico Ecológico para el Ordenamiento del Territorio SEDEOT: Índice de erosión hídrica. Tesis profesional. Departamento de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. México. 89 p.

HERNÁNDEZ, G. 2010. Cálculo de la tasa de erosión hídrica y propuesta de obras de conservación de suelo en la línea de tendido eléctrico la

Ventosa, Juile, Oaxaca. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. México. 193 p.

HEIMLICH, R. y BILLS, N.1984. An improved soil erosion classification for conservation policy. J. Soil Water Conserv. 261-266 p.

LAROTA, G.; ESCOBEDO, R.; TORRES, G. 2013. Informe Suelos y Capacidad de Uso Mayor. Proyecto de micro zonificación ecológica y económica para el ordenamiento ambiental de la subcuenca de Shambillo – Distrito y Provincia Padre Abad. Programa de Cambio Climático, Desarrollo Territorial y Ambiente. PROTERRA, IIAP. 82 p.

LLACTAYO, W; SALCEDO, K; VICTORIA, E. 2013. Memoria Técnica de la Cuantificación de Cambios de la Cobertura de Bosque a no Bosque por Deforestación en el Ambito de la Amazonía Peruana Período 2009-2010-2011. Ministerio del Ambiente, Dirección General de Ordemaniento Territorial. Lima - Perú

IDEAM. 1999. Modelo de susceptibilidad de los suelos a la estabilidad. Subdirección de Geomorfología y Suelos. Santa Fe de Bogotá, Colombia.

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

- KIRKBY, M. y MORGAN, P. 1980. Erosión del Suelo. Primera ed. en Español, 1984. Ed. LIMUSA, México, D.F. 375 p.
- LEÓN, J. 2001. Métodos experimentales para el seguimiento y estudio de la erosión hídrica. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. 23 p.
- LIANES, E.; MARCHAMALO, M.; y ROLDÁN M. 2009. Evaluación del factor c de la rusle para el manejo de coberturas vegetales en el control de la erosión en la Cuenca del Río Birrís, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, vol. 33, núm. 2, 217-235 p.
- MARCHAMALO, M. 2007. Cuantificar el potencial de conservación de suelo y agua basado en un análisis territorial de la cuenca. Estudio del caso de la cuenca del río Birrís. Primer Informe. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 174 p.
- MANNAERTS, C. 1999. Factores de erosión. Módulo 11: Degradación de suelos. ITC. Curso de Postgrado en levantamiento de recursos hídricos. Notas de clase y ejercicios. CLAS. Cochabamba, Bolivia.
- MESÉN, L. 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. 28 p.
- MONTES, M., DOMINGUEZ, M., VENTURA, E. 1997. Metodología para la estimación del riesgo de erosión hídrica en cuencas hidrográficas utilizando un SIG. Facultad de Ingeniería-División del Posgrado, Universidad Autónoma de Querétaro, México. 9 p.

- MORA, I. 1987. para definir acciones de manejo en la cuenca del río Pejiballe, vertiente Atlántica, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR., Programa Universidad de Costa Rica / CATIE. 174 p.
- MORGAN, P. 1979. Topics in Applied Geography. Soil Erosion. New York: Longman.
- MORGAN, P. 1986. Soil erosión and conservation. New York. Longman. 298 p.
- MORGAN, P. 1997. Erosión y conservación de suelos. Ediciones Mundi – Prensa Libros S.A. Editorial Aedos. Madrid, España. 306 p.
- MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE PADRE ABAD (MPPA). 2008. Plan de Acondicionamiento Territorial de la Provincia Del Padre Abad. Informe Clima y Zonas de Vida. Aguaytia. 379 p.
- NEARING, M., FOSTER, G., LANE L., Y FINKNER, S. (1989). A process-based soil erosion model for USDA-Water Erosion Prediction Project technology. Transactions, American Society of Agricultural Engineers.
- NÚÑEZ, V. 2006. Clase oral y pública. II erosión hídrica y degradación. 6. Erosión hídrica I. IRNED, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta. Salta, Argentina. Inédito.
- NUNEZ, S. 2001. Manejo y conservación de suelos. Editorial Universidad Estatal a distancia. Primera edición. San José, Costa Rica. 268 p.
- OYARZÚN, C. 1993. Estimación de los procesos de erosión en un ambiente montañoso en la cuenca del río Bío-Bío, IX Región, Chile. Tesis de doctorado. Escuela Graduados de la Universidad de Concepción. 150 p.

- RAMÍREZ, F., HINCAPIÉ, E., SADEGUIAN, S., PÉREZ, U. 2007. Erosividad de las lluvias en la zona cafetera central y occidental del Departamento de Caldas. Caldas, Colombia. 14 p.
- RAMÍREZ, L. 2010. Estimación de la Pérdida de Suelos por Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Juramento-Salta. Tesina Profesional. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta. Argentina. 104 p.
- RAMOS, 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 p.
- RÍOS, J. (1987). Efecto de la cobertura vegetal en el proceso erosivo. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Posgraduados, Montecillos, México. 544p.
- SABORÍO, J. 2000. Estudio de erosión para la República de Guatemala. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba. Costa Rica
- SABORÍO, J. 2002. Estudio de Riesgo Integral en la Cuenca del Río Savegre: estudio de erosión potencial. Instituto Costarricense de Electricidad. Costa Rica. 41 p.
- VALCÁRCEL, F. 2004 Cuantificación de la Pérdida de Suelos para Evaluar la Susceptibilidad del suelo a la Erosión Cuenca hidrográfica quebrada "El Mochuelo". Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de Magíster en Ciencias Agrarias. Universidad nacional de

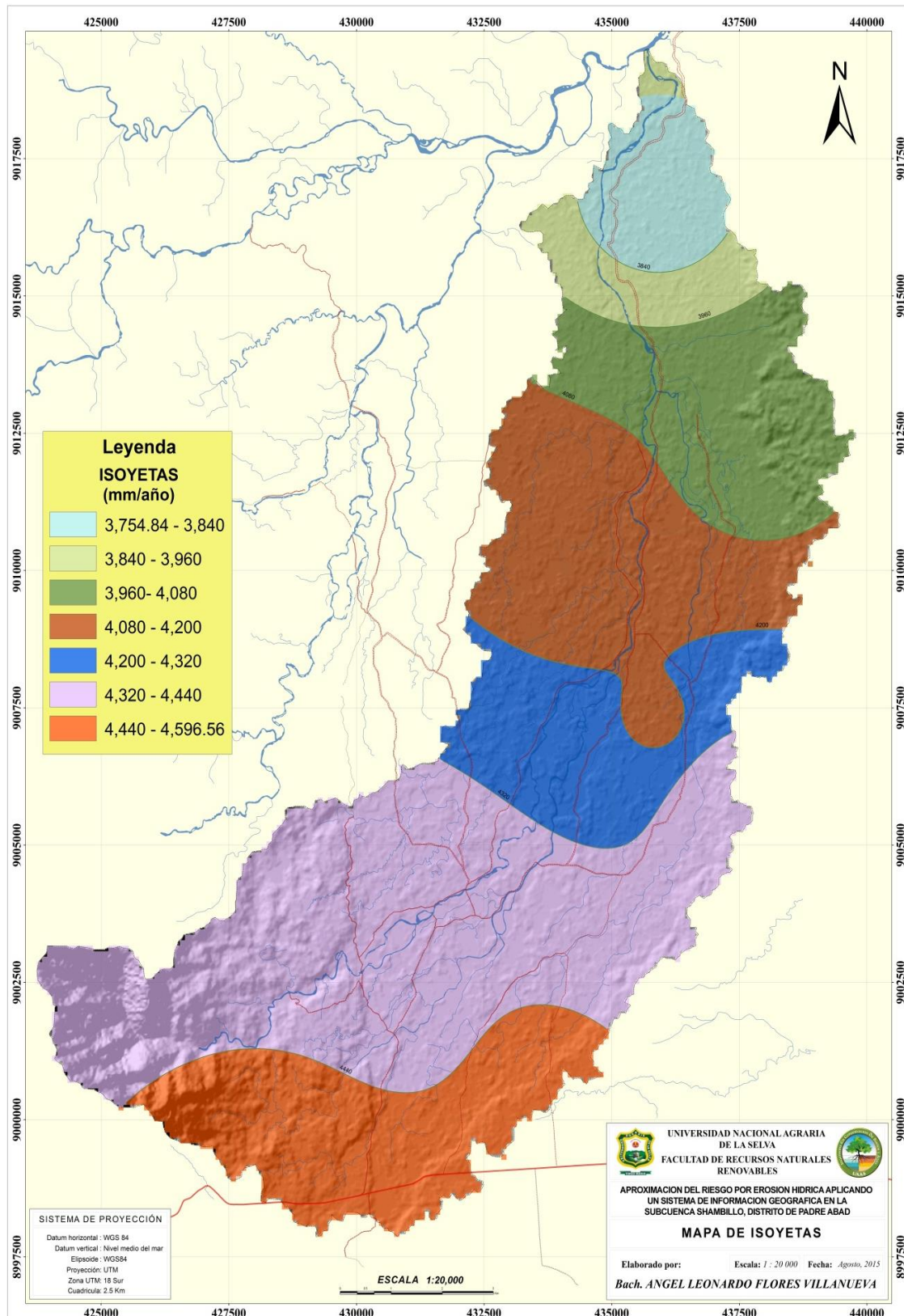
Colombia facultad de agronomía Escuela de posgrados. Área de suelos y aguas. Bogotá.

- 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 p.
- VELÁSQUEZ, S. 2008. Erosión de suelos utilizando la EUPSR (RUSLE). Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza. Cantón de Coronado, Costa Rica. 54 p.
- VENTURA, E. (1988). Dinámica de la erosión hídrica bajo diferentes niveles de productividad en maíz y cebada. Tesis de Licenciatura. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 121p.
- WISCHMEIER, W. Y SMITH D. 1978. Predicting rainfall erosion losses, A. guide to conservation planning. USDA Handbook N° 537. 58 p.

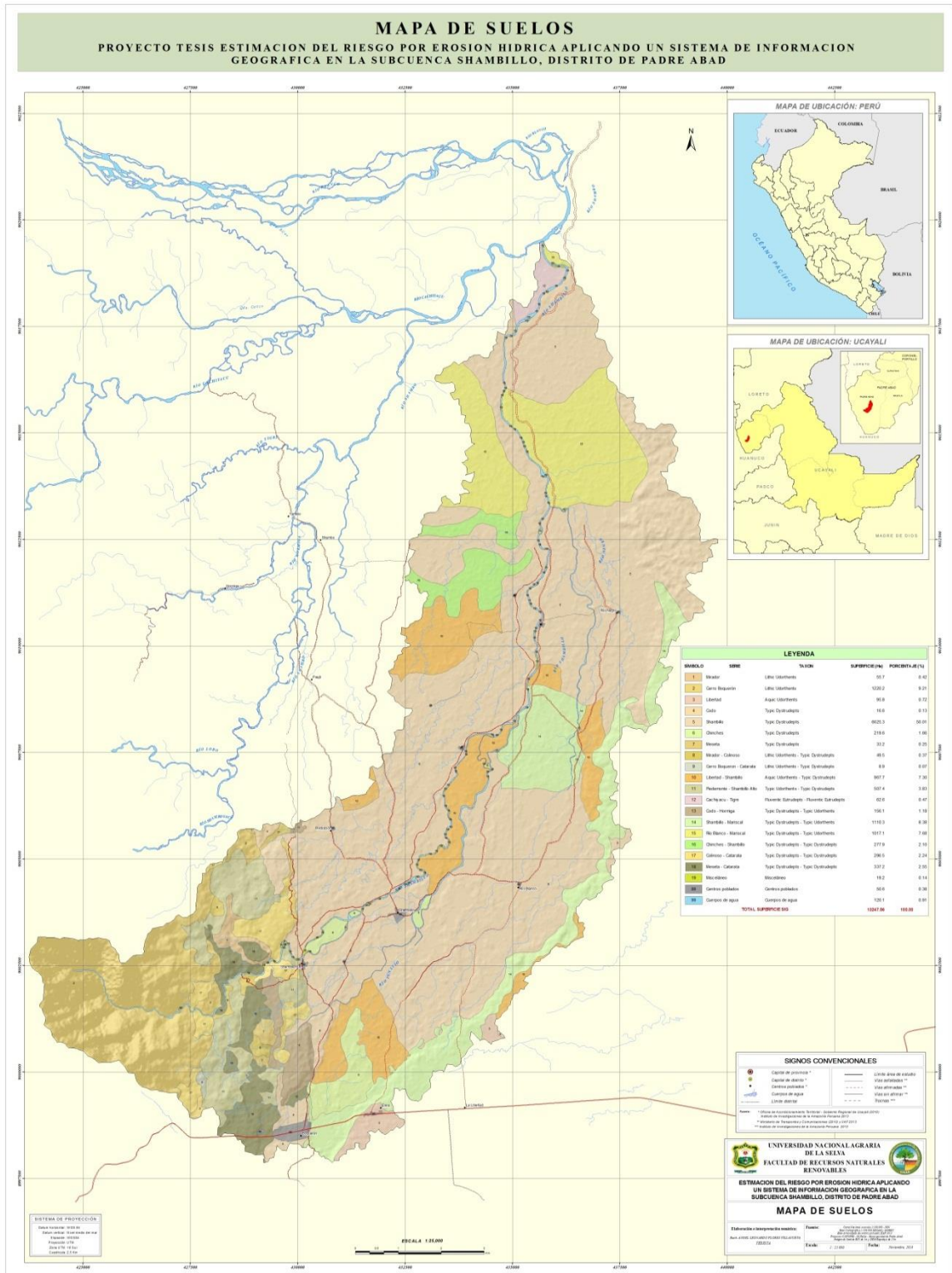
IX. ANEXO

ANEXO 1: Mapas temáticos de área de estudio

1a. Mapa de Isoyetas de la subcuenca Shambillo



1b. Mapa de suelos de la subcuenca Shambillo



ANEXO 2: Calculo del factor R o erosividad

2a. Precipitación mensual y anual (mm) para el período 2001 – 2014

ESTACION AGUAYTIA

Año	Ene	Feb	Mar	Abril	Mayo	Jun	Jul	Agost	Set	Oct	Nove	Dic	Promedio Anual	P.Total Anual
2001	579.3	531.3	488.5	356.4	280.0	236.0	173.8	106.3	154.2	321.2	466.3	602.4	358.0	4295.7
2002	567.0	541.1	487.2	368.5	287.6	235.4	173.1	111.4	169.7	328.9	501.1	589.2	363.4	4360.2
2003	559.2	527.2	466.3	325.4	228.9	247.0	155.8	110.4	168.2	318.5	455.2	603.4	347.1	4165.5
2004	518.2	552.3	462.7	351.2	269.7	202.1	162.1	125.0	155.0	327.1	445.6	575.1	345.5	4146.1
2005	552.9	544.1	474.3	341.5	279.4	221.4	142.2	95.6	165.4	333.4	461.3	576.2	349.0	4187.7
2006	533.1	523.3	446.8	346.8	285.4	196.1	176.8	113.5	145.7	312.6	479.7	587.3	345.6	4147.1
2007	568.4	538.4	474.5	313.5	246.1	210.3	145.7	98.5	156.9	318.4	506.4	598.6	348.0	4175.7
2008	543.9	523.9	453.1	321.4	267.5	217.9	149.1	117.8	149.4	313.7	448.8	557.1	338.6	4063.6
2009	565.0	535.1	475.5	359.7	246.1	235.4	169.3	104.2	146.3	304.9	457.2	548.9	345.6	4147.6
2010	517.3	507.3	438.7	321.8	236.3	232.9	151.3	118.7	155.5	312.7	503.1	603.4	341.6	4099.0
2011	574.1	544.1	495.6	308.1	298.4	209.1	166.3	119.3	137.5	321.4	468.9	555.8	349.9	4198.6
2012	526.4	516.7	469.3	333.6	276.4	218.3	157.1	112.3	158.4	303.1	456.1	565.3	341.1	4093.0
2013	585.1	545.1	441.2	305.4	276.8	225.4	142.6	98.7	163.1	311.2	479.8	597.4	347.7	4171.8
2014	525.5	505.5	478.3	359.1	255.2	206.7	166.4	99.9	167.1	315.1	477.1	613.1	347.4	4169.0
Promedio Mensual	551.1	531.1	468.0	336.6	266.7	221.0	159.4	109.4	156.6	317.3	471.9	583.8	Promedio Anual	4172.9

Fuente: elaboración propia a partir de datos registrados por la Agencia Agraria de Padre Abad – AAPA

2b. Precipitación mensual y anual (mm) para el período 2006 – 2014

ESTACION BOQUERON

Año	Ene	Feb	Mar	Abril	Mayo	Jun	Jul	Agost	Set	Oct	Nov	Dic	Promedio anual	P.Total Anual
2006	548.7	659.2	477.2	365.2	315.1	254.4	243.1	98.7	165.2	387.4	426.8	625.4	380.5	4566.4
2007	586.3	592.4	495.6	382.4	296.4	249.6	225.9	111.2	172.3	391.3	414.5	613.5	377.6	4531.4
2008	567.0	655.3	471.2	366.4	307.5	265.3	228.7	112.3	156.3	413.2	456.2	595.3	382.9	4594.7
2009	572.1	596.8	497.8	369.1	315.1	229.3	219.4	97.6	165.8	351.3	423.2	625.4	371.9	4463.0
2010	595.1	621.4	509.1	389.3	308.5	254.3	248.6	118.3	158.9	405.1	417.8	598.4	385.4	4624.8
2011	542.1	578.1	502.4	358.6	283.6	236.0	195.1	128.0	166.8	410.2	423.5	609.1	369.5	4433.5
2012	534.7	682.0	499.0	375.7	298.5	245.6	241.5	118.5	144.3	379.4	439.7	625.1	382.0	4584.0
2013	522.1	631.2	511.3	398.0	325.7	225.4	238.1	95.6	175.3	395.8	421.6	610.4	379.2	4550.5
2014	554.4	663.4	493.9	378.4	294.2	235.7	239.8	99.4	155.6	381.2	431.5	623.1	379.216667	4550.6
Promedio Mensual	558.1	631.1	495.3	375.9	305.0	244.0	231.1	108.8	162.3	390.6	428.3	614.0	Promedio Anual	4544.3

Fuente: elaboración propia a partir de datos registrados por la Agencia Agraria de Padre Abad – AAPA

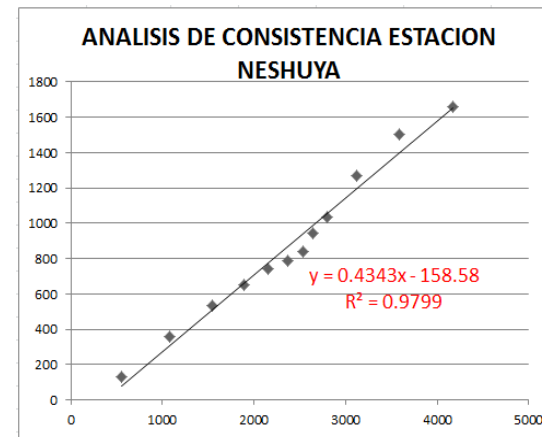
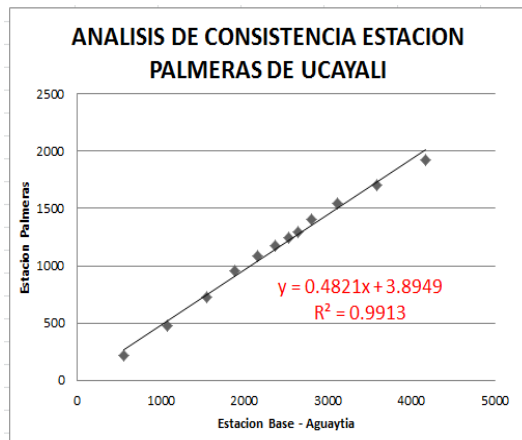
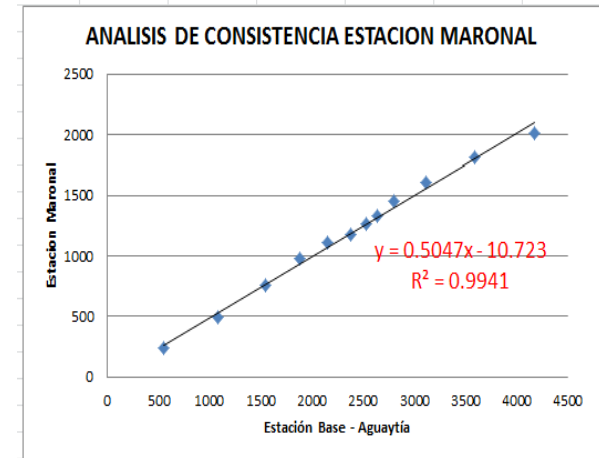
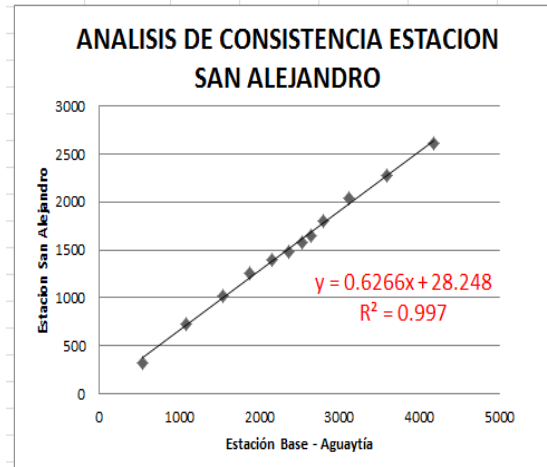
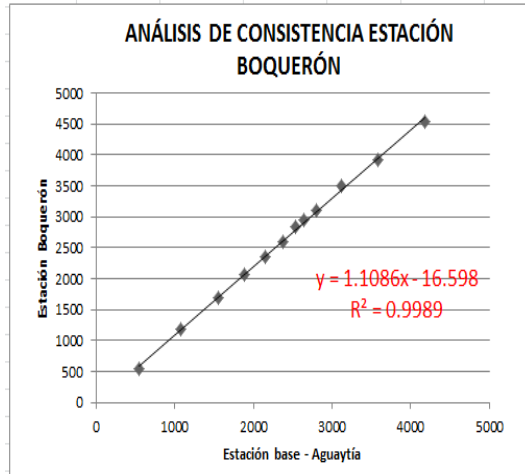
2c. Estaciones ubicadas en la provincia de Padre Abad

Estaciones	Periodo	Ene	Feb	Mar	Abril	Mayo	Jun	Jul	Agost	Set	Oct	Nove	Dic	Promedio Anual	P.Total Anual
San Alejandro	2002-2011	326.7	399.3	295.1	236.1	133.7	89.3	103.0	69.0	151.0	235.6	237.7	337.1	217.8	2613.6
Maronal	2002-2011	235.7	263.0	259.9	221.3	134.5	66.0	79.8	67.0	120.9	160.1	203.2	197.4	167.4	2008.9
Palmeras de Ucayali	2002-2011	220.7	260.6	241.7	231.3	130.6	95.1	66.1	48.7	107.6	143.7	160.9	216.9	160.3	1923.8
Neshuya	1960-1964	133.5	222.3	180.5	113.5	89.7	46.4	52.3	106.1	91.5	233.8	237.0	153.0	138.3	1659.8
Aguaytia	2001-2014	551.1	531.1	468.0	336.6	266.7	221.0	159.4	109.4	156.6	317.3	471.9	583.8	347.7	4172.9
Boquerón	2006-2014	558.1	631.1	495.3	375.9	305.0	244.0	231.1	108.8	162.3	390.6	428.3	614.0	378.7	4544.3

Fuente: elaboración propia a partir de datos registrados por la Meso ZEE- GOREU 2015

2d. Análisis de consistencia de las estaciones Aguaytía, San Alejandro, Maronal, Palmeras de Ucayali, Boquerón, Neshuya.

MES	Est. BASE	PP Acumulada	Est. Boqueron	PP Acumulada	Est. San Alejandro	PP Acumulada	Est. Maronal	PP Acumulada	Est. Palmeras	PP Acumulada	Est. Neshuya	PP Acumulada
	(Pp mm)	Est. Base	(Pp mm)	Est. Boqueron	(Pp mm)	Est. San Alejandro	(Pp mm)	Est. Maronal	(Pp mm)	Est. Palmeras	(Pp mm)	Est. Neshuya
Enero	551.1	551.1	558.1	558.1	326.69	326.69	235.7	235.7	220.67	220.67	133.5	133.5
Febrero	531.1	1082.2	631.1	1189.1	399.33	726.02	262.98	498.68	260.62	481.29	222.28	355.78
Marzo	468	1550.2	495.3	1684.4	295.05	1021.07	259.93	758.61	241.67	722.96	180.5	536.28
Abril	336.6	1886.8	375.9	2060.3	236.09	1257.16	221.27	979.88	231.3	954.26	113.48	649.76
Mayo	266.7	2153.5	305.0	2365.3	133.69	1390.85	134.54	1114.42	130.56	1084.82	89.72	739.48
Junio	221	2374.5	244.0	2609.2	89.33	1480.18	65.98	1180.4	95.11	1179.93	46.44	785.92
Julio	159.4	2533.9	231.1	2840.4	102.98	1583.16	79.77	1260.17	66.08	1246.01	52.32	838.24
Agosto	109.4	2643.3	108.8	2949.2	69.02	1652.18	67.04	1327.21	48.74	1294.75	106.08	944.32
Septiembre	156.6	2799.9	162.3	3111.5	150.95	1803.13	120.94	1448.15	107.55	1402.3	91.54	1035.86
Octubre	317.3	3117.2	390.6	3502.0	235.62	2038.75	160.11	1608.26	143.7	1546	233.84	1269.7
Noviembre	471.9	3589.1	428.3	3930.3	237.74	2276.49	203.23	1811.49	160.85	1706.85	237.04	1506.74
Diciembre	583.8	4172.9	614.0	4544.3	337.07	2613.56	197.39	2008.88	216.9	1923.75	153.02	1659.76

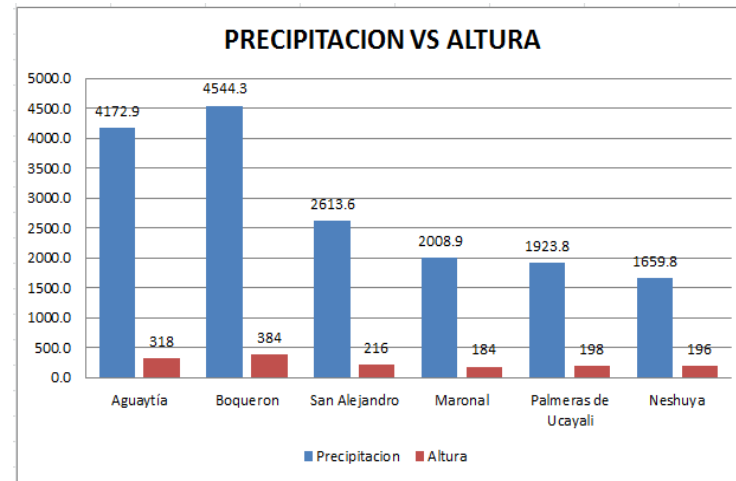
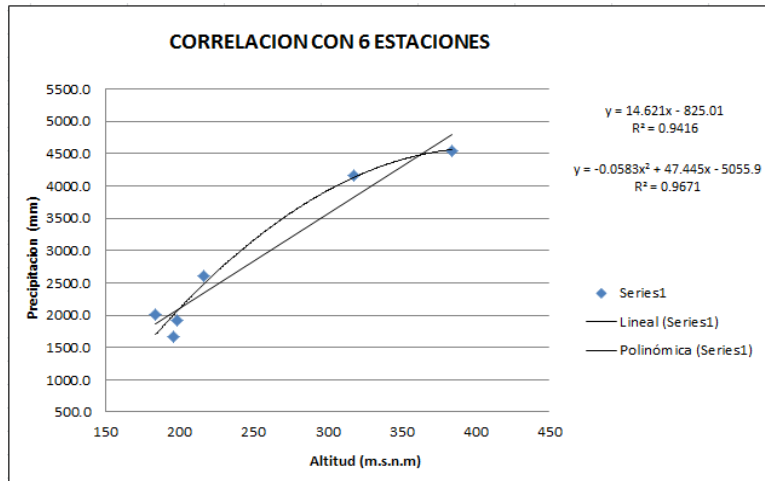


Fuente: elaboración propia a partir de datos registrados por la Agencia Agraria de Padre Abad – AAPA

2e. Análisis de correlación entre Precipitación Vs Altura

Con 06 Estaciones

ESTACIÓN	Coordenadas UTM		Prec. Total (mm/año)	Z (m)
	X	Y		
Aguaytía	444344.0	9000428.0	4172.9	318
Boqueron	429957.0	8998479.0	4544.3	384
San Alejandro	476202.9	9023445.1	2613.6	216
Maronal	490475.7	9063468.0	2008.9	184
Palmeras de Ucayali	485671.0	9078770.0	1923.8	198
Neshuya	503362.6	9044581.5	1659.8	196

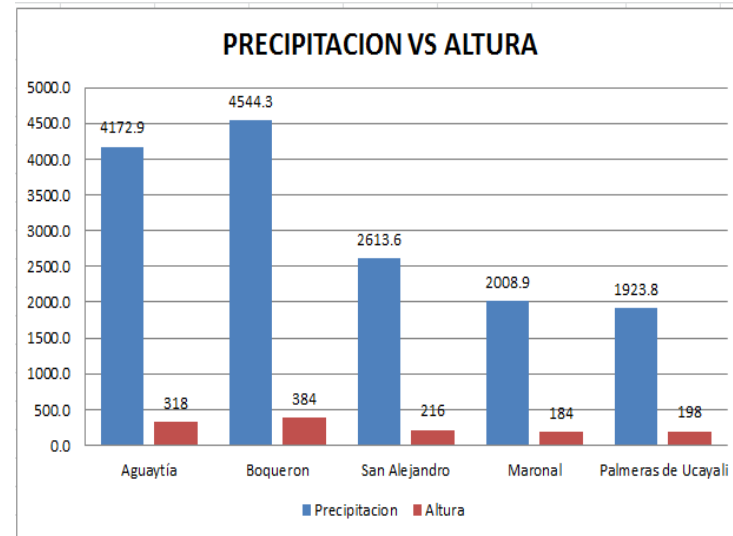
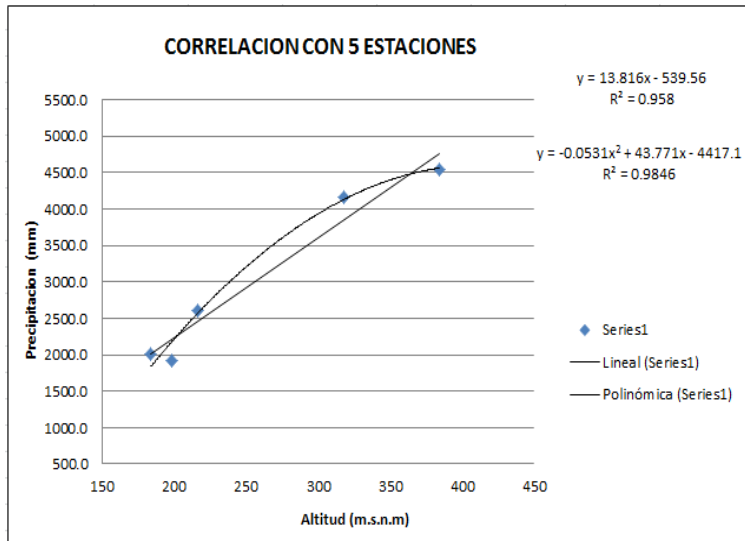


Coefficiente de Pearson (r= 0.970)

2f. Análisis de correlación entre Precipitación Vs Altura

Con 05 Estaciones

ESTACIÓN	Coordenadas UTM		Prec. Total (mm/año)	Z (m)
	X	Y		
Aguaytía	444344.0	9000428.0	4172.9	318
Boqueron	429957.0	8998479.0	4544.3	384
San Alejandro	476202.9	9023445.1	2613.6	216
Maronal	490475.7	9063468.0	2008.9	184
Palmeras de Ucayali	485671.0	9078770.0	1923.8	198



Coefficiente de Pearson (r= 0.979)

2g. Datos para la elaboración del mapa de Isoyetas

Ec. Correlación Lineal

Ec. Correlación Polinomial

$$y = 13.816x - 539.56$$

$$R^2 = 0.958$$

$$y = -0.0531x^2 + 43.771x - 4417.1$$

$$R^2 = 0.9846$$

ESTACIÓN	Coordenadas UTM		Precipitación (mm/año)	Z (m)
	X	Y		
Aguaytía	444344.0	9000428.0	4172.9	318
Boqueron	429957.0	8998479.0	4544.3	384
San Alejandro	476202.9	9023445.1	2613.6	216
Maronal	490475.7	9063468.0	2008.9	184
Palmeras de Ucayali	485671.0	9078770.0	1923.8	198

Ecuación Lineal

EsG01	431134.1	9001573.3	4224.56	344.8
EsG02	430710.9	9003796.3	4282.22	349.0
EsG03	437209.2	9005948.6	4366.04	355.1
EsG04	433057.2	8999975.5	4807.23	387.0
EsG05	431109.9	8998337.7	5001.75	401.1
EsG06	435931.7	9016769.6	3408.34	285.7
EsG07	437807.3	9012033.2	3695.22	306.5
EsG08	434482.1	9010580.6	3812.48	315.0
EsG09	435928.7	9007241.2	3918.31	322.7
EsG10	431134.1	9001573.3	4224.56	344.8
EsG11	430710.9	9003796.3	4282.22	349.0
EsG12	437209.2	9005948.6	4366.04	355.1
EsG13	433057.2	8999975.5	4807.23	387.0
EsG14	431109.9	8998337.7	5001.75	401.1

Ecuación Polinomial

EsG01	431134.1	9001573.3	4362.4	344.8
EsG02	430710.9	9003796.3	4391.3	349.0
EsG03	437209.2	9005948.6	4430.1	355.1
EsG04	433057.2	8999975.5	4569.5	387.0
EsG05	431109.9	8998337.7	4596.6	401.1
EsG06	435931.7	9016769.6	3754.7	285.7
EsG07	437807.3	9012033.2	4010.5	306.5
EsG08	434482.1	9010580.6	4101.9	315.0
EsG09	435928.7	9007241.2	4177.8	322.7
EsG10	431134.1	9001573.3	4362.4	344.8
EsG11	430710.9	9003796.3	4391.3	349.0
EsG12	437209.2	9005948.6	4430.1	355.1
EsG13	433057.2	8999975.5	4569.5	387.0
EsG14	431109.9	8998337.7	4596.6	401.1

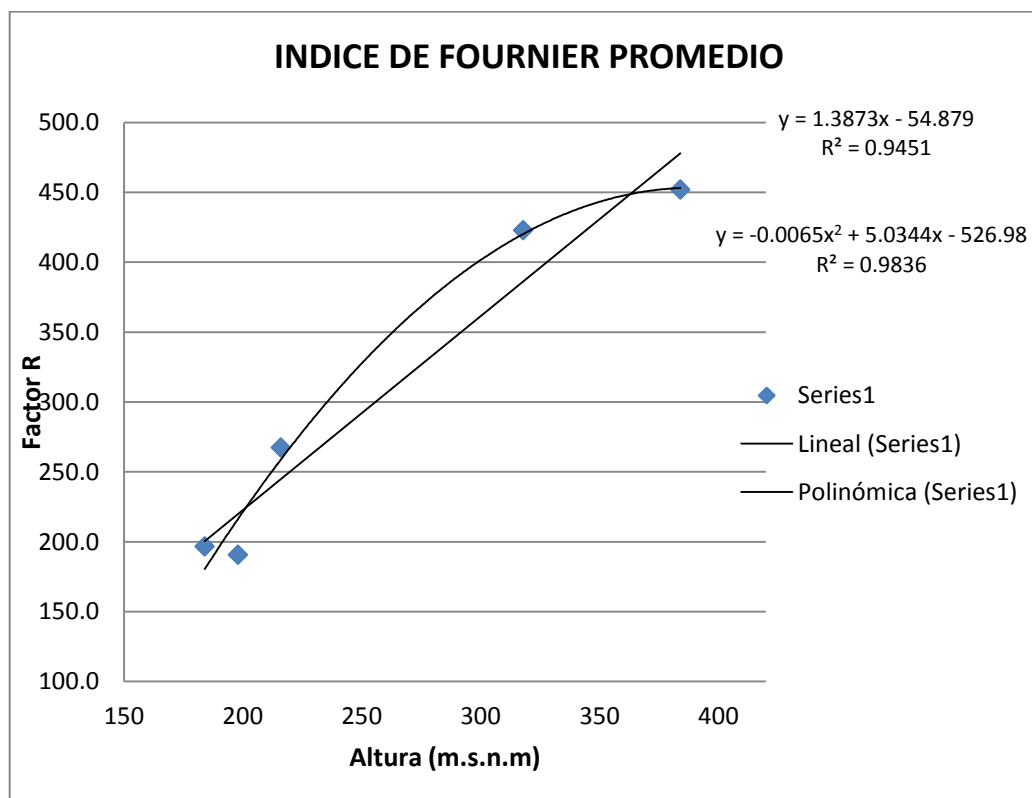
Fuente: Elaboración propia a partir de datos registrados por la Agencia Agraria de Padre Abad y el DEM RAPIDEYES de 15 m de resolución

2h. Aplicación de la Metodología del Índice Modificado de Fournier desarrollado por Arnouldus

Estación	Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Agos	Set	Oct	Nov	Dic	Total	Factor R
Aguaytia	Prec_anual (P)	551.1	531.1	468.0	336.6	266.7	221.0	159.4	109.4	156.6	317.3	471.9	583.8	4172.9	422.8
	$\sum pi^2$	303711.2	282067.2	219024.0	113299.6	71128.9	48841.0	25408.4	11968.4	24523.6	100679.3	222689.6	340822.4	1764163.5	
Boqueron	Prec_anual (P)	558.1	631.1	495.3	375.9	305.0	244.0	231.1	108.8	162.3	390.6	428.3	614.0	4544.3	451.9
	$\sum pi^2$	311426.0	398273.1	245301.9	141301.4	92997.9	59511.8	53422.6	11847.9	26334.1	152531.0	183445.8	376955.1	2053348.5	
San Alejandro	Prec_anual (P)	326.7	399.3	295.1	236.1	133.7	89.3	103.0	69.0	151.0	235.6	237.7	337.1	2613.6	267.3
	$\sum pi^2$	106726.4	159464.4	87054.5	55738.5	17873.0	7979.8	10604.9	4763.8	22785.9	55516.8	56520.3	113616.2	698644.5	
Maronal	Prec_anual (P)	235.7	263.0	259.9	221.3	134.5	66.0	79.8	67.0	120.9	160.1	203.2	197.4	2008.9	196.7
	$\sum pi^2$	55554.5	69158.5	67563.6	48960.4	18101.0	4353.4	6363.3	4494.4	14626.5	25635.2	41302.4	38962.8	395075.9	
Palmeras de Ucayali	Prec_anual (P)	220.7	260.6	241.7	231.3	130.6	95.1	66.1	48.7	107.6	143.7	160.9	216.9	1923.8	190.5
	$\sum pi^2$	48695.2	67922.8	58404.4	53499.7	17045.9	9045.9	4366.6	2375.6	11567.0	20649.7	25872.7	47045.6	366491.1	

2i. Análisis de correlación IMF Vs Altura

ESTACIÓN	ALTURA (msnm)	IMF anual
Aguaytía	318	422.8
Boqueron	384	451.9
San Alejandro	216	267.3
Maronal	184	196.7
Palmeras de Ucayali	198	190.5



Coefficiente de Pearson ($r = 0.972$)

ANEXO 3. Cálculo del factor K o erodabilidad

3a. Determinación del valor de K para las muestras puntuales mediante la metodología del nomograma Wischmeier y Smith

Muestra	Clase Textural	% Arena	% Limo	% Arcilla		Estructura	% m.o.		Permeabilidad (m/dia)	factor_K
1	franco arcillo arenoso	54.96	18.64	26.4	2	granular fino	3.6	4	0.095 Moderadamente Lenta	0.0452
2	franco arcillo arenoso	51.84	23.76	24.4	2	granular fino	3.8	4	0.095 Moderadamente Lenta	0.0468
3	franco	47.28	28.88	23.84	2	granular fino	2.5	3	0.365 Moderadamente	0.0511
4	franco arcillo arenoso	53.84	10.8	35.36	2	granular fino	2.9	3	0.085 Moderada Lenta	0.0337
5	arcillo arenoso	52.4	9.12	38.48	3	granular medio	3.1	5	0.035 Lenta	0.0403
6	franco arcillo arenoso	59.52	14.64	25.84	2	granular fino	3.5	4	0.095 Moderadamente Lenta	0.0464
7	franco arcillo arenoso	53.68	16.08	30.24	2	granular fino	3.3	4	0.095 Moderadamente Lenta	0.0416
8	franco arcillo arenoso	57.68	14.64	27.68	2	granular fino	2.1	4	0.091 Moderadamente Lenta	0.0506
9	franco arcillo arenoso	53.68	19.92	26.4	2	granular fino	3.4	2	0.091 Moderadamente Rápida	0.0396
10	arcillo arenoso	48	15.36	36.64	3	granular medio	3.0	5	0.033 Lenta	0.0427
11	arcillo arenoso	52.4	12.24	35.36	3	granular medio	3.1	5	0.041 Lenta	0.0438
12	franco arcilloso	57.68	15.92	26.4	3	granular medio	2.1	4	0.058 Moderadamente Lenta	0.0568
13	franco	47.28	29.6	23.12	2	granular fino	3.1	3	0.250 Moderada	0.0489
14	franco limoso	46.72	27.44	25.84	1	granular muy fino	3.9	3	0.180 Moderada	0.0368
15	franco arcillo arenoso	53.68	16.08	30.24	2	granular fino	2.0	4	0.075 Moderadamente Lenta	0.0473
16	arcillo arenoso	51.12	12.24	36.64	3	granular medio	1.4	5	0.028 Lenta	0.0486
17	franco arcillo arenoso	63.36	16.08	20.56	2	granular fino	2.0	4	0.080 Moderadamente Lenta	0.0630
18	franco arcillo arenoso	57.52	14.8	27.68	2	granular fino	2.7	4	0.085 Moderadamente Lenta	0.0477
19	franco arcillo arenoso	55.12	14.64	30.24	2	granular fino	3.1	4	0.085 Moderadamente Lenta	0.0425
20	arcillo arenoso	51.84	9.52	38.64	3	granular medio	2.5	5	0.036 Lenta	0.0421

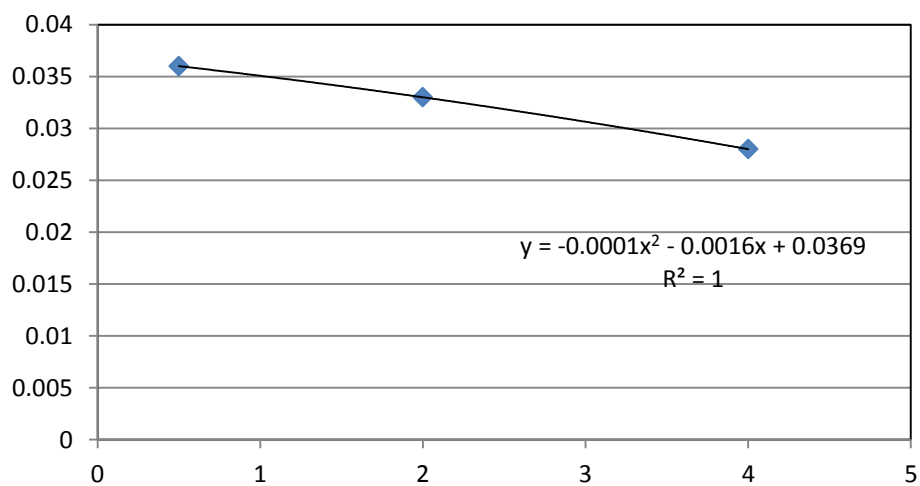
21	franco arcillo arenoso	53.84	15.2	30.96	2	granular fino	2.9	4	0.085	Moderadamente Lenta	0.0424
22	franco arcillo arenoso	53.68	12.24	34.08	2	granular fino	3.2	4	0.085	Moderadamente Lenta	0.0374
23	arcillo arenoso	48	14.64	37.36	3	granular medio	1.4	5	0.027	Lenta	0.0476
24	franco	48	31.44	20.56	1	granular fino	2.7	3	0.410	Moderada	0.0508
25	arcillo arenoso	53.12	13.36	33.52	3	granular medio	2.5	5	0.038	Lenta	0.0483
26	franco	47.44	28.72	23.84	2	granular fino	3.4	3	0.480	Moderada	0.0463
27	arcillo arenoso	48.56	19.36	32.08	3	granular medio	1.2	5	0.030	Lenta	0.0559
28	franco arcillo arenoso	61.36	12.64	26.0	2	granular fino	2.2	4	0.085	Moderadamente Lenta	0.0526
29	franco arcillo arenoso	58.96	14.64	26.4	2	granular fino	2.0	4	0.085	Moderadamente Lenta	0.0535
30	arcillo arenoso	52.4	7.12	40.48	3	granular medio	3.1	5	0.036	Lenta	0.0382
31	arcillo arenoso	56.96	7.12	35.92	3	granular medio	2.9	5	0.036	Lenta	0.0439
32	franco	47.28	28.88	23.84	2	granular fino	3.4	3	0.480	Moderada	0.0463
33	franco arcillo arenoso	51.28	19.04	29.68	2	granular fino	2.5	4	0.058	Moderadamente Lenta	0.0459
34	arcillo arenoso	51.84	10.8	37.36	3	granular medio	2.1	5	0.041	Lenta	0.0449
35	franco arcillo arenoso	50.56	25.6	23.84	2	granular fino	1.7	4	0.085	Moderadamente Lenta	0.0591
36	franco arcillo arenoso	50	15.2	34.8	2	granular fino	2.1	4	0.075	Moderadamente Lenta	0.0406
37	arcillo arenoso	54.4	8.24	37.36	3	granular medio	2.3	5	0.035	Lenta	0.0442
38	arcillo arenoso	53.84	3.12	43.04	3	granular medio	1.2	5	0.028	Lenta	0.0410
39	arcillo arenoso	53.68	10.96	35.36	3	granular medio	2.3	5	0.035	Lenta	0.0467
40	arcillo arenoso	49.12	8.4	42.48	3	granular medio	1.4	5	0.280	Lenta	0.0411
41	arcillo arenoso	51.28	12.64	36.08	3	granular medio	2.5	5	0.041	Lenta	0.0451
42	franco arcillo arenoso	49.84	22.88	27.28	2	granular fino	2.9	4	0.085	Moderadamente Lenta	0.0474
43	franco arcillo arenoso	63.36	14.8	21.84	2	granular fino	3.1	4	0.095	Moderadamente Lenta	0.0541

3b. Ecuaciones de interpolación que fueron utilizados para calcular el factor K según Kirkby y Morga

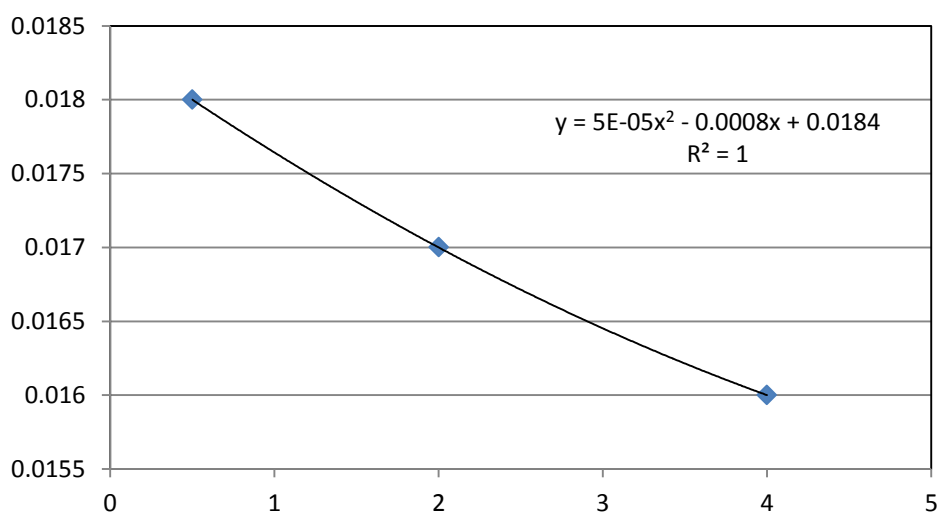
Muestra	Clase Textural	% m.o.	Factor_K
1	franco arcillo arenoso	3.61	0.0298
2	franco arcillo arenoso	3.81	0.0294
3	franco	2.54	0.0432
4	franco arcillo arenoso	2.93	0.0314
5	arcillo arenoso	3.12	0.0164
6	franco arcillo arenoso	3.51	0.03
7	franco arcillo arenoso	3.32	0.0305
8	franco arcillo arenoso	2.15	0.033
9	franco arcillo arenoso	3.42	0.0303
10	arcillo arenoso	3.03	0.0164
11	arcillo arenoso	3.12	0.0164
12	franco arcilloso	2.15	0.0169
13	franco	3.12	0.0411
14	franco limoso	3.9	0.0433
15	franco arcillo arenoso	2.05	0.0332
16	arcillo arenoso	1.37	0.0174
17	franco arcillo arenoso	1.95	0.0334
18	franco arcillo arenoso	2.73	0.0318
19	franco arcillo arenoso	3.12	0.0309
20	arcillo arenoso	2.54	0.0167
21	franco arcillo arenoso	2.93	0.0314
22	franco arcillo arenoso	3.22	0.0307
23	arcillo arenoso	1.37	0.0174
24	franco	2.73	0.0425
25	arcillo arenoso	2.54	0.0167
26	franco	3.42	0.0401
27	arcillo arenoso	1.17	0.0175
28	franco arcillo arenoso	2.24	0.0328
29	franco arcillo arenoso	1.95	0.0334
30	arcillo arenoso	3.12	0.0164
31	arcillo arenoso	2.93	0.0165
32	franco	3.42	0.0401
33	franco arcillo arenoso	2.54	0.0322
34	arcillo arenoso	2.15	0.0169
35	franco arcillo arenoso	1.66	0.034
36	franco arcillo arenoso	2.15	0.033
37	arcillo arenoso	2.34	0.0168

38	arcillo arenoso	1.17	0.0175
39	arcillo arenoso	2.34	0.0168
40	arcillo arenoso	1.37	0.0174
41	arcillo arenoso	2.54	0.0167
42	franco arcillo arenoso	2.93	0.0314
43	franco arcillo arenoso	3.12	0.0309

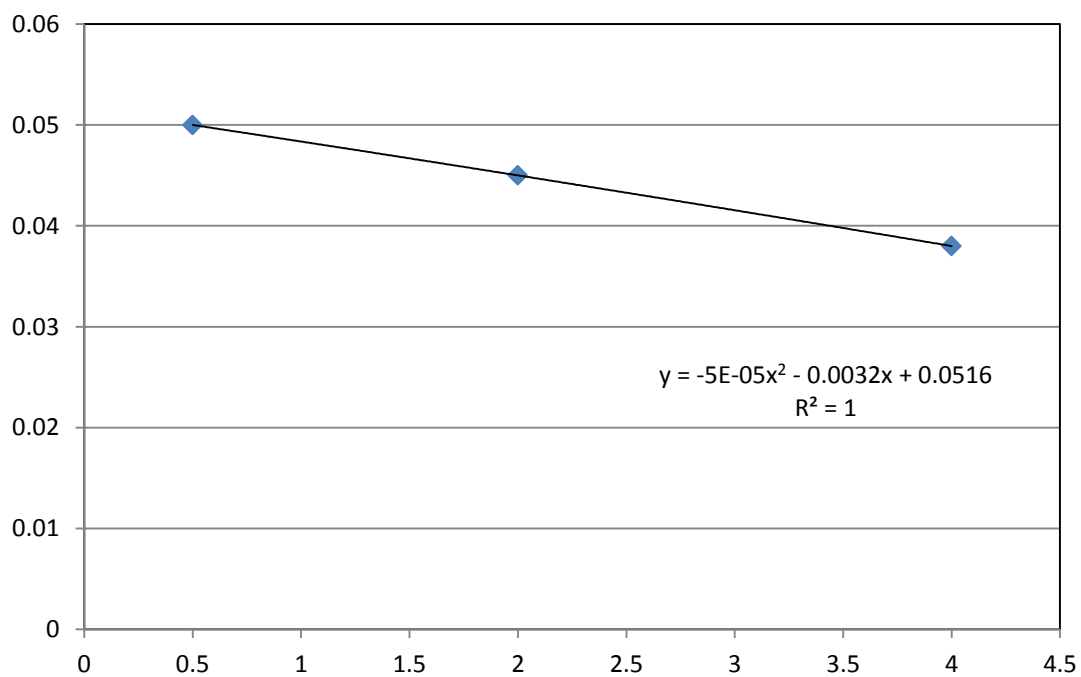
Franco arcillo arenoso



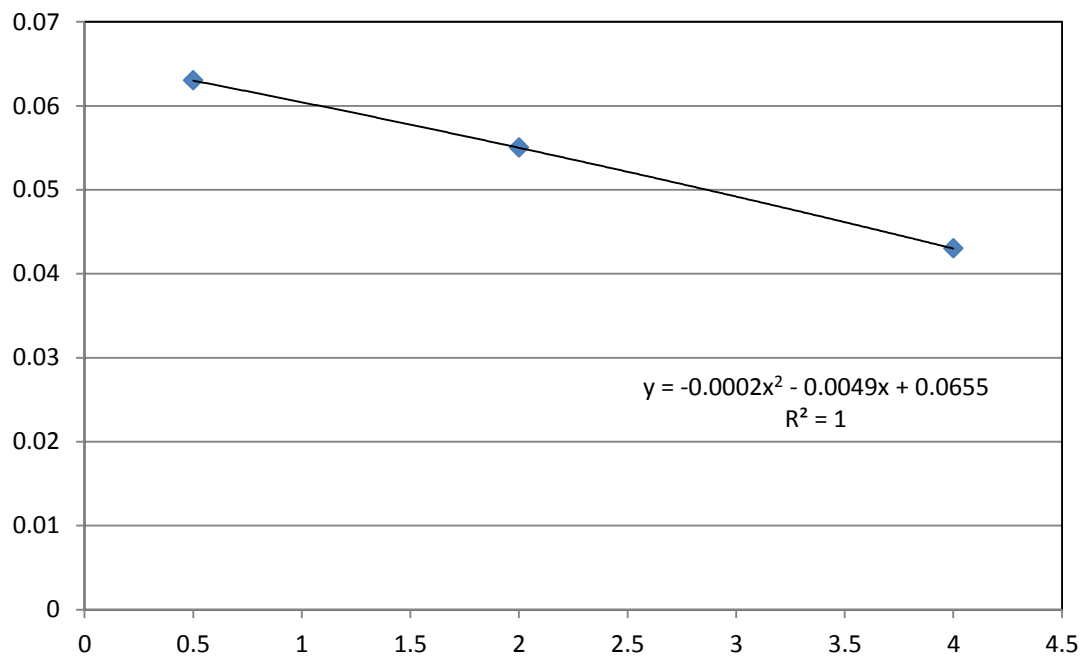
Arcillo arenoso



Franco



Franco limoso



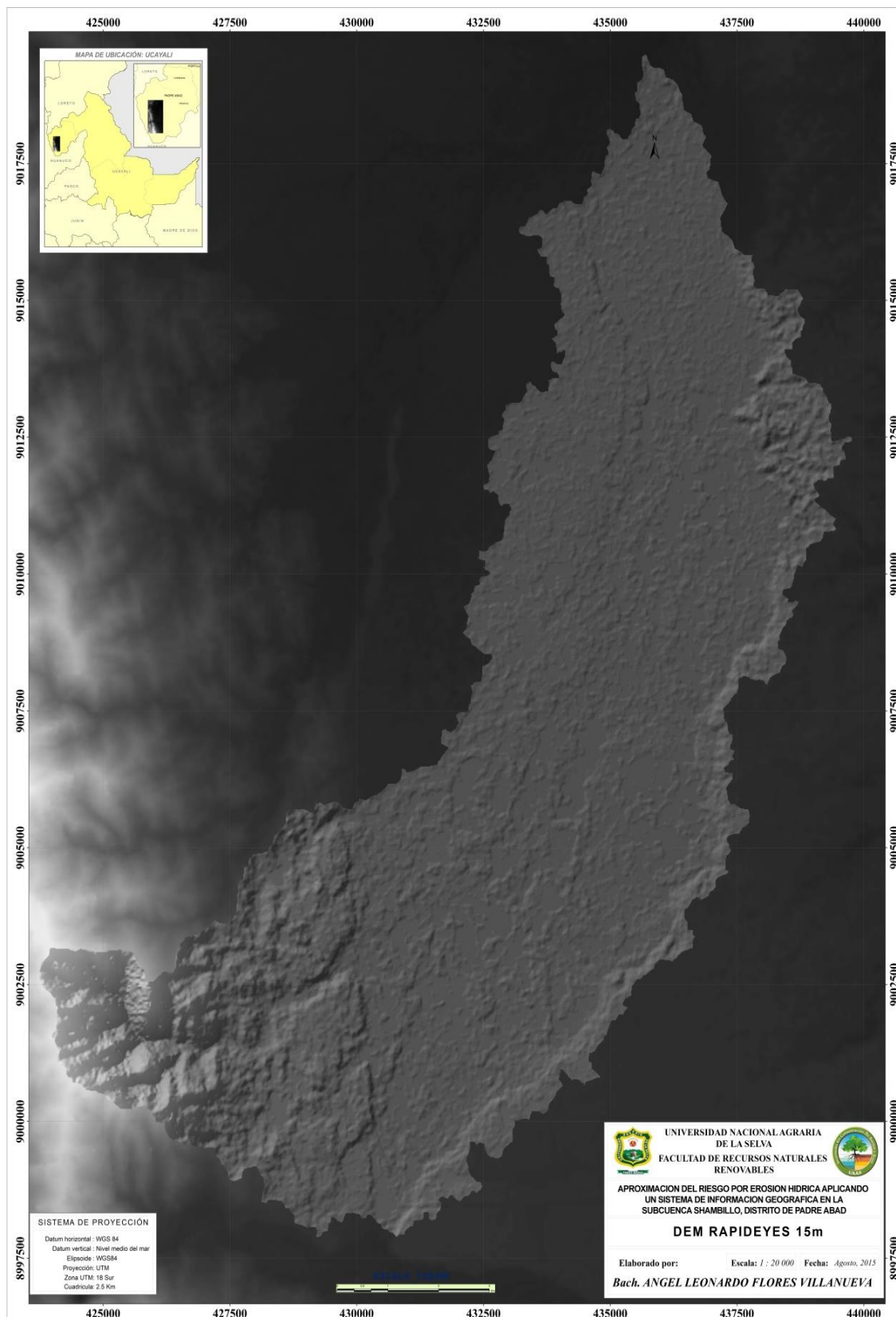
3c. Comparación entre los valores de K en función de la textura

Muestra	Clase Textural	% Arena	% Limo	% Arcilla	Estructura	% mo	Permeab m/día	K_USDA	K_KyM	K_prom	Clas_k_USDA
1	franco arcillo arenoso	54.96	18.64	26.4	2	3.61	4	0.0452	0.0298	0.0375	Fuertemente erodable
2	franco arcillo arenoso	51.84	23.76	24.4	2	3.81	4	0.0468	0.0294	0.0381	Fuertemente erodable
3	franco	47.28	28.88	23.84	2	2.54	3	0.0511	0.0432	0.0471	Fuertemente erodable
4	franco arcillo arenoso	53.84	10.8	35.36	2	2.93	3	0.0337	0.0314	0.0325	Medianamente erodable
5	arcillo arenoso	52.4	9.12	38.48	3	3.12	5	0.0403	0.0164	0.0284	Medianamente erodable
6	franco arcillo arenoso	59.52	14.64	25.84	2	3.51	4	0.0464	0.0300	0.0382	Fuertemente erodable
7	franco arcillo arenoso	53.68	16.08	30.24	2	3.32	4	0.0416	0.0305	0.0361	Fuertemente erodable
8	franco arcillo arenoso	57.68	14.64	27.68	2	2.15	4	0.0506	0.0330	0.0418	Fuertemente erodable
9	franco arcillo arenoso	53.68	19.92	26.4	2	3.42	2	0.0396	0.0303	0.0349	Fuertemente erodable
10	arcillo arenoso	48	15.36	36.64	3	3.03	5	0.0427	0.0164	0.0296	Medianamente erodable
11	arcillo arenoso	52.4	12.24	35.36	3	3.12	5	0.0438	0.0164	0.0301	Medianamente erodable
12	franco arcilloso	57.68	15.92	26.4	3	2.15	4	0.0568	0.0169	0.0368	Fuertemente erodable
13	franco	47.28	29.6	23.12	2	3.12	3	0.0489	0.0411	0.0450	Fuertemente erodable
14	franco limoso	46.72	27.44	25.84	1	3.90	3	0.0368	0.0433	0.0401	Fuertemente erodable
15	franco arcillo arenoso	53.68	16.08	30.24	2	2.05	4	0.0473	0.0332	0.0402	Fuertemente erodable
16	arcillo arenoso	51.12	12.24	36.64	3	1.37	5	0.0486	0.0174	0.0330	Medianamente erodable
17	franco arcillo arenoso	63.36	16.08	20.56	2	1.95	4	0.0630	0.0334	0.0482	Fuertemente erodable
18	franco arcillo arenoso	57.52	14.8	27.68	2	2.73	4	0.0477	0.0318	0.0398	Fuertemente erodable
19	franco arcillo arenoso	55.12	14.64	30.24	2	3.12	4	0.0425	0.0309	0.0367	Fuertemente erodable
20	arcillo arenoso	51.84	9.52	38.64	3	2.54	5	0.0421	0.0167	0.0294	Medianamente erodable

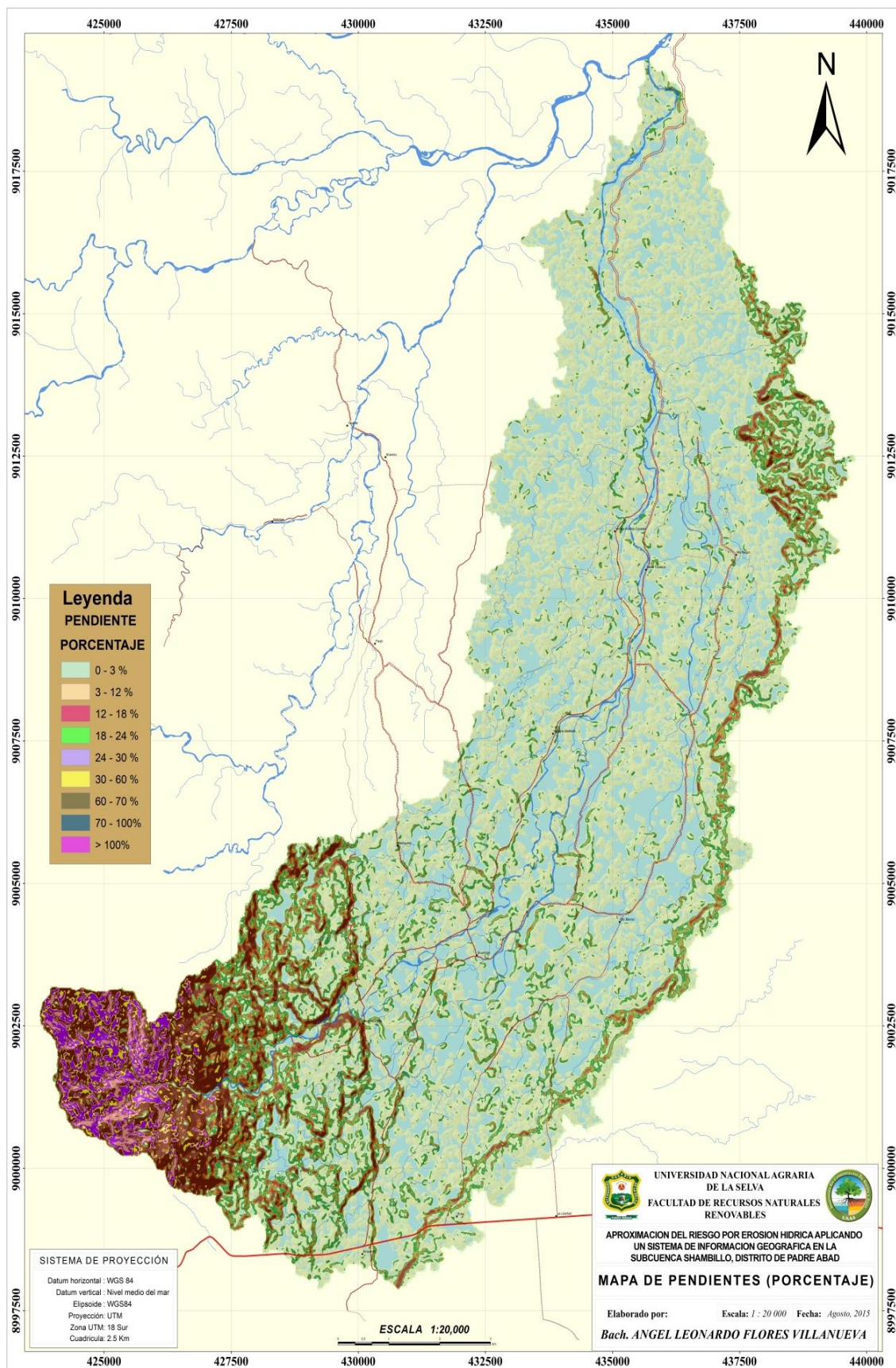
Muestra	Clase Textural	% Arena	% Limo	% Arcilla	Estructura	% mo	Permeab m/dia	K_USDA	K_KyM	K_prom	Clas_k_USDA
21	franco arcillo arenoso	53.84	15.2	30.96	2	2.93	4	0.0424	0.0314	0.0369	Fuertemente erodable
22	franco arcillo arenoso	53.68	12.24	34.08	2	3.22	4	0.0374	0.0307	0.0340	Medianamente erodable
23	arcillo arenoso	48	14.64	37.36	3	1.37	5	0.0476	0.0174	0.0325	Medianamente erodable
24	franco	48	31.44	20.56	1	2.73	3	0.0508	0.0425	0.0466	Fuertemente erodable
25	arcillo arenoso	53.12	13.36	33.52	3	2.54	5	0.0483	0.0167	0.0325	Medianamente erodable
26	franco	47.44	28.72	23.84	2	3.42	3	0.0463	0.0401	0.0432	Fuertemente erodable
27	arcillo arenoso	48.56	19.36	32.08	3	1.17	5	0.0559	0.0175	0.0367	Fuertemente erodable
28	franco arcillo arenoso	61.36	12.64	26	2	2.24	4	0.0526	0.0328	0.0427	Fuertemente erodable
29	franco arcillo arenoso	58.96	14.64	26.4	2	1.95	4	0.0535	0.0334	0.0434	Fuertemente erodable
30	arcillo arenoso	52.4	7.12	40.48	3	3.12	5	0.0382	0.0164	0.0273	Medianamente erodable
31	arcillo arenoso	56.96	7.12	35.92	3	2.93	5	0.0439	0.0165	0.0302	Medianamente erodable
32	franco	47.28	28.88	23.84	2	3.42	3	0.0463	0.0401	0.0432	Fuertemente erodable
33	franco arcillo arenoso	51.28	19.04	29.68	2	2.54	4	0.0459	0.0322	0.0390	Fuertemente erodable
34	arcillo arenoso	51.84	10.8	37.36	3	2.15	5	0.0449	0.0169	0.0309	Medianamente erodable
35	franco arcillo arenoso	50.56	25.6	23.84	2	1.66	4	0.0591	0.0340	0.0465	Fuertemente erodable
36	franco arcillo arenoso	50	15.2	34.8	2	2.15	4	0.0406	0.0330	0.0368	Fuertemente erodable
37	arcillo arenoso	54.4	8.24	37.36	3	2.34	5	0.0442	0.0168	0.0305	Medianamente erodable
38	arcillo arenoso	53.84	3.12	43.04	3	1.17	5	0.0410	0.0175	0.0293	Medianamente erodable
39	arcillo arenoso	53.68	10.96	35.36	3	2.34	5	0.0467	0.0168	0.0318	Medianamente erodable
40	arcillo arenoso	49.12	8.4	42.48	3	1.37	5	0.0411	0.0174	0.0293	Medianamente erodable
41	arcillo arenoso	51.28	12.64	36.08	3	2.54	5	0.0451	0.0167	0.0309	Medianamente erodable
42	franco arcillo arenoso	49.84	22.88	27.28	2	2.93	4	0.0474	0.0314	0.0394	Fuertemente erodable
43	franco arcillo arenoso	63.36	14.8	21.84	2	3.12	4	0.0541	0.0309	0.0425	Fuertemente erodable

ANEXO 4. Cálculo del factor LS o longitud y gradiente de la endiente

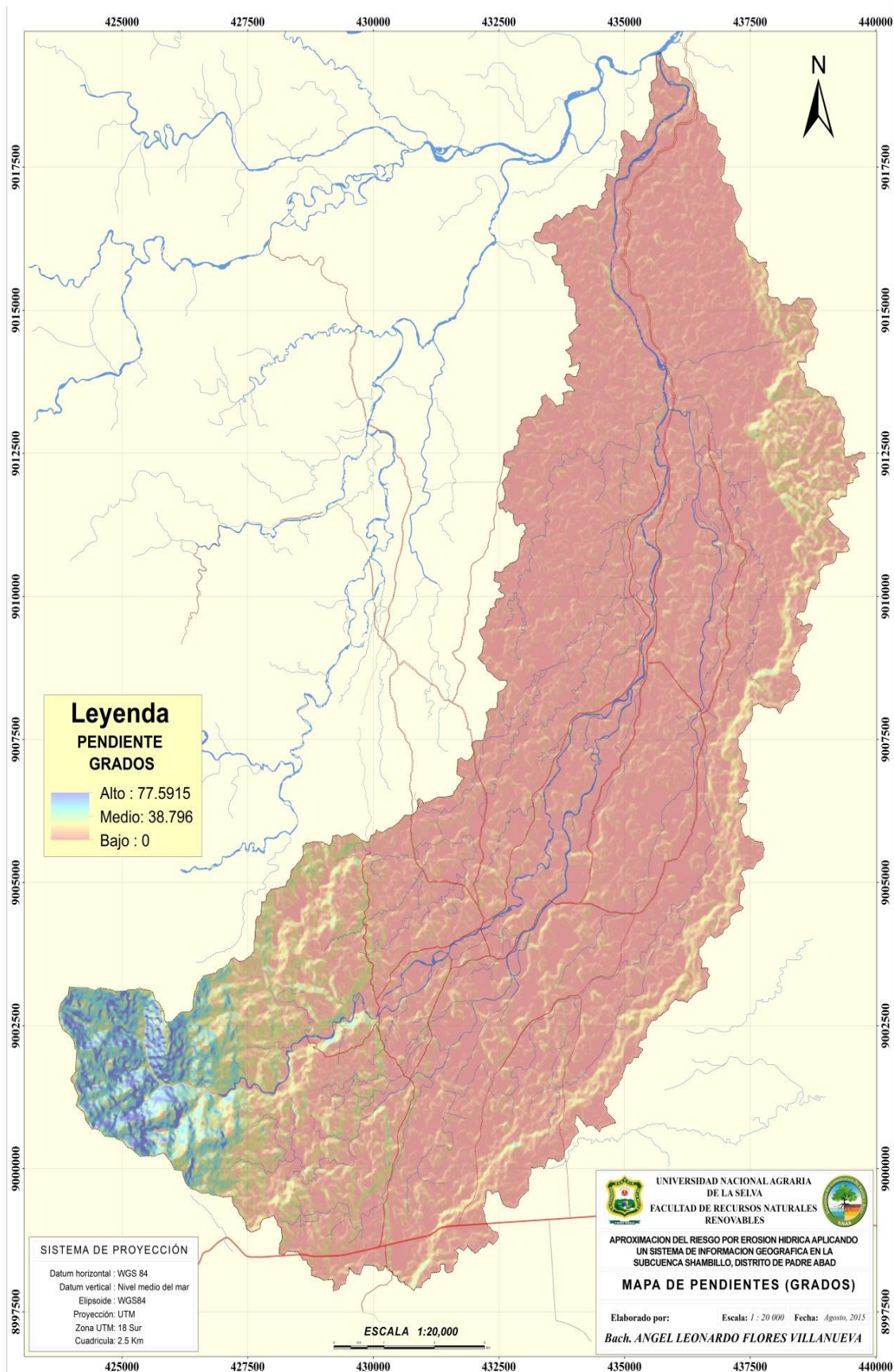
4a. DEM RAPIDEYES 15m de resolución espacial Subcuenca Shambillo



4b. Mapa de Pendientes (%) subcuenca Shambillo



4c. Mapa de Pendientes (grados) subcuenca Shambillo



ANEXO 5. Calculo del factor C o Factor de cobertura vegetal

5a. Validación de la exactitud temática del mapa de uso y cobertura

Código	Usos y cobertura vegetal	Superficie (Ha)	Porcentaje (%)	n_i	Coincidencia
C0010	Áreas agrícolas heterogéneas	5344.4	40.3	38	32
C0020	Áreas industriales o comerciales	1.5	0.0	1	1
C0039	Bosque denso	2936.3	22.2	10	8
C0058	Bosque forestal claro	875.0	6.6	8	7
C0077	Bosque Forestal muy Claro	992.0	7.5	9	8
C0096	Cultivo de cacao	77.0	0.6	12	12
C0115	Cultivo de coca	107.1	0.8	15	15
C0134	Cultivo de cocona	0.9	0.0	1	1
C0153	Cultivo de palma	2145.7	16.2	8	8
C0172	Cultivo de palmito	6.8	0.1	5	5
C0191	Cultivo de papaya	2.2	0.0	2	2
C0210	Cultivo de piña	19.5	0.1	4	4
C0229	Cultivo de plátano	31.6	0.2	5	5
C0248	Pasto para ganadería vacuna	348.0	2.6	1	1
C0267	Playas y playones temporales	19.2	0.1	1	1
C0286	Red vial y terrenos asociados	167.5	1.3	1	1
C0305	Ríos	120.1	0.9	1	1
C0324	Tejido urbano continuo	31.2	0.2	1	1
C0343	Tejido urbano discontinuo	17.9	0.1	1	1
C0362	Torre alta tensión	3.5	0.0	1	1
TOTAL SUPERFICIE SIG		13247.6	100.0	125	115

Parámetros para el tamaño de muestra y el grado de fiabilidad estimada

Cantidades de unidades de Uso Actual	N	13247.55
Nivel deseado de confianza	1- α	95.0000
Porcentaje estimado de la muestra	p	0.0500
Error máximo Aceptable (relativo)	e	0.0500
q	1-p	0.9500
Factor probalístico	Z	2.5750
Tamaño de la muestra	n_0	124.8044
Fiabilidad estimada (%)		92

5c. Factor vegetación (factor C) por tipo de cobertura vegetal y uso

Uso y Cobertura vegetal		Factor C							
		Mora,1987	FAO, 1989	ICE, 1999	Saborío, 2002; Gómez, 2002; CATIE,2003	Marchamalo, 2004; 2007	Lianes, 2009	Morgan, 1977	SAGARPA, 2005
Bosque	Bosque primario	0.0001							
	Bosque natural			0.001-0.003			0.003		0.001 - 0.10
	Selva virgen								
	Bosque denso				0.003-0.010				
	Bosque o matorral denso, cultivos con alto porcentaje de mulch							0.001	
	Bosque claro con sub estrato herbáceo denso				0.003-0.010				
	Bosque claro son sub estrato herbáceo degradado				0.010-0.100				
	Bosque					0.003			
	Bosque secundario	0.007							
	Charral,pasto	0.018							
	Charral					0.012			
Bosque Degradado						0.037			
Cultivos Permanentes	Café, café con macadomia, café con pejibaye	0.3							
	Cultivos perennes		0.079	0.086					

Uso y Cobertura vegetal		Factor C							
		Mora,1987	FAO, 1989	ICE, 1999	Saborío, 2002; Gómez, 2002; CATIE,2003	Marchamalo, 2004; 2007	Lianes, 2009	Morgan, 1977	SAGARPA, 2005
Cultivos Anuales y Transitorios	Sorgo grano rastrojo								0.11 - 0.25
	Trigo							0.10-0.40	0.15 - 0.53
	Trigo rastrojo								0.1 - 0.25
	Soya							0.20-0.50	0.48
	Soya después de maíz con Rastrojo								0.18
	Arroz							0.1-0.2	0.1 - 0.2
	Piña								0.1 - 0.3
	Piña cultivada a nivel con retirada de residuos							0.10-0.40	
	Piña cultivada a nivel con residuos en superficie							0.01	
	Tomate/chile dulce		0.502						
	Caña de azúcar		0.263			0.05		0.13-0.40	
	Cultivos anuales de ciclo corto (1-6 meses)				0.300 - 0.800				
	Cultivos anuales de ciclo largo (6 meses)				0.400 - 0.900				
	Cultivos (cobertura baja)	Cultivo barbecho					0.65		
	Cultivos (cobertura media)	Cultivo cobertura					0.5		
	Cultivos (cobertura alta)	Mixto agricultura pasto					0.4		
		Patata surcos según la pendiente							

Uso y Cobertura vegetal		Factor C							
		Mora,1987	FAO, 1989	ICE, 1999	Saborío, 2002; Gómez, 2002; CATIE,2003	Marchamalo, 2004; 2007	Lianes, 2009	Morgan, 1977	SAGARPA, 2005
Matorral y Pasto	Sabana o pradera sobre pastada							0.1	
	Pradera de herbáceas							0.01 - 0.025	
	Pasto		0.009	0.01 - 0.015		0.013			
	Pasto (natural o mejorado)		0.008						
	Pasto de corta						0.012		
	Vegetación natural baja (altura media 50cm)		0.012						
	Potrero						0.013		
	Potrero carga normal						0.002		
	Potrero degradado						0.002		
	Potrero muy degradado						0.016		
	Alfalfa								0.020 - 0.10
	Trebol								0.025 - 0.10
	Pastizal								0.004 - 0.1
	Pastizal natural completo				0.030 - 0.010				
Pastizal natural pastoreado				0.040 - 0.200					
Pastizal cultivado (manejado)				0.003 - 0.040					
Otros	Suelo desnudo							1	
	Terrenos desprovistos de vegetación				0.900 - 1.000				
	Áreas urbanas				0.003 - 0.010	0.015			
	Lagunas y embalses				0.0001				
	Cenizas					0.9			
Masa de agua					0.0001				

ANEXO 6. PANEL FOTOGRAFICO

6a. Parcelas muestreadas y georreferenciadas en la parte media - alta de la subcuenca



6b. Recolectando muestras de suelos y tomando la información respectiva



6c. Diversos usos y coberturas de la subcuenca Shambillo

