



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

**“DETERMINACIÓN DE ZONAS SUSCEPTIBLES A
EROSIÓN HÍDRICA EN LOS CANTONES DE QUILANGA Y
ESPÍNDOLA DE LA PROVINCIA DE LOJA, UTILIZANDO
SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y
TELEDETECCIÓN”**

TESIS DE GRADO PREVIA A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO FORESTAL

**Leonardo Enrique Palacios Merino
AUTOR**

**Ing. Pablo Alvarez Figueroa Mg. Sc.
DIRECTOR**

**LOJA-ECUADOR
2016**



CERTIFICACIÓN

En calidad de Director de la tesis titulada “**DETERMINACIÓN DE ZONAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN HÍDRICA EN LOS CANTONES DE QUILANGA Y ESPÍNDOLA DE LA PROVINCIA DE LOJA, UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN**”, de autoría del señor egresado de la Carrera de Ingeniería Forestal **Leonardo Enrique Palacios Merino**, certifico que la investigación ha sido revisada y culminada bajo mi dirección dentro del cronograma aprobado, por lo que autorizo su presentación y publicación.

Loja, 18 de Agosto de 2016



Ing. Pablo Alvarez Figueroa Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN

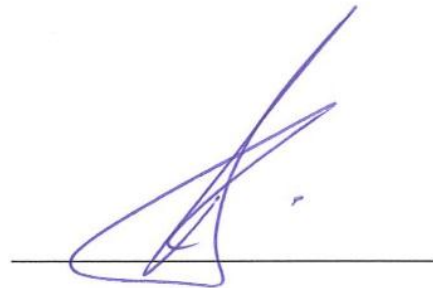
En calidad de Tribunal Calificador de la Tesis titulada “**DETERMINACIÓN DE ZONAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN HÍDRICA EN LOS CANTONES DE QUILANGA Y ESPÍNDOLA DE LA PROVINCIA DE LOJA, UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN**”, de autoría del señor egresado de la Carrera de Ingeniería Forestal **Leonardo Enrique Palacios Merino**, certificamos que se han incorporado al trabajo final de tesis todas las sugerencias efectuadas por sus Miembros.

Por lo tanto autorizamos al Señor Egresado, su publicación y difusión de la tesis.

Loja, 18 de Agosto de 2016

Atentamente,

Ing. Víctor Hugo Eras Guamán, Mg. Sc.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Ing. Byron Palacios Herrera, Mg. Sc.
VOCAL DEL TRIBUNAL



Ing. Oscar Ordóñez Gutiérrez, Mg. Sc.
VOCAL DEL TRIBUNAL



AUTORÍA

Yo, Leonardo Enrique Palacios Merino, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de los posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Autor: Leonardo Enrique Palacios Merino

Firma: 

Cédula: 1104059181

Fecha: 18 de Agosto de 2016

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR
PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL
Y PUBLICACION ELECTRONICA DEL TEXTO COMPLETO**

Yo, **Leonardo Enrique Palacios Merino**, declaro ser autor de la tesis titulada “**DETERMINACIÓN DE ZONAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN HÍDRICA EN LOS CANTONES DE QUILANGA Y ESPÍNDOLA DE LA PROVINCIA DE LOJA, UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN**”, como requisito para optar al grado de: Ingeniero Forestal, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional (RDI).

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en la redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 18 días del mes de agosto de dos mil dieciséis. Firma el autor.

Firma _____



Autor: Leonardo Enrique Palacios Merino

Cedula: 1104059181

Dirección: Loja, El Panecillo, Andrés Bello y Miguel Ángel Suarez,

Correo electrónico: leopalaciosmeirno@hotmail.com

Celular: 0980020270

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Pablo Alvarez Figueroa Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Víctor Hugo Eras Guamán, Mg. Sc.

Ing. Byron Palacios Herrera, Mg. Sc.

Ing. Oscar Ordóñez Gutiérrez, Mg. Sc

AGRADECIMIENTO

Deseo manifestar mis más sinceros agradecimientos a todos quienes hicieron posible la culminación de la presente investigación:

Agradezco a la Universidad Nacional de Loja, al Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, a la Carrera de Ingeniería Forestal y sus docentes, donde adquirí las bases fundamentales así como los conocimientos teórico-técnicos para mi formación profesional, y especialmente al Ing. Pablo Álvarez Figueroa Mg. Sc. director del presente trabajo de investigación, quien me supo guiar durante este proceso de la investigación, a más de brindarme su confianza y amistad.

Además, agradecerles a quienes conforman el Programa de Investigación, Biodiversidad, Bosques y Servicios Ecosistémicos, por haberme atendido durante el desarrollo de la tesis y por haber facilitado el transporte y materiales para la salida de campo y análisis de suelo en el laboratorio.

Finalmente, expreso mis más sinceros agradecimientos a mis familiares, amigos y compañeros de aula, que estuvieron ahí con su apoyo moral, y a todas las personas que hicieron posible la culminación del presente trabajo de investigación.

Leonardo Palacios

DEDICATORIA

Se me hace difícil realizar la dedicatoria, pues son muchas las personas a quienes deseo dedicarles este trabajo de investigación, pues a lo largo de mi vida estudiantil han sido muchos familiares y amigos quienes me han sabido apoyar y alentar para lograr esta meta. Comenzaré agradeciéndole a Dios por brindarme fortaleza, sabiduría y permitirme llegar a cumplir esta meta.

A mis padres Rut y Marco por su amor, comprensión y apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, y haberme formado con buenos hábitos y valores, que me han permitido salir adelante en los momentos más difíciles.

A mi hermano Ernesto, quien contribuye día a día a esforzarme por ser mejor persona, por brindarme su apoyo, y haberme brindado su cariño y comprensión.

A María Saritama, quien con su amor, comprensión y apoyo incondicional, hizo que pudiese lograr cumplir esta meta en mi vida.

A mis tíos José Merino y Mireya Vivanco, quienes a través del trabajo incidieron en mí, para escoger esta linda profesión, y, por ayudarme en momentos difíciles, y brindarme su apoyo para poder continuar con mis estudios, yo siempre les estaré agradecido.

A mis abuelitos Rodolfo Merino (+) y Bernarda Alberca; Rubén Palacios (+) y Elvira Pullaguari, por brindarme su amor, cariño, consejos y cuidados a lo largo de mi vida y ser ejemplos a seguir.

A mis de más tíos y primos, que siempre me han brindado su apoyo incondicional, a mis compañeros de aula y amigos con quienes compartí muy gratos momentos, y a todas aquellas personas que caminaron junto a mí a lo largo de todo este tiempo.

Muchas Gracias, con cariño y eterna gratitud...

Leonardo Palacios

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág.
CERTIFICACIÓN	ii
CERTIFICACIÓN	iii
AUTORÍA	iv
CARTA DE AUTORIZACIÓN	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE CUADROS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
INDICE DE ANEXOS	xv
ACRÓNIMOS	xvi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Erosión del Suelo.....	4
2.2. Procesos y Mecanismos Erosivos.....	4
2.3. Tipos de Erosión Hídrica.....	4
2.3.1. Erosión hídrica.....	4
2.3.2. La erosión natural.....	5
2.3.3. La erosión acelerada.....	5
2.3.4. Erosión por salpicadura.....	5
2.3.5. Erosión laminar.....	5
2.3.6. Erosión por surcos.....	6
2.3.7. Daños directos e indirectos causados por la erosión hídrica.....	6

2.4.	Modelación de la Erosión con Sistemas de Información Geográfica.....	7
2.5.	Modelos de Elevación Digital (MED o DEM).....	7
2.6.	Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos Revisada (RUSLE / EUPSR).	7
2.6.1.	Factor R o índice de erosividad de la lluvia.	9
2.6.1.1.	Factor R Método del Índice Modificado de Fournier.....	9
2.6.2.	Factor K o índice de erodabilidad.....	9
2.6.3.	Factor LS o longitud y gradiente de la pendiente.	10
2.6.4.	Factor C o de cobertura vegetal.	11
2.6.5.	Factor P o de prácticas de conservación de suelos.	11
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.	12
3.1.	Área de Estudio.	12
3.1.1.	Descripción del cantón Quilanga.....	13
3.1.2.	Descripción del cantón Espíndola.	14
3.2.	Elaboración de Bases de Datos Digital con Información Biofísica Requerida para la Estimación de la Erosión Hídrica del Suelo.	15
3.2.1.	Determinación del factor R.....	15
3.2.1.1.	Modelación de los resultados.	18
3.2.2.	Determinación del factor K.	18
3.2.2.1.	Muestreo de suelo.	18
3.2.2.2.	Análisis de laboratorio.....	19
3.2.2.3.	Modelación de los resultados.	21
3.2.3.	Determinación del factor C.....	22
3.2.3.1.	Elaboración de la base de datos.....	22
3.2.3.2.	Modelación de los resultados	22
3.2.4.	Determinación del factor LS.....	22
3.2.4.1.	Modelación de los resultados.	22

3.2.5.	Determinación del factor P.	24
3.2.5.1.	Base de datos del factor P.	24
3.2.5.2.	Modelación de los resultados.	25
3.3.	Estimación de la Erosión Hídrica Actual, Potencial y Zonas Susceptibles a Erosión Hídrica.	25
3.3.1.	Tasa de erosión o erosión hídrica actual.	25
3.3.2.	Erosión hídrica potencial	25
3.3.2.1.	Erosión hídrica potencial con escenarios de degradación de la cobertura vegetal.	25
3.3.2.2.	Erosión hídrica potencial sin considerar los factores C y P.	25
3.3.3.	Zonas susceptibles a erosión hídrica	26
3.3.4.	Metodología para Proponer Alternativas Adecuadas de Manejo y Uso del Suelo en las Diferentes Categorías de Erosión hídrica.	26
4.	RESULTADOS.	27
4.1.	Base de Datos Digital para la Estimación de la Erosión Hídrica del Suelo.	27
4.1.1.	Base de datos del factor R.	27
4.1.2.	Base de datos del factor K.	28
4.1.3.	Base de datos del factor C.	29
4.2.	Tasas de Erosión Hídrica Actual, Potencial y Zonas Susceptibles a Erosión.	30
4.2.1.	Tasas de erosión hídrica actual	30
4.2.1.1.	Factor R	30
4.2.1.2.	Factor K.	31
4.2.1.3.	Factor LS	33
4.2.1.4.	Factor C.	35
4.2.1.5.	Factor P.	37

4.2.1.6.	Tasa de erosión hídrica actual.	38
4.2.1.7.	Erosión hídrica potencial con escenarios de degradación de la cobertura vegetal.....	43
4.2.1.8.	Erosión hídrica potencial sin considerar los factores C y P.	45
4.2.1.9.	Zonas susceptibles a erosión hídrica.	47
4.3.	Alternativas Adecuadas de Manejo y Uso de Suelo para Mitigar los Efectos de la Erosión Hídrica.	49
4.3.1.	Cultivos en curvas de nivel.....	50
4.3.2.	Barreras vivas.	51
4.3.3.	Manejo de cultivos en franjas.	51
4.3.4.	Terrazas de banco.	52
4.4.	Proyección de Reducción de la Erosión Hídrica Utilizando Alternativas de Manejo y Uso del Suelo.....	53
5.	DISCUSIÓN.	57
5.1.	Base de Datos Digital con Información Biofísica Requerida para la Estimación de la Erosión del Suelo.	57
5.2.	Estimación las Tasas de Erosión Hídrica Actual, Potencial y Zonas Susceptibles a Erosión.	57
5.2.1.	Factor R (Factor de Erosividad de la lluvia).....	57
5.2.2.	Factor K (Factor de Erodabilidad del Suelo).....	58
5.2.3.	Factor LS (Factor Topográfico).....	58
5.2.4.	Factor C (Manejo de Cobertura Vegetal).	59
5.2.5.	Factor P (Prácticas de Conservación).....	60
5.2.6.	Erosión Hídrica Actual.	61
5.2.7.	Erosión Potencial.	62
5.2.7.1.	Erosión hídrica potencial con escenarios de degradación de la cobertura vegetal.....	62

5.2.7.2.	Erosión hídrica potencial sin considerar los factores C y P.	62
5.3.	Alternativas Adecuadas de Manejo y Uso del Suelo.....	63
6.	CONCLUSIONES	65
7.	RECOMENDACIONES	66
8.	BIBLIOGRAFÍA	67
9.	ANEXOS	74

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	Pág.
Cuadro 1. Uso y cobertura vegetal del cantón Quilanga referente a los años 2003 y 2012.....	14
Cuadro 2. Cobertura vegetal y uso del suelo del cantón Espíndola 2013.....	15
Cuadro 3. Base de datos de estaciones meteorológicas.....	16
Cuadro 4. Clasificación de rangos típicos de R anual.....	18
Cuadro 5. Susceptibilidad y rangos de la erosión hídrica.....	26
Cuadro 6. Valores del factor R de las estacione usadas para el presente estudio....	27
Cuadro 7. Valores del factor K en el sistema internacional de medida.....	28
Cuadro 8. Resultados de las propiedades físico-químicas de las muestras de suelo	28
Cuadro 9. Valores del factor C para cada tipo de cobertura vegetal.....	29
Cuadro 10. Resultados obtenidos del factor R y clase de erosividad.....	31
Cuadro 11. Clases y rangos de K y distribución en el área de estudio.....	32
Cuadro 12. Valores del factor LS dentro del área de estudio.....	34
Cuadro 13. Coberturas vegetales y valores del factor C.....	35
Cuadro 14. Erosión hídrica actual del área de estudio.....	39
Cuadro 15. Erosión hídrica actual en las parroquias del cantón Quilanga.....	41
Cuadro 16. Erosión hídrica actual en las parroquias del cantón Espíndola.....	42
Cuadro 17. Valores modificados del factor C para obtener la Erosión Hídrica Potencial.....	43
Cuadro 18. Erosión hídrica actual y potencial del área de estudio.....	45
Cuadro 19. Erosión hídrica actual y potencial del área de estudio.....	47
Cuadro 20. Zonas susceptibles a erosión hídrica a nivel de la Sub-cuenca del río Macará.....	48
Cuadro 21. Valores del factor P acorde a cada técnica de conservación del suelo y la pendiente.....	50
Cuadro 22. Anchos para la faja empastada y de cultivo para distintas pendientes....	51
Cuadro 23. Intervalos vertical y horizontal en función del gradiente de pendiente. .	52
Cuadro 24. Valores modificados del factor C para reducir la tasa de erosión hídrica.	53
Cuadro 25. Erosión actual y proyección de la erosión con prácticas de manejo.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Pág.
Figura 1. Ubicación del Área de Estudio, Cantones de Quilanga y Espíndola.....	12
Figura 2. Erosividad o factor R.....	30
Figura 3. Erodabilidad del suelo o factor K.....	32
Figura 4. Inclinação de pendientes y longitud de pendientes o Factor LS.....	34
Figura 5. Cobertura vegetal y valor otorgados para el factor C.....	35
Figura 6. Prácticas de conservación o factor P.....	37
Figura 7. Topografía y pastizales del área de estudio.....	38
Figura 8. Erosión hídrica actual.....	39
Figura 9. Erosión hídrica potencial por incremento del factor C.....	44
Figura 10. Erosión potencial producto de los factores $R*K*LS$	46
Figura 11. Zonas susceptibles a erosión hídrica a nivel de la Sub-cuenca del río Macará.....	48
Figura 12. Cultivos en curvas de nivel.....	50
Figura 13. Terrazas de banco o bancales.....	52
Figura 14. Proyección de la reducción de la erosión hídrica con prácticas de manejo	55

INDICE DE ANEXOS

Contenido	Pág.
Anexo 1. Nomograma para el cálculo del factor K en unidades del SI.....	74
Anexo 2. Valores del Factor C, determinados para varios tipos de coberturas vegetales.....	74
Anexo 3. Matriz de la fase de campo.....	76
Anexo 4. Fase de campo y verificación de la cobertura vegetal.....	77

ACRÓNIMOS

ARS	Servicio de Investigación Agrícola.
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer.
CNDEPS	Centro Nacional de Datos de Escorrentía y Pérdida de Suelos.
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
IGM	Instituto Geográfico Militar.
IMF	Índice modificado de Fournier.
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador.
LIDAR	Light Detection and Ranging.
MED	Modelo de Elevación Digital.
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
RUSLE	Ecuación Universal de Pérdida del Suelo Revisada.
SIG	Sistema de Información Geográfica.
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission.
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura.
USDA	Departamento de agricultura de los Estados Unidos.
USLE	Ecuación Universal de Pérdida del Suelo.

**“DETERMINACIÓN DE ZONAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN
HÍDRICA EN LOS CANTONES DE QUILANGA Y ESPÍNDOLA
DE LA PROVINCIA DE LOJA, UTILIZANDO SISTEMAS DE
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN”**

RESUMEN

La erosión del suelo es un proceso natural, que se ha acelerado como producto de la intervención antrópica. La presente investigación se realizó en los cantones de Quilanga y Espíndola, donde a través de la implementación de la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo Revisada (RUSLE) se pudo identificar zonas susceptibles a erosión hídrica, mediante la utilización de sistemas de información geográfica (SIG) y teledetección, como herramientas para la manipulación de la base de datos generada a través de la recopilación de información secundaria y toma de muestras en campo.

Mediante la manipulación de la base de datos, se generó la información necesaria para obtener los datos de cada uno de los siguientes factores R (índice de erosividad de la lluvia), K (erodabilidad del suelo), LS (longitud y gradiente de la pendiente), C (cobertura vegetal) y P (prácticas de conservación del suelo), para finalmente generar el mapa de erosión hídrica actual del suelo. Con estos resultados se identificó que el 57,80 % (43 488,51 ha) del área total de estudio presentan una tasa de erosión de 0-10 t/ha/año (Baja), debido a la presencia de áreas protegidas que contribuyen a la conservación de la cobertura vegetal; mientras el 28,33 % del territorio (21 314,39 ha) presentan una tasa de erosión de 50 a 200 t/ha/año (Alta) producto de la topografía irregular, el cultivo a favor de la pendiente y la inexistencia de prácticas de conservación del suelo.

El área de estudio se ubica en la parte alta de la sub cuenca del Río Macará, dando como resultado que el 11,28 % (20 519,36 ha) de su área presenta una susceptibilidad alta a ser erosionado, y el 0,32 % (579,62 ha) poseen una susceptibilidad muy alta, mientras que el 28,79 % presenta una susceptibilidad entre moderada y baja. Tomando en cuenta los resultados se propuso diferentes prácticas de manejo del suelo como: cultivo en terrazas, cultivo en curvas de nivel, franjas, entre otras.

ABSTRACT

Soil erosion is a natural process, that has been accelerated as a result of the activities of humankind. This research was conducted in the cantons of Quilanga and Espíndola, where through the implementation of the Universal Loss Equation of the Revised Land (RUSLE) could identify susceptible to water erosion areas, using geographic information systems (GIS) and remote sensing as tools for manipulating the database generated through the collection of secondary data and field sampling.

By manipulating the database, the information needed to get the data from each of the following factors R (index of rainfall erosivity), K (soil erodibility), LS (length and gradient generated slope), C (vegetation) and P (soil conservation practices), to finally generate the map of current soil erosion. This identified that 57,80 % (43 488,51 ha) of the total study area, have an erosion rate of 0-10 t/ha/year (Low), due to the presence of protected areas in the two counties that contribute the conservation of plant cover. While 28,33 % of the territory (21 314,39 ha) have an erosion rate of 50 to 200 t/ha/year (High) product of the irregular topography, cultivation in favor of the slope and the absence of soil conservation practices.

The study area is located in the upper part of the sub Macará river basin, resulting in 11,28 % (20 519.36 ha) of its area it has a high susceptibility to be eroded, and 0,32 % (579.62 ha) have a very high susceptibility, while 28,79% have a susceptibility moderate to low. Taking into account the results different soil management practices as terracing, contour farming, strip including proposed.

1. INTRODUCCIÓN.

El suelo es un recurso natural renovable, pero su recuperación ocurre de forma lenta, debido a que su formación ocurre por la descomposición de la roca madre, en el proceso conocido como meteorización, que se realiza por la acción combinada de varios factores que intervienen en su formación y evolución (Guerra, J. 2009), el suelo se convierte entonces en la capa superficial capaz de sostener la vegetación existente sobre ella (Mahalingam & Vinay, 2015).

En la década de los 90, en el mundo, un 25 % de las tierras en uso para la agricultura estaban seriamente degradadas, el efecto principal de la degradación del suelo es la reducción en la productividad (Chela *et al.*, 2008). La erosión hídrica es la causa de erosión de tierras a nivel mundial, es responsable de la erosión de 440 millones de hectáreas de tierras, de los 747 millones que sufren erosión en Asia; de 227 millones de hectáreas, de los 497 millones que son afectadas por este fenómeno en África; de 123 millones de hectáreas, de 243 millones en América del Sur; de 115 millones de las 219 millones en Europa, 106 en América del Norte y América Central (Santacruz, 2011).

Esta situación no es ajena en nuestro país, la crisis económica y social en las comunidades rurales, va de la mano con el uso intensivo de los recursos naturales, sin embargo, la mala utilización de éstos, está provocando problemas ambientales como: degradación de los suelos, erosión, disminución del potencial productivo de las tierras, disminución de caudales, alteración de ciclos hidrológicos, contaminación, entre otros (Concha, 2009).

Los indicadores estadísticos del grado de erosión de las cuencas hidrográficas en la sierra ecuatoriana señalan que un 39,13 % es crítica, 28,26 % seria, 4,35 % moderada, 26,09 % potencial y 2,17 % normal, dando como consecuencia la degradación de los suelos y alta sedimentación de los reservorios y cauces de agua (Chela *et al.*, 2008). Según PREDESUR (2000), el 42 % de la provincia de Loja presenta señales de una erosión muy severa de origen principalmente antrópico, teniendo como resultado la

formación de surcos y cárcavas profundas, el 55 % del territorio está afectado por una erosión ligera de origen pluvial.

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) tanto de Quilanga (2014), y Espíndola (2013), la topografía que presentan los cantones es bastante irregular, dentro de estos se puede identificarse la presencia de pendientes moderadas aptas para el cultivo, y que a su vez contribuyen para la disminución de la erosión hídrica, sin embargo, existen también pendientes que están entre el 26 % y mayor al 57 %, limitando el accionar de los productores; se puede indicar entonces que la topografía irregular del terreno sumado a las fuertes pendientes, han permitido el avance progresivo de la erosión especialmente de origen hídrico.

Para la evaluación de la erosión hídrica se han generado diversos métodos, sin embargo, la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), ha sido la más utilizada (Flores *et al.*, 2003). Aun así, la USLE ha sufrido modificaciones con el fin de obtener resultados diferentes para los que fue diseñada, dando como consecuencia la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE), que aumenta la exactitud de la predicción en la producción de sedimentos, elimina la necesidad de realizar complejos procesos para calcular la energía cinética e intensidad de las tormentas de forma aislada durante un periodo largo de años (Jiménez, 2014)

Bajo este contexto se desarrolló la presente investigación denominada **“Determinación de zonas susceptibles a erosión hídrica en los cantones de Quilanga y Espíndola de la provincia de Loja, utilizando sistemas de información geográfica y teledetección”**, la misma que buscó generar información importante sobre las zonas susceptibles a erosión hídrica, estimar pérdidas de suelo producto de la erosión, mediante la elaboración de una base de datos, mapas temáticos y complementada con alternativas de manejo para mitigar este fenómeno.

El presente estudio se realizó en los cantones Quilanga y Espíndola de la provincia de Loja; durante el periodo comprendido entre mayo 2015 hasta junio 2016 en el marco del proyecto **“Bases ecológicas para la restauración de la biodiversidad y funcionalidad de ecosistemas degradados en la región sur del Ecuador, ante**

potenciales cambios ambientales globales”; el mismo que se viene ejecutando por el programa de Investigación Biodiversidad, Bosques y Servicios Ecosistémicos de la Dirección de Investigación de la Universidad Nacional de Loja.

Los objetivos planteados en la investigación fueron:

Objetivo General.

Propender a la identificación de zonas susceptibles a erosión hídrica en los cantones de Quilanga y Espíndola de la provincia de Loja, empleando el modelo RUSLE mediante sistemas de información geográfica y teledetección, como una herramienta para la generación de información base en la implementación de estrategias de conservación del recurso suelo.

Objetivos Específicos

- Elaborar una base de datos digital de los cantones Quilanga y Espíndola de la provincia de Loja, con información biofísica requerida para la estimación de la erosión del suelo y su posterior validación en campo.
- Estimar la erosión potencial de los suelos de los cantones Quilanga y Espíndola de la provincia de Loja, en base a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo modificada (RUSLE).
- Proponer alternativas adecuadas de manejo y uso del suelo para mitigar los efectos de erosión hídrica en los Cantones de Quilanga y Espíndola.
- Difundir los resultados obtenidos sobre los niveles de erosión hídrica presente en los cantones de Quilanga y Espíndola, y las medidas para mitigar los efectos de la misma a los actores internos y externos interesados.

2. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1. Erosión del Suelo.

La erosión del suelo es el desprendimiento, arrastre y deposición de las partículas que lo constituyen por acción del agua (erosión hídrica), el viento (erosión eólica) o su remoción en masa, el mismo que es un proceso natural, pero que se acelera por influencia de las actividades del ser humano (Guerra, 2009). Desde el inicio de la actividad agrícola, la erosión del suelo por el agua y el viento han sido un problema constante; las consecuencias de la erosión del suelo se manifiestan tanto en el lugar donde se produce como fuera de él (Hudson, 2006). Los efectos in situ son particularmente importantes en las tierras de uso agrícola, donde, la redistribución, la pérdida de suelo, la degradación de su estructura, el arrastre de materia orgánica, y nutrientes, llevan a la pérdida del perfil cultivable y al descenso de la fertilidad del suelo.(Chávez, 2007).

2.2. Procesos y Mecanismos Erosivos.

La erosión del suelo es un proceso con dos fases consistentes, el desprendimiento de partículas individuales de la masa del suelo, y su transporte por los agentes erosivos como las corrientes de agua y el viento; cuando la energía de estos agentes no es suficiente para transportar las partículas, se produce una tercera fase que es su deposición (Morgan, 1997; García-Fayos, 2004).

2.3. Tipos de Erosión Hídrica.

2.3.1. Erosión hídrica.

La erosión hídrica es un proceso de disgregación y transporte de las partículas del suelo por acción del agua. Se trata de un fenómeno natural y lento, 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 pérdida de suelo se expresa habitualmente en unidades de peso o volumen por unidad de superficie y tiempo (t/ha/año) (Morgan, 1997). Las principales formas de erosión hídrica son: laminar, surcos, cárcavas y salpicadura.

2.3.2. La erosión natural.

Es ocasionada por la acción permanente de los diversos fenómenos del intemperismo natural, y es tan lenta que requiere miles de años para producir cambios importantes en la configuración de la superficie terrestre (Rodríguez *et al.*, 2004). Es un proceso lento e imperceptible que tiende a buscar una estabilidad de la superficie en equilibrio entre el suelo, la vegetación, los animales y el agua, y que aún continúa en muchas regiones jóvenes de la tierra; la erosión geológica contribuye a la formación del relieve, a la meteorización de las rocas y a la formación de los suelos (Osinaga & Villanueva, 2004).

2.3.3. La erosión acelerada.

Es el proceso de desprendimiento y arrastre acelerado de las partículas de suelo por el agua, ocurre cuando el hombre realiza sus actividades de uso del suelo de manera incorrecta, particularmente cuando deja el suelo sin su cobertura vegetal (Rodríguez *et al.*, 2004; Cartes, 2013).

Los agentes más importantes que actúan en la erosión acelerada son el agua y el viento, conocidas como erosión hídrica y eólica, de las cuales a nivel mundial la erosión hídrica es la que mayor influye en la degradación de los suelos (FAO, 2000). Los factores que desencadenan la erosión hídrica son: el clima, topografía, suelo, vegetación y las técnicas de cultivo empleadas (Osinaga & Villanueva, 2004).

2.3.4. Erosión por salpicadura.

Este tipo de erosión se debe al impacto de las gotas de lluvia sobre los agregados de un suelo desnudo, produciéndose pequeños cráteres de impacto, con liberación de partículas que se pueden desplazar en un radio máximo de 1,5 m, siendo las arenas más finas las afectadas; este fenómeno puede dar origen a un sello o costra superficial que influirá negativamente en las velocidades iniciales de infiltración (Figueroa, 1975; INETER, 2005; Cisneros *et al.*, 2012).

2.3.5. Erosión laminar.

Es una forma de erosión superficial que se produce por acción del escurrimiento, perdiéndose una fina y uniforme capa de toda la superficie del suelo en

forma de lámina, este proceso produce una mayor pérdida neta de suelo que la erosión por salpicadura, siendo el tamaño de partículas más afectado el que se desprende producto de la energía de la lluvia; este tipo de erosión es poco perceptible por el productor, no obstante es una importante vía de pérdida del suelo en condiciones de baja pendiente y suelos con infiltración disminuida (INETER, 2005; Cisneros *et al.*, 2012).

El flujo laminar, que es muy superficial, transporta material del suelo que ha sido desprendido por impacto de las gotas de lluvia; cuando el escurrimiento es impedido de fluir libremente por una obstrucción natural o artificial, hay una mayor probabilidad de que ocurra una deposición de partículas (Rodríguez, *et al.*, 2004).

2.3.6. Erosión por surcos.

Este tipo de erosión se produce conforme se incrementan los caudales, la altura del agua y su velocidad, pasando de un flujo laminar a un concentrado que es definido por la micro-topografía del lote, este tipo de escorrentía tiene una mayor capacidad de desprendimiento y de transporte de material que el flujo laminar produciendo un incremento en las tasas de erosión (Cisneros *et al.*, 2012). Es un proceso donde pequeños canales de varios centímetros de profundidad son formados, el suelo es desprendido por la acción abrasiva del flujo de agua y por desprendimiento del suelo, causado por socavamiento de las paredes laterales de los canales; el potencial erosivo del flujo de agua depende de su velocidad, profundidad y turbulencia del flujo así como del tipo y cantidad del material siendo transportado (Osinaga & Villanueva, 2004).

Es la pérdida de suelo por el agua de lluvia, cuando esta se ha concentrado en pequeñas depresiones naturales, y empieza a desplazarse ladera abajo arrastrando el suelo, formando pequeñas zanjas con profundidades hasta de 50 cm; este proceso es acelerado por el hombre, cuando hace un mal manejo del suelo (INETER, 2005).

2.3.7. Daños directos e indirectos causados por la erosión hídrica.

Los daños causados por la erosión pueden ser directos cuando afectan los cultivos o dañan la chacra, disminuyen la capacidad de producción y desvalorizan la propiedad, entre los daños directos están, la pérdida de la siembra, el suelo, arrastre de

nutrientes, pérdida de agua y de áreas de cultivo; por otra parte, la suma o conjunto de problemas de erosión de varias chacras ocasionan daños indirectos que se manifiestan en desequilibrios hidrológicos y ecológicos, en problemas de sedimentación y destrucción en las vías, en los acueductos y en las viviendas (Ocampo *et al.*, 1996).

2.4. Modelación de la Erosión con Sistemas de Información Geográfica.

Es la integración organizada de hardware, software y datos geográficos, diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada, con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión; en el sentido más estricto, es cualquier sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada (Galindo, 1998; Mena *et al.*, 2006).

El sistema de información geográfica (SIG) funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos), que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital, de esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos, e inversamente gracias a un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía (Martínez, 2007; Burgos & Salcedo, s.f.).

2.5. Modelos de Elevación Digital (MED o DEM).

Un modelo de elevación digital (MED) es una representación digital de la altitud como variable que continúa sobre una superficie bidimensional a través de una red regular de valores *z* (altitud) referenciados a un datum común; los más comunes son los de estructura tipo raster, que consisten en una malla o matriz de celdas cuadradas con la información de elevación en cada celda o pixel, los MED se pueden generar a partir de mapas topográficos, fotografías aéreas, datos de radar (SRTM), sistemas láser (LIDAR), o de imágenes satelitales estereoscópicas (Felicísimo, 1990; Roa & Kamp, 2008).

2.6. Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos Revisada (RUSLE / EUPSR).

La ecuación universal de pérdida de suelos modificada (RUSLE) es una revisión de la ecuación universal de pérdida de suelos (USLE), donde se mantiene la misma

estructura general, pero se modificó la forma de obtención de cada uno de los factores del modelo (Alonso *et al.*, 2007; 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 (Alonso *et al.*, 2007).

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \text{ (Ec.1)}$$

Donde:

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

R: es el factor de lluvia en forma de un índice (EI30), que es medido por el poder erosivo de la lluvia expresado en toneladas metro por hectárea hora o en joule por metro cuadrado, una medida de 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 22,1 m de longitud de pendiente en barbecho limpio labrado, es una medida de la susceptibilidad inherente de las partículas del suelo a la erosión.

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

S: es el factor de gradiente de pendiente, expresa la relación de pérdida de suelo de una gradiente de pendiente específica y la pérdida de suelos de una pendiente con

gradiente estándar de 9%, bajo otras condiciones similares, definen el efecto de la inclinación de la pendiente sobre la pérdida de suelo por unidad de área.

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

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

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

El factor R representa la capacidad potencial de las lluvias para generar erosión; esta 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; Pérez, 2001; Ramírez, 2010); existe una relación directa entre la erosividad y la precipitación anual (Ramírez, *et al.*, 2007).

Debido a la dificultad para calcular el factor R de la USLE, ya que para su cálculo debe contarse con registros pluviográficos diarios durante un número elevado de años, y se debe calcular la energía cinética y la intensidad de los aguaceros en forma aislada, diversos autores han propuesto métodos adicionales para definir el factor de erosividad de una manera simple y aplicable a las condiciones regionales (Tánago, 1991; Ramírez, *et al.*, 2007).

2.6.1.1. Factor R Método del Índice Modificado de Fournier.

La corrección del Índice de Fournier (IF) se basa en que se consideran no sólo la precipitación mensual del mes más húmedo, sino también la del resto de los meses, este índice modificado de Fournier (IMF) caracteriza la agresividad de la precipitación (Arnoldus, 1980).

2.6.2. Factor K o índice de erodabilidad.

Representa la susceptibilidad del suelo a ser erosionado, algunos suelos 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 (Velásquez, 2008). 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 (INETER, 2005).

Los suelos con alto contenido de arcilla tienen bajos valores de K, por su resistencia al desprendimiento de las partículas de suelo, aquellos con texturas gruesas, como los arenosos, tienen también bajos valores de erodabilidad, aunque estos suelos son fácilmente erodables, los 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, y los 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 (Velásquez, 2008; Ramírez, 2010).

La materia orgánica del suelo mejora la estructura, infiltración y agregación, lo que disminuye la erodabilidad, pero agregados grandes pueden aun ser transportados por escorrentía de alta velocidad (Velásquez, 2008).

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

Expresa el efecto del relieve sobre la pérdida de suelos, representando el efecto del largo y grado de la pendiente (Ramírez, 2010). A medida que la escorrentía se acumula en una pendiente alargada, su capacidad de desprender y transportar se incrementa (INETER, 2005). L es el factor de longitud de la pendiente y representa su efecto en la erosión, 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 (Barrios y Quiñonez, 2000; Ibáñez, *et al.*, 2012).

El factor 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; 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 (Barrios & Quiñonez, 2000). Generalmente, el factor L y S se consideran juntos, los factores LS juntos son iguales a 1 bajo condiciones de la parcela unitaria de 22,1 m y 9 % de inclinación (Ramírez, 2010).

2.6.4. Factor C o de cobertura vegetal.

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 la erosión (INETER, 2005).

El factor C se utiliza para reflejar el efecto del cultivo en las tasas de erosión hídrica. 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 (Velásquez, 2008).

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

Es el factor de prácticas de control de erosión. El factor P de la RUSLE refleja el impacto que las prácticas de control tienen sobre la tasa de erosión (Velásquez, 2008). INETER, (2005) indica que este factor representa el efecto de mejores prácticas como cultivo en contorno o en bandas, su valor depende de la pendiente del terreno y puede ser obtenido de tablas, dichos 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 logrados en ensayos experimentales.

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. Área de Estudio.

La investigación se realizó en los cantones de Quilanga y Espíndola pertenecientes a la provincia de Loja, con una extensión total de 75 233,51 ha.

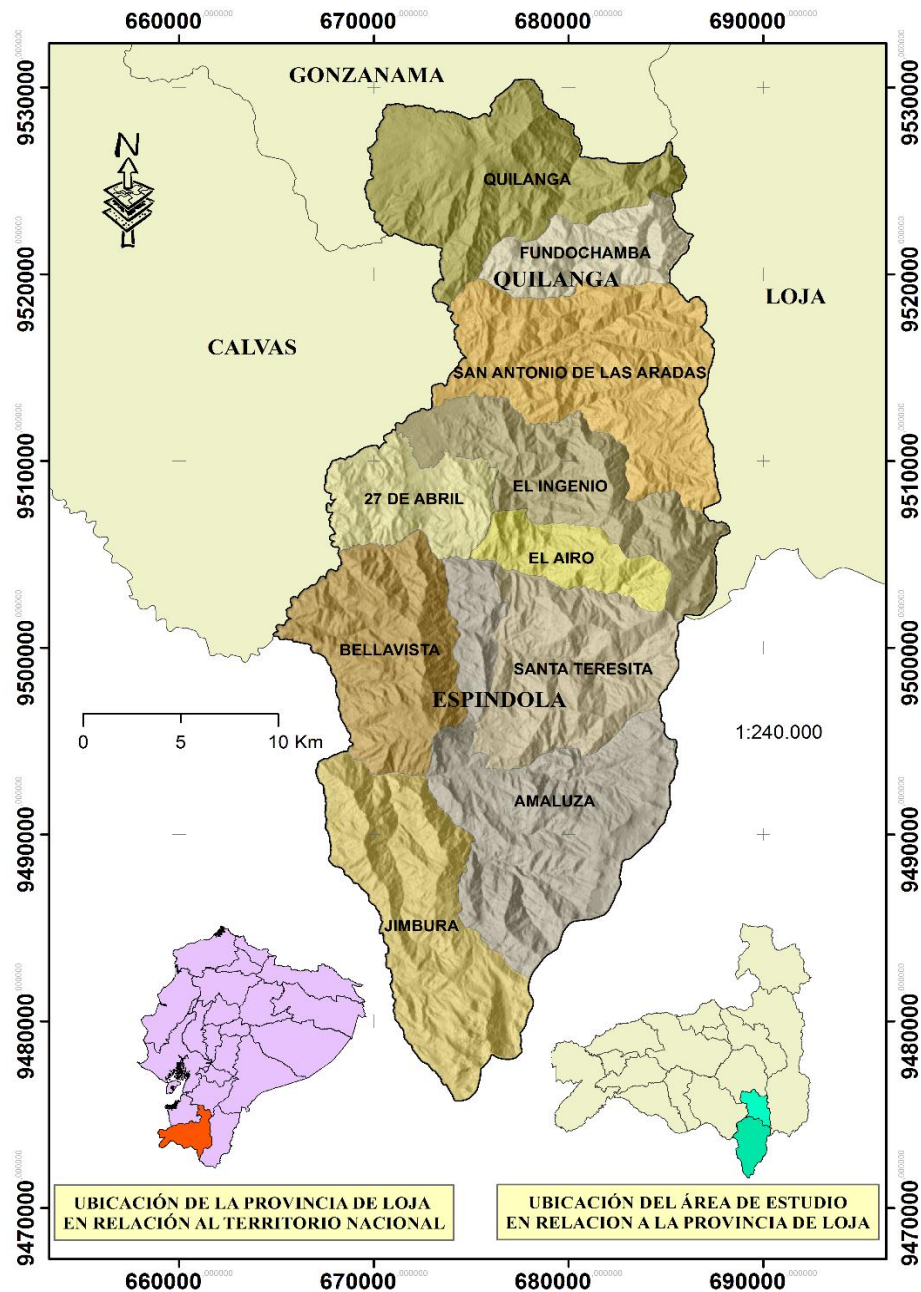


Figura 1. Ubicación del Área de Estudio, Cantones de Quilanga y Espíndola.
Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema Nacional de Información (2014).

3.1.1. Descripción del cantón Quilanga.

El cantón Quilanga está ubicado en la parte sur este de la provincia de Loja a una distancia de 96 km de la cabecera provincial. Limita al norte con el cantón Gonzanamá, al sur con el cantón Espíndola, al este con el cantón Loja y al oeste con el cantón Calvas. Tiene una extensión territorial de 23 588,14 ha, representando el 2.1 % de la superficie de la provincia de Loja, es considerado como el tercer cantón más pequeño de la provincia. Se encuentra ubicado geográficamente en Latitud: 9 530 825 a 9 507 000 Norte y Longitud: 699 750 a 688 275 Este (PDOT Quilanga, 2014).

El territorio del cantón Quilanga se extiende desde los 1160 hasta los 3560 msnm; posee una gran diversidad de vegetación y diferentes tipos de uso de suelo (PDOT Quilanga, 2014). La precipitación media anual presente en el cantón se encuentra entre 600 a 1 182 milímetros por año, la precipitación varía acuerdo al piso altitudinal, sin embargo los meses más secos son de mayo a noviembre, y que presentan mayor precipitación son de diciembre a abril; en lo referente a los suelos de este cantón, estos son de profundidad media, cuya capa arable va desde los 0,30 a 0,40 metros, generalmente son suelos frágiles, arcillosos de color rojizo amarillento, pesados, poco fértiles y con un pH muy ácido (PDOT Quilanga, 2014).

La topografía que presenta el cantón es bastante irregular, el relieve se caracteriza por poseer pendientes abruptas desde 0° a > 100°, con suelos moderadamente profundos con una fertilidad de media a alta, por lo general los suelos son bastante áridos y rocosos de manera especial en las partes altas; la precipitación media anual del Cantón se determina entre los 600 a 1182 milímetros por año y una humedad relativa que oscila entre 88 a 91 %, presentándose la época de vientos fuertes en los meses de Junio a Octubre; finalmente la configuración y la tipología de los suelos constituyen Áreas que se encuentran descubiertas con escasa o ninguna vegetación protectora en las cuales la capa arable se ha perdido, generando así áreas erosionadas que abarcan una superficie de 630,76 ha, que representan el 2.67 % del área total del cantón (PDOT Quilanga, 2014).

El cuadro siguiente muestra el uso y cobertura vegetal del cantón Quilanga.

Cuadro 1. Uso y cobertura vegetal del cantón Quilanga referente a los años 2003 y 2012

Uso y cobertura vegetal	Año 2003		Año 2012	
	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%
Agrícola	597,95	2,53	627,35	2,65
Agropecuario mixto	2237,27	9,45	635,27	2,68
Rio	57,68	0,24	58,38	0,25
Urbano	35,61	0,15	36,78	0,16
Conservación y protección	4609,44	19,48	7473,8	31,58
Pecuario	15163	64,07	5803,08	24,52
Protección o producción	923,53	3,9	1157,81	4,89
Área erosionada	16,12	0,07	288,46	1,22
Sin Identificar	27,45	0,12	0	0

Fuente: PDOT cantón Quilanga 2014.

3.1.2. Descripción del cantón Espíndola.

EL cantón Espíndola posee una altura promedio de 1 720 msnm, con una superficie de 51 773,51 ha (PDOT de Espíndola, 2013). Los límites políticos del cantón son al Norte con el cantón Quilanga, al Este con el cantón Chinchipe de la provincia de Zamora Chinchipe, al Sur y Oeste con la República del Perú (PDOT Espíndola, 2013).

En lo referente a la temperatura, presenta una media mensual de 21,6°C, sin embargo la temperatura puede presentar valores máximos de hasta 30,5°C y una mínima de 10°C; por otro lado la precipitación media anual que posee este cantón es de 84,31 mm, las fuertes pendientes existentes en el cantón constituyen el mayor factor que determina la aptitud de los suelos, constituyéndose la principal limitante del desarrollo agropecuario de esta zona (PDOT Espíndola, 2013).

El Cantón Espíndola se encuentra ubicado en el hemisferio austral, en la zona tórrida, en las siguientes coordenadas 664 997 y 674 409 latitud sur y: 9 514 999 y 9 476 861 longitud este (PDOT Espíndola, 2013).

El siguiente cuadro indica la cobertura vegetal del cantón Espíndola al año 2011.

Cuadro 2. Cobertura vegetal y uso del suelo del cantón Espíndola 2013.

COBERTURA	SUPERFICIE (HA)	PORCENTAJE
Área urbana	20,14	0,04
Bosque húmedo denso	11 052,01	21,43
Bosque húmedo intervenido	3 042,21	5,90
Cultivo de café	1 065,27	2,07
Cultivo de caña	144,13	0,28
Cultivos asociados andinos	799,24	1,55
Cultivos asociados subtropicales	1 068,42	2,07
Laguna	169,04	0,33
Matorral húmedo alto	10 156,00	19,7
Matorral húmedo degradado	36,07	0,07
Matorral seco alto	4 641,80	9,00
Matorral seco bajo	49,30	0,10
Nube	112,50	0,22
Pastizal	5 585,93	10,83
Pasto natural	8 776,11	17,02
Plantación de pino	206,13	0,40
Páramo	4 442,95	8,62
Ríos	61,84	0,12
Sombra	136,14	0,26

Fuente: PDOT Espíndola 2013.

3.2. Elaboración de Bases de Datos Digital con Información Biofísica Requerida para la Estimación de la Erosión Hídrica del Suelo.

A continuación se presentan las bases de datos de los factores R, K, C, LS y P, que fueron levantados mediante información de campo y recopilación de información.

3.2.1. Determinación del factor R.

Para la determinación del factor R se utilizó el índice modificado de Fournier propuesto por Arnoldus (1980), quien plantea considerar no sólo la precipitación mensual del mes más húmedo, sino también la del resto de los meses, utilizando datos de precipitación mensual para definir el factor de erosividad de una manera simple y aplicable a condiciones regionales (Velasco, 2009).

Para estructurar la base de datos del factor se partió de información primaria proporcionada por el INAMHI de un periodo de 35 años, la misma contiene la precipitación mensual de 21 estaciones meteorológicas ubicadas en la provincia de Loja, una estación que se encuentra en la provincia de El Oro, y 2 dentro de la provincia de Zamora, con lo cual se manejó una base de datos de 24 estaciones meteorológicas. Para completar los datos mensuales faltantes de algunas estaciones se procedió a realizar el relleno de datos climáticos disponible en el paquete Climatol¹ del software estadístico R-Studio. El cuadro 3 presenta la base de datos de las 24 estaciones meteorológicas.

Cuadro 3. Base de datos de estaciones meteorológicas.

Código	Nombre	Coordenadas UTM WGS 84		Altitud (m)	Media Anual (35 años)
		X	Y		
M0033	La Argelia	699711	9553630	2160	965,76
M0040	Pasaje	636774	9632736	40	893,25
M0142	Saraguro	696167	9600576	2525	804,02
M0143	Malacatos	691894	9533772	1453	693,14
M0144	Vilcabamba	697804	9528598		880,44
M0145	Quinara	694953	9522952	1559	893,81
M0146	Cariamanga	660414	9520874	1950	1403,55
M0148	Celica	616393	9546313	1904	1052,95
M0149	Gonzanama	674127	9532243	2042	1431,34
M0150	Amaluza	674106	9493048	1672	1005,93
M0151	Zapotillo	583709	9515550	223	638,35
M0180	Zaruma	654213	9591035	1100	1459,01
M0185	Machala	640755	9657269	13	1574,52
M0189	Gualaquiza	769358	9624070	750	1857,13
M0241	Quilanga	677657	9524372	1819	1313,53
M0432	San Lucas	693086	9587311	2525	1178,9
M0433	El Lucero	669587	9513515	1180	1357,03
M0434	Sozoranga	634395	9521872	1427	995,97
M0435	Alamor	607925	9555751	1250	1442,61
M0437	Saucillo	588930	9526784	328	752,47
M0438	Jimbura	670274	9488265	2100	1315,58
M0439	Sabiango	632020	9517853	700	1267,95
M0481	Ushcurrumi	716666	9632700	290	746,57

¹ Paquete para R que contiene funciones para la homogenización de series climatológicas

Cuadro 3. Continuación					
Código	Nombre	Coordenadas UTM WGS 84		Altitud (m)	Media Anual (35 años)
		X	Y		
M0502	Pangui	758210	9564913	820	1628,05
M0503	San Francisco	714075	9561615	1620	2183,9
M0515	Catacocha	650478	9551575	1808	900,18
M0544	Colaisaca	645033	9522745	2410	1209,18

Fuente: INAMHI, 2015.

Los resultados del primer relleno de datos arroja cuatro clústeres, agrupados en base a su similitud, posterior a ello se procedió a realizar cuatro rellenos de los datos en función de cada grupo para precisar aún más la información existente.

Los scripts utilizados fueron los siguientes:

- ✓ library(climatol)
- ✓ library(maps)
- ✓ setwd('D:/FactorR')
- ✓ pcp <- read.table("pcp_1980-2014.est")
- ✓ pcp <- read.table("pcp_1980-2014.dat")
- ✓ homogen("pcp", 1980, 2014, nm=12, deg=FALSE, rtrans=0, std=2, na.strings="NA")

Con la base de datos generada se procedió a calcular el Índice Modificado de Fournier (IMF) propuesto por Arnoldus, (1980), cuya fórmula es la siguiente:

$$IMF = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P} \quad (\text{Ec. 2}).$$

Dónde:

- ✓ IMF = Índice de modificado de Fournier en mm
- ✓ Pi = Precipitación media mensual del mes (mm)
- ✓ P = Precipitación media anual (mm)

Luego de ello se multiplicó por la siguiente ecuación, obteniendo los valores de R para la zona de estudio.

$$R = 21,56 * (IMF^{0,927}) \text{ (Ec. 3).}$$

El cuadro 4 muestra los rangos típicos de R anual.

Cuadro 4. Clasificación de rangos típicos de R anual.

Clase	R (MJ-mm/ ha-h-año)
Muy Baja	< 500
Baja	500 – 1000
Mediana	1000 – 3000
Alta	3000 – 6000
Muy Alta	> 6000

Fuente: Miliarum.com Ingeniería Civil y Medio Ambiente (2004)

3.2.1.1. Modelación de los resultados.

Se ordenó la base de datos para poderla procesar en el software ArcMAP 10.2 empleando la herramienta “Spline”, la cual utiliza un método de interpolación que estima valores usando una función matemática que minimiza la curvatura general de la superficie, dando como resultado una superficie lisa que pasa exactamente a través de los puntos de entrada (ESRI, 2012).

3.2.2. Determinación del factor K.

3.2.2.1. Muestreo de suelo.

Para analizar las características del suelo se realizó el muestreo de puntos previamente identificados en cada uso de suelo que se encontró en el área de estudio. En campo, con la ayuda de un GPS se identificó cada uno de los puntos de muestreo, con la ayuda de una barreta se procedió a realizar un hoyo en el suelo para poder identificar el horizonte superficial del suelo (horizonte A), con la ayuda de un metro se midió la profundidad de este horizonte, así también se identificó la estructura; finalmente en campo se tomó una muestra de suelo la misma que fue colocada en una funda Ziplock de 1 kg de capacidad. La fase de laboratorio fue realizada en la Universidad Nacional de Loja, donde se determinó los porcentajes de arena, limo, arcilla, materia orgánica y porcentaje de arena muy fina para cada muestra.

Los resultados obtenidos fueron utilizados para obtener los valores del factor K mediante la fórmula de Wischmeier y Smith (1978).

3.2.2.2. Análisis de laboratorio.

En el laboratorio de suelos se realizó dos prácticas, una para determinar materia orgánica (MO) por el Método de Walkley y Black y la segunda para determinar la textura por el Método del Hidrómetro, utilizando en ambos casos las muestras de suelo recolectadas en la fase de campo.

El objetivo de determinar la materia orgánica fue obtener la concentración de carbón orgánico presente en los suelos muestreados. La fórmula para determinar el contenido de MO es la siguiente:

$$C(\%) = \frac{(V_o - V) \times N \times 0.39}{PM} \quad (\text{Ec.4})$$

$$MO(\%) = \frac{(V_o - V) \times N \times 0.39 \times 1.72 \times 1.1}{PM} \quad (\text{Ec.5})$$

Dónde:

- ✓ V_o = volumen gastado en la titulación del blanco.
- ✓ V = volumen gastado en la titulación de la muestra.
- ✓ N = Normalidad exacta del sulfato de hierro.
- ✓ 0.39 = Peso químico equivalente del carbón.
- ✓ 1.72 = Constante de conversión de C a MO sobre la hipótesis de que la materia orgánica contiene 58 % de C en la generalidad de los suelos encontrados en el Ecuador.
- ✓ 1,1 = Error de conversión de C a MO (10 %).
- ✓ PM = Peso de la muestra de suelo.
- ✓ F = Factor de corrección de la sal de Morh.
- ✓ $0.39 = 3 \times 100 \times 1.3/100$ (3 = peso equivalente del carbono).

El factor 1.3 es un factor de compensación por la combustión incompleta de la materia orgánica en este procedimiento.

La segunda práctica fue con la finalidad de calcular el tiempo de sedimentación de Arena, Limo Arcilla, según la Ley de Stokes.

$$V = gr^2 / n (dl - dp) \text{ (Ec.6)}$$

Cuya metodología es la siguiente:

Se colocó 50 g de suelo en una probeta de 1 000 ml y se enrazó a 1 000 ml con agua destilada, luego se procedió a agitar por un periodo de 5 minutos, luego de haber cesado la agitación se realizó la primera lectura a los 40 segundos con el higrómetro (el hidrómetro mide gr/l del material en suspensión) obteniendo la medida de arena en suspensión, la segunda lectura se realizó 2 horas después teniendo como resultado la medida de arcilla en suspensión; las lecturas iniciales fueron corregidas en base a la temperatura, debido a que el hidrómetro está calibrado a 67°F (20°C), de esta manera el factor de corrección es de (0,36°C) por cada grado de diferencia, este factor se suma sí la temperatura de la primera lectura de la suspensión está sobre la temperatura de calibración (20°C) y se resta sí la temperatura de suspensión está por debajo de la temperatura de calibración (20°C).

Para el cálculo del porcentaje de arena en suspensión se determinó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Arena} = 100 - (\% \text{ Limo} + \text{Arcilla}) \text{ donde, } \% \text{ Arena} = 100 - (1\text{ra lectura Corregida} \times 2) \text{ (Ec.7)}$$

Con la segunda lectura corregida se obtuvo el porcentaje de Arcilla usando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Arcilla} = 2\text{da Lectura Corregida} \times 2 \text{ (Ec.8)}$$

Finalmente para determinar el porcentaje de Limo, se aplicó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Limo} = 100 - (\% \text{ Arena} + \% \text{ Arcilla}) \text{ (Ec.9)}$$

Con los datos obtenidos de cada muestra se utilizó el Triángulo Textural para realizar la clasificación del suelo, donde la clase textural está dada por el nombre del área en

la cual se interceptan las 3 líneas. Posterior a ello se determinó el porcentaje de arena muy fina, para lo cual se pesaron 10 gramos de suelo libre de humedad para pasarlos en tamices de 50 y 100 micras, ya que este es el rango de tamaño en el cual se encuentra la arena muy fina; una vez obtenido el resultado se pesó la cantidad resultante para por medio de regla de tres entre los 10 gramos iniciales y el resultado, para obtener el porcentaje de arena muy fina.

3.2.2.3. Modelación de los resultados.

La base de datos del Factor K está conformada por los resultados obtenidos de las diferentes muestras de suelo analizadas en el laboratorio, utilizando las ecuaciones que se presentan a continuación, multiplicando los resultados por un factor de corrección de 0,13 para representarlos en el SI, dando como resultado los valores de la variable K para cada uno de los puntos de muestreo.

Según Gabriels, *et al.* (2006) para determinar los valores del factor K se utilizó la siguiente fórmula:

$$K = 1.29(2.1 \times 10^{-6} x M^{1.14}(12 - MO) + 0.0325 (S - 2) + 0.025(P - 3)) \text{ (Ec.10)}$$

$$M = (\%Limo + \%Arena \text{ mas fina}) \times (100 - \%Arcilla) \text{ (Ec.11)}$$

Dónde:

- ✓ K = factor de erosividad del suelo (ton ha hr/ha MJ mm)
- ✓ MO = materia orgánica (%)
- ✓ s = tipo de estructura granular del suelo
- ✓ p = tipo de permeabilidad
- ✓ M = Índice de textura.

También se puede utilizar el monograma desarrollado de Wischmeier y Smith, (1978) citado por Gabriels, (2006) (Anexo 1).

Para la digitalización del factor K, se utilizó la herramienta “IDW” (Distancia Inversa Ponderada) interpolación que determina los valores de celda utilizando una combinación ponderada lineal de un conjunto de puntos de muestra. El peso es una

función del inverso de la distancia. La superficie que se está interpolado debe ser la de una variable dependiente de localización. Aplicada la herramienta IDW se obtiene una imagen raster

3.2.3. Determinación del factor C

3.2.3.1. Elaboración de la base de datos

A partir del uso de ortofotos a una resolución de 0,3 x 0,3 metros en el tamaño de pixel y utilizando las mismas categorías brindada por Naturaleza y Cultura Internacional (2010), se realizó la delimitación de cada una de las unidades de cobertura vegetal presentes en los cantones mediante la utilización del software Arcgis 10.2.

Para determinar los valores de ponderación para el factor C, se realizó una revisión de literatura con otras investigaciones que utilizan la misma metodología para determinar la erosión, de esta manera tomando en cuenta los criterios usados para determinar una valoración a cada cobertura, se procedió a realizar lo mismo para las coberturas encontradas en el área de estudio, los valores utilizados se detallan en el Anexo 2.

3.2.3.2. Modelación de los resultados

Finalmente para su digitalización, a la base de datos de cobertura vegetal se agregó los valores de ponderación y se procedió a convertir del formato vector a formato Raster con la herramienta Polygon to Raster en el software Arcgis 10.2, cuyo resultado fue la imagen del factor C.

3.2.4. Determinación del factor LS.

3.2.4.1. Modelación de los resultados.

Para los factores L y S, fue necesario partir con información raster de Shuttle Terrain Radar Mapping (SRTM), la que fue transformada en Modelo de Elevación Digital (MED) mediante el software ArcMap. Para ello se empleó la herramienta “Mosaic to Raster”, en la cual se ingresaron las imágenes SRTM unificándolas y generando el MED con su respectiva georeferenciación. A partir de esta información

se obtuvieron diferentes parámetros que sirvieron para determinar los factores L y S conjuntamente, aplicando la metodología de cálculo elaborada por Díaz (2013).

En el cálculo del factor L, fue necesario aplicar un relleno al MED para evitar espacios vacíos en el raster, esto se elaboró mediante la herramienta “Fill” del software empleado. Con la imagen resultante se creó un raster de pendientes (Slope) el mismo que fue utilizado para crear el factor F empleando la Ecuación 12.

$$F = \frac{\sin\beta/0,0896}{3(\sin\beta)^{0,8}+0,56} \text{ (Ec.12) (Dangermond, 1969)}$$

Dónde:

- β = Es el ángulo de la pendiente

En ArcMap con Raster Calculator se emplea la siguiente fórmula para obtener el factor F:

- $\text{FactorF} = ((\sin(\text{“Slope”} * 0.01745) / 0.0896) / (3 * \text{Power}(\sin(\text{“Slope”} * 0.01745), 0.8) + 0.56))$ (Ec.13) (Dangermond, 1969)

Obtenido el Factor F se procedió a obtener el factor M que también es un dato a considerar en la obtención del Factor L, para ello se empleó la siguiente formula en “Raster Calculator”

$$\text{Factor M} = \text{“Factor_F”} / (1 + \text{“Factor_F”}) \text{ (Ec.14) (Dangermond, 1969)}$$

Seguidamente se procedió a obtener la dirección de flujo y acumulación del flujo con las herramientas Flow Direction y Flow Accumulation respectivamente. Obtenidas estas dos imágenes se obtuvo el Factor L en “Raster Calculator” empleando la siguiente Ecuación.

$$L_{(i,j)} = \left(\frac{((A_{(i,j)+D^2})^{(m+2)} - A_{(i,j)}^{(m+1)})}{(x^m * D^{(m+2)}) * ((22.12))^{(m)}} \right) \text{ (Ec.15) (Dangermond, 1969)}$$

Donde:

- $A_{(i,j)}$ m = Es el área aportadora unitaria a la entrada de un pixel (celda)
- D = Es el tamaño del pixel
- x = es el factor de correlación de forma
- Factor L = $(\text{Power}(\text{"flow_acc"} + 625), (\text{"Factor_M"} + 1)) - \text{Power}(\text{"flow_acc"}, (\text{"Factor_M"} + 1)) / \text{Power}(25, (\text{"Factor_M"} + 2)) * \text{Power}(22.13, \text{"Factor_M"})$ (Ec.16) (Dangermond, 1969)

Para el cálculo del Factor S se empleó la siguiente ecuación y formula.

$$S_{(i,j)} = \begin{cases} 10.8 \sin \beta_{(i,j)} + 0.03 & \tan \beta_{(i,j)} < 0.09 \\ 16.8 \sin \beta_{(i,j)} - 0.5 & \tan \beta_{(i,j)} \geq 0.09 \end{cases} \text{ (Ec.17) (Dangermond, 1969)}$$

$$\text{Factor S} = \text{Con}((\text{Tan}(\text{"Slope"} * 0.01745) < 0.09), (10.08 * \text{Sin}(\text{"Slope"} * 0.01745) + 0.03), (16.8 * \text{Sin}(\text{"Slope"} * 0.01745) - 0.5)) \text{ (Ec.18) (Dangermond, 1969)}$$

Obtenidos todos los factores anteriores, procedió a calcular el factor LS que es objeto de la presente metodología. Para ello se utilizó la siguiente formula.

$$\text{Factor LS} = \text{"Factor_L"} * \text{"Factor_S"} \text{ (Ec.19) (Dangermond, 1969)}$$

3.2.5. Determinación del factor P.

3.2.5.1. Base de datos del factor P.

El factor P es la relación de pérdida de suelo entre una parcela donde se han aplicado prácticas mecánicas de conservación de suelos (contornos, terrazas, cultivos en fajas, etc.) para el control de la erosión, y las pérdidas de suelo que se producen en una parcela si tales prácticas no se utilizan. Cuando las prácticas de conservación no se aplican o son muy pocas el valor de P es igual a 1. Por tal motivo la base de datos del factor P únicamente presenta el valor de 1 en toda la zona de estudio, debido a que no se evidenció prácticas agrícolas que ayuden a impedir la erosión hídrica del suelo en el territorio.

3.2.5.2. Modelación de los resultados.

Para determinar el factor P en formato SIG únicamente se convirtió la capa vectorial en formato raster con valor de 1.

3.3. Estimación de la Erosión Hídrica Actual, Potencial y Zonas Susceptibles a Erosión Hídrica.

3.3.1. Tasa de erosión o erosión hídrica actual.

Para obtener las tasas de erosión hídrica actual, se emplea la siguiente ecuación de la RUSLE.

$$A = \text{Factor R} * \text{Factor K} * \text{Factor C} * \text{Factor LS} * \text{Factor P} \text{ (Ec.1)}$$

3.3.2. Erosión hídrica potencial

3.3.2.1. Erosión hídrica potencial con escenarios de degradación de la cobertura vegetal.

En este caso se utilizaron los mismos factores modificando sus valores, según Lozano y Parras (2011), se puede modificar los valores de los siguientes factores K, C y P por supuestos valores que presenten un mayor perjuicio para el suelo, es así que para el caso de K' (erodabilidad del suelo) se pudo asignar los valores máximos para todos los suelos de un mismo tipo, para el factor C' (cobertura vegetal) las coberturas de carácter improductivo o desnudo conservan el valor de uno, mientras que para el resto de casos se puede considerar casos hipotéticos que incrementen su valor, como pueden ser: un incendio, presencia de plagas, lo cual la vegetación quedaría reducida a pastizal, matorral y arbustos, en cuanto al factor P' se dará un valor máximo de uno, el mismo que indica la inexistencia de prácticas de conservación de suelos.

$$A' = \text{Factor K}' * \text{Factor R} * \text{Factor LS} * \text{Factor C}' * \text{Factor P}' \text{ (Ec.20)}$$

3.3.2.2. Erosión hídrica potencial sin considerar los factores C y P.

Para este caso se utilizó únicamente los valores de los factores R, K y LS, debido a que los demás factores representan las actividades atenuantes del proceso erosivo y en la medida que se diseñen las prácticas agronómicas y mecánicas, la

erosión potencial podrá reducirse a valores tolerables (Flores *et al.*, 2003; Ovalles, 2014).

$$A' = R * K * LS \text{ (Ec.21)}$$

3.3.3. Zonas susceptibles a erosión hídrica

A partir del mapa de erosión hídrica actual se procedió a determinar las zonas más susceptibles a la erosión hídrica, utilizando como referencia la capa de subcuencas hidrográficas, identificando cuál de ellas está conformada por los cantones de Quilanga y Espíndola; el cuadro 5 indica la susceptibilidad y rangos de erosión.

Cuadro 5. Susceptibilidad y rangos de la erosión hídrica.

Susceptibilidad a Erosión Hídrica	Rangos de Erosión t/ha-año
Ligera	0 - 10
Moderada	10 - 50
Alta	50 - 200
Muy Alta	> 200

Fuente: FAO, UNESCO, PNUMA (1980)

3.3.4. Metodología para Proponer Alternativas Adecuadas de Manejo y Uso del Suelo en las Diferentes Categorías de Erosión hídrica.

A partir de la información obtenida al aplicar la ecuación universal de RUSLE en la que están identificadas las zonas con mayor erosión hídrica de los cantones en estudio, se procedió a la revisión de información secundaria, con la finalidad de determinar cuáles son las técnicas más aplicables para la disminución en la magnitud de este fenómeno.

4. RESULTADOS.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada objetivo.

4.1. Base de Datos Digital para la Estimación de la Erosión Hídrica del Suelo.

4.1.1. Base de datos del factor R.

En el cuadro 6 se presentan los resultados del factor para la provincia de Loja.

Cuadro 6. Valores del factor R de las estaciones usadas para el presente estudio.

IMF	R (MJ/ha*mm)²
108,03	1654,796
150,33	2247,864
98,23	1515,162
107,11	1641,728
129,29	1954,652
128,4	1942,176
259,32	3726,274
149,69	2238,992
234,36	3392,585
251,17	3617,586
189,69	2788,662
188,74	2775,713
260,96	3748,114
254,49	3661,891
189,3	2783,347
225,41	3272,313
124,63	1889,256
330,42	4664,694
179,09	2643,905
358,63	5032,759
246,03	3548,907
240,25	3471,552
333,1	4699,757
127,12	1924,221
153,84	2296,476
218,51	3179,352
185,51	2731,651
252,25	3632,003

² Energía cinética de la lluvia medida en mili julios por cada milímetro de lluvia caída en una hectárea.

4.1.2. Base de datos del factor K.

En el cuadro 7 se presentan los resultados correspondientes al factor K, cuyos resultados fueron obtenidos implementado las ecuaciones del apartado 3.2.2.3.

Cuadro 7. Valores del factor K en el sistema internacional de medida

Lugar	Coordenadas		Factor K	Factor K (SI)
	N	E		
QP1	9528143	675033	0,213	0,028
QP2	9526938	675092	0,282	0,037
QP3	9524716	676959	0,217	0,028
QP4	9526319	679022	0,213	0,028
QP5	9520839	677099	0,239	0,031
QP6	9519257	674622	0,143	0,019
QP7	9517344	677550	0,278	0,036
EP1	9510798	673492	0,225	0,029
EP2	9506862	673940	0,226	0,029
EP3	9497269	675723	0,225	0,029
EP4	9494613	676085	0,226	0,029
EP5	9492067	671995	0,392	0,051
EP6	9491165	672405	0,302	0,039
EP7	9490669	672795	0,210	0,027
EP8	9485918	670894	0,161	0,021
EP9	9480602	672285	0,113	0,015
EP10	9478241	673336	0,026	0,003

QP= Quilanga Punto; EP= Espíndola Punto.

El cuadro 8 muestra los resultados obtenidos de las propiedades físicas y químicas de las muestras de suelo tomadas en campo.

Cuadro 8. Resultados de las propiedades físico-químicas de las muestras de suelo

Muestra	M.O.	%Aren a	%Li mo	%Arcil la	% Arena más Fina	Clase Estructural
QP1	1,45	64,48	17,92	17,60	9,17	Franco Arenoso
QP2	3,28	18,40	35,00	46,60	9,50	Arcilloso
QP3	3,28	18,40	35,00	46,60	9,50	Arcilloso
QP4	1,45	64,48	17,92	17,60	9,17	Franco Arenoso
QP5	3,33	37,40	31,00	31,60	7,95	Franco Arcilloso

Cuadro 8. Continuación

Muestra	M.O.	% Arena	% Limo	% Arcilla	% Arena más Fina	Clase Estructural
QP6	6,15	52,40	22,00	25,60	5,16	Franco Arenoso Arcilloso
QP7	0,44	69,40	21,00	9,60	11,11	Franco Arenoso
EP1	3,33	21,40	28,00	50,60	5,70	Arcilloso
EP2	5,32	40,40	24,00	35,60	8,67	Franco Arcilloso
EP3	2,96	31,40	29,00	39,60	10,75	Franco Arcilloso
EP4	0,81	71,40	17,00	11,60	11,21	Franco Arenoso
EP5	0,00	37,60	30,80	31,60	10,19	Franco Arcilloso
EP6	3,73	46,60	26,00	27,40	6,12	Franco Arenoso Arcilloso
EP7	3,89	50,40	30,20	19,40	4,28	Franco
EP8	6,28	44,60	28,00	27,40	5,28	Franco Arcilloso
EP9	4,46	74,60	15,80	9,60	5,37	Franco Arenoso
EP10	14,10	76,60	17,80	5,60	2,77	Franco Arenoso Fino

QP= Quilanga punto de muestreo; EP= Espíndola punto de muestreo.

4.1.3. Base de datos del factor C.

Los valores otorgados al factor C para cada tipo de cobertura encontrada en el área de estudio, se presentan en el cuadro 9, estos fueron recopilados de investigaciones que utilizaron el método RUSLE para determinar la erosión hídrica.

Cuadro 9. Valores del factor C para cada tipo de cobertura vegetal

Cobertura Vegetal	Área (ha)	Valor Factor C
Área Urbana	99,19	0,100
Bosque húmedo denso	1 5942,79	0,001
Cultivo de café	2 460,55	0,090
Cultivo de caña	394,42	0,263
Cultivos asociados andinos	616,58	0,300
Cultivos asociados subtropicales	1 002,30	0,079
Laguna	68,68	0,000
Matorral húmedo alto	19 282,83	0,153
Matorral seco alto	4 080,66	0,180
Páramo	5 239,16	0,004
Pastizal	25 060,71	0,013
Plantación de Eucalipto	352,83	0,034
Plantación de Pino	632,83	0,017

4.2. Tasas de Erosión Hídrica Actual, Potencial y Zonas Susceptibles a Erosión.

4.2.1. Tasas de erosión hídrica actual

A continuación se presenta cada uno de los mapas de las diferentes variables utilizadas para determinar la erosión hídrica actual mediante el uso de la ecuación RUSLE.

4.2.1.1. Factor R

En la figura 2 se detalla la erosividad en relación con la precipitación anual en el área de estudio.

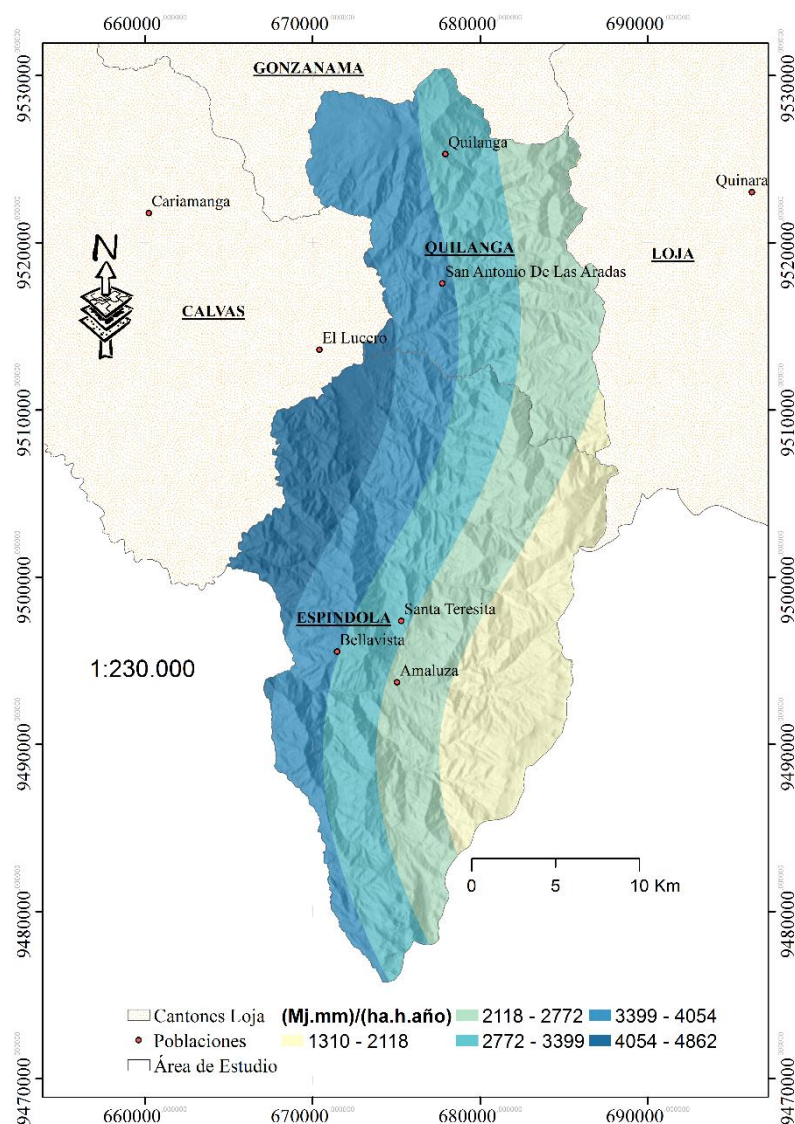


Figura 2. Erosividad o factor R

Fuente: El autor con datos proporcionados por el INAMHI 2015.

El cuadro 10 indica la distribución del factor R, en base a rangos típicos del factor.

Cuadro 10. Resultados obtenidos del factor R y clase de erosividad.

Clase	R (Mj-mm/ha-h-año)	Área ha.	Área %
Mediana	1 000 – 3 000	37 522,07	49,87
Alta	3 000 – 6 000	37 711,44	50,13

En base a los resultados que se muestran en el cuadro 10 y figura 2, se determina que el área de estudio se encuentra dividida longitudinalmente en las clases, Media y Alta, de esta forma se determina que el 49,87 % del área de estudio conformada por las partes altas de los cantones de Quilanga y Espíndola, presenta una susceptibilidad de erodabilidad media, presentando valores entre 1 000 y 3 000 Mj-mm/ha-h-año, lo que indica una menor susceptibilidad a sufrir erosión por efecto de la energía cinética de las lluvias transferida al suelo.

Mientras el 50,13 % se encuentra en la clase alta, la misma que presenta un rango entre 3 000 y 6 000 Mj-mm/ha-h-año, lo que incrementa la probabilidad de esta última clase a ser erosionada por efecto de la presencia de lluvias.

4.2.1.2. Factor K.

En la figura 3, se muestra el mapa obtenido del factor K, el mismo que permite identificar la distribución del suelo en función de la susceptibilidad estos a ser erosionados.

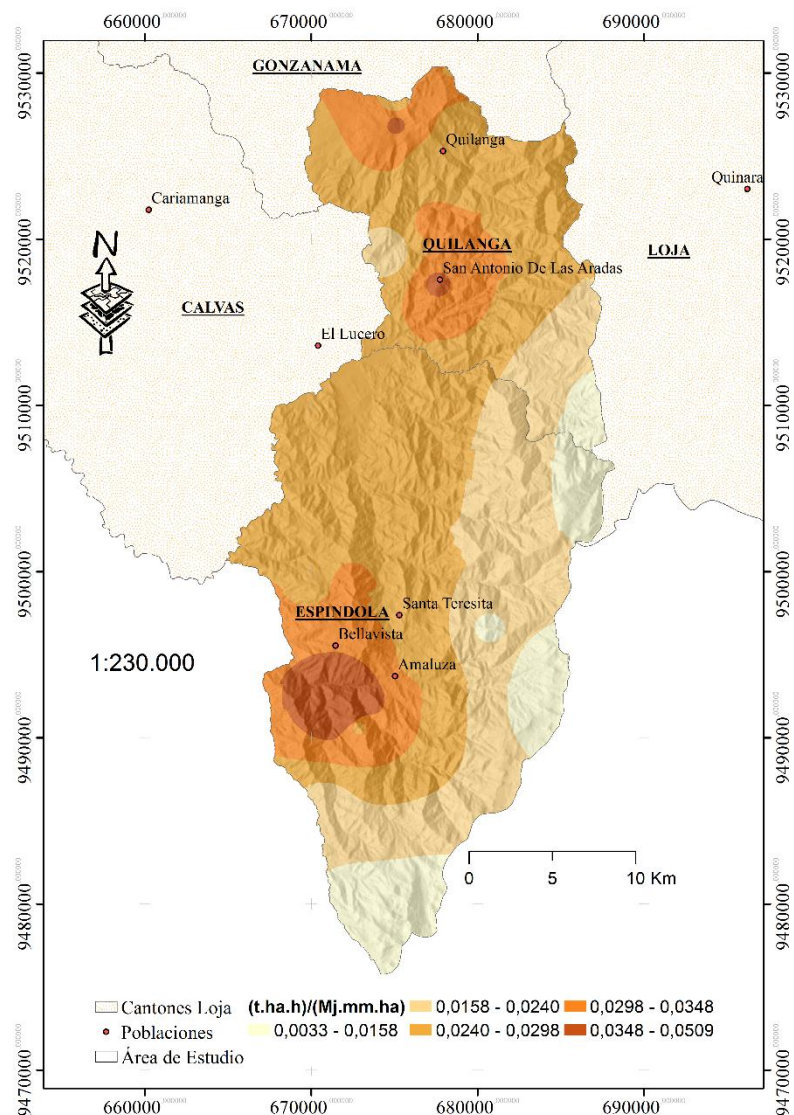


Figura 3. Erodabilidad del suelo o factor K

El siguiente cuadro presenta la distribución en área y porcentaje del factor K.

Cuadro 11. Clases y rangos de K y distribución en el área de estudio.

Clase	Rangos Factor K	Área (Ha)	Área (%)
	$(t\ ha\ h / Mj\ mm\ ha)^3$		
Muy Baja	0,0033 - 0,0158	8 218,85	10,92
Baja	0,0158 - 0,0240	18 151,01	24,13
Media	0,0240 - 0,0298	34 638,40	46,04
Alta	0,0298 - 0,0348	11 602,69	15,42
Muy Alta	0,0348 - 0,0509	2 622,57	3,49

³ Es la cantidad promedio de suelo perdido por cada unidad de R

En base al cuadro 11 y figura 3, se determinó que el 35,05 % (26 369,86 ha) del área de estudio presenta niveles entre muy bajos y bajos para K (0,0033-0,0240 t-ha-h/Mj-mm-ha) estos se encuentran en su mayoría en las partes altas del área de estudio, donde se localizan los suelos de páramo que poseen altos contenidos de arena y materia orgánica, lo que indica que son suelos más resistentes al desprendimiento de sus partículas y escorrentía superficial.

Sin embargo, el 46,04 % (34 638,40 ha) del área de estudio posee niveles medios de K (0,0240 - 0,0298 t-ha-h/Mj-mm-ha), indicando una vulnerabilidad media a ser erosionados; finalmente el 18,91 % (14 225,26) del área muestra una vulnerabilidad entre alta y muy alta al desprendimiento de sus partículas y escorrentía superficial, siendo esta área la que presenta una mayor vulnerabilidad a sufrir erosión hídrica.

4.2.1.3. Factor LS

Este factor asume que a mayor inclinación de las pendientes (S) se produce una mayor velocidad de los flujos superficiales, y entre más largas son las pendientes (L) se acumula escorrentía de áreas más grandes, ocasionando mayores velocidades en el flujo superficial, de esta manera, se puede deducir que un aumento en los valores de S o L resultan en un incremento potencial de la erosión hídrica, los valores encontrados para el área de estudios se muestran en la figura 4 y cuadro 12.

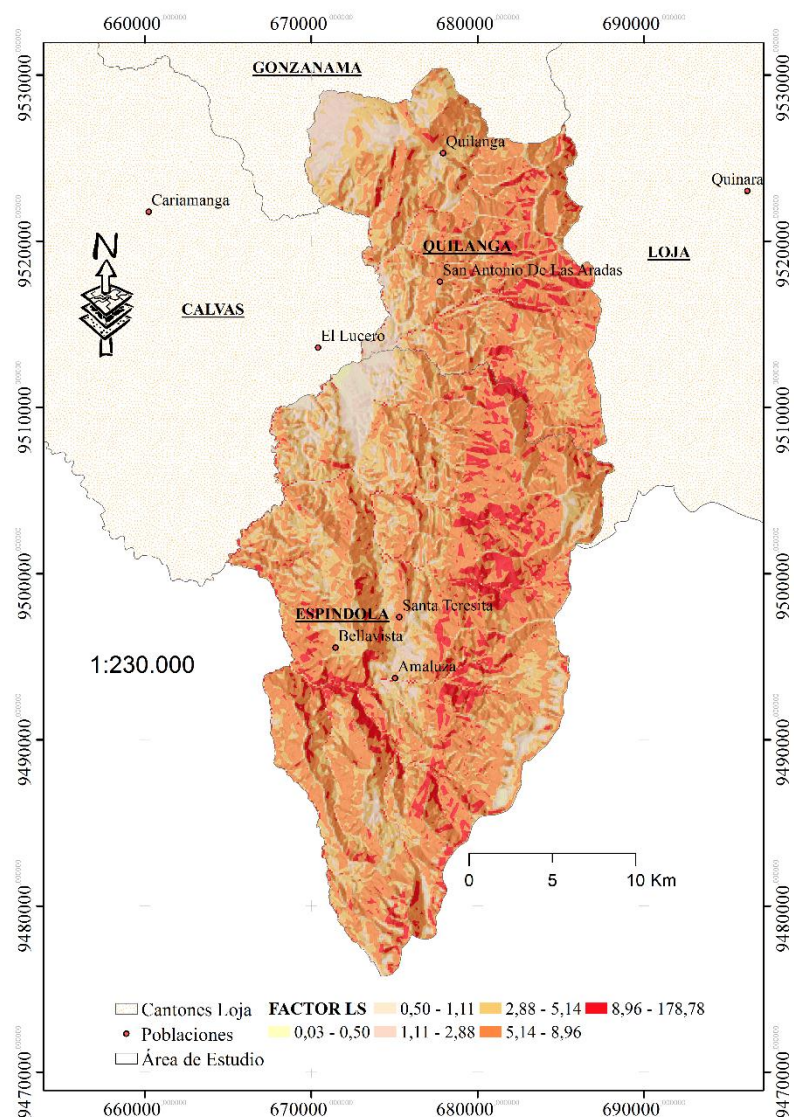


Figura 4. Inclinación de pendientes y longitud de pendientes o Factor LS.

Cuadro 12. Valores del factor LS dentro del área de estudio.

Valores de pendiente (%)	Valores de LS	Área (Ha)	Área (%)
< 3	0,03 – 0,5	103,04	0,14
3 – 9	0,5 - 1,11	1 965,93	2,61
9 – 15	1,11 - 2,88	6 598,86	8,77
15 – 20	2,88 - 5,14	17 782,08	23,64
20 – 35	5,14 - 8,96	40 400,88	53,70
>35	8,96 - 178,78	8 382,73	11,14

En el cuadro y la figura anteriores, se presentan los resultados obtenidos producto de los factores L y S, de esta manera se pudo determinar que el 53,70 % del área de estudio posee valores de LS entre 5,14 y 8,96, esto como producto de la topografía irregular

que poseen los cantones, el 2,75 % del territorio posee valores entre el 0,03 y 1,11; finalmente el 11,14 % del área de estudio presenta valores que van de 8,96 a 178,78.

4.2.1.4. Factor C.

La figura 5 muestra el mapa de cobertura vegetal y los valores del factor C otorgados para cada tipo de cobertura y su distribución.

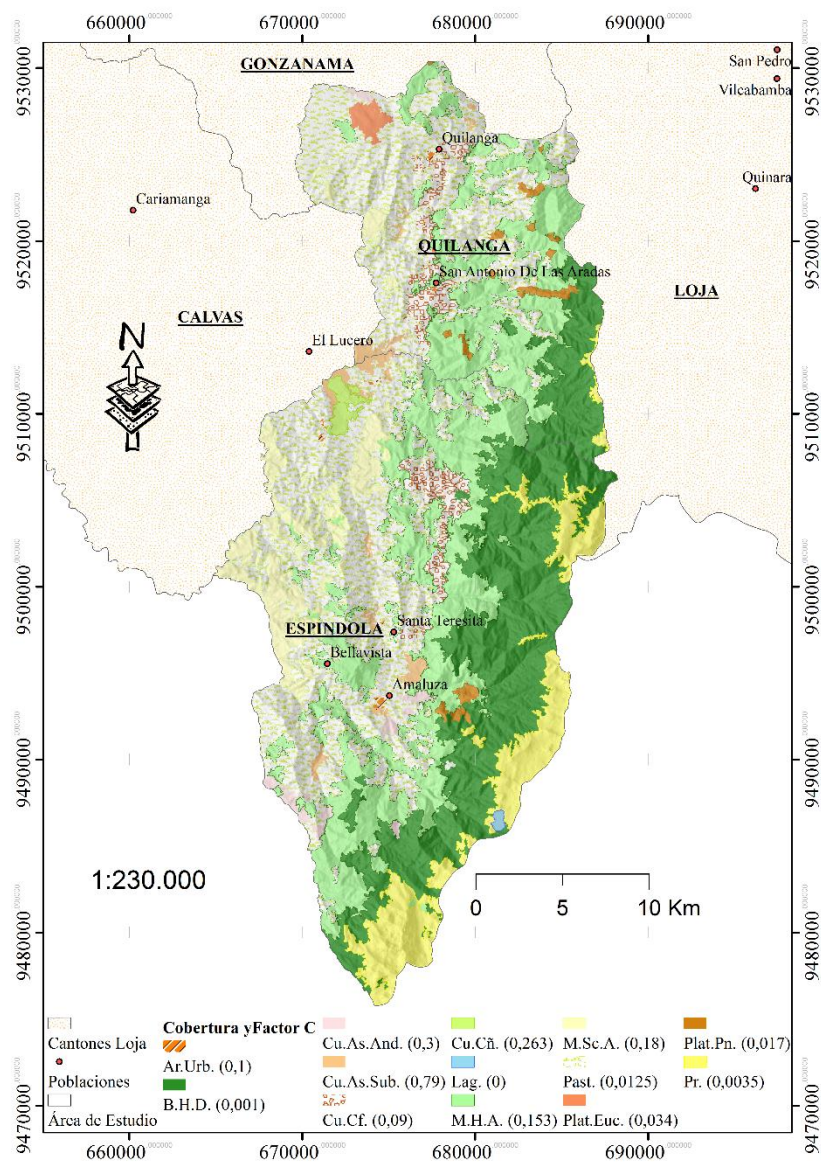


Figura 5. Cobertura vegetal y valor otorgados para el factor C.

Cuadro 13. Coberturas vegetales y valores del factor C.

Cobertura	Código en el Mapa	Factor C	Área (Ha)	Área %
Área Urbana	Ar.Urb.	0,1000	99,20	0,13
Bosque húmedo denso	B.H.D.	0,0010	15943,66	21,19
Cultivo de café	Cu.Cf.	0,0900	2460,68	3,27
Cultivo de caña	Cu. Cñ	0,2630	394,44	0,52
Cultivos asociados andinos	Cu.As.A	0,3000	616,61	0,82
Cultivos asociados subtropicales	Cu.As.Sub.	0,0790	1002,35	1,33
Cuerpos de Agua	Cup.Ag	0,0000	68,68	0,09
Matorral húmedo alto	M.H.A.	0,1530	19283,87	25,63
Matorral seco alto	M.Sc.A.	0,1800	4080,88	5,42
Páramo	Pr.	0,0035	5239,46	6,96
Pastizal	Past.	0,0125	25062,08	33,31
Plantación de Eucalipto	Plat.Euc	0,0340	352,85	0,47
Plantación de Pino	Plat.Pn	0,0170	632,89	0,84

El cuadro 13 representa la distribución de los valores del factor C asignados a cada tipo de cobertura, con lo cual se determina que las coberturas vegetales más sobresalientes e influyentes sobre la erosión por el porcentaje de área que ocupan, son las siguientes, el pastizal que cubre un área de 25 062,08 ha (33,31 %) del área de estudio, la misma que se extiende de Norte a Sur en los dos cantones de Quilanga y Espíndola, adquiriendo un valor de ponderación de 0,0125 cuyo valor es de significancia al momento de impedir la erosión hídrica del suelo producto de las precipitaciones.

Seguidamente se encuentra el matorral húmedo alto ocupando un área de 19 283,87 ha (25,63 %), en el cantón Quilanga esta cobertura se encuentra en mayor extensión en la parte centro sur debido a la presencia cercana al Bosque Protector El Ingenio y Santa Rosa, y en pequeñas áreas en la parte Centro Norte siendo estas rodeadas por pastizales; dentro del cantón Espíndola esta cobertura se encuentra en la parte central del cantón extendiéndose de Norte a Sur, influenciado por las zonas de amortiguamiento del Parque Nacional Yasuni, el valor de ponderación que adquiere esta cobertura es de 0,153.

Por último la cobertura de bosque húmedo denso con una extensión del 15 943 ha (21,19%), en el cantón Quilanga se encuentra en la parte Sur, formando parte del Bosque Protector El Ingenio y Santa Rosa; dentro del cantón Espíndola se encuentra

en el costado oriental, el mismo está conformado una parte por el Parque Nacional Yacuri y su zona de transición lo que ha influido en su conservación, el valor de del factor C para esta cobertura es el de 0,001 siendo el más bajo de todos lo que indica que protege en gran medida la erosión hídrica.

4.2.1.5. Factor P.

El factor de prácticas de conservación P, estima la reducción de pérdida de suelo que se puede conseguir al aplicar alguna medida de protección en zonas de cultivo.

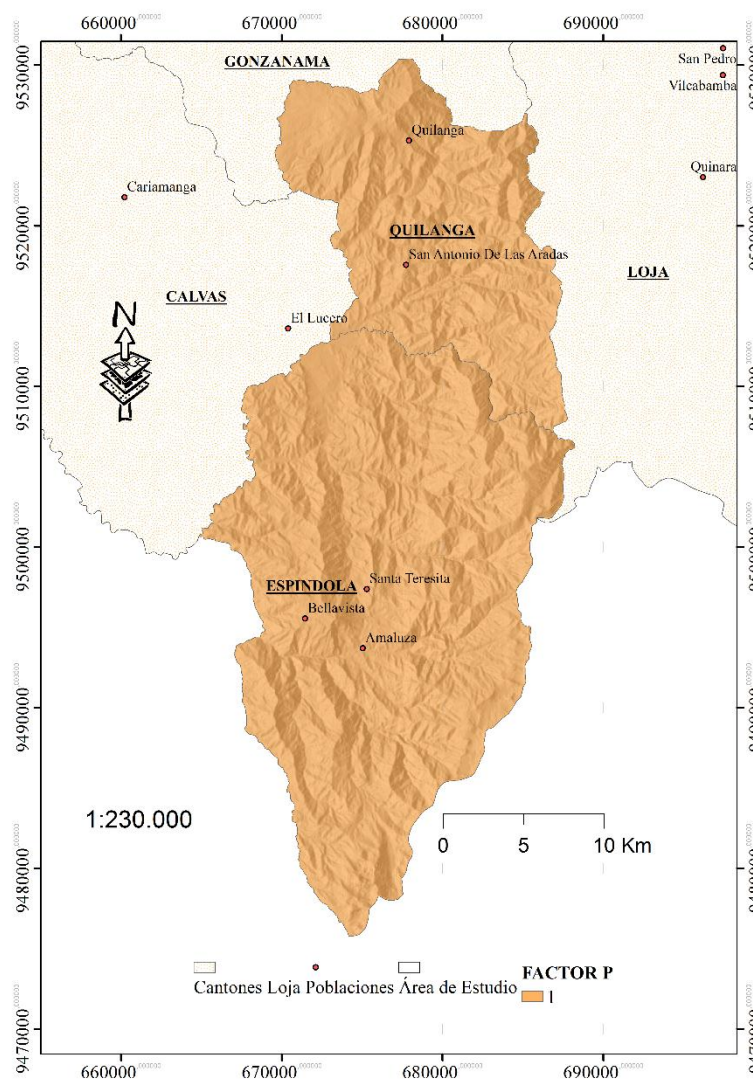


Figura 6. Prácticas de conservación o factor P.

En base a la fase de campo donde se realizó un recorrido por el área de estudio, se decidió dar para toda el área de estudio el valor de 1 al factor P, ya que en el recorrido para toma de muestras de suelo no se pudo identificar ningún tipo de práctica agrícola que contribuya la disminución del nivel de erosión como se muestra en la figura 7.



Figura 7. Topografía y pastizales del área de estudio.

4.2.1.6. Tasa de erosión hídrica actual.

Una vez obtenidos los resultados de los cinco factores de la fórmula RUSLE ($R * K * LS * C * P$), se pudo determinar la erosión hídrica actual del área de estudio (Cantones de Quilanga y Espíndola), lográndose generar un mapa de pérdida de suelo, el mismo que indica espacialmente donde está ocurriendo este fenómeno (Figura 8).

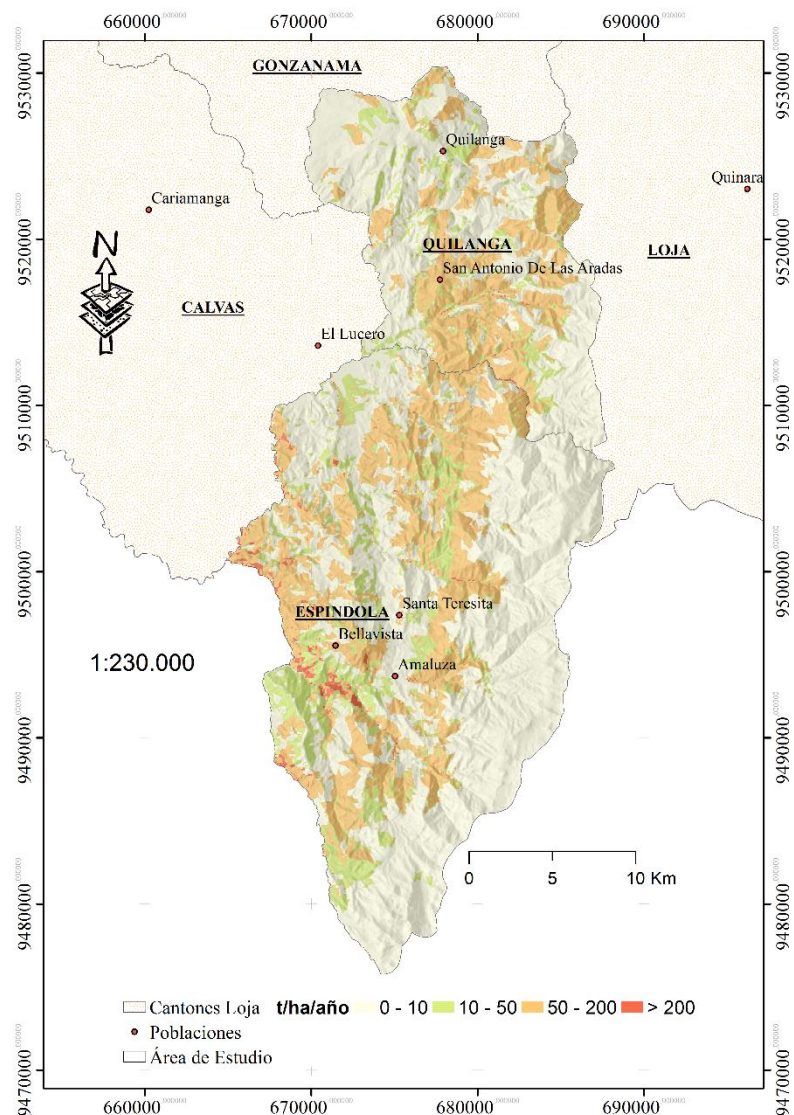


Figura 8. Erosión hídrica actual.

Cuadro 14. Erosión hídrica actual del área de estudio

Categoría	Rangos de Erosión hídrica t/ha-año	Cantón Quilanga		Cantón Espíndola		Área de Estudio Total	
		Área ha	Área %	Área ha	Área %	Área ha	Área %
Baja	0 - 10	13533,17	57,18	29955,34	58,09	43488,51	57,80
Media	10 - 50	2811,43	11,88	7025,25	13,62	9836,68	13,07
Alta	50 - 200	7283,76	30,77	14030,63	27,21	21314,39	28,33
Muy Alta	> 200	39,70	0,17	554,23	1,07	593,93	0,79

Los resultados obtenidos en el cuadro 14, indican de forma general que el 0,79 % (593,93 ha) del área de estudio se encuentran en la categoría muy alta, con una tasa de erosión hídrica mayor a 200 t/ha/año. De manera conjunta tanto el cantón Quilanga como Espíndola presentan valores bajos en la categoría de erosión Muy Alta, ya que poseen el 0,17 y 1,07% respectivamente de su territorio bajo esta categoría, de manera particular el cantón Espíndola deberá tomar medidas que permitan contrarrestar este fenómeno, debido a que posee 554,23 ha bajo esta categoría de las 593,93 has del área de estudio.

Especial atención se debe tener con la categoría alta, para evitar que en un futuro no pase a sumarse a la categoría muy alta, ya que esta representa para el caso del cantón Quilanga el 30,77% de su territorio, y, para el cantón Espíndola el 28,33%, estos valores se ven influenciados por la presencia de valores medios y altos del factor LS producto de fuertes pendientes y longitudes de pendiente extensas, además se suma el factor K con valores altos al igual que el factor R, que indican una mayor disponibilidad del suelo a ser erosionado en épocas de lluvia, sobre esta categoría de erosión se encuentra los siguientes usos de suelo, Pastizal, Matorral seco alto y cultivos de café, de manera que se deberá implementar técnicas de manejo del suelo sobre estos para lograr aplacar los efectos de las lluvias.

Por último, ambos cantones presentan porcentajes mayores al 50% de su territorio en la categoría Baja, esto debido en gran parte a la existencia del Bosque Protector El Ingenio y Santa Rosa en el cantón Quilanga, y dentro del cantón Espíndola por su parte cuenta con la presencia del Parque Nacional Yacuri y las zonas de amortiguamiento y transición, las cuales han aportado a que el 57,09 % del área del cantón se encuentre en la categoría baja de erosión hídrica.

El siguiente cuadro muestra la dispersión de la erosión hídrica a nivel de parroquias del cantón Quilanga.

Cuadro 15. Erosión hídrica actual en las parroquias del cantón Quilanga.

EROSIÓN HÍDRICA ACTUAL DE LAS PARROQUIAS DEL CANTON QUILANGA							
Categoría	Rangos de Erosión hídrica t/ha-año	Parroquia Quilanga		Parroquia Fundochamba		Parroquia San Antonio de las Aradas	
		Área ha	Área %	Área ha	Área %	Área ha	Área %
Baja	0 -10	6353,11	26,84	1691,98	7,15	5488,08	23,19
Media	10 - 50	1148,85	4,85	461,00	1,95	1201,58	5,08
Alta	50 - 200	1675,66	7,08	1515,44	6,40	4092,66	17,29
Muy Alta	> 200	2,10	0,01	3,61	0,02	33,98	0,14

En base al cuadro 15 se puede indicar que las parroquias del cantón Quilanga más afectadas en función del área bajo una tasa de erosión alta (50 – 200 t/ha/año) son la parroquia de San Antonio de las Aradas y Quilanga ya que poseen un área de 4 092,66 y 1 675,66 ha respectivamente bajo esta categoría.

El siguiente cuadro muestra la erosión hídrica a nivel de las parroquias del cantón Espíndola, el porcentaje del área está en función del área total del cantón.

Cuadro 16. Erosión hídrica actual en las parroquias del cantón Espíndola.

EROSIÓN HÍDRICA ACTUAL DE LAS PARROQUIAS DEL CANTON ESPÍNDOLA															
Categoría	Rangos de Erosión hídrica t/ha-año	Parroquia El Ingenio		Parroquia 27 de Abril		Parroquia El Airo		Parroquia Bellavista		Parroquia Santa Teresita		Parroquia Amaluza		Parroquia Jimbura	
		Área ha	Área %	Área ha	Área %	Área ha	Área %	Área ha	Área %	Área ha	Área %	Área ha	Área %	Área ha	Área %
Baja	0 -10	4333,13	8,40	2269,58	4,40	1546,30	3,00	2863,05	5,55	4703,76	9,12	9122,26	17,69	5117,27	9,92
Media	10 - 50	609,32	1,18	473,37	0,92	496,64	0,96	1489,62	2,89	887,26	1,72	855,84	1,66	2213,17	4,29
Alta	50 - 200	2290,72	4,44	1296,07	2,51	794,98	1,54	3097,06	6,01	2153,26	4,18	2281,39	4,42	2117,14	4,11
Muy Alta	> 200	7,34	0,01	55,42	0,11	3,45	0,01	264,66	0,51	10,25	0,02	46,64	0,09	166,48	0,32

En base al cuadro 16, se puede identificar que las parroquias con mayor erosión en función del área y tomando en cuenta la tasa de erosión entre 50 y 200 t/ha/año son las parroquias de: El Ingenio con 2 290,72 ha, Bellavista con 3 097,06 ha, Santa Teresita con 2 153,26 ha, Amaluza con 2 281,39 ha y Jimbura con 2 117 ha; así mismo, hay que mencionar que en todas las parroquias la categoría baja es la que más área ocupa con una tasa de erosión entre 0 y 10 t/ha/año.

4.2.1.7. Erosión hídrica potencial con escenarios de degradación de la cobertura vegetal.

Para poder determinar la erosión hídrica potencial se procedió a cambiar los valores únicamente del Factor C como se indica en la metodología propuesta para calcular la erosión hídrica potencial, en el cuadro 17 se presentan los nuevos valores de C, así como el caso hipotético que provocaría la alteración en su valor.

Cuadro 17. Valores modificados del factor C para obtener la Erosión Hídrica Potencial.

Cobertura Vegetal	Valor Factor C actual	Valor Factor C modificado	Caso hipotético por el cual incrementa el valor de C
Bosque húmedo denso	0,001	0,001	Se mantiene el valor
Cultivo de café (Con sombra)	0,09	0,25	Presencia de Roya produciendo una defoliación y muerte de las plantas de café, disminuyendo la protección del suelo ante la presencia de lluvias.
Cultivo de caña	0,263	0,5	Quema de plantaciones para control de plagas.
Cultivos asociados andinos	0,3	0,3	Se mantiene el valor
Cultivos asocia sub-tropical	0,079	0,079	Se mantiene el valor
Matorral húmedo Alto	0,153	0,153	Se mantiene el valor
Matorral seco Alto	0,18	0,36	Presencia de incendios forestales, y expansión de la frontera agrícola.
Páramo	0,0035	0,0035	Se mantiene el valor
Pasto	0,0125	0,2	Mal manejo de los pastizales Sobre pastoreo
Plantación de Pino	0,017	0,017	Se mantiene el valor
Plantación Eucalipto	0,034	0,034	Se mantiene el valor

La Figura 9 muestra el resultado para la erosión hídrica potencial con los nuevos valores del factor C.

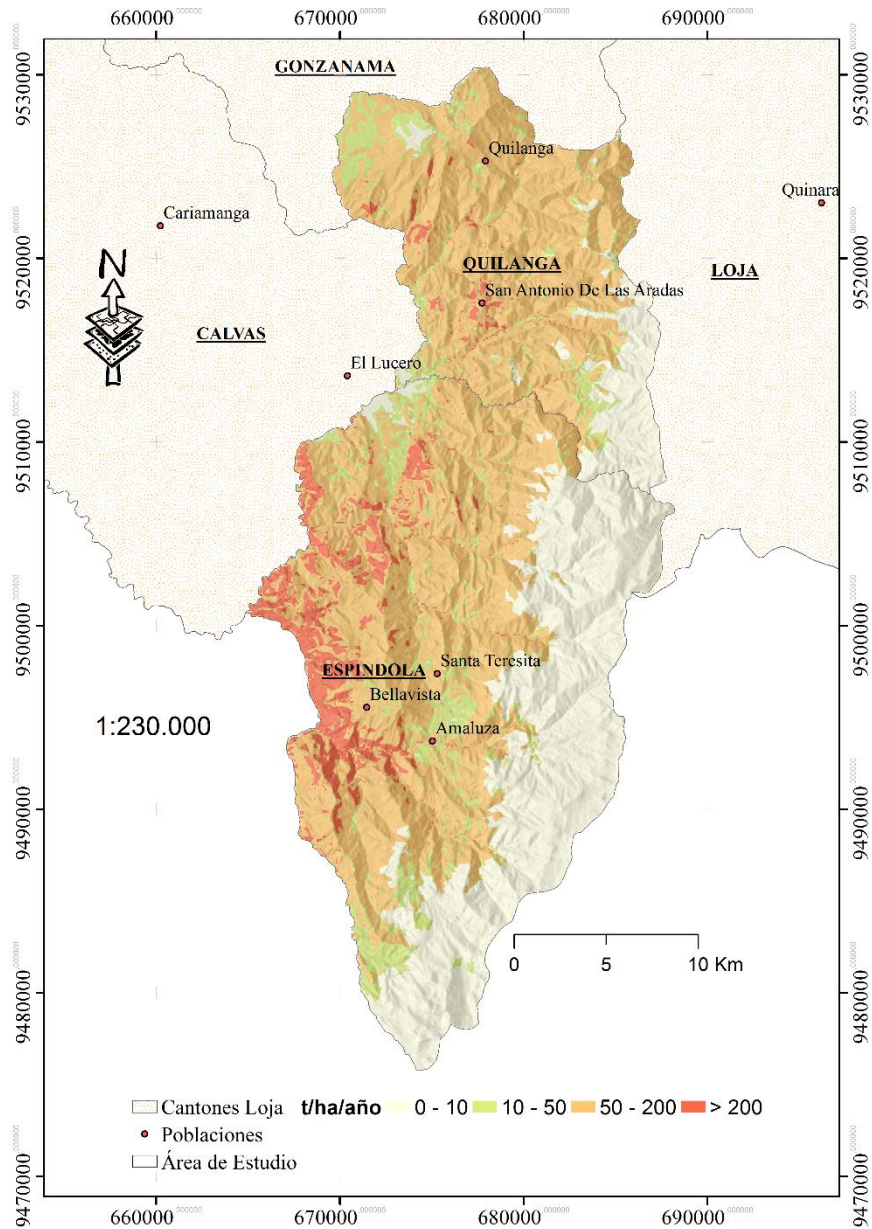


Figura 9. Erosión hídrica potencial por incremento del factor C.

El siguiente cuadro presenta una comparación de resultados entre la erosión hídrica actual y la erosión potencial.

Cuadro 18. Erosión hídrica actual y potencial del área de estudio.

EROSIÓN HÍDRICA ACTUAL							
Categoría	Rangos de Erosión hídrica t/ha-año	Cantón Quilanga		Cantón Espíndola		Total Área de Estudio	
		Área ha	Área %	Área ha	Área %	Área ha	Área %
Baja	0 - 10	13533,17	57,18	29955,34	58,09	43488,51	57,8
Media	Oct-50	2811,43	11,88	7025,25	13,62	9836,68	13,07
Alta	50 - 200	7283,76	30,77	14030,63	27,21	21314,39	28,33
Muy Alta	> 200	39,7	0,17	554,23	1,07	593,93	0,79

EROSIÓN HÍDRICA POTENCIAL							
Categoría	Rangos de Erosión hídrica t/ha-año	Cantón Quilanga		Cantón Espíndola		Total Área de Estudio	
		Área ha	Área %	Área ha	Área %	Área ha	Área %
Baja	0 - 10	3557,16	15,03	18539,19	35,95	22017,9	29,38
Media	Oct-50	2791,83	11,8	4439,02	8,61	7201,22	9,61
Alta	50 - 200	16804,22	71	24324,79	47,17	40958,17	54,66
Muy Alta	> 200	514,85	2,18	4264,45	8,27	4756,73	6,35

Los resultados de la erosión hídrica potencial indican un incremento del 92,94 % en la categoría de erosión alta, esta categoría incrementa del 28,33 % (Erosión Actual) al 54,66 % (Erosión potencial) del área total de estudio, demostrando una mayor susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica producto de un mal manejo de la cobertura vegetal; la categoría muy alta sigue la misma línea, ya que se incrementa en un 704 % su área de afectación, esto como producto del incremento de un 0,79 al 6,35 % del área de estudio, dejando evidente que la forma como se maneje la cobertura vegetal tiene una relación directa con el incremento de la erosión hídrica, dejando notar que el área de estudio es muy susceptible a la erosión hídrica.

4.2.1.8. Erosión hídrica potencial sin considerar los factores C y P.

Para poder determinar la erosión potencial por este método se procedió a eliminar en la ecuación los factores C y P teniendo como resultado la imagen 10 y cuadro 18.

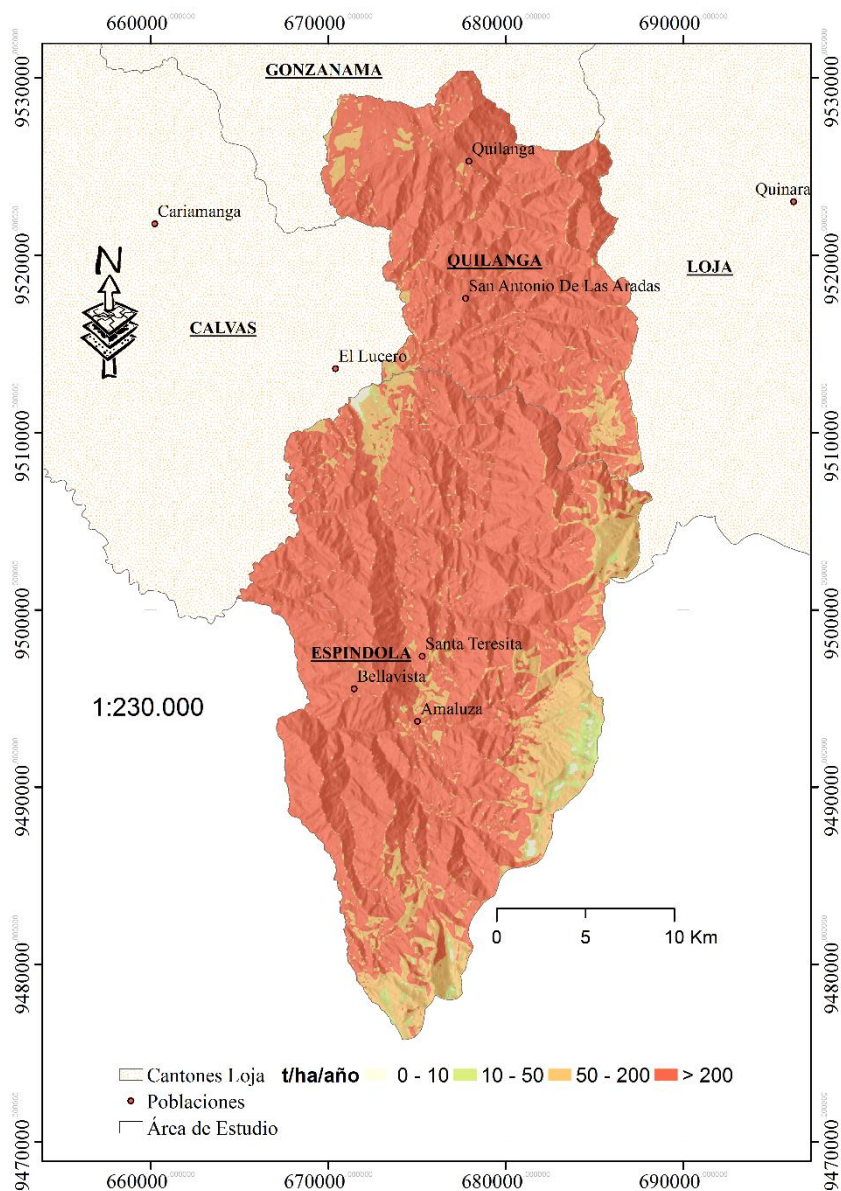


Figura 10. Erosión potencial producto de los factores $R \cdot K \cdot LS$.

El cuadro 19 muestra la comparación realizada entre la erosión actual y la obtenida aplicando el segundo método de erosión potencial, el mismo que únicamente considera los factores R, K y LS.

Cuadro 19. Erosión hídrica actual y potencial del área de estudio

EROSIÓN HÍDRICA ACTUAL DEL ÁREA DE ESTUDIO							
Categoría	Rangos de Erosión hídrica t/ha-año	Cantón Quilanga		Cantón Espíndola		Total Área de Estudio	
		Área ha	Área %	Área ha	Área %	Área ha	Área %
Baja	0 - 10	13533,17	57,18	29955,34	58,09	43488,51	57,80
Media	10 - 50	2811,43	11,88	7025,25	13,62	9836,68	13,07
Alta	50 - 200	7283,76	30,77	14030,63	27,21	21314,39	28,33
Muy Alta	> 200	39,70	0,17	554,23	1,07	593,93	0,79
EROSION HÍDRICA POTENCIAL CONSIDERANDO LOS FACTORES R, K y LS							
Categoría	Rangos de Erosión hídrica t/ha-año	Cantón Quilanga		Cantón Espíndola		Total Área de Estudio	
		Área ha	Área %	Área ha	Área %	Área ha	Área %
Baja	0 - 10	4,32	0,02	241,87	0,47	246,19	0,33
Media	10 - 50	103,71	0,44	1105,79	2,14	1209,5	1,61
Alta	50 - 200	1813,17	7,66	8668,93	16,81	10482,1	13,93
Muy Alta	> 200	21746,86	91,88	41548,86	80,57	63295,72	84,13

Los resultados obtenidos sin considerar la cobertura vegetal y las prácticas de manejo, presentaron un incremento considerable, los resultados permiten evidenciar que, de no existir los dos factores excluidos en este cálculo, el 84,13 % del área de estudio presentaría una categoría muy alta con una tasa de erosión mayor a 200 t/ha/año, y el 13,93 % presentaría una erosión alta la misma que representa una tasa de erosión entre las 50 y 200 t/ha/año, dejando únicamente el 1,94 % del área de estudio entre las categorías media y baja. Estos resultados evidencian que el área de estudio presenta una alta susceptibilidad a la erosión hídrica, producto de la topografía irregular por la cual se caracteriza, así como por el tipo de suelo que es susceptible a la erosión; dejando en evidencia la importancia de realizar prácticas de manejo de los suelos y realizar buenas prácticas de cultivo.

4.2.1.9. Zonas susceptibles a erosión hídrica.

Para determinar las zonas susceptibles a erosión hídrica en el lugar de estudio, se procedió a subdividir el área mediante el sistema de cuencas y sub-cuencas obteniendo como resultado la figura 11 y cuadro 20.

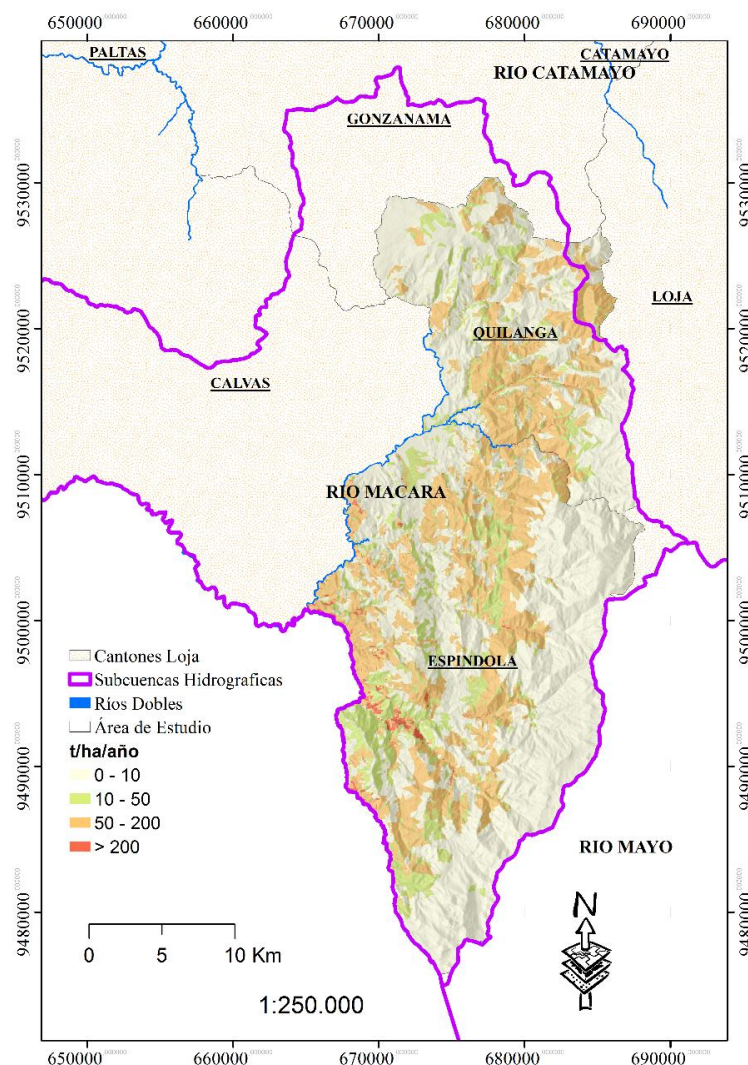


Figura 11. Zonas susceptibles a erosión hídrica a nivel de la Sub-cuenca del río Macará

Cuadro 20. Zonas susceptibles a erosión hídrica a nivel de la Sub-cuenca del río Macará

SUSCEPTIBILIDAD DE LA EROSIÓN HÍDRICA			
Susceptibilidad a Erosión Hídrica	Rangos de Erosión hídrica t/ha-año	Área ha	Área % Respecto de la subcuenca del río Macará
Ligera	0 - 10	42725,57	23,48
Moderada	10 - 50	9658,64	5,31
Alta	50 - 200	20519,36	11,28
Muy Alta	> 200	579,62	0,32

El área de estudio se encuentra ubicada en un 97,67 % (73 483,19 ha) en la parte alta de la subcuenca del Río Macará, de esta área el 23,48 % (42 725,57 ha) presenta una susceptibilidad de erosión ligera debido a la presencia del Parque Nacional Yacuri y sus zonas de influencia, además de ello en el cantón Quilanga existe el Bosque Protector El ingenio y Santa Rosa, estas dos áreas protegidas aportan con una cobertura vegetal en buen estado lo que ayuda a disminuir la erosión hídrica.

Mayor atención se deberá dar al manejo de pastizales de la parte alta de la sub-cuenca ya que esta cobertura vegetal ocupa una extensión del 13,50 % de la subcuenca, que combinada con la topografía del terreno y de más factores, aportan para que el 11,28 % del área de la subcuenca presente una susceptibilidad alta, presentando pérdidas del suelo por erosión comprendidas en los rangos de 50 a 200 t/ha/año; en cuanto a la susceptibilidad muy alta representa el 0,32% del área de la subcuenca.

Finalmente el 2,33% (1750,32 ha) del área de estudio que se encuentra dentro de la Subcuenca del Río Catamayo, no se la ha descrito ya que representa únicamente el 0,41% de esta subcuenca lo que la vuelve un área no representativa para realizar un análisis.

4.3. Alternativas Adecuadas de Manejo y Uso de Suelo para Mitigar los Efectos de la Erosión Hídrica.

Las técnicas de manejo de relieve permiten tratar la agricultura en secano⁴ como bajo riego, estas técnicas abarcan desde la simple ordenación de las líneas de cultivo, hasta prácticas muy complejas como la nivelación completa de terrenos muy inclinados, con fines de implementar el uso agrícola.

El cuadro 21 presenta los valores del factor P para las diferentes alternativas de manejo del suelo, para lograr una disminución en los niveles de erosión hídrica en los cantones de Quilanga y Espíndola.

⁴ La agricultura en secano es aquella en la que los cultivos sólo reciben el agua que aportan las lluvias.

Cuadro 21. Valores del factor P acorde a cada técnica de conservación del suelo y la pendiente.

Pendiente del terreno (%)	Cultivo en contorno y en curvas de nivel	Cultivos en franjas en contorno	Terrazas
1-2	0,60	0,30	0,12
3-8	0,50	0,25	0,10
9-12	0,60	0,30	0,12
13-16	0,70	0,35	0,14
17-20	0,80	0,40	0,16
21-25	0,90	0,45	0,18

Fuente: Cisneros, et al. (2012) y Almorox (2010)

4.3.1. Cultivos en curvas de nivel

Se llama curva de nivel a una línea trazada en el terreno que une puntos de igual altitud respecto del nivel del mar, esta técnica realiza las operaciones de labranza y siembra siguiendo esa línea. Esta práctica corta la pendiente de manera que cada surco o planta representa un obstáculo al avance del agua lo que promueve una mayor retención e infiltración del agua, y disminuye la escorrentía superficial (Cisneros *et al.*, 2012).

Esta práctica se debe aplicar en condiciones de relieve complejo y pronunciado, esto debido a que los riesgos de erosión son mayores siendo necesario cortar todas las direcciones de la pendiente; en relieves complejos se suelen utilizar más de una línea guía, las cuales sirven de base para realizar siembras hacia arriba y hacia abajo.



Figura 12. Cultivos en curvas de nivel.

Fuente: Cisneros, *et al.*, 2012

4.3.2. Barreras vivas.

El fin principal de las barreras vivas es el de lograr el control en cierto grado de la erosión de los suelos, ya que actúan como reductoras de la velocidad del agua de escorrentía y a manera de filtros, deteniendo los sedimentos del suelo y residuos vegetales que pudiese transportar el agua sobre el terreno (Cubero, 1999; Carrasco & Vergara, 2009).

Para poder sostener la degradación en terrenos cuya pendiente es pronunciada se recomienda realizar la combinación de esta práctica con otras prácticas agronómicas de manejo como por ejemplo labranza y siembra en contorno.

4.3.3. Manejo de cultivos en franjas.

Cisneros, *et al.*, (2012) manifiesta que los lotes cultivados en franjas se ejecutan de manera similar a las tierras trabajadas en curvas de nivel; sin embargo se debe tener en cuenta lo siguiente:

- La siembra en fajas requiere el establecimiento de la rotación de los cultivos sembrados en las franjas, entre cultivos densos y los que no lo son.
- Al arar se debe evitar la formación de camellones y surcos muertos.
- Se deben dejar vías de desagües protegidas con vegetación.
- En caso de cultivos anuales la rotación será anual, para el caso de pasturas deberán respetarse los criterios de vida útil y productividad de las mismas.

En el cuadro 22 se presenta anchos posibles para la faja con pasto y de cultivo para diferentes rangos de pendientes.

Cuadro 22. Anchos para la faja empastada y de cultivo para distintas pendientes.

Pendiente %	Ancho de franja con pasto (m)	Ancho de franja cultivable (m)
Hasta 1	8	48
Hasta 3	12	36
Hasta 6	12	24
Más de 6	20	20

Fuente. (Cisneros *et al.*, 2012)

4.3.4. Terrazas de banco.

Este sistema consiste en una serie de áreas planas, semejantes a bancos o escaleras, convirtiendo una pendiente escarpada en planos casi horizontales (Figura 10.), separados por paredones generalmente estabilizados con piedra. Con esta técnica se modifica tanto la longitud como la gradiente de las pendientes debido a que se genera una superficie plana. Su implementación está concentrado en áreas de montaña, con pendientes mayores al 20 %, esta práctica requiere de grandes movimientos de suelo para su construcción y muy alta precisión en el trazado de los bancales y vías de desagüe.

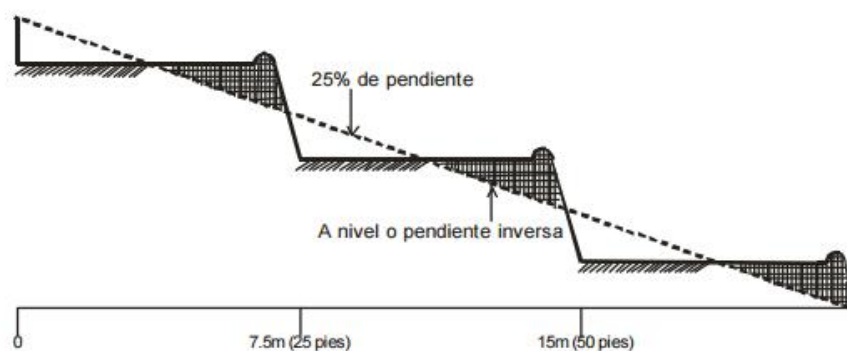


Figura 13. Terrazas de banco o bancales.
Fuente. (Cisneros, *et al.* 2012).

El siguiente cuadro presenta las medidas mínimas y máximas de las terrazas en función de la pendiente del terreno.

Cuadro 23. Intervalos vertical y horizontal en función del gradiente de pendiente.

Pendiente del terreno %	Intervalo Vertical (m)		Intervalo horizontal (m)	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
1	0,50	0,70	50,00	70,00
2	0,64	0,86	32,00	43,00
3	0,70	0,95	23,00	31,00
4	0,76	1,00	10,00	25,00
5	0,83	1,12	0,60	22,40
6	0,89	1,20	14,80	20,00

Cuadro 23. Continuación

Pendiente del terreno %	Intervalo Vertical (m)		Intervalo horizontal (m)	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
7	0,96	1,29	13,70	18,40
8	1,02	1,38	12,80	17,30
9	1,08	1,47	12,00	16,30
10	1,15	1,55	11,50	15,50
11	1,21	1,64	11,00	14,90
12	1,28	1,73	10,60	14,40

Fuente: Cisneros, *et al.* 2012

4.4. Proyección de Reducción de la Erosión Hídrica Utilizando Alternativas de Manejo y Uso del Suelo.

Al igual que en el caso anterior de la proyección de la erosión hídrica, el siguiente caso presenta los nuevos valores del factor C y del factor P luego de implementar actividades de manejo, y casos hipotéticos de contribución de los Gobiernos locales y el Gobierno central para reducir las tasas de erosión, los mismo que son presentados en el siguiente cuadro.

Cuadro 24. Valores modificados del factor C para reducir la tasa de erosión hídrica.

Cobertura Vegetal	Factor C actual	Factor P actual	Factor C modificado	Factor P modificado	Caso hipotético por el cual disminuye el valor de C y P
Bosque húmedo denso	0,001	1	0,001	1	Se mantiene el valor para los Factores C y P.
Cultivo de café (Con sombra)	0,09	1	0,045	0,18	Programas y políticas de los gobiernos locales promueven el mejoramiento de semilla, cursos de capacitación en el manejo y uso del suelo en cultivos de café y dotación de implementos para el control de plagas; cultivo en terrazas.

Cuadro 24. Continuación

Cobertura Vegetal	Factor C actual	Factor P actual	Factor C modificado	Factor P modificado	Caso hipotético por el cual disminuye el valor de C y P
Cultivo de caña	0,263	1	0,13	0,12	Mejoramiento en el manejo de plantaciones, cultivo en terrazas, mejoramiento en los sistemas de riego.
Cultivos asociados andinos	0,3	1	0,3	0,8	Se mantiene el valor del Factor C; se realiza cultivos en curvas de nivel.
Cultivos asociada subtropical	0,079	1	0,079	1	Se mantiene el valor para los Factores C y P.
Matorral húmedo Alto	0,153	1	0,153	1	Se mantiene el valor para los Factores C y P.
Matorral seco Alto	0,18	1	0,09	1	Regeneración del matorral seco alto producto de un mejor manejo del ganado y actividades silvopastoriles; se mantiene el valor del Factor P.
Páramo	0,0035	1	0,0035	1	Se mantiene el valor para los Factores C y P.
Pasto	0,0125	1	0,006	0,4	Semi-estabulación del ganado, implementación de sistemas silvopastoriles, y se realiza cultivos en franjas.
Plantación de Pino	0,017	1	0,017	1	Se mantiene el valor para los Factores C y P.
Plantación Eucalipto	0,034	1	0,034	1	Se mantiene el valor para los Factores C y P.

La figura 14 muestra los resultados de la erosión del escenario deseable, y el cuadro 24 presenta en conjunto los resultados de la erosión actual y los resultados de la proyección de la erosión con los nuevos valores de los Factores C y P.

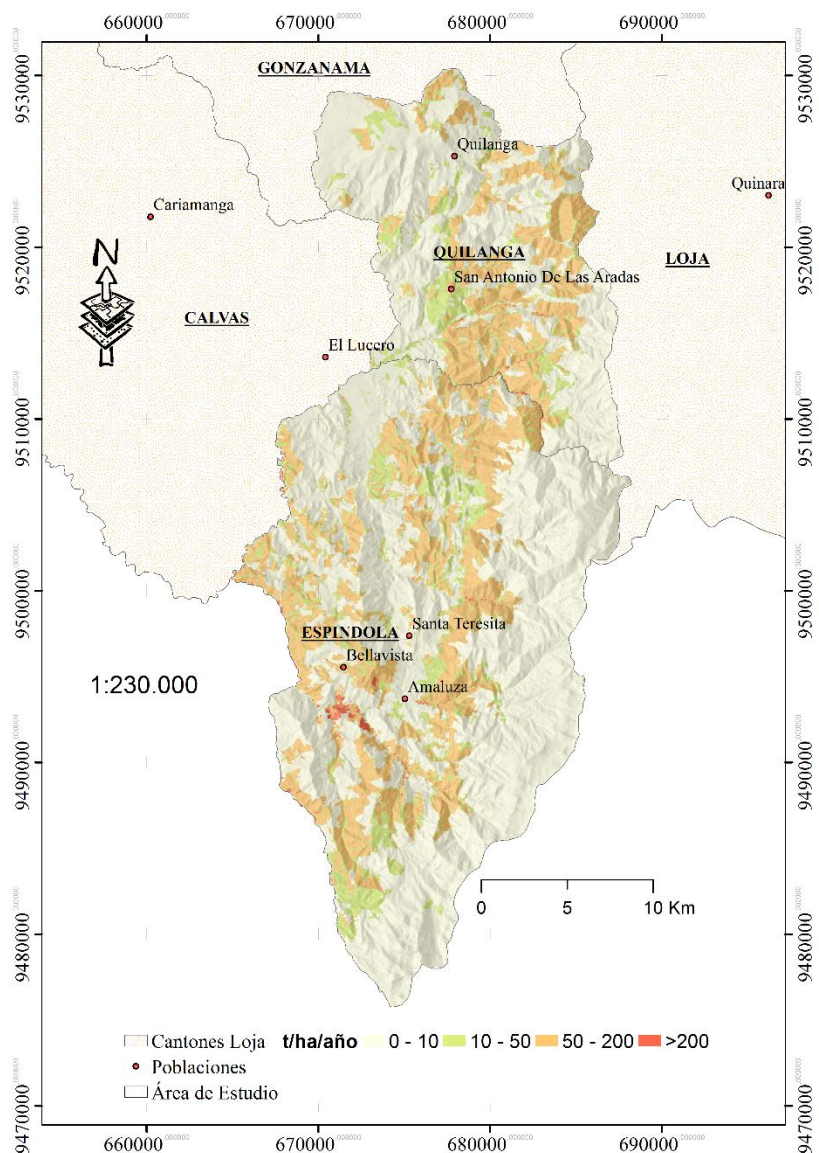


Figura 14. Proyección de la reducción de la erosión hídrica con prácticas de manejo.

Cuadro 25. Erosión actual y proyección de la erosión con prácticas de manejo.

EROSIÓN HÍDRICA ACTUAL							
Categoría	Rangos de Erosión hídrica t/ha-año	Cantón Quilanga		Cantón Espíndola		Total Área de Estudio	
		Área ha	Área %	Área ha	Área %	Área ha	Área %
Baja	0 - 10	13533,17	57,18	29955,34	58,09	43488,51	57,8
Media	10 - 50	2811,43	11,88	7025,25	13,62	9836,68	13,07
Alta	50 - 200	7283,76	30,77	14030,63	27,21	21314,39	28,33
Muy Alta	> 200	39,7	0,17	554,23	1,07	593,93	0,79

Cuadro 25. Continuación

PROYECCION DE LA EROSION HÍDRICA CON PRACTICAS DE MANEJO							
Categoría	Rangos de Erosión hídrica t/ha-año	Cantón Quilanga		Cantón Espíndola		Total Área de Estudio	
		Área ha	Área %	Área ha	Área %	Área ha	Área %
Baja	0 - 10	14725,41	62,22	34146,7	66,22	48872,11	64,96
Media	10 - 50	2862,77	12,1	4760,59	9,23	7623,36	10,13
Alta	50 - 200	6046,93	25,55	12410,78	24,07	18457,71	24,53
Muy Alta	> 200	32,95	0,14	247,38	0,48	280,32	0,37

El resultado sobre la erosión hídrica del suelo luego de la implementación de técnicas de manejo y uso del suelo para su labranza es evidente, debido a la disminución de los porcentajes de las categorías más altas de erosión, es así que en la categoría muy alta existió una disminución del 53,16 % del área afectada por esta categoría, ya que pasó de 0,79 % al 0,37 % del área total de estudio, la categoría alta por su parte disminuyó un 13,41 %; finalmente la categoría baja de erosión hídrica presentó un incremento del 12,39 %.

5. DISCUSIÓN.

5.1. Base de Datos Digital con Información Biofísica Requerida para la Estimación de la Erosión del Suelo.

Cisneros, *et al.*, (2012), menciona que el diseño de la base de datos tiene como objetivo desarrollar su estructura, definir contenidos, especificar las limitaciones a las que los datos están sujetos, evitar redundancia e inconsistencia de los datos.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, durante la presente investigación se utilizó bases de datos para cada uno de los factores a calcular, de esta manera se manejó una base de datos para la precipitación (Factor R) para un periodo de 35 años de 24 estaciones meteorológicas distribuidas dentro y alrededor del área de estudio, se realizó una base de datos para las propiedades físicas y químicas del suelo (Factor K), la misma que está formada en base a 17 puntos de muestreo de la capa arable del suelo; en cuanto a las prácticas agrícolas (Factor P) se levantó la información mediante visualización en campo; finalmente para la cobertura vegetal (Factor C) se realizó mediante el tratamiento de fotografías aéreas en el programa Arcmap, y su posterior corroboración en campo.

5.2. Estimación las Tasas de Erosión Hídrica Actual, Potencial y Zonas Susceptibles a Erosión.

5.2.1. Factor R (Factor de Erosividad de la lluvia).

Los resultados obtenidos en la presente investigación para este factor, luego de haber realizado el análisis de 24 estaciones meteorológicas distribuidas dentro y alrededor del área de estudio, para un periodo de 35 años, los datos oscilan entre 1 310 a 4 955 Mj.mm/ha.hr.año, encontrándose únicamente las categorías de alta y media.

Estos valores del factor R guardan concordancia con los encontrados por Tapia (2012) quien realiza un estudio para cuantificar la producción de caudales y sedimentos dentro de un área experimental en la cuenca del río Guayas, determinando valores para el factor R entre 165,95 y 7 635,81 Mj.mm/ha.hr.año. Valores similares presentan Bustamante y Álvarez (2011), los mismo que oscilan entre 2 030 a 5 207 Mj.mm/ha.hr.año, estos fueron determinados dentro de la provincia de Loja dentro del

estudio que buscó determinar el grado de erosión hídrica de la cuenca alta del río Catamayo; por lo mencionado con anterioridad podemos indicar que, los datos obtenidos para este factor son coherentes con la realidad.

5.2.2. Factor K (Factor de Erodabilidad del Suelo).

Dentro del área de estudio los valores del factor K varían entre 0,003 a 0,051 T.ha.hr/ha.Mj.mm, esto luego de haber desarrollado el análisis de 17 muestras de suelo, distribuidas dentro del área de estudio y haber realizado los respectivos cálculos para determinar el valor del factor K, encontrando los valores más altos en la parte centro y norte del cantón Quilanga y en la parte centro sur del cantón Espíndola como se muestra en la figura 3, siendo estas áreas la que presentan mayor vulnerabilidad a ser erosionadas.

Al comparar los resultados, con los obtenidos por Bustamante y Álvarez (2011) se puede identificar una similitud entre los mismos, ya que presenta valores que oscilan entre 0,032 a 0,063 T.ha.hr/ha.Mj.mm; en la misma línea Tapia (2012) presenta los rangos entre 0,015 a 0,068 T.ha.hr/ha.Mj.mm dentro de su estudio; por lo cual, los datos obtenidos en la presente investigación están acordes al contexto actual.

5.2.3. Factor LS (Factor Topográfico).

El factor topográfico o factor LS hace referencia al producto obtenido de la multiplicación de la pendiente y la longitud de la misma, dando como resultado un valor adimensional, este es obtenido mediante la utilización del MED, de esta manera entre mayor sea el valor de la pendiente y su longitud, mayor será el resultado del factor LS.

Dentro del área de estudio se obtuvieron valores entre 0,03 a 178,78, producto de las fuertes pendientes existentes en los dos cantones, datos que se corroboran con lo expresado en los PDOT de cada uno de estos cantones. La fórmula utilizada para realizar el cálculo de este factor fue la misma utilizada en varias investigaciones previas, como las realizadas por Díez (2007) el cual determina una metodología para evaluar la erosión hídrica en cuencas vertientes, en la misma línea Montoya, *et al.*,

(2005) utilizó la misma metodología para evaluar la producción de sedimentos en la cuenca del río La Miel en Colombia, además Cisneros *et al.*, (2012), indican este mismo método para el cálculo de este factor, en el libro denominado erosión hídrica: principios y técnicas de manejo; con estos antecedentes podemos determinar que el método utilizado para el cálculo de este factor en esta investigación es de gran aceptación.

5.2.4. Factor C (Manejo de Cobertura Vegetal).

Este factor hace referencia al grado de protección que ofrece determinada cobertura vegetal al suelo contra los efectos erosivos de la precipitación; de manera que para la delimitación de cada tipo de cobertura vegetal se realizó el levantamiento en el programa Arcmap utilizando fotografías aéreas, las mismas que fueron trabajadas a una escala 1: 3 000. El factor C es adimensional, el mismo que fluctúa entre 1 y 0, siendo más alto entre mayor sea el escurrimiento permitido por la vegetación de lo llovido, y viceversa.

El factor resume la influencia de la cobertura vegetal sobre la erosión, determinando cual será el comportamiento y cómo influirá en la erosión hídrica (Montoya *et al.*, 2005). Tapia, (2012), Bustamante y Álvarez (2011), y Jaramillo, (2015), concuerdan que el factor C, indica de qué manera el estado de conservación de la vegetación influye en el comportamiento del suelo frente a la precipitación, de manera que una vegetación que proporcione una mayor cobertura del suelo y menor altura de caída de gotas por interceptación de precipitación, brindará una mejor protección, siendo el valor de esta cobertura cercano a cero, de lo contrario su valor se aproximará a uno.

Teniendo en cuenta que el factor C es uno de los factores más importantes dentro de la ecuación RUSLE, se determinó que los valores deducidos de manera técnica en esta investigación de cada una de las coberturas vegetales del área de estudio, son coherentes con la realidad, lo cual permite obtener datos confiables, esto se puede aseverar debido a la similitud que guardan dichos valores con los expuestos por los investigadores como: Jaramillo (2015) en el estudio realizado sobre el riesgo por erosión hídrica aplicado en la subcuenca del río Portoviejo, el mismo que brinda una

valor de 0,001 a la cobertura de bosque, así mismo Shi *et al.*,(2002) da un valor de 0,002 al bosque primario en el estudio denominado Evaluación del riesgo de erosión con la RUSLE y SIG en la parte media y baja del río Hanjian⁵, en la misma línea Bustamante y Álvarez (2011) en su estudio denominado Determinación de zonas vulnerables a erosión hídrica en la cuenca alta del río Catamayo, brindan un valor de 0,003 para la cobertura de bosque.

5.2.5. Factor P (Prácticas de Conservación).

Este factor estima la reducción de pérdida de suelos que se puede conseguir al aplicar alguna medida de protección en zonas de cultivo, manifestando que los valores de P cercanos a 0 mantienen gran eficiencia en la obra o práctica seleccionada para evitar la erosión, y si el valor es cercano a 1, entonces la eficiencia de la obra para reducir la erosión es baja (Tapia, 2012), (Bustamante y Álvarez 2011), y (Montoya *et al.*, 2005).

Según Jaramillo, (2015), considera que esta variable es independiente del factor C, ya que es considerada como un proceso para la recuperación y conservación del suelo, Cisneros, *et al.*, (2012) concuerda en este criterio, y agrega que este factor es la proporción de la pérdida de suelo que se obtiene mediante alguna técnica de manejo del relieve, en comparación con la pérdida del suelo que se obtiene cuando se cultiva en laderas con 9% de pendiente y a favor de la pendiente.

En los cantones de Quilanga y Espíndola se procedió a determinar un valor generalizado para el factor P de 1 en el área de estudio, esto debido a que no se identificó ninguna técnica que procure contrarrestar la erosión hídrica, este es el mismo valor empleado en las investigaciones realizadas por Díez (2007), Bustamante y Álvarez (2011) y Jaramillo (2015) en cada una de sus respectivas investigaciones ya que presentaron un escenario similar.

⁵ Título sin traducir: Assessment of Erosion Risk with the Rusle and Gis in the Middle and Lower Reaches of Hanjiang River.

5.2.6. Erosión Hídrica Actual.

En base a los resultados del cuadro 14, se logró identificar que el cantón Espíndola presenta 554,23 ha bajo una tasa de erosión de 200 t/ha/año, de un total de 593,93 ha que posee el área de estudio; la tasa comprendida entre 0 y 10 t/ha/año con categoría baja, presenta una mayor presencia en esta área, correspondiéndole el 57,80 %, esto debido en gran parte a la presencia de áreas protegidas en los dos cantones.

La tasa comprendida en los rangos entre 50 y 200 t/ha/año con categoría de alta, ocupa el 28,33 % del área de estudio, es la categoría que mayor atención se debe prestar, para contrarrestar de manera inmediata los niveles de erosión, a través de incentivos y programas emprendidos desde los gobiernos locales, que motiven la implementación de técnicas de manejo del suelo, ya que de no hacerlo podrían pasar a la categoría muy alta y llegar a un estado donde su recuperación no sea posible.

Estos datos presentados en los párrafos anteriores, están en concordancia con los brindados por PREDESUR (2000) el mismo que indica que el 42 % de la provincia de Loja presenta señales de erosión muy severa y el 55 % posee una erosión ligera de origen pluvial; en la misma línea Chela *et al.*, (2008), indica de forma general que en la sierra ecuatoriana el 39,13 % presenta una erosión crítica, un 28,26 % presenta un tipo de erosión seria y que el 26,09 % del territorio de la sierra ecuatoriana presenta una erosión potencial.

En cuanto a las zonas susceptibles a la erosión, en base a la figura 11 y cuadro 20, el área de estudio se encuentra en la parte alta de la sub cuenca del río Macará, la misma presenta una erosión hídrica muy alta en el 0,32 % de su territorio misma que se encuentran en mayor extensión cerca de las parroquias de Bellavista y Amaluza, presenta una tasa de erosión alta en el 11,28 %, esto debido principalmente a los pastizales que cubren grandes extensiones dentro de la parte alta de la sub cuenca, lo que sumado al sobre pastoreo y fuertes pendientes coadyuvan al incremento de la erosión hídrica, así mismo presenta una erosión ligera en el 23,48 % del territorio de la subcuenca.

5.2.7. Erosión Potencial.

5.2.7.1. Erosión hídrica potencial con escenarios de degradación de la cobertura vegetal.

Para determinar la erosión potencial se multiplicó los factores R, K, LS, C y P de la ecuación empleada en el cálculo de la erosión actual, con la diferencia que se modifican los valores del factor C, junto con el factor P, debido a que son estos factores los que pueden presentar una modificación como producto de la intervención de actividades humanas, esto haciendo referencia a una posible presencia de escenarios de degradación en el área de estudio, esta misma metodología fue empleada por Lozano y Parras, (2011), en el estudio de la erosión actual y potencial en suelos ácidos del sur de España.

Los resultados obtenidos de la erosión hídrica potencial muestran un incremento considerable en la categoría muy alta, al pasar de ocupar del 0,79 % al 6,35 % del área de estudio, así mismo la categoría alta pasa de ocupar un 28,33 % al 54,66 % del área, lo cual provoca una disminución de cobertura de las categorías media y baja; estos resultados son similares a los obtenidos por Lozano y Parras (2011), ya que en este estudio realizado muestra que únicamente el 6,8 % de su área de estudio poseía una categoría de erosión entre moderado a irreversible en el estado actual, y luego de haber empleado la metodología para estimar la erosión potencial, más del 60 % de su área de estudio se encontró bajo la categoría de erosión entre moderado a irreversible.

5.2.7.2. Erosión hídrica potencial sin considerar los factores C y P.

La segunda metodología para determinar la erosión potencial para un caso no deseado, consiste en considerar únicamente los factores LS, R y K para el cálculo, como lo mencionan CORTOLIMA (2010), Castro (2013) y Ovalles (2014), en sus respectivas investigaciones, esta metodología presenta una exageración de la erosión potencial, ya que anula los efectos positivos de la cobertura vegetal (Factor C) y las prácticas de manejo (Factor P) que son los factores que contrarrestan los efectos de la erosión, lo que provoca una exageración de los resultados de la erosión potencial, es así que el área de estudio pasó de tener el 0,79 % de su área bajo la categoría muy alta

en su estado actual, a tener el 84,13 % de su área bajo la categoría muy alta empleando este método de estimación de la erosión hídrica potencial.

Comparando el proceso aplicado por Lozano y Parras (2011) con el aplicado por CORTOLIMA (2010), Castro (2013) y Ovalles (2014), se puede deducir que el primer proceso otorga resultados más apegados a la realidad al considerar escenarios de degradación que modifican el factor C (cobertura vegetal), ya que el segundo proceso elimina este factor en el cálculo, con lo que se asume que el área de estudio se encontraría desprovista de cobertura vegetal, situación que muy difícilmente podría llegar a ser realidad.

5.3. Alternativas Adecuadas de Manejo y Uso del Suelo.

Según Cisneros, *et al.*, (2012), las alternativas de manejo y uso de suelo son un conjunto de técnicas que abarcan desde la simple ordenación de las líneas de cultivo, hasta prácticas muy complejas como la nivelación de terrenos muy inclinados, con fines de implementar un correcto uso agrícola de estos suelos, basándose en diferentes principios como son, acortar la longitud de la pendiente, generar micro relieves superficiales que permiten incrementar la retención y el detenimiento superficial del agua, atrapar sedimentos que se mueven con el escurrimiento, controlar el movimiento de partículas por el viento y conducir controladamente el escurrimiento que no pudiese ser manejados por otras técnicas.

Si bien las prácticas de manejo son eficientes a escala de lotes, a nivel de cuencas, la eficacia dependerá del grado de aceptación a implementar dichas técnicas por parte de los productores (Cisneros, *et al.*, 2012). Siguiendo la misma línea, Prada, *et al.*, (2011) indica que se requiere por lo menos el 50 % de la superficie de una cuenca sistematizada bajo las diferentes técnicas de control de la erosión del suelo, para obtener una eficacia aceptable, en términos de reducción de escurrimientos o pérdidas de suelos.

En base a lo mencionado con anterioridad, se puede determinar que las técnicas de manejo del suelo planteadas en la presente investigación, guardan concordancia con las planteadas por los diferentes investigadores como: Bustamante y Álvarez (2011)

quien en su estudio muestra que tras el manejo del factor C y P pasó de tener en su área de estudio una tasa de erosión de 295,21 t/ha año a tener 53 t/ha año; Clérici y García (2004) por su parte demuestra que luego de realizar la rotación de cultivos con pasturas, los valores de la erosión para todo un transecto fueron similares a los del campo natural aún con siembra realizada a favor de la pendiente; en la misma línea se encuentran los resultados encontrados por Falconí (2013) y Cisneros, *et al.*, (2012).

Con los antecedentes mencionados con anterioridad se puede inferir que las técnicas propuestas en esta investigación son de gran aceptación y ampliamente usadas para mitigar los efectos de la erosión hídrica; prueba de ello es que, al momento de realizar la proyección de la erosión hídrica del suelo para el área de estudio, utilizando las diferentes técnicas de manejo como se indica en el cuadro 25, los porcentajes de erosión disminuyeron para la categoría alta en un 13,41 % y en la categoría muy alta disminuyó en un 53,16 %, mientras la categoría de erosión baja aumento en 12,39 %, pasando a ocupar del 57,8 a 64,96 % del área de estudio.

6. CONCLUSIONES

- ✓ Con la elaboración de una base de datos digital de los cantones de Quilanga y Espíndola, se pudo determinar que estos presentan una tasa de erosión mayor a 200 t/ha/año en el 0,17 % y 1,07 % de su territorio respectivamente, lo que indica que esos lugares se encuentran en un estado que no se puede recuperar.
- ✓ La presencia de áreas protegidas como el Parque Nacional Yacuri y el Bosque Protector El Ingenio y Santa Rosa (privada), influyen de manera positiva para que en los cantones de Quilanga y Espíndola el 57,18 % y 58,09 % respectivamente del área de cada cantón se encuentren bajo la categoría de erosión baja con rangos de erosión entre 0 a 10 t/ha/año.
- ✓ La erosión hídrica potencial con escenarios de degradación de la cobertura vegetal, provocó un incremento del 32,66 % en el área afectada por la categoría alta de erosión (50 - 200 t/ha/año); y un incremento del 800 % en la categoría muy alta con una tasa de erosión mayor a 200 t/ha/año.
- ✓ La erosión hídrica potencial sin considerar el factor P y C, indica que el 84,13 % del área de estudio se encontraría en la categoría muy alta, con una tasa de erosión mayor a 200 t/ha/año
- ✓ Comparando el proceso aplicado por Lozano y Parras (2011) con el aplicado por Ovalles (2014), CORTOLIMA (2010) y Castro (2013), se puede deducir que el primer proceso otorga resultados más apegados a la realidad al considerar escenarios de degradación que modifican el factor C (cobertura vegetal), ya que el segundo proceso elimina este factor en el cálculo, con lo que se asume que el área de estudio se encontraría desprovista de cobertura vegetal, situación que muy difícilmente podría llegar a ser realidad.
- ✓ La estimación de la erosión hídrica potencial sin el factor C, deja en evidencia que el 84,13 % del área de estudio tiene una alta potencialidad a sufrir erosión hídrica al poseer una tasa mayor a las 200 t/ha/año.
- ✓ En la proyección realizada de la erosión aplicando prácticas de manejo del suelo y mejorando la conservación de las coberturas vegetales, se logró disminuir en un 41 % la categoría de erosión muy alta, e incrementar la cobertura de la categoría baja en un 10 %.

7. RECOMENDACIONES

- ✓ Trabajar en unidades de estudios más pequeñas como por ejemplo a nivel de subcuencas o de parroquias de manera que se pueda identificar con mayor claridad las zonas con problemas erosivos.
- ✓ Los gobiernos locales deben tomar iniciativas para fomentar las prácticas de manejo del suelo hacia los productores, lo cual va a producir una disminución de las tasas de erosión hídrica, y un crecimiento de las ganancias y productividad de los mismos.
- ✓ Los gobiernos locales y el gobierno nacional, deben tomar iniciativas para el mantenimiento e implementación de estaciones meteorológicas con el fin de mantener una base de datos que facilite la generación de información.
- ✓ Desarrollar un programa de monitoreo y evaluación continua de la erosión en la provincia de Loja por parte de la autoridad local competente, de manera que permita monitorear el progreso de esta problemática, y poder realizar la toma correctivos a tiempo.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Almorox Alonso, J., López Bermúdez, F., & Rafaelli, S. (2010). La degradación de los suelos por erosión hídrica: métodos de estimación. Murcia: Universidad de Murcia.
- Alonso, G., Ruiz, M., y Diaz, J. (2007). Riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica La Guira, Rio Cuyaguaje. La Habana, Cuba: Universidad Agraria de La Habana.
- 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. Taquiña, Bolivia: Centro de Levantamientos Aeroespaciales y aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos.
- Arnoldus, H.M. (1980). An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. En De Boodt. M. and Gabriels, D. (Eds.). Assessment of Erosion. John Wiley and Sons, Inc. Chichester, West Sussex, Uk.
- Barrios, A. y E. Quiñonez, (2000). Evaluación de la erosión utilizando el modelo RUSLE, con apoyo de SIG. Aplicación en una microcuenca de los andes venezolanos. Revista Forest. Venezuela. 44 (1): 65-71 pp.
- Burgos, V. H., & Salcedo, A. P. (s.f.). Modelos digitales de elevación: Tendencias, correcciones hidrológicas y nuevas fuentes de información. Disponible en: <http://www.ina.gov.ar/ifrh-2014/Eje3/3.10.pdf>. (Consultado el 18 de febrero 2016).
- Bustamante, M. y Álvarez, J. (2011). Determinación de las zonas vulnerables a erosión hídrica en la cuenca alta del Río Catamayo por medio de sistemas de información geográfica. Universidad Nacional de Loja. Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables. 124 pp.

- Carrasco, J. y J. Vergara (2009). Técnicas apropiadas para la conservación y recuperación de suelos en predios de pequeños productores.
- Cartes, G. (2013). Degradación de Suelos Agrícolas y el SIRSD-S. Ministerio de Agricultura. Chile.
- Castro, I. (2013). Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madín, México. *Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental*. 34 (2): 3-15 pp.
- Chávez, T. (2007). Determinación de suelos degradados mediante técnicas de teledetección en la Microcuenca del río Delfín – Pozuzo. Universidad Nacional Agraria de la Selva, 84.
- Chela, E., Monar, C., Valverde, F. y Cruz, E. (2008). Evaluation of soil loss from water erosion in three production systems of the Alumbre River watershed, Ecuador. Working Paper N° 03-08. Ecuador
- Cisneros, J., Cholaky, C., Cantero, G. A., González, J., Reynero, M., Diez, A., & Bergesio, L. (2012). Erosión hídrica: principios y técnicas de manejo. E-book. UNRC.
- Clérico, C., y García, F. (2001). Aplicación del modelo USLE/RUSLE para estimar pérdidas de suelo por erosión en Uruguay y la región sur de la cuenca del río de la Plata. *Agrociencia Vil. V N°1* pág. 92 – 103.
- Concha Egas, G., y Proaño Cadena, G. N. (2009). Caracterización y evaluación de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa.
- CORTOLIMA, (2010). Corporación Autónoma Regional del Tolima, 2010. Disponible en: <http://www.cortolima.gov.co/estudios> (Consultado 26 noviembre 2015).

- Cubero, D. (1999). Las barreras vivas y su aplicación en la agricultura conservacionista. Agricultura conservacionista FAO-MAG. San José. Costa Rica.
- Dangermond, J. (1969). ESRI (Environmental Systems Research Institute). Sistemas de Información Geográfica. California, EE.UU. ESRI, 380 New York St., Redlands, CA 92373-B100 USA. 23p.
- Díaz, J. (2013) Análisis de la Erosión del Suelo [Película]
- Díez, J. (2007). Metodología para la evaluación de la erosión hídrica en cuencas y vertientes. Colombia. Evaluación de la erosión hídrica en cuencas hidrográficas.
- ESRI 2012. ArcGIS Desktop: Release 10.2 Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Falconí Vaca, C. A. (2013). Métodos para controlar la erosión hídrica y eólica. Universidad San Francisco de Quito.
- FAO. (2000). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos.
- FAO. (1990). Guidelines for soil description. Rome, Italy.
- Felicísimo, A. M., & García-Manteca, P. (1990). Corrección del efecto topográfico de las imágenes Landsat mediante el uso de un modelo digital de elevaciones. III Reunión Científica del Grupo de Trabajo en Teledetección, 209-216.
- Figueroa, B. (1975). Pérdida de suelo y nutrientes y su relación con el uso del suelo en la cuenca del río Texcoco. Tesis Mag. Sc., Colegio de Posgraduados. Chapingo, Mx. p. 209.
- Flores, H., M. Martínez, J. Oropeza, E. Mejía y R. Carrillo. (2003). Integración de la EUPS a un SIG para estimar la erosión hídrica del suelo en una cuenca

- hidrográfica de Tepatitlán, Jalisco, México. *Terra Latinoamericana*. 21 (2): 233-244 pp.
- Gabriels, D. W. Cornelis, W. Schiettecatte y J. Biesemans, (2006). *Soil Erosion And Soil Conservation. Part 1: Water erosion*. Flandes, Belgica.
- Galindo. (1998). *Módulo: Manejo y conservación de suelo*. Loja, Ecuador: GRADIMAR.
- García-Fayos, P. (2004). *Interacciones entre la vegetación y la erosión hídrica*.
- Guerra, J. (2009). *Manejo y conservación de suelos*. Ecuador. CAIZ.
- Hudson, N. (2006). *Conservación del suelo*. Barcelona, España: Reverté S.A. Reimpresión.
- Ibañez Asensio, S., Gisbert Blanquer, J. M., & Moreno Ramón, H. (2012). *El factor R de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE)*.
- INETER, (2005). *Erosión Hídrica: Mapa de amenazas*. Managua, Nicaragua: Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales.
- Jaramillo Veliz, J. J. (2015). *Estudio del riesgo por erosión hídrica del suelo utilizando el modelo USLE mediante herramientas SIG aplicando en la subcuenca río Portoviejo, provincia de Manabí*.
- Jiménez, H. (2014). *Erosión de suelos utilizando la EUPSR (RUSLE)*. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/61770386/Erosion-Rusle> (03 septiembre 2015).
- Lianes, E., Marchamalo, M., & 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*, 33(2).
- Lozano-García, B., & Parras-Alcántara, L. (2011). *Erosión actual y potencial en suelos ácidos del sur de España*. *Terra Latinoamericana*, 29(1), 35-46.

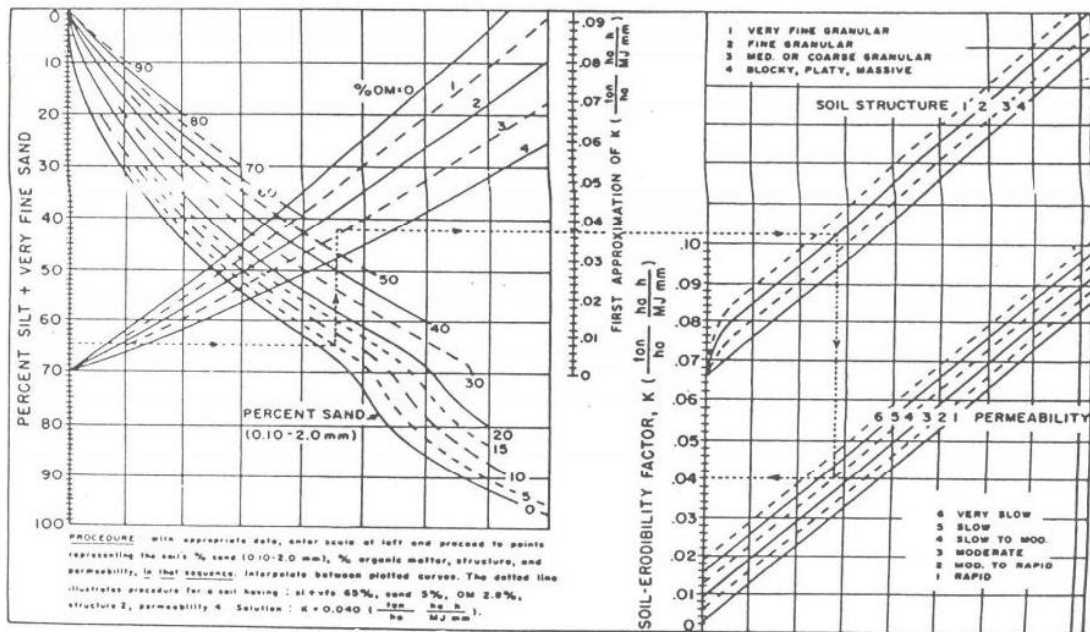
- Mahalingam, B., Malik, M. M., & Vinay, M. (2015). Assessment of Soil Erosion Using USLE Technique: A Case Study of Mysore District, Karnataka, India. *Journal of Remote Sensing & GIS*, 6(3), 45-51.
- Martínez, H. (2007). Desarrollo de una metodología hidrogeomática para estimar la contaminación difusa en aguas superficiales de una cuenca. Toluca, México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Mena Frau, C., Gajardo Valenzuela, J., y Ormazábal Rojas, Y. (2006). Modelación espacial mediante geomática y Evaluación Multicriterio para la ordenación territorial. *Revista Facultad de Ingeniería-Universidad de Tarapacá*, 14(1), 81-89.
- Miliarum.com Ingeniería Civil y medio Ambiente (2004). Disponible en: <http://www.miliarium.com/prontuario/MedioAmbiente/Suelos/Rusle.htm>. (Consultado el 2 de Febrero del 2016).
- Montoya, R., Montoya, L., y Anaya, J. (2005). Evaluación de la producción de sedimentos en la cuenca del Río La Miel. Universidad de Medellín. *Avances en recursos hidráulicos*, 12.
- Morgan, P. (1997). *Erosión y conservación de suelos*. Madrid, España: Aedos.
- Ocampo, R., Medina, C., y Lovaton, G. (1996). Programa de conservación de suelos y forestación. Manual de conservación de suelos. Asociación Arariwa. Cuzco – Perú., 30.
- Osinaga, R; Villanueva, G. (2004). Uso Sustentable de los Suelos: informe preliminar de Uso Sustentable de los Suelos. En informe anual 2003. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta. Ar. p. 25-28.
- Ovalles Ureña, P. J. (2014). Análisis comparativo de la pérdida de suelo de la Cuenca Alta de la Presa de Sabana Yegua, usando sistema de información geográfica (SIG) y métodos directos.

- PDOT Espíndola. (2013). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Espíndola. Espíndola, Ecuador: GAD Espíndola.
- PDOT Quilanga. (2014). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Quilanga. Quilanga, Ecuador: GAD Quilanga.
- Pérez, L. (2001). Modelo para evaluar la erosión hídrica en Colombia utilizando sistemas de información geográfica. Bogotá, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Prada, J.D.; Cristeche, E.R.; Cisneros J.M. y A. Cantero G. 2011. Análisis beneficio costo de la conservación de suelo dentro y fuera del establecimiento agropecuario: Aplicación a la Cuenca La Colacha, provincia de Córdoba, Argentina. III Congreso Internacional de Economía Agraria. Valdivia Chile. Actas.
- PREDESUR. (2000). Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la Provincia de Loja. Loja, Ecuador: Programa Regional para el Desarrollo del Sur.
- Ramírez, F., Incapie, E., & Sadeguián, S. (2007). Erosividad de las lluvias en la zona cafetera central y occidental del Departamento de Caldas. Caldas, Colombia: Departamento de Caldas.
- Ramírez, L. (2010). Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Juramento. Salta, Argentina: Universidad Nacional de Salta.
- Roa, J., y Kamp, U. (2008). Modelos de elevación digital (MED) a partir de sistemas satelitales. Revista Geográfica Venezolana. Vol. 49, 11-42.
- Rodríguez, M., Florentino, A., y Gallardo, J. y. (2004). Sistemas de Información geográfica en la evaluación de la erosión hídrica. Agronomía Tropical, 54.
- Santacruz, G. (2011). Estimación de la erosión hídrica y su relación con el uso de suelo en la cuenca del río Cahoacán, Chiapas, Méxi. Aqua-LAC, 45-54.

- Shi, Z. H., Cai, C. F., Ding, S. W., Li, Z. X., Wang, T. W., & Sun, Z. C. (2002, May). Assessment of erosion risk with the rusle and Gis in the middle and lower reaches of Hanjiang River. In 12th ISCO Conference Beijing, China.
- Tánago, M. G. (1991). La ecuación universal de pérdidas de suelo. Pasado, presente y futuro. *Ecología*, (5), 13-50.,
- Tapia, C. (2012). Modelización hidrológica de un área experimental en la cuenca del río Guaya en la producción de caudales y de sedimentos. Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina.
- Vega, M., y Febles, J. (2005). La investigación de suelos erosionados: métodos e índices de diagnóstico. La Habana, Cuba: Universidad Nacional Agraria de la Habana.
- Velasco, I., y Cortés, G. (2009, Septiembre). Índices de Fourier modificado y de concentración de la precipitación, como estimadores del factor de riesgo de la erosión, en Sinaloa, México. En Congreso Internacional sobre Desertificación.
- Velásquez, S. (2008). Erosión de suelos utilizando la EUPSR (RUSLE). Coronado, Costa Rica: Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza.
- Wischmeier, W. y Smith, D. (1978). Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537.

9. ANEXOS.

Anexo 1. Nomograma para el cálculo del factor K en unidades del SI.



Anexo 2. Valores del Factor C, determinados para varios tipos de coberturas vegetales.

Cobertura vegetal (factor C) en el área de estudio						
	Mora, 1987	FAO 1989	ICE 1999	Saborio, Gómez 2002 y CATIE 2003	Marchamalo 2004, 2007	Lianes 2009
BOSQUE						
Bosque primario	0,0001					
			0,001-0,003			
Bosque natural		0,003				0,003
Selva virgen		0,001				
Bosque denso				0,003-0,010		
Bosque claro, substrato herbáceo denso				0,003-0,010		
Bosque claro, substrato herbáceo degradado				0,010-0,100		
Bosque					0,003	
Bosque secundario		0,007				
Pasto	0,018					
Bosque degradado						0,037
MATORRAL/PASTO						
Matorral denso				0,003-0,030		
Matorral claro, substrato herbáceo denso				0,003-0,030		
Matorral claro, substrato herbáceo denso				0,030-0,100		

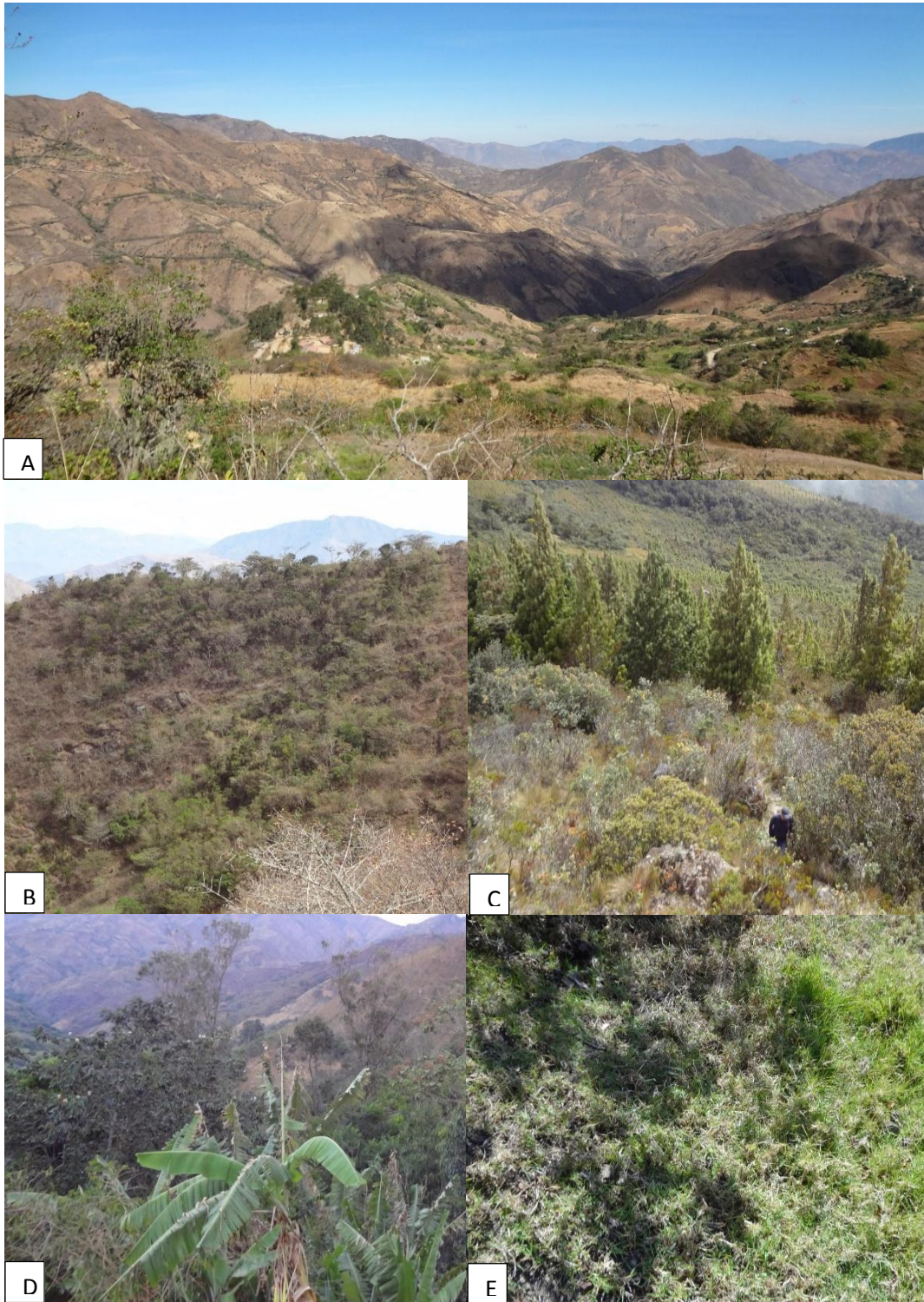
Continuación ...						
Páramo				0,003-0,040		
Pasto		0,009	0,001-0,015		0,013	
Pasto (natural o mejorado)		0,008				
Vegetación natural baja (altura: 50 cm)		0,012				
Pastizal natural completo				0,030-0,010		
Pastizal natural pastoreado				0,040-0,200		
Pastizal cultivado (mejorado)				0,003-0,040		
Pasto de corta						0,012
Potrero						0,013
Potrero carga normal						0,002
Potrero degradado						0,002
Potrero muy degradado						0,016
CULTIVOS PERMANENTES						
Café asociado	0,3					
Cultivos perennes		0,079	0,086			
Café		0,09			0,08	
Banano		0,062				
Cacao		0,05				
Cultivo permanentes asociados (densos)				0,010-0,300		
Cultivos permanentes no densos				0,100-0,450		
Huertos de subsistencia				0,300-0,900		
Árboles frutales						0,003
CULTIVOS MANUALES						
Caña brava	0,050					
Cultivos anuales		0,495	0,340			
Papa-zanahoria o cebolla		0,615				
Maíz		0,519				
Tomate dulce		0,502				
Caña		0,263			0,050	
Cultivos de ciclo corto				0,300-0,800		
Cultivos de ciclo largo				0,400-0,900		
Cultivos (cobertura baja)					0,650	
Cultivos (cobertura media)					0,500	
Cultivos (cobertura alta)					0,400	
Papa-brócoli						0,260
Papa-zanahoria						0,300
Papa-zanahoria-papa						0,390
Papa-papa-brócoli						0,390
Papa-zanahoria-brócoli						0,360

Anexo 3. Matriz de la fase de campo

N°	Cobertura Vegetal Quilanga	Puntos		Punto en Campo		Profundidad cm	Estructura clase	Punto Verificación		cobertura	Observación
		x	y	x	y			x	y		
1	Pasto natural	674970	9528112								
2	Plantación de Eucalipto	675124	9527106								
3	Pastizal	676473	9525038								
4	Cultivos asociados subtropicales	679448	9526932								
5	Cultivo de café	677048	9520928								
6	Matorral seco alto	674740	9517898								
7	Matorral húmedo alto	677422	9517567								
8	Plantación de Pino	680842	9518253								
N°	Cobertura Vegetal Espíndola	Puntos		Punto en Campo		Profundidad cm	Estructura clase	Punto Verificación		cobertura	Observación
		x	y	x	y			x	y		
1	Cultivo de caña	673536	9510802								
2	Matorral seco alto	673899	9506850								
3	Cultivo de café	675777	9497138								
4	Cultivos asociados subtropicales	676129	9494559								
5	Pastizal	671966	9492071								
6	Matorral húmedo alto	672441	9491212								
7	Pasto natural	672795	9490741								
8	Cultivos asociados andinos	670873	9486062								
9	Bosque húmedo denso	672247	9480988								
10	Plantación de Pino	674179	9476550								

Anexo 4. Fase de campo y verificación de la cobertura vegetal

- A) Vista general de la topografía del área de estudio. B) Matorral seco Alto.
C) Plantación de Pino. D) Cultivos asociados. E) Pastizales



Anexo 5. Análisis de las muestras en laboratorio.

A) Trituración de muestras, B) Pesaje de muestras, C) Tamizado D) Análisis de muestras recolectadas en campo.



A



B



C



D