

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS
NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN
DEL MEDIO AMBIENTE

MODELACIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA
EN LOS CANTONES DE LOJA,
Y OLMEDO MEDIANTE SISTEMAS
DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Tesis de grado previa a la obtención del
título de ingeniería en Manejo y
Conservación del Medio Ambiente

Puglla Puglla Wilson Xavier

AUTOR

Ing. Pablo Alvarez Figueroa Mg. Sc.

DIRECTOR


Loja - Ecuador
2017



CERTIFICACIÓN

En calidad de Director de la tesis titulada “**MODELACIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA EN LOS CANTONES DE LOJA Y OLMEDO MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**”, de autoría del señor egresado de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente **Wilson Xavier Puglla Puglla**, certifico que la investigación ha sido revisada y culminada bajo mi dirección dentro del cronograma aprobado, por lo que se autorizó su presentación y publicación.

Loja, abril de 2017



Ing. Pablo Alvarez Figueroa Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN

En calidad de tribunal Calificador de la Tesis titulada “**MODELACIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA EN LOS CANTONES DE LOJA Y OLMEDO MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**” de autoría del señor egresado de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente **Wilson Xavier Puglla Puglla**, 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, 07 de junio de 2017

Atentamente,

Ing. Aníbal González, Mg. Sc.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



.....

Ing. Aurita Gonzaga Figueroa, Mg. Sc.
VOCAL DEL TRIBUNAL



.....

Ing. Jorge Miño Ordoñez, Mg. Sc.
VOCAL DEL TRIBUNAL



.....

AUTORÍA

Yo, Wilson Xavier Puglla Puglla, declaro ser autor de la presente tesis titulada **“MODELACIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA EN LOS CANTONES DE LOJA Y OLMEDO MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA”**, y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de 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.



Wilson X. Puglla Puglla

C.I. 1105585317

Fecha: Loja, 07 de junio de 2017

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

Yo, **Wilson Xavier Puglla Puglla**, declaro ser autor de la tesis titulada “**MODELACIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA EN LOS CANTONES DE LOJA Y OLMEDO MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**”, como requisito para optar al grado de: Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, 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 siete días del mes de junio de dos mil diecisiete, firma el autor.

Firma:



Autor: Wilson Xavier Puglla Puglla

Número de Cédula: 1105585317

Dirección: Loja; Época. **Correo electrónico:** wilxavis.10@gmail.com

Celular: 0999451166

DATOS COMPLEMENTARIOS

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

Tribunal de Grado: Ing. Aníbal González, Mg. Sc.

Ing. Aurita Gonzaga Figueroa, Mg. Sc.

Ing. Jorge Miño Ordoñez, Mg. Sc.

AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera sincera a la Universidad Nacional de Loja, al Área Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables y a la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente por brindarme los conocimientos teóricos, prácticos y técnicos para mi formación profesional, de manera especial al Ing. Pablo Álvarez Figueroa Mg. Sc director de mi investigación quien me supo guiar para el cumplimiento de mi investigación, además 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 proceso de la tesis y por haber facilitado el transporte y materiales para la salida de campo y análisis de suelo en el laboratorio. Al Centro Integrado de Geomática Ambiental CINFA, en especial a los ingenieros Aníbal González, José Merino y Fabián Sotomayor por las indicaciones brindadas durante el desarrollo de la tesis.

Finalmente, a todos mis familiares, amigos y compañeros del aula por estar ahí brindándome su apoyo en fina a todos quienes hicieron posible la culminación de la presente investigación.

DEDICATORIA

Primeramente quiero agradecer a Dios por darme sabiduría y regalarme a mi hermosa familia, de manera muy especial este trabajo quiero dedicárselo a mi madre Melania por su cariño, amor y su apoyo incondicional en toda mi formación académica. Además por sus enseñanzas y consejos que me permitieron superarme día a día para alcanzar mis metas propuestas.

A mi padre Wilson, quien me formó con valores éticos y morales en mi formación profesional siendo gran ejemplo de padre y ser humano, enseñándome a no rendirme jamás y a no dejarme vencer por obstáculos que encontrase en mi camino para llegar al éxito.

A mis hermanos, Lenin y Michael, a mis hermanas Silvia, Gianella Ainoa y mis sobrinos Juan Diego y Christopher por formar parte de mi vida, por brindándome todo su amor y cariño. A mi abuelito querido Jesús por sus sabios consejos para ser un gran ser humano.

A mis amigos y compañeros que han estado a lo largo de mi formación universitaria apoyándome para lograr cumplir con mis metas, especialmente Edwin y Nixon quienes me brindaron apoyo durante esta investigación. A mi querido gran amigo Carlos Daniel por sus sabios consejo y apoyo durante mi vida estudiantil. A amigo Freddy Maza, que desde el cielo me derrama sus bendiciones.

“Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber” Albert Einstein.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Erosión del suelo	3
2.2. Erosión hídrica	3
2.3. Tipos de erosión hídrica	4
2.3.1. Erosión por salpicadura.....	4
2.3.2. Erosión laminar	4
2.3.3. Erosión por surcos.....	5
2.4. Ecuación universal de pérdida del suelo/ecuación universal de pérdida del suelo revisada	5
2.4.1. Índice de Erosividad de la Lluvia (R)	6
2.4.2. Índice de Erodabilidad (K).....	7
2.4.3. Factor de Longitud y Gradiente de la Pendiente (LS).....	7
2.4.4. Factor de Cobertura Vegetal (C)	8
2.4.5. Factor de prácticas de conservación de suelos (P).....	8
2.5. Otros modelos para estimar erosión hídrica.....	9
2.5.1. Soil and Water Assessment Tool	9
2.5.2. Modelo de Simulación y Calibración CALSITE	9
2.6. Sistemas de información geográficas.....	9
2.7. Modelos de elevación digital	10
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
3.1. Área de estudio.....	11
3.1.1. Ubicación y Límites del Cantón Loja	12
3.1.2. Ubicación y límites del cantón Olmedo	12
3.2. Materiales.....	12
3.3. Metodología	13

3.3.1.	Base de datos geoespacial de los catones de Loja y Olmedo con información biofísica requerida para la estimación de la erosión del suelo.....	14
3.3.2.	Estimación de la erosión hídrica actual, potencial y zonas susceptibles a erosión hídrica.....	18
3.3.3.	Alternativas adecuadas de manejo y uso del suelo en las diferentes categorías de erosión.....	18
4.	RESULTADOS.....	20
4.1.	Índice de erosividad (R).....	20
4.1.1.	Mapa del índice de erosividad (R) del Cantón Loja	21
4.1.2.	Mapa del índice de erodabilidad (R) del Cantón Olmedo.....	23
4.2.	Índice de erodabilidad (K)	23
4.2.1.	Mapa del factor de erodabilidad (factor K) del cantón Loja.....	25
4.2.2.	Mapa del índice de erodabilidad (K) del cantón Olmedo	28
4.3.	Factor de la Cobertura vegetal (factor C).....	30
4.3.1.	Mapa de cobertura vegetal (factor C) del cantón Loja.....	30
4.3.2.	Mapa de cobertura vegetal (factor C) del cantón Olmedo	33
4.4.	Factor de Longitud y gradiente (factor LS).....	35
4.4.1.	Mapa de longitud y gradiente (factor LS) del cantón Loja	35
4.4.2.	Mapa de longitud y gradiente (Factor LS) del cantón Olmedo.....	35
4.5.	Factor P	38
4.5.1.	Mapa del factor P del cantón Loja	38
4.5.2.	Mapa del Factor P del cantón Olmedo.....	39
4.6.	Erosión hídrica actual.....	39
4.6.1.	Mapa de la tasa de erosión o erosión hídrica actual del cantón Loja.....	39
4.6.2.	Mapa de la tasa de erosión o erosión hídrica actual del cantón Olmedo	44
4.7.	La Erosión potencial	46
4.7.1.	Mapa de la erosión potencial del cantón Loja.....	46
4.7.2.	Mapa de la erosión potencial del cantón Olmedo	49
4.8.	Alternativas adecuadas de manejo y uso del suelo para zonas con altas tasas de erosión.....	51
4.8.1.	Mapa de proyección de reducción de la erosión	55

4.8.2.	Mapa de proyección de reducción de la erosión del cantón Olmedo.....	57
5.	DISCUSIÓN	58
5.1.	Base de datos geoespacial de los cantones de Loja y Olmedo.....	58
5.2.	Estimar la erosión actual, potencial y zonas susceptibles en los cantones de Loja y Olmedo.....	58
5.2.1.	Factores que integran el modelo de erosión.....	59
5.2.2.	Erosión hídrica actual.....	60
5.2.3.	Erosión Potencial	61
5.3.	Alternativas adecuadas de manejo y uso del suelo para zonas con altas tasas de erosión.....	62
6.	CONCLUSIONES.....	63
7.	RECOMENDACIONES.....	64
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	65
9.	ANEXOS.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Pág.
Figura 1. Mapa político de la provincia Loja.....	11
Figura 2. Mapa de erosividad (factor R) del cantón Loja.....	22
Figura 3. Mapa de erosividad (factor R) del cantón Olmedo	23
Figura 4. (a) Tasa de drenaje, (b) materia orgánica, (c) arena muy fina y (d) erodabilidad del suelo.....	26
Figura 5. (a) Erodabilidad del suelo, (b) Materia orgánica, (c) Arena muy fina y (d) Tasa de drenaje.	29
Figura 6. Mapa de cobertura vegetal (factor C) del cantón Loja.....	32
Figura 7. Mapa de cobertura vegetal (factor C) del cantón Olmedo.	34
Figura 8. Mapa de longitud y gradiente (factor LS) del cantón Loja	36
Figura 9. Mapa de longitud y gradiente (factor LS) del cantón Olmedo.....	37
Figura 10. Mapa del factor P del cantón Loja.....	38
Figura 11. Mapa del factor P del cantón Olmedo	39
Figura 12. Mapa de la erosión actual del cantón Loja	41
Figura 13. Mapa de erosión actual del cantón Olmedo	45
Figura 14. a. Erosión actual, b. Erosión potencial con cobertura degradada y c. Erosión potencial sin cobertura.	47
Figura 15. a. erosión actual, b. erosión potencial con cobertura degradada y c. erosión potencial sin cobertura.	50
Figura 16. Zonas con altas tasas de erosión del cantón Loja.....	51
Figura 17. Zonas de altas tasas de erosión del cantón Olmedo	52
Figura 18. Proyección de reducción de la erosión del cantón Loja	55
Figura 19. Proyección de la reducción de la erosión del cantón Olmedo.....	57

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	Pág.
Cuadro 1. Valores del factor de R de la provincia de Loja.	20
Cuadro 2. Parámetros físicos y químicos de suelo del cantón Loja.	24
Cuadro 3. Valores de la variable K del cantón Olmedo.	27
Cuadro 4. Ponderación de la cobertura vegetal del cantón Loja	30
Cuadro 5. Ponderación de la cobertura vegetal del cantón Olmedo.....	32
Cuadro 6. Pérdida del suelo del cantón Loja.....	39
Cuadro 7. Pérdida del suelo del cantón Loja a nivel parroquial.....	42
Cuadro 8. Pérdida del suelo del cantón Olmedo	44
Cuadro 9. Pérdida del suelo del cantón Olmedo a nivel parroquial.	46
Cuadro 10. Pérdida del suelo del cantón Loja.....	48
Cuadro 11. Pérdida del suelo del cantón Olmedo.	48
Cuadro 12. Erosión actual y proyección de reducción de la erosión del cantón Loja.....	53
Cuadro 13. Erosión actual y proyección de reducción de la erosión del cantón Olmedo	56

ACRÓNIMOS

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

**“MODELACIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA EN LOS CANTONES DE
LOJA Y OLMEDO MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA”**

RESUMEN

La erosión es un proceso natural que se ve acelerado por actividades antrópicas. Se determinó las zonas susceptibles a la erosión en los cantones de Loja y Olmedo de la provincia de Loja mediante la implementación del modelo de la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo Revisada (RUSLE), utilizando Sistemas de Información Geográficas (SIG). Se determinaron los factores erosividad de la lluvia (factor R), erodabilidad del suelo (factor K), longitud y gradiente de la pendiente (factor LS), cobertura vegetal (factor C) y prácticas de conservación del suelo (factor P); que permitieron determinar la erosión hídrica actual y potencial del suelo. Con estos resultados se determinó que el 73% del cantón de Loja (139 061 ha) presenta una tasa de erosión $< 10 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (ligera), mientras que únicamente el 1% (996 ha) presenta una tasa de erosión $> 200 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (muy alta). En Olmedo el 59% del territorio (6 581 ha) presenta una tasa de erosión entre $10 - 50 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, mientras que el 0,1% (10 ha) presenta una tasa de erosión mayor a las $200 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (muy alta). En los sitios donde la erosión es elevada, los factores determinantes son la topografía irregular y el establecimiento de cultivos sin prácticas de conservación de suelos. Se propuso y se modeló una serie de medidas como reforestación en áreas que han sufrido incendios forestales y cultivos en curva de nivel en zonas agrícolas con la finalidad de reducir las tasas de erosión.

ABSTRACT

Soil erosion is a natural process that is accelerated by anthropic activities. The areas susceptible to erosion in the cantons of Loja and Olmedo in the province of Loja were determined through the implementation of the RUSLE model (Revised Universal Soil Loss Equation, using Geographic Information Systems (GIS). Rainfall erosivity (R factor), soil erodability (factor K), slope length and steepness (LS factor), vegetation cover (factor C) and soil conservation practices (factor P). This information allowed to determine the current and potential water erosion. We identified that 73% of the Loja canton (139 061 ha) has an erosion rate less than $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (light), while only 1% (996 ha) has a higher erosion rate ($>200 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, very high). In Olmedo, 59% of the area (6 581 ha) has an erosion rate between $10 - 50 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, while 0.1% (10 ha) has a higher erosion rate ($>200 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, very high). In the sites where erosion was high, the topography and crops without soil conservation practices were the main drivers. We proposed and modeled measures such as reforestation in areas that have been affected by forest fires and crops following the contour lines in agricultural areas, in order to reduce soil erosion rates.

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural renovable que tarda miles de años en formarse pero que puede degradarse rápidamente (Lodha, Khalid, & Songara, 2015). Es un componente importante para ecosistemas terrestres ya que las plantas obtienen del mismo soporte, agua, aire y nutrientes (Monay, Trujillo, Monay, & State, 2007). Además presta múltiples servicios ecosistémicos (Loaiza, 2010), pero las actividades antropogénicas lo están degradando rápidamente amenazando su sostenibilidad y causando pérdidas de suelo fértil a causa de la erosión (Zhao, Mu, Wen, Wang, & Gao, 2013).

En el mundo, las tierras afectadas por la erosión alcanzan 1 094 millones de hectáreas, de las cuales cerca de un 75% están severamente dañadas (Sánchez-Hernández, Mendoza-Palacios, Cesar, Enrique, & Reyes, 2013). Más del 80% de la superficie del planeta presenta un grado de erosión, cerca de 140 millones de hectáreas de suelo en África y Asia, 115 millones en Europa, 106 millones en América del Norte y América Central y en América del Sur 123 millones de hectáreas (Alvarado, Colmenero, & Valderrábano, 2007).

Esta situación se acentúa en el Ecuador así como en la sierra ecuatoriana debido a múltiples factores adversos. Alrededor del 48% de la superficie nacional tiene problemas de erosión (Monar, 2007). Según Chela, Monar, Valverde, & Cruz, (2008) indican que el grado de erosión en las cuencas hidrográficas de la sierra ecuatoriana el 39,13 % es crítica, 28,26 % seria, 4,35 % moderada, 26,09 % potencial y 2,17 % normal, dando como efectos graves la pérdida de la biodiversidad y la degradación de los suelos.

Por otro lado el MAGAP (2014) indica que en la Zona 7 (Loja, Zamora y EL Oro) el 43,42% de su superficie presenta una susceptibilidad baja a la erosión, siendo Loja y El Oro las provincias con mayor tendencia a problemas de erosión. En la provincia de Loja el 42% de la superficie presenta señales de una erosión muy severa de origen principalmente antrópico, mientras que el 55 % del territorio está afectado por una erosión ligera de origen pluvial (PREDESUR, 2000).

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) del cantón Loja (2014) indica que la susceptibilidad a la erosión del suelo presenta y se encuentra entre las categorías severa y alta abarca el 86,27% del territorio, influenciado por las altas pendientes. Además en la zona oriental presenta constantes precipitaciones, inadecuado manejo de suelos

y cambios en el uso del suelo para expandir la frontera agrícola y ganadera, hace que presente elevado riesgo a la erosión hídrica.

En el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) del cantón Olmedo (2014) menciona que los suelos del cantón son sensibles a la erosión por cuanto se debe de tener cuidado en su manejo y conservación, ya que el 43% del territorio presenta este riesgo.

La presente investigación se la realizó en los cantones de Loja y Olmedo durante el periodo comprendido entre marzo 2016 hasta marzo 2017. Se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE). Se usó el software ArcGgis versión 10.3 que permitió estimar la erosión actual, potencial y las zonas susceptibles a la erosión.

Los objetivos plantados en la presente investigación fueron los siguientes:

- ✓ Elaborar una base de datos geoespacial de los cantones de Loja y Olmedo con información biofísica requerida para la estimación de la erosión del suelo.
- ✓ Estimar la erosión actual y potencial en los cantones de Loja y Olmedo de la provincia de Loja, en base a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE), para la identificación de zonas más susceptibles.
- ✓ Proponer alternativas adecuadas de manejo y uso del suelo para zonas con altas tasas de erosión.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Erosión del suelo

La erosión del suelo es el proceso de desprendimiento y transporte del suelo o material rocoso desde cualquier parte de la superficie de la tierra por parte de los agentes erosivos (Alatorre, García, Rodríguez, Erives, & González, 2014). En otra definición la erosión del suelo es el deterioro del suelo por el movimiento de las partículas del suelo de un sitio dado. El viento, agua, animales y el uso de herramientas agrícolas por el hombre son generalmente las principales causas de la erosión del (Lodha et al., 2015).

Como se conoce la erosión del suelo es un proceso natural, sin embargo las actividades humanas inciden en el proceso y hacen que ocurra rápidamente (Lodha et al., 2015). Cada año, alrededor de diez millones de hectáreas de tierra cultivable se pierde por causa de la erosión (Fu et al., 2011). Además la aceleración de las tasas de erosión del suelo es la principal causa de la degradación del suelo, pérdida de fertilidad del suelo y disminución de la producción agrícola (Keesstra et al., 2016; Zhu, 2015).

A escala mundial, la erosión del suelo ha aumentado en todo el mundo, alrededor del 85% de la pérdida de suelo se asocia con la erosión, causando una reducción del 17% en la productividad de los cultivos (Magnus & Amara, 2016). La agricultura es la principal causa de la pérdida del suelo debido a la desnivelación del terreno, labranza intensiva, compactación del suelo por uso de maquinaria pesada y uso de químicos agrícolas (Keesstra et al., 2016). Así mismo, la erosión puede ser fácilmente desencadenada por falta de protección de cobertura vegetal (Fu et al., 2011).

2.2. Erosión hídrica

La erosión hídrica es el resultado de la energía producida por el agua al precipitarse sobre la tierra y al fluir sobre la superficie de los terrenos (Villafaña, 2006). El caudal terrestre se produce en las laderas durante una tormenta de lluvia cuando se excede la capacidad de infiltración del suelo y, en caso de lluvia prolongada, almacenamiento de humedad del suelo o lluvia intensa (Nearing, 2013).

Las lluvias tropicales son generalmente más erosivas que las de las latitudes medias, debido al gran tamaño de las gotas, a las altas intensidades y, consecuentemente, a la alta energía cinética de la precipitación (Magnus & Amara, 2016). Por otro lado, Blanco-Canqui & Lal, (2010) mencionan que el agua de lluvia es el principal motor de la erosión hídrica, la

erosión leve es realmente beneficiosa para la formación del suelo, pero la erosión severa o acelerada afecta adversamente el suelo y el medio ambiente.

2.3. Tipos de erosión hídrica

La erosión hídrica constituye la mayor fuente de erosión en el mundo. En la erosión hídrica se dan los siguientes fenómenos:

- ✓ Erosión por salpicadura
- ✓ Erosión laminar
- ✓ Erosión en surcos

2.3.1. Erosión por salpicadura

La erosión por salpicadura es consecuencia del impacto de la gota de lluvia sobre el terreno, compactan la superficie del suelo, rompen los agregados haciendo saltar las partículas, dejándolas expuestas y listas para ser arrastradas por el agua (Vargas-Cabezas, 2010). En otra definición la erosión por salpicadura se debe al impacto de las gotas de lluvia sobre los agregados del suelo desnudo, produciendo pequeños cráteres de impacto, con liberación de partículas, siendo las arenas finas las más afectadas. (Cisneros et al., 2012).

Este tipo de erosión hídrica precede y condiciona a las demás, y su repercusión puede llegar a ser enorme, ya que al romper los agregados estructurales del suelo, elimina la principal resistencia que presenta el suelo a la erosión (La, Del, Oliva, Ref, & View, 2005). La presencia de vegetación arbórea puede incrementar este tipo de erosión por la formación de gotas más grandes a partir del flujo de hojas (Cisneros et al., 2012).

2.3.2. Erosión laminar

El agua circula a lo largo de la pendiente como una lámina, erosionando el suelo por capas sucesivas. En este tipo de erosión hídrica se pierde principalmente las partículas finas, lo que ocasiona una pérdida de elementos nutritivos y disminución de la capacidad de retención de la humedad del horizonte superficial (La et al., 2005). Este proceso consta de dos fases, una de ellas es el desprendimiento de las partículas del suelo y el otro consiste en el arrastre de estas partículas (Ascarrunz, 2014). Afecta negativamente a la agricultura por la degradación y la pérdida del horizonte A de los suelos, y a la vez afecta más significativamente a la producción de sedimentos en los ríos (Vargas-Cabezas, 2010).

Este tipo de erosión hídrica produce una mayor pérdida neta de suelo que la erosión por salpicadura, además es poco perceptible por el productor, no obstante es una importante

vía de pérdida de suelo en condiciones de baja pendiente y suelos con infiltración disminuida (Ciseros et al., 2012).

2.3.3. Erosión por surcos

La erosión en surcos es la forma de erosión más fácilmente perceptible, tiene su origen a causa del escurrimiento superficial del agua que se concentra en sitios irregulares o depresiones superficiales del suelo desprotegido o trabajado inadecuadamente (FAO, 2008; Ascarrunz, 2014). Este tipo de erosión forma regueros debidos que el agua no discurre uniformemente por toda la superficie, sino se concentra en corrientes de una potencia erosiva capaz de abrir pequeñas incisiones en el terreno, que progresivamente aumentan de profundidad (La et al., 2005).

La erosión por surcos tiene una mayor capacidad de desprendimiento y de transporte que el flujo laminar, con lo cual las tasas de erosión por este mecanismo se incrementan, suele denominarse como aquella que el productor puede borrar con los implementos de labranza, luego de que ocurre (Cisneros et al., 2012).

2.4. Ecuación universal de pérdida del suelo/ecuación universal de pérdida del suelo revisada

La ecuación universal de pérdida del suelo (USLE) se diseñó en principio como una herramienta útil para la planificación de la conservación. Posteriormente, gracias a investigaciones adicionales, experimentos, datos y recursos de investigadores y científicos permitieron desarrollar la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada RUSLE (Oñate-Valdivieso & Bosque Sendra, 2007).

La RUSLE es una revisión de USLE, donde se mantiene la misma estructura general, pero se modificó la forma de obtención de cada uno de los factores del modelo (Vega-Carreño & Febles-González, 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: precipitación anual, un estimado de la erodabilidad de suelo, información de la cobertura vegetal y la topografía. Dando como resultado una estimación de la pérdida de suelo anual promedio (Alonso, Ruiz, Schiettecatte, Diaz, & Almoza, 2007). Como se muestra en la siguiente ecuación:

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

Dónde:

- ✓ **A:** Es la cantidad de material erodado calculado o medido expresado en toneladas por hectárea para una duración de lluvia específica.
- ✓ **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.
- ✓ **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.
- ✓ **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; y
- ✓ **P:** Es el factor prácticas de conservación de suelo que expresa la relación de pérdida de suelo de un área con cobertura y manejo específico, como cultivo en contorno, cultivo en bandas o terrazas, con otro con labranza a favor de la pendiente.

2.4.1. Índice de Erosividad de la Lluvia (R)

El término factor de erosividad de la lluvia implica una evaluación numérica de un evento de lluvia que describe su capacidad de erosionar suelo en un campo desprotegido (Mendoza, 2013). Este factor depende del producto de la energía cinética de la lluvia por la intensidad máxima en 30 minutos. En sistema métrico y para una sola tormenta (Sánchez García, 2012).

La erosividad es la capacidad potencial que tienen las gotas de agua de lluvia para causar erosión, existen muchas formas de determinarla, una de ellas es a través del índice EI₃₀

el cual fue propuesto por Wischmeier and Smith (1965). Se define como el producto de la energía cinética total de la lluvia (E) por la intensidad máxima en 30 minutos (I_{30}) (Arango & Sánchez, 2010).

Los factores de erosividad por precipitación pluvial pueden sumarse para cualquier periodo buscando proporcionar una medida numérica de la erosividad por precipitación pluvial durante ese periodo. El tiempo mínimo óptimo que define el quiebre entre dos tormentas es una función del cambio en las tasas de infiltración después de que deja de llover, y obviamente varía con los tipos de suelo (Arango & Sánchez, 2010).

2.4.2. Índice de Erodabilidad (K)

La erodibilidad del suelo (K) representa la susceptibilidad del suelo o material superficial a la erosión, transportabilidad del sedimento, y la cantidad y la tasa de escorrentía, los valores de K reflejan la tasa de pérdida de suelo por índice de erosividad de la precipitación-escorrentía (Sheikh, Palria, & Alam, 2011). La erodibilidad de un suelo se traduce en la facilidad con que son arrancadas las partículas (susceptibles al arrastre) de sus agregados, ya sea por impacto de la gota o por el flujo de agua en superficie (Alonso et al., 2007).

El factor erodibilidad del suelo (K), en el manual de RUSLE se determina en base del nomograma de Wischmeier y Smith (1978). Este nomograma es una ecuación empírica en la que se relacionan principalmente propiedades físicas y químicas que determinan la estabilidad estructural de un suelo, como son la textura de suelo y la materia orgánica (Alonso et al., 2007).

2.4.3. Factor de Longitud y Gradiente de la Pendiente (LS)

El factor LS incorpora el efecto de la topografía de un terreno (longitud y pendiente) que afecta significativamente la pérdida de suelo por erosión hídrica (Pérez-Nieto, Arellano-Monterrosas, Ibáñez-Castillo, & Hernández-Saucedo, 2012). La topografía del terreno afecta el proceso de erosión y se representa por el factor LS, la relación entre erosión y factor LS es directamente proporcional, es decir, la erosión aumenta conforme la longitud del terreno en el sentido de la pendiente aumenta (factor L) y la inclinación del terreno se hace mayor (factor S) (Mendoza, 2013).

La longitud de pendiente (L) es la distancia entre el punto más alto de caída de la gota de lluvia y el punto en el cual la pendiente disminuye hasta dar comienzo a la deposición de

los sedimentos o aquel punto en el que el escurrimiento entra a formar parte de un canal (Delgado, 2010).

El factor gradiente (S) es la relación entre el valor medio de las pérdidas de suelo en un campo con pendiente cualquiera, con el que se obtendría en una parcela del 9% de pendiente uniforme, manteniendo el resto de las características constantes (Delgado, 2010). Para la elaboración de un mapa de pendientes, se requiere un modelo digital del terreno MDT o DEM (Digital Elevation Model).

2.4.4. Factor de Cobertura Vegetal (C)

El factor C hace referencia a la protección de la cobertura vegetal al suelo cuando intercepta las gotas de lluvia amortiguando su energía de impacto disminuyendo el efecto erosivo, se determina a partir del mapa temático de cobertura, determinándose los valores de C en el mapa (Loss et al., 2015).

El parámetro de cobertura vegetal representa la capacidad de la vegetación para impedir el arrastre de sedimentos, es decir, que si el suelo permanece desnudo durante la época de lluvias la capacidad de desprendimiento y arrastre del material es más alta que si tuviese algún tipo de cobertura (Mendoza, 2013).

El factor C varía de 1 a aproximadamente 0, donde valores más altos indican que no hay efecto de cobertura y pérdida de suelo comparable a la de un barbecho desnudo cultivado, mientras que C inferior significa un efecto de cobertura muy fuerte que no produce erosión (Sheikh et al., 2011).

2.4.5. Factor de prácticas de conservación de suelos (P)

Es la proporción de pérdida de suelo cuando se implementan prácticas conservacionistas específicas en comparación con la pérdida de suelo cuando se cultiva en laderas de colinas, considera las distintas prácticas de cultivo y su efecto en la reducción de la erosión, tales como el cultivo a nivel, en fajas y en terrazas (Delgado, 2010).

Los valores de P oscilan entre 0 y 1, por lo que el valor 0 representa una muy buena resistencia a la erosión por el hombre y el valor 1 no es una resistencia a la erosión artificial (Sheikh et al., 2011).

2.5. Otros modelos para estimar erosión hídrica

2.5.1. Soil and Water Assessment Tool

Este modelo puede ser una herramienta de gran ayuda en la estimación de sedimentos y escurrimientos, sin embargo, su aplicación tiene algunas limitantes (Rivera-Toral, Pérez-Nieto, Ibáñez-Castillo, & Hernández-Saucedo, 2012). Este modelo permite simular la producción de agua y sedimentos en cuencas hidrográficas, así como el efecto que las prácticas agronómicas.

2.5.2. Modelo de Simulación y Calibración CALSITE

CALSITE es un software creado por Wallingford y está basado en operaciones de SIG para ser usado en la simulación y calibración de la erosión y transporte de sedimentos, desarrollado por Bolton, Bradbury, Lawrence y Atkinson (1995). Se utiliza en donde los datos son escasos o falten, por lo que el paquete ha sido desarrollado usando relaciones semiempíricas. El programa hace uso de un software de gestión de SIG, para la preparación y el procesamiento de las imágenes de entrada, así como también para la visualización de los resultados (Olmos y Hervé, 2001).

2.6. Sistemas de información geográficas

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una herramienta de análisis que nos permite almacenar, recuperar, manipular, analizar e identificar relaciones espaciales a partir de la información espacial y de todos los atributos relacionados con ella, todo ello se puede expresar en forma de mapa (Lázaro y Torres & González González, 2005). Por otro lado Buzai, (2011) indica que los SIG produjeron una revolución tecnológica, ya que toda aplicación realizada mediante el uso de los SIG se basa en cinco conceptos fundamentales de neta naturaleza espacial, localización, distribución, asociación, interacción y evolución espacial.

En otra definición un SIG es un sistema de hardware, software y datos geográficos, cuyo propósito es apoyar la captura, administración, manipulación, análisis, modelado y visualización de datos. En otras palabras, es un sistema informático que se utiliza para recopilar y analizar datos que pueden ser mapeados, y muestra la información resultante como un mapa o una serie de mapas (Coyne, Jan; Bell, William; Brown, Mary; Rupert, Chad; Nolan, 2012).

2.7. Modelos de elevación digital

Un Modelo de Elevación Digital (MED) es una representación digital de la altitud como variable continua sobre una superficie bidimensional, a través de una red regular de valores Z referenciados a un datum común. Los MED son usados especialmente para representar el relieve de un terreno, por lo cual un MED puede ser interpretado como una forma digital de raster que representa las características topográficas de un paisaje determinado (Roa Lobo & Kamp, 2008).

Existe un creciente aumento en el uso de MED para el análisis visual y matemático de la topografía, paisaje y geoformas, así como para el modelado de procesos geomorfológicos (Dikau, 1992). Los parámetros más importantes para el modelado de procesos hidrológicos, erosión del suelo, la pendiente y la exposición pueden ser calculados a partir de un MED (Van Westen, 1994), los que a su vez son importantes parámetros para el modelado de amenazas naturales tales como deslizamientos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se lo realizó en los cantones de Loja y Olmedo, para completar la investigación que se realiza en toda la provincia de Loja, orientada a determinar la erosión potencial, dirigida por el Centro de Investigaciones Tropicales integradas al Ambiente y Biodiversidad (CITIAB). De la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja.

3.1. Área de estudio

A continuación se presenta en la Figura 1 la zona de estudio (cantones de Loja y Olmedo) de la provincia de Loja.

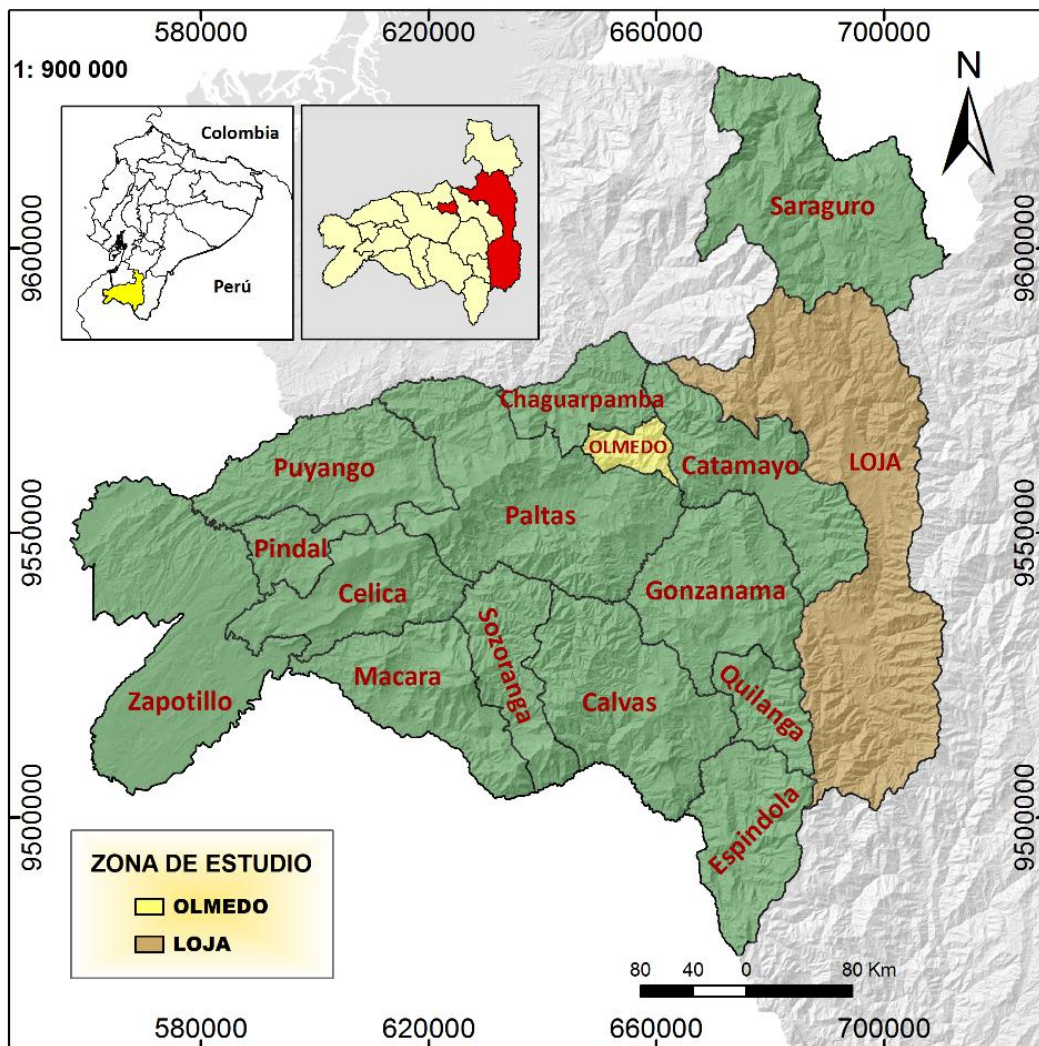


Figura 1. Mapa político de la provincia Loja

3.1.1. Ubicación y Límites del Cantón Loja

El cantón Loja se encuentra ubicado al sur del Ecuador. Limita, al norte con la provincia de Zamora Chinchipe y los cantones de Saraguro (Provincia de Loja) y Portovelo (Provincia de El Oro), al este y sur con la Provincia de Zamora Chinchipe y, al oeste con los cantones (Loja) de Espíndola, Quilanga, Gonzanamá y Catamayo.

Se encuentra geográficamente ubicado entre las siguientes coordenadas geográficas:

Latitud: 03°39'5'' S Longitud: 79°05'58'' W

Latitud: 04° 30' 38'' S Longitud: 79° 05' 58'' W

División Política

El Cantón Loja está dividido en zonas administrativas como forma de organizar y administrar la población y los recursos, con lo cual define sus límites administrativos, Loja se encuentra conformada por trece parroquias rurales y tres parroquias urbanas.

3.1.2. Ubicación y límites del cantón Olmedo

El Cantón Olmedo se encuentra ubicado al Noroeste de la Provincia de Loja, a 92,5 km de la capital provincial, dentro de los siguientes límites al norte cantón Chaguarpamba, por el sur cantón Paltas, por el este cantón de Catamayo y por el oeste cantón Paltas. Tiene una extensión de 51,72 km².

Olmedo geográficamente se encuentra entre las coordenadas:

Latitud: 03°56'10'' S Longitud: 79°38'46'' W

División política

Olmedo es el cantón más recientemente constituido ya que fue creado el 24 de Febrero de 1997. Se encuentra dividido en dos parroquias: Olmedo y La Tingue.

3.2. Materiales

Los materiales que se utilizaron en cada fase de la presente investigación se detallan a continuación:

Fase de Campo

- ✓ Flexómetro
- ✓ Sistem Global Position (GPS)

- ✓ Mapa de la zona de estudio
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Hoja de registro
- ✓ Bolígrafos
- ✓ Fundas plásticas

Fase de Laboratorio (materiales y reactivos)

- ✓ Muestras de suelo
- ✓ Tamiz (2000 μm , 100 μm , 50 μm)
- ✓ Vasos plásticos de 250 ml
- ✓ Pipetas de 5 o 10 ml
- ✓ Probetas Bouyoucos
- ✓ Balanza
- ✓ Erlenmeyers de 500 ml.
- ✓ Pipetas de diferentes volúmenes.
- ✓ Probeta 100 ml.
- ✓ Hidrómetro (ASTM)
- ✓ Termómetro Centígrado 25°C
- ✓ Ácido sulfúrico
- ✓ Ácido orto-fosfórico concentrado
- ✓ Solución de dicromato de potasio 1 N
- ✓ Defenilamina
- ✓ Solución de sal de Morh 0.5 N
- ✓ Agua destilada
- ✓ Agentes dispersantes: Hidróxido de sodio 1 N + Oxalato de sodio saturado ($\text{C}_2\text{O}_4\text{Na}_2$)

3.3. Metodología

Los objetivos planteados en este estudio se cumplieron en dos fases. En la primera se utilizó información biofísica secundaria que permitió elaborar la base de datos a partir de los requerimientos necesarios para la aplicación del modelo de la ecuación universal de pérdida de suelo RUSLE. En la segunda se desarrolló la fase de campo, aquí se recolectó las muestras de suelo y verificación de la cobertura vegetal. A continuación se presenta los procedimientos detallados:

3.3.1. Base de datos geoespacial de los catones de Loja y Olmedo con información biofísica requerida para la estimación de la erosión 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.

3.3.1.1. Determinación del Índice de Erosividad (R)

Para determinar el Factor R se procedió a tomar información de la base de datos realizada por Tamayo (2015), la cual, partió de información primaria proporcionada por el INAMHI que contenía la precipitación mensual de un periodo de 35 años de 28 estaciones meteorológicas ubicadas en la provincia de Loja, El Oro y Zamora-Chinchipe.

La metodología sugerida por la RUSLE para el cálculo del factor R es el I_{30} que requiere de registros pluviográficos. En razón de que en la provincia de Loja no se dispone de esta información, se utilizó el Índice modificado de Fournier propuesto por Arnoldus, (1980), el cual utiliza datos de precipitación mensual para definir el factor de erosividad de una manera simple y aplicable a condiciones regionales (Ramírez, et al 2007).

Algunas estaciones no contenían los datos mensuales completos, por lo que procedió a aplicar la metodología para el relleno de datos climáticos disponible en el paquete Climatol¹ del software estadístico R-Studio.

Los resultados del primer relleno de datos arrojó cuatro clústeres agrupados de acuerdo a su similitud. En base a esto se procedió a realizar cuatro rellenos de los datos en función de cada grupo para precisar aún más la información existente.

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

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

Dónde:

- ✓ **IFM:** Índice de Fournier modificado en (mm)
- ✓ **P_i:** Precipitación media mensual del mes (mm)
- ✓ **P:** Precipitación media anual (mm)

¹ Es un paquete para R que contiene funciones para la homogeneización de series climatológicas.

Finalmente se multiplica por la Ecuación 3, obteniendo los valores de R para la zona de estudio.

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

Una vez obtenida la información se ordenó la base de datos para su procesamiento en el software ArcMap 10.3 empleando el método “Kriging” para estimar 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 (Tamayo, 2016). Finalmente, se realizó el mapa del factor R para los cantones de Loja y Olmedo.

3.3.1.2. Determinación del Índice de Erodabilidad (K)

Para determinar el factor K se realizó un muestreo de suelos en los cantones de Loja y Olmedo, para ello, se recolectó información secundaria del Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), información de perfiles de suelo, de los cuales se extrajo las siguientes propiedades físicas y químicas como materia orgánica, textura, clase textural, estructura granular, drenaje, entre otros. Cabe mencionar que el muestreo se realizó en los puntos establecidos por el IEE (ver anexo 4) y se colectó una muestra simple de suelo de 1 Kg de peso, las cuales, fueron etiquetadas y transportadas al laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Loja para su respectivo análisis.

El análisis se lo realizó en dos partes (ver anexo 5), primero se determinó la arena muy fina, para ello, se trituraron las muestras, luego se pasó en el tamiz de 2000 μm , posteriormente, en el tamiz de 50 μm y finalmente se analizó el suelo obtenido entre el tamiz de 100 μm y 50 μm .

Segundo, se determinó la materia orgánica (MO) y textura en seis puntos adicionales del cantón Olmedo completando de esta manera 20 puntos. Para determinar la MO y textura se siguió la metodología utilizada por Tamaño (2016) el método de Walkley y Black y la textura por el método de Bouyoucos o Método del Hidrómetro, utilizando las muestras de suelo recolectadas en el campo.

Finalmente con los datos necesarios para la determinación del factor K, se utilizó la herramienta “IDW” (Distancia inversa ponderada) que calcula los valores de celda a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestra. La ponderación es una función de la distancia inversa. La superficie que se interpola debe ser la

de una variable dependiente de la ubicación. Esta herramienta se utilizó para obtener el mapa de materia orgánica, permeabilidad y arena muy fina.

3.3.1.3. Determinación del factor de cobertura vegetal (C)

Para determinar el factor C primero se recolectó información secundaria (ortofotos con resolución de 5m) de los cantones de Loja y Olmedo, luego se utilizó el software ArcGis para realizar un mosaico de los cantones antes mencionados, a partir de estos mosaicos se digitalizó la cobertura vegetal realizando polígonos en las diferentes coberturas utilizando las mismas categorías (Bosque húmedo, Matorral, Cultivos de maíz, etcétera), del Ministerio del Ambiente de Ecuador.

Además, en cada punto muestreado se verificó la cobertura vegetal actual, para ello se procedió a tomar fotografías (ver anexo 3). Así mismo, se utilizó una matriz con información de cada uno de los puntos (ver anexo 2) para su verificación y corroborando la información obtenida. Cabe mencionar que la digitalización se la realizó a una escala de 1:3000 con la finalidad de obtener resultados confiables.

Después de realizar la digitalización y verificación en el campo de la cobertura vegetal del área de estudio se procedió a asignar valores según el tipo de cobertura presente en el lugar, estos valores fueron obtenidos de fuentes secundarias de información (ver anexo 1). Finalmente, con los datos obtenidos se procedió a obtener el mapa del Factor C de los cantones de Loja y Olmedo.

3.3.1.4. Determinación de factor de longitud y gradiente (LS)

Para determinar el factor LS se obtuvo el Modelos de elevación de la provincia con resolución de 30 metros, recortando solo los cantones en estudio. Para el primer cálculo, factor L, fue necesario realizar un relleno al MDE para evitar espacios vacíos en el raster, esto se hizo con la herramienta "Fill", a la imagen resultante se procedió a crear un raster de pendientes (Slope) el mismo que fue utilizado para crear el factor F empleando la siguiente ecuación:

$$F = \frac{\sin\beta/0,0896}{3(\sin\beta)^{0,8}+0,56} \quad (\text{Ec. 4})$$

Dónde:

✓ β : Es el ángulo de la pendiente

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

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

Después de obtener el factor F se procedió a obtener el factor M, también es utilizado para la obtención del Factor L, para ello se empleó la siguiente fórmula en “Raster Calculator”

$$\text{Factor M} = \text{"Factor_F"} / (1 + \text{"Factor_F"})$$

Luego se procedió a obtener la dirección de flujo y acumulación del flujo con las herramientas “Flow Direction” y “Flow Accumulation” respectivamente. Después se obtuvo el Factor L en “Raster Calculator” empleando la siguiente ecuación y fórmula:

$$L_{(i,j)} = \frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+2} - A_{(i,j)}^{m+1}}{x^m * D^{m+2} * (22.12)^m} \quad (\text{Ec. 5})$$

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

$$\text{Factor L} = (\text{Power}(\text{"flow_acc"} + 900, \text{"Factor_M"} + 1) - \text{Power}(\text{"flow_acc"}, \text{"Factor_M"} + 1)) / (\text{power}(30, \text{"Factor_M"} + 2) * \text{Power}(22.13, \text{"Factor_M"}))$$

Para el cálculo del Factor S se empleó la siguiente ecuación:

$$S_{(i,j)} = \begin{cases} 10.8 \sin \beta_{(i,j)} + 0.03 & \tan \beta_{(i,j)} < 0.09 \\ 16.8 \sin \beta_{(i,j)} - 0.5 & \tan \beta_{(i,j)} \geq 0.09 \end{cases} \quad (\text{Ec. 6})$$

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

Obtenido todos estos resultados se calculó el factor LS aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Factor LS} = \text{"Factor_L"} * \text{"Factor_S"}$$

Finalmente, se realizó el mapa del Factor LS de los cantones Loja y Olmedo.

3.3.1.5. Determinación del factor de prácticas de conservación (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 que se producen en una parcela si tales prácticas no se utilizan y el laboreo se efectúa en el sentido de la pendiente. 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, ya que, no se evidenció prácticas agrícolas que ayuden a impedir la erosión del suelo en el territorio. Para determinar el factor P en formato SIG únicamente se convirtió la capa vectorial en formato raster con valor de 1.

3.3.2. Estimación de la erosión hídrica actual, potencial y zonas susceptibles a erosión hídrica

3.3.2.1. Erosión hídrica actual

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

$$A = \text{Factor } R * \text{Factor } K * \text{Factor } C * \text{Factor } LS * \text{Factor } P$$

3.3.2.2. Erosión Hídrica Potencial

Para determinar la erosión hídrica potencial se realizó en dos escenarios, el primero no se tomó en cuenta la cobertura vegetal (factor C) ni prácticas de conservación de los suelos (factor P). Utilizando la siguiente fórmula:

$$A = \text{Factor } K * \text{Factor } R * \text{Factor } LS$$

En el segundo escenario se realizó con cobertura degradada, es decir, se supuso que las coberturas actuales sufrirán alteraciones negativas (deforestación, incendios, ganadería y agricultura intensiva), por lo que la ponderación cambia para cada cobertura.

3.3.3. Alternativas adecuadas de manejo y uso del suelo en las diferentes categorías de erosión.

A partir de la información obtenida al aplicar la ecuación universal de RUSLE en las que se identificaron las zonas con mayor erosión de los cantones en estudio, se procedió a

revisar información secundaria con la finalidad de proponer alternativas y técnicas más aplicables para la disminución en la magnitud de este fenómeno.

4. RESULTADOS

A continuación se detallan los resultados obtenidos para cada uno de los objetivos planteados en esta investigación.

4.1. Índice de erosividad (R)

En el cuadro 1 se presenta la información del Índice modificado de Fournier y los valores del factor de erosividad (factor R).

Cuadro 1. Valores del factor de R de la provincia de Loja.

Código	Nombre	Coordenadas		Altitud (msnm)	Precipitación Media Anual (35 años)	IMF	R (Mj.mm/h a.h.año)
		X (m)	Y (m)				
M0033	La Argelia	699711	9553630	2160	965,76	108,03	1654,80
M0040	Pasaje	636774	9632736	40	893,25	150,33	2247,86
M0142	Saraguro	696167	9600576	2525	804,02	98,23	1515,16
M0143	Malacatos	691894	9533772	1453	693,14	107,11	1641,73
M0144	Vilcabamba	697804	9528598	1566	880,44	129,29	1954,65
M0145	Quinara	694953	9522952	1559	893,81	128,4	1942,18
M0146	Cariamanga	660414	9520874	1950	1403,55	259,32	3726,27
M0147	Yangana	702556	9516943	1835	1199,02	149,69	2238,99
M0148	Celica	616393	9546313	1904	1052,95	234,36	3392,58
M0149	Gonzanama	674127	9532243	2042	1431,34	251,17	3617,59
M0150	Amaluza	674106	9493048	1672	1005,93	189,69	2788,66
M0151	Zapotillo	583709	9515550	223	638,35	188,74	2775,71
M0180	Zaruma	654213	9591035	1100	1459,01	260,96	3748,11
M0185	Machala	640755	9657269	13	1574,52	254,49	3661,89
M0189	Gualaquiza	769358	9624070	750	1857,13	189,3	2783,35
M0241	Quilanga	677657	9524372	1819	1313,53	225,41	3272,31
M0432	San Lucas	693086	9587311	2525	1178,9	124,63	1889,26
M0433	El Lucero	669587	9513515	1180	1357,03	330,42	4664,69
M0434	Sozoranga	634395	9521872	1427	995,97	179,09	2643,90
M0435	Alamor	607925	9555751	1250	1442,61	358,63	5032,76
M0437	Saucillo	588930	9526784	328	752,47	246,03	3548,90
M0438	Jimbura	670274	9488265	2100	1315,58	240,25	3471,55
M0439	Sabiango	632020	9517853	700	1267,95	333,1	4699,76
M0481	Ushcurrumi	716666	9632700	290	746,57	127,12	1924,22
M0502	Pangui	758210	9564913	820	1628,05	153,84	2296,48
M0503	San Francisco	714075	9561615	1620	2183,9	218,51	3179,35
M0515	Catacocha	650478	9551575	1808	900,18	185,51	2731,65
M0544	Colaisaca	645033	9522745	2410	1209,18	252,25	3632,00

4.1.1. Mapa del índice de erosividad (R) del Cantón Loja

En la Figura 2 se observa que los valores R oscilan entre 1641 a 2979 Mj.mm/ha.h.año. El sur de Loja (Parroquia de Quinara y Yangana) tiene valores altos de R que van de 2109 hasta 2979 Mj.mm/ha.h.año, estos valores se dan porque este sector limita con el Parque Nacional Podocarpus que se compone principalmente de páramo y bosque nublado y por la influencia de la cuenca amazónica que. Así mismo, en el norte del cantón los valores de R también, son altos que superan los 2000 Mj.mm/ha.h.año., en este sector del norte existe precipitaciones constantes por ese motivo los valores de R son mayores. En este contexto, se puede decir que estos sectores son propensos a los procesos de erosión por precipitación.

En el centro del cantón prácticamente las parroquias urbanas del cantón Loja y parte de la parroquia de Malacatos existe valores bajos de R que van de 1641 hasta 1899 Mj.mm/ha.h.año, debido que este sector tiene un clima cálido templado y se ve influenciado por los vientos cálidos y secos que vienen desde el norte del Perú, pudiendo decir que estos sectores son menos propensos a sufrir procesos erosivos por precipitación, pero son los sectores más erosionados por otros factores que inciden en este fenómeno.

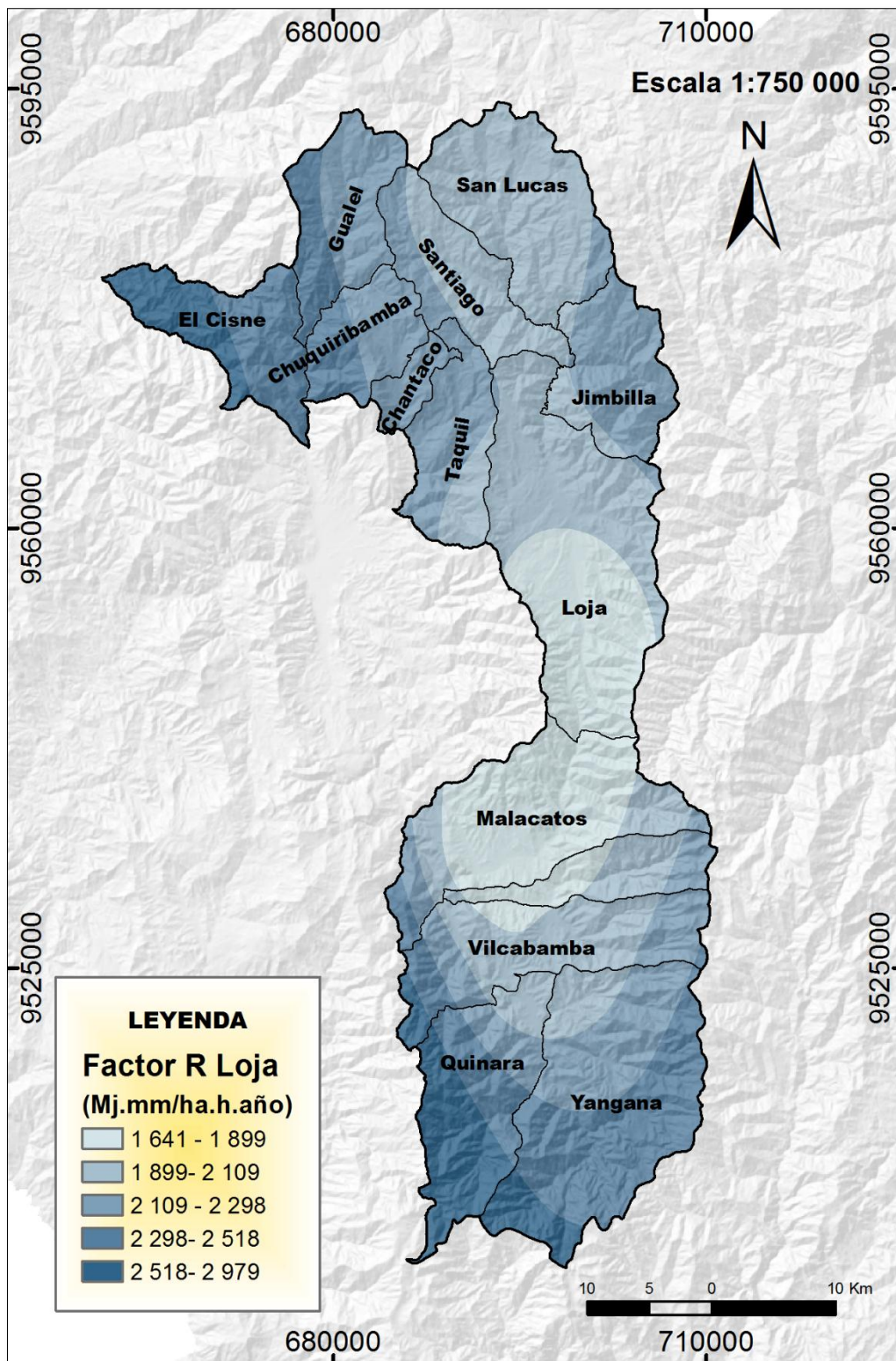


Figura 2. Mapa de erosividad (factor R) del cantón Loja.

4.1.2. Mapa del índice de erodabilidad (R) del Cantón Olmedo

En la Figura 3 podemos observar los valores R que oscilan entre 2475 hasta 3035 Mj.mm/ha.h.año. Los valores más altos se encuentran al noroeste del cantón (parroquia Olmedo) que van de 2812 a 3035 Mj.mm/ha.h.año., mientras que los valores más bajos se encuentran en el sureste del cantón (parroquia La Tingue) que van de 2475 a 22702 Mj.mm/ha.h.año. En fin, todo el cantón tiene valores altos, en este contexto, se puede decir que este lugar es más propenso a procesos erosivos por precipitación.

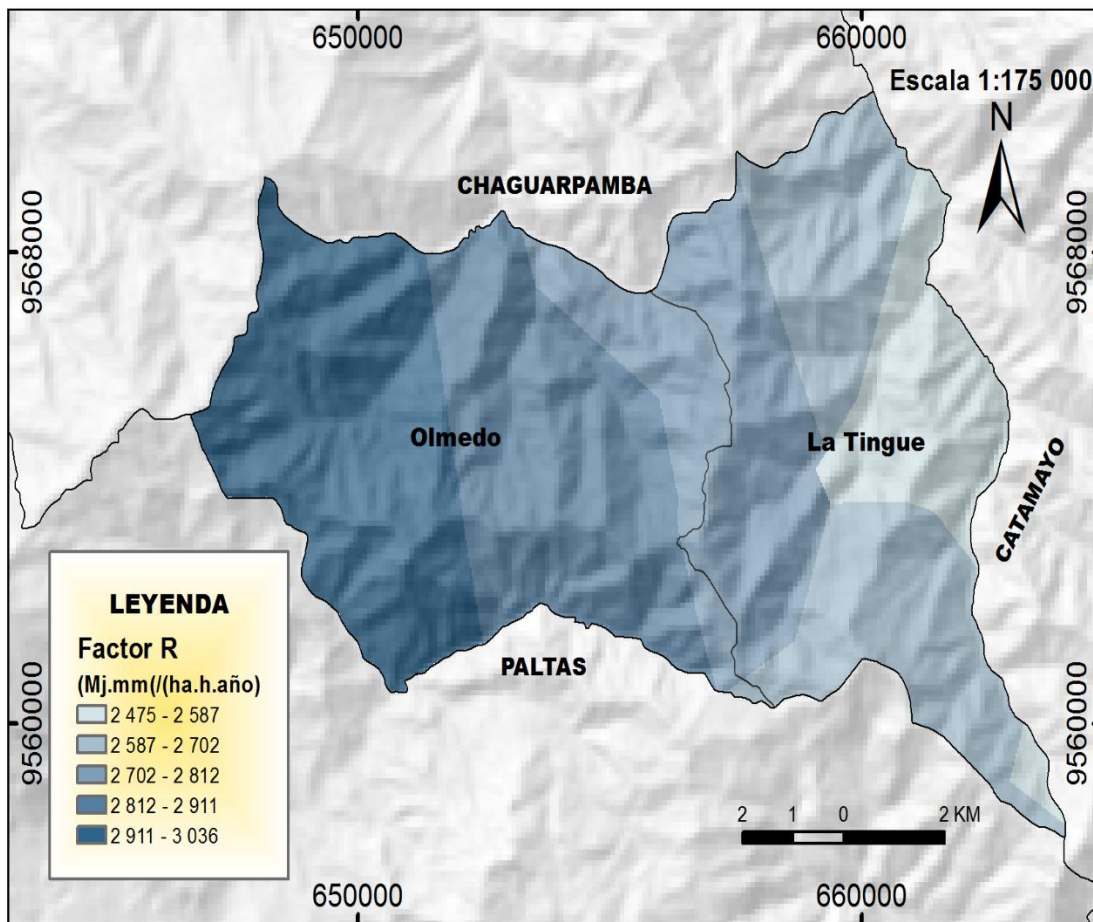


Figura 3. Mapa de erosividad (factor R) del cantón Olmedo

4.2. Índice de erodabilidad (K)

En el Cuadro 2, se presentan los diferentes parámetros físicos y químicos de las muestras de suelo y los valores del factor K que se obtuvieron en el análisis de laboratorio.

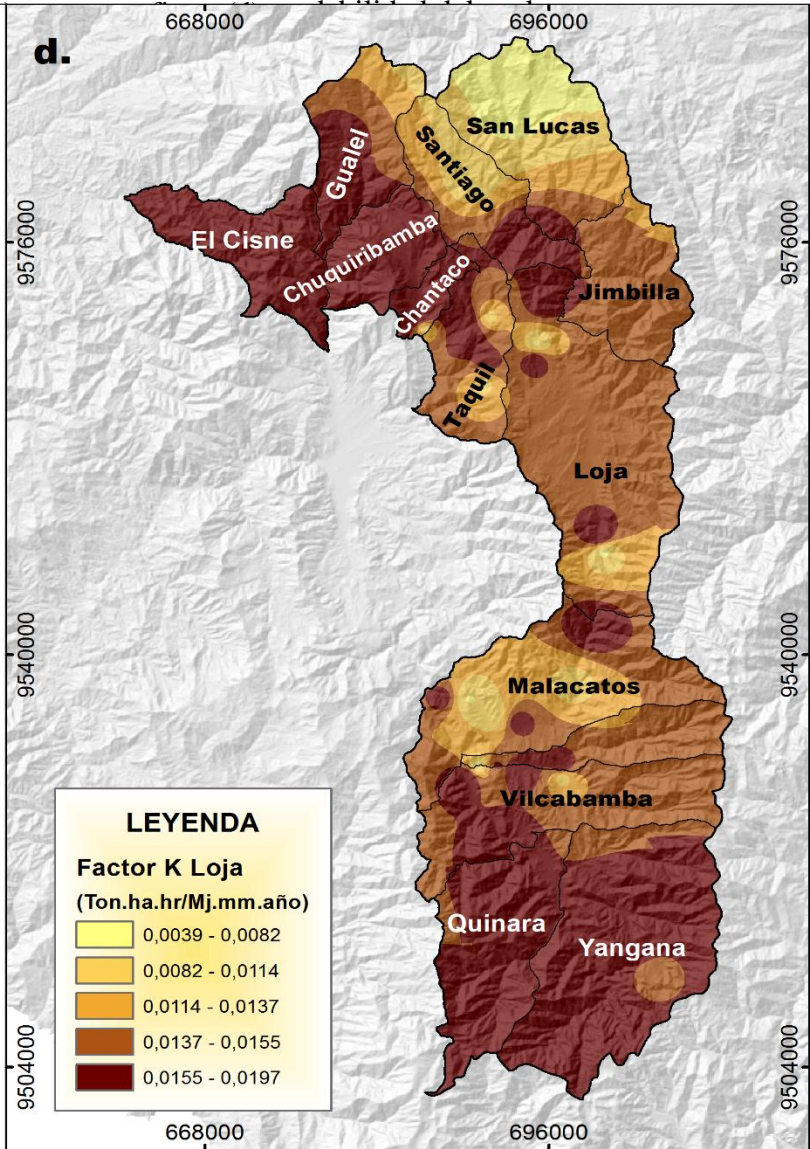
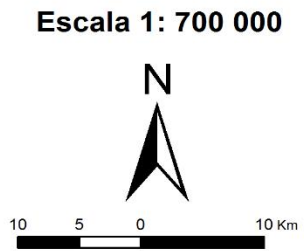
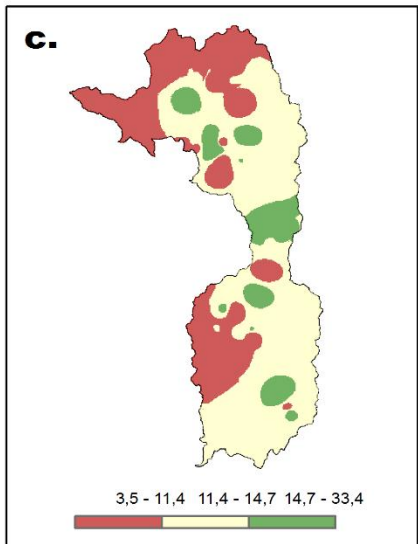
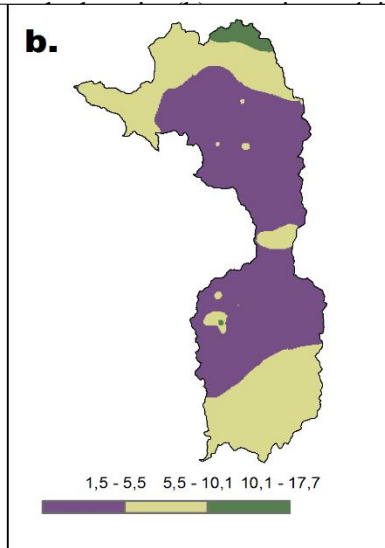
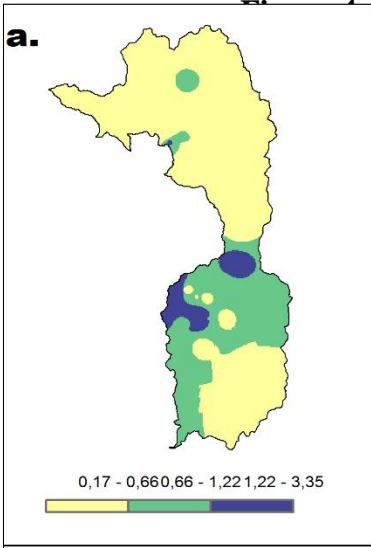
Cuadro 2. Parámetros físicos y químicos de suelo del cantón Loja.

Muestra	M.O	Arena %	Limo %	Arcilla %	Arena fina %	Estructura	Factor K
1	17,74	50	22	28	10	Granular	0,0039
2	17,57	46	26	28	11	Granular	0,0040
3	6,81	52	26	22	10,5	Granular	0,0062
4	3,35	70	12	18	10,5	Granular	0,0087
5	8,28	40	22	38	6	B. sub-angulares	0,0164
6	5,38	38	28	34	19,5	B. sub-angulares	0,0177
7	7,3	42	30	28	7	B. sub-angulares	0,0174
8	6,9	38	34	28	9,5	B. sub-angulares	0,0176
9	5,57	56	14	30	7	B. sub-angulares	0,0180
10	3,54	24	38	38	18,5	B. sub-angulares,	0,0180
11	3,12	42	28	30	14	B. sub-angulares	0,0191
12	3,74	42	28	30	6	B. sub-angulares	0,0188
13	2,27	44	28	28	14,5	B. sub-angulares	0,0197
14	2,25	54	32	14	6,5	Granular a bloques	0,0101
15	1,48	50	32	18	26	Bloque angulares	0,0185
16	6,04	36	32	32	33,5	B. sub-angulares,	0,0176
17	3,73	40	32	28	6,5	Granular a bloques	0,0104
18	6,4	26	24	50	12,5	Granular a bloques	0,0077
19	3,57	44	18	38	15	B. sub-angulares	0,0180
20	2,31	50	26	24	3,5	B sub-angulares,	0,0170
21	3,96	42	30	28	6,5	Granular a bloques	0,0103
22	2,51	40	32	28	19,5	B. sub-angulares	0,0196
23	9,99	42	28	30	13,5	Granular a bloques	0,0075
24	2,26	36	50	14	7,5	B. sub-angulares	0,0187
25	2,87	56	28	16	22	Granular	0,0093
26	1,50	48	44	8	4,5	B. sub-angulares	0,0171
27	6,33	22	30	48	13,5	Granular	0,0079
28	2,76	34	42	24	17,5	Granular	0,0081
29	5,53	22	42	36	6,5	Masiva a bloques	0,0175
30	3,80	26	40	34	15,5	B. sub-angulares,	0,0183
31	5,02	32	40	28	9	Granular a bloques	0,0098
32	2,40	56	28	16	13,5	B. sub-angulares	0,0182
33	2,65	74	16	10	5	B. sub-angulares	0,0158
34	12,98	68	20	12	13,5	B. sub-angulares	0,0079
35	3,93	36	42	22	6	B. sub-angulares	0,0197
36	3,73	16	42	42	8,5	Masiva a bloques	0,0175
37	8,26	52	22	26	16	B. sub-angulares	0,0170
38	6,79	38	30	32	18,5	B. sub-angulares	0,0173
39	6,78	30	38	32	8,5	B. sub-angulares	0,0173
40	7,93	48	28	24	16,5	B. sub-angulares	0,0140

4.2.1. Mapa del factor de erodabilidad (factor K) del cantón Loja

Como podemos ver la Figura 4 representa el mapa de erodabilidad del suelo (factor K), representa el efecto de las propiedades del suelo y de las características del perfil del suelo en la pérdida de suelo. Los valores de K oscilan entre 0,0039 a 0,0196 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha. En el norte del cantón Loja (Parroquia San Lucas y Santiago) los valores oscilan entre 0,0034 a 0,0114 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha, (Figura 4d) en este sector la materia orgánica está entre 10% a 17% de contenido (Figura 4b), la tasa de drenaje de 0,17 a 0,34 cm/hr (Figura 4a) y arena muy fina de 3,5% a 11,7 % (Figura 4c), entonces se puede decir que en esta zona el suelo no tiene la facilidad del desprendimiento por salpicamiento, durante la lluvia o por flujo superficial.

En la zona occidental y sur del cantón de Loja (parroquias de Chuquiribamba, Chantaco, El Cisne, Gualiel, Quinara y Yangana), los valores de R oscilan entre 0,0155 a 0,0197 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha (Figura 4d) la materia orgánica en este sector se encuentra por debajo del 10% de contenido en el suelo (Figura 4b), arena muy fina de 3,5% a 15% en el suelo (Figura 4c) y la tasa de drenaje entre 0,17 a 1,22 cm/hr (Figura 4a), estos suelos son considerados como arenosos con texturas gruesas que se caracterizan por ser fácilmente erodables.



En el Cuadro 3, se presentan los diferentes parámetros físicos y químicos de las muestras de suelo y los valores del factor K que se obtuvieron en el análisis de laboratorio.

Cuadro 3. Valores de la variable K del cantón Olmedo.

Puntos	M.O	Arena %	Limo %	Arcilla %	Arena fina %	Estructura	Factor K
1	12,5	30	26	44	9	Grumoso	0,0065
2	11,4	38	24	38	8	Grumoso	0,0068
3	6,99	24	26	50	4	B. sub-angulares	0,0162
4	5,27	34	26	40	5,5	B. sub-angulares	0,0173
5	6,64	46	28	26	4,5	Granular	0,0092
6	6,21	26	32	42	7,5	B. sub-angulares	0,0168
7	5,52	16	36	54	8	Granular a bloques	0,0164
8	4,01	22	30	48	4,5	B. sub-angulares	0,0170
9	4,27	12	28	60	7	B. sub-angulares	0,0161
10	1,89	34	38	28	11	Granular a bloques	0,0113
11	11,6	34	24	42	5,5	Granular	0,0067
12	6,61	8	20	72	7	Granular a bloques	0,0069
13	6,68	24	28	48	8,5	Granular a bloques	0,0078
14	6,2	16	28	56	7	B. sub-angulares	0,0161
15	1,2	18	40	42	7	Granular	0,0097
16	6,23	26	24	50	7	Granular	0,0078
17	5	22	42	36	14,5	Granular	0,0091
18	8,73	24	38	38	3	Granular	0,0077
19	7,19	32	28	40	10	Granular	0,0081
20	3,44	38	34	28	14,5	Granular	0,0106

4.2.2. Mapa del índice de erodabilidad (K) del cantón Olmedo

En la figura 5 se observa los valores del factor K, los mismos que oscilan entre 0,0064 a 0,0087 ton.ha.hr/MJ.mm.ha. La parroquia La Tingue tiene los valores más bajos de R que oscilan entre 0,0064 a 0,0102 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha (Figura 5d), la materia orgánica de 5% a 12% de contenido en el suelo (Figura 5a), arena muy fina de 3% a 7% (Figura 5b) y la tasa de drenaje de 0,1 a 0,3 cm/hr (Figura 5c), en este sector los suelos son arcillosos con texturas finas y son menos erodables.

En la parroquia de Olmedo los valores oscilan entre 0,0120 a 0,0172 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha (Figura 5d), la materia orgánica de 1% a 7% de contenido en el suelo (Figura 5a), arena muy fina de 3% a 9% (Figura 5b) y la tasa de drenaje de 0,1 a 0,3 cm/hr (Figura 5c), estos suelos son considerados como arenoso de textura gruesa fáciles de ser erodables.

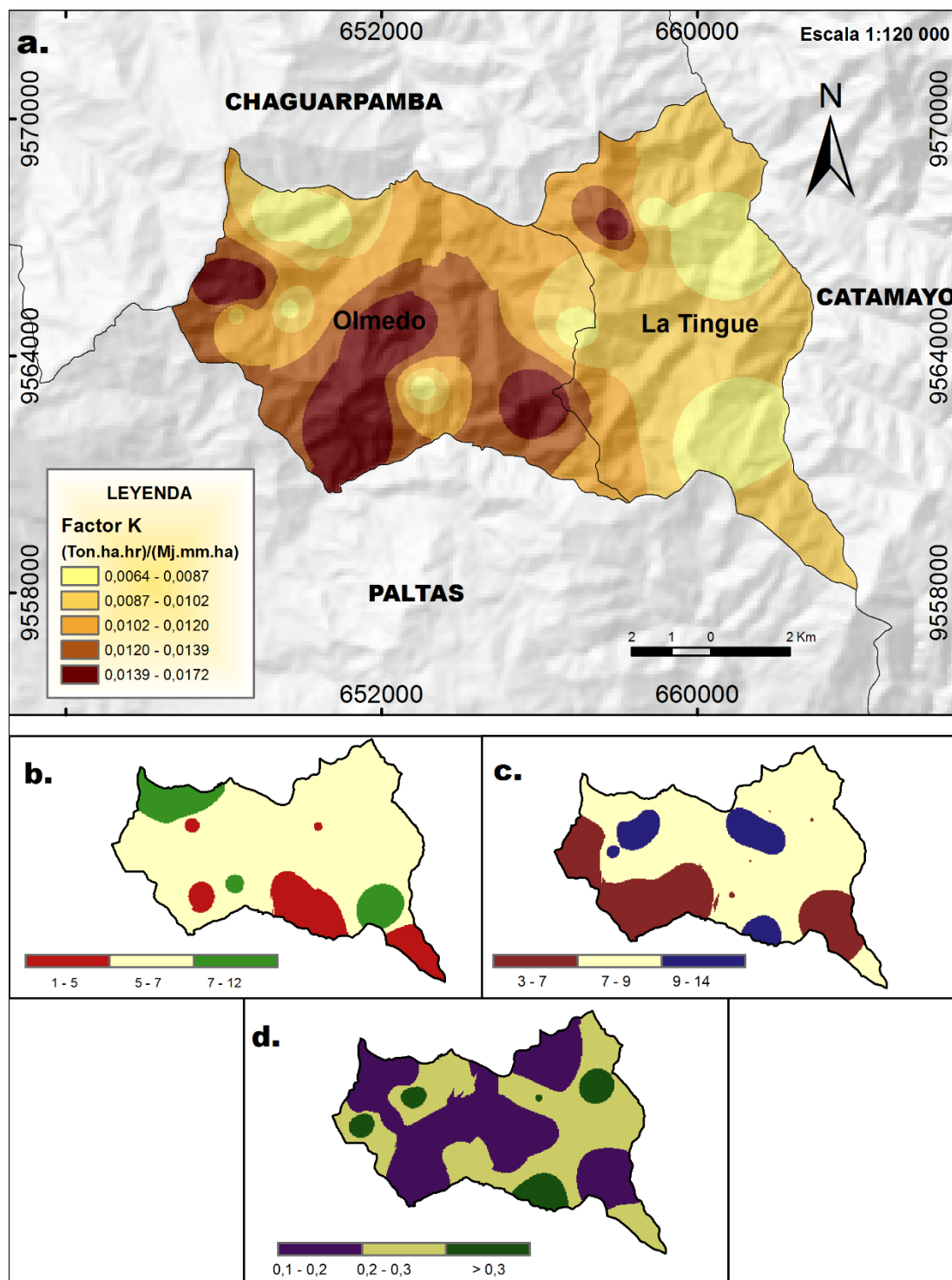


Figura 5. (a) Erodabilidad del suelo, (b) Materia orgánica, (c) Arena muy fina y (d) Tasa de drenaje.

4.3. Factor de la Cobertura vegetal (factor C)

En el Cuadro 4 se presenta la cobertura vegetal del cantón Loja con su respectiva ponderación, superficie y porcentaje total que cubre.

Cuadro 4. Ponderación de la cobertura vegetal del cantón Loja

Cobertura	Superficie (ha)	Superficie (%)	Factor C
Área incendiada	563,8	0,3	0,9
Área urbana	3175,8	1,7	0,100
Asoc. pasto-matorral	7042,1	3,7	0,100
Bosque de eucalipto	516,8	0,2	0,034
Bosque de pino	644,3	0,3	0,017
Bosque húmedo denso	48101,4	25,4	0,001
Boque húmedo intervenido	7128,3	3,8	0,017
Cultivos	4244	2,2	0,3
Cultivos asociados	1824,2	0,1	0,079
Cultivos de caña	826,5	0,4	0,003
Cuerpos de agua	80,8	0,04	0
Matorral húmedo denso	21667	11,4	0,153
Matorral húmedo semidenso	16387,2	8,7	0,18
Pastizal	76099,4	40,2	0,012
Suelo desnudo	990,3	0,5	1

4.3.1. Mapa de cobertura vegetal (factor C) del cantón Loja

La figura 6 representa la cobertura vegetal (factor C) del cantón de Loja con su respectiva ponderación. La cubierta vegetal es el elemento natural de protección del suelo frente a la fuerza erosiva de las precipitaciones y de la escorrentía superficial. La mayor superficie de cobertura es el pastizal con 76 099,4 ha con una ponderación del 0,012 que cubre el 40 % de la superficie, seguido de bosque húmedo denso con 48 101,4 ha con una ponderación del 0,001 que cubre el 25 % de la superficie, esto se encuentra principalmente en el límite del Parque Nacional Podocarpus y forma parte en la parroquia de Yangana. El matorral húmedo denso tiene de 21 667 ha con una ponderación de 0,153 que cubre el 11 % de la superficie.

Por otro lado, los valores más bajos en cuanto a superficie, es el suelo desnudo con 990,3 ha con una ponderación de 1 que cubre el 5 % de la superficie; el área incendiada con 563,8 ha con ponderación de 0,9 que cubre el 0,3 % de la superficie; los cultivos con 4244 ha y con una ponderación de 0,3, los cultivos asociados con 1 824,2 ha y con una ponderación de 0,079 y los cultivos de caña con 826,5 ha con una ponderación de 0,003 cubren el 2,7 %

de la superficie total del territorio. En este contexto, las áreas antes mencionadas no cuentan con cobertura vegetal, específicamente, los cultivos no cuentan con una cobertura suficiente que proteja al suelo de las gotas de lluvia que impactan directamente, dejándolos vulnerables a la erosión.

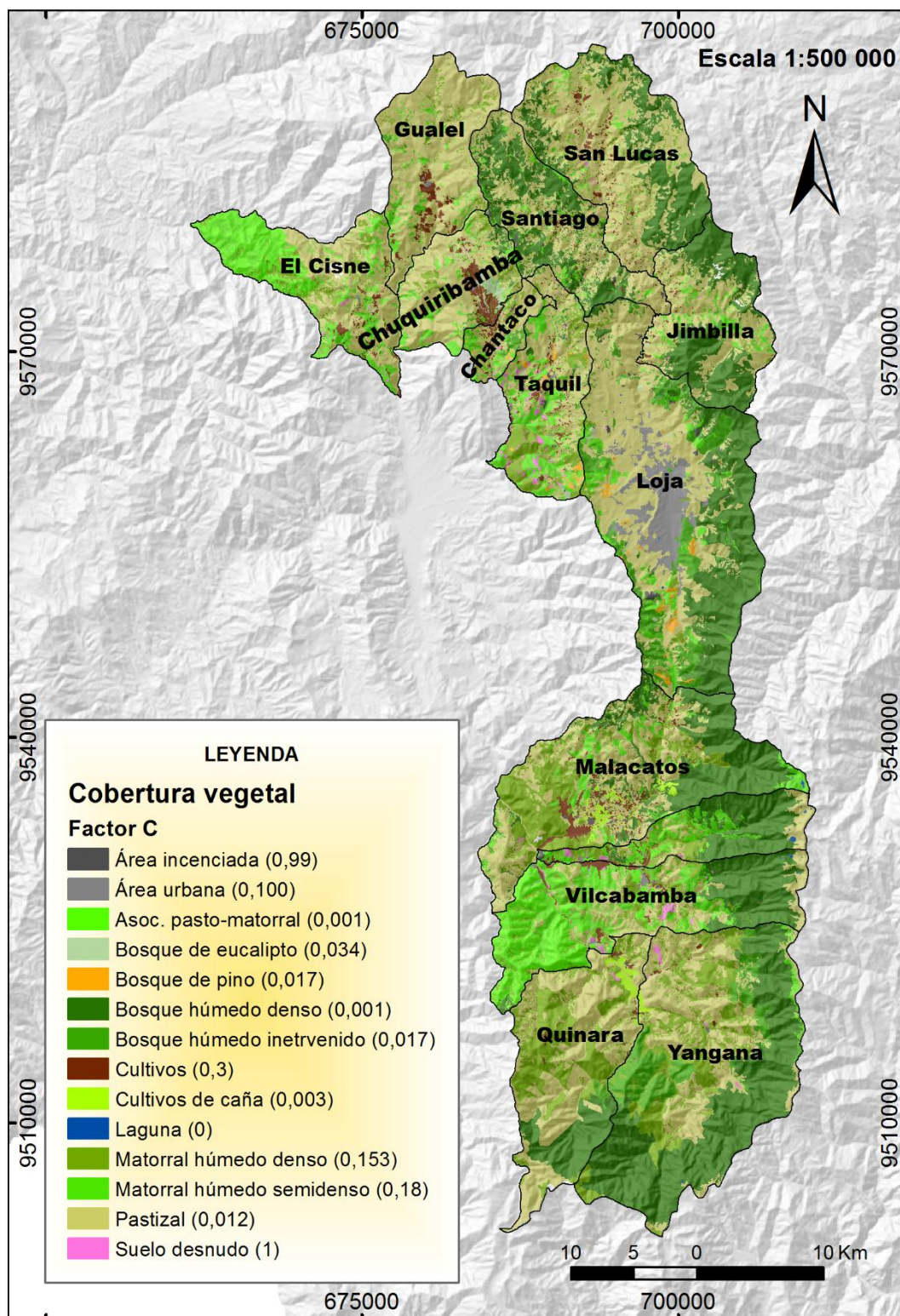


Figura 6. Mapa de cobertura vegetal (factor C) del cantón Loja

En el Cuadro 5 se presenta la cobertura vegetal del cantón Olmedo, con su respectiva ponderación, la superficie y el porcentaje del área total.

Cuadro 5. Ponderación de la cobertura vegetal del cantón Olmedo.

Cobertura	Factor C	Superficie (ha)	Superficie (%)
Área urbana	0,100	14	0,1
Asoc. pasto-matorral	0,100	3453,3	30,7
Bosque húmedo denso	0,001	1774,5	15,8
Cultivos	0,3	56,9	0,5
Cultivos asociados	0,079	1284,6	11,14
Matorral húmedo denso	0,153	1478,3	13,1
Matorral húmedo semidenso	0,18	1418	12,6
Pastizal	0,012	1745,1	15,5
Suelo desnudo	1	28,1	0,2

4.3.2. Mapa de cobertura vegetal (factor C) del cantón Olmedo

En la figura 7 se observa la cobertura vegetal del cantón Olmedo con su respectiva ponderación. La mayor parte de la superficie está cubierto por asociación pasto-matorral con 3 453,3 ha con una ponderación de 0,1 cubre el 30,7% del territorio en estudio, seguido de bosque húmedo denso y pastizal con ponderación de 0,001 y 0,012 respectivamente, que cubren el 15% del territorio cada cobertura. Los matorrales húmedo denso y semidenso cubren las 2896 ha con una ponderación de 0,153 y 0,18 respectivamente. Mientras que los cultivos y cultivos subtropicales cubren el 11,5 % del territorio con una ponderación de 0,3 y 0,079 respectivamente. El suelo desnudo abarca 28,1 ha con ponderación de 1 y cubre el 0,2 % del territorio en estudio.

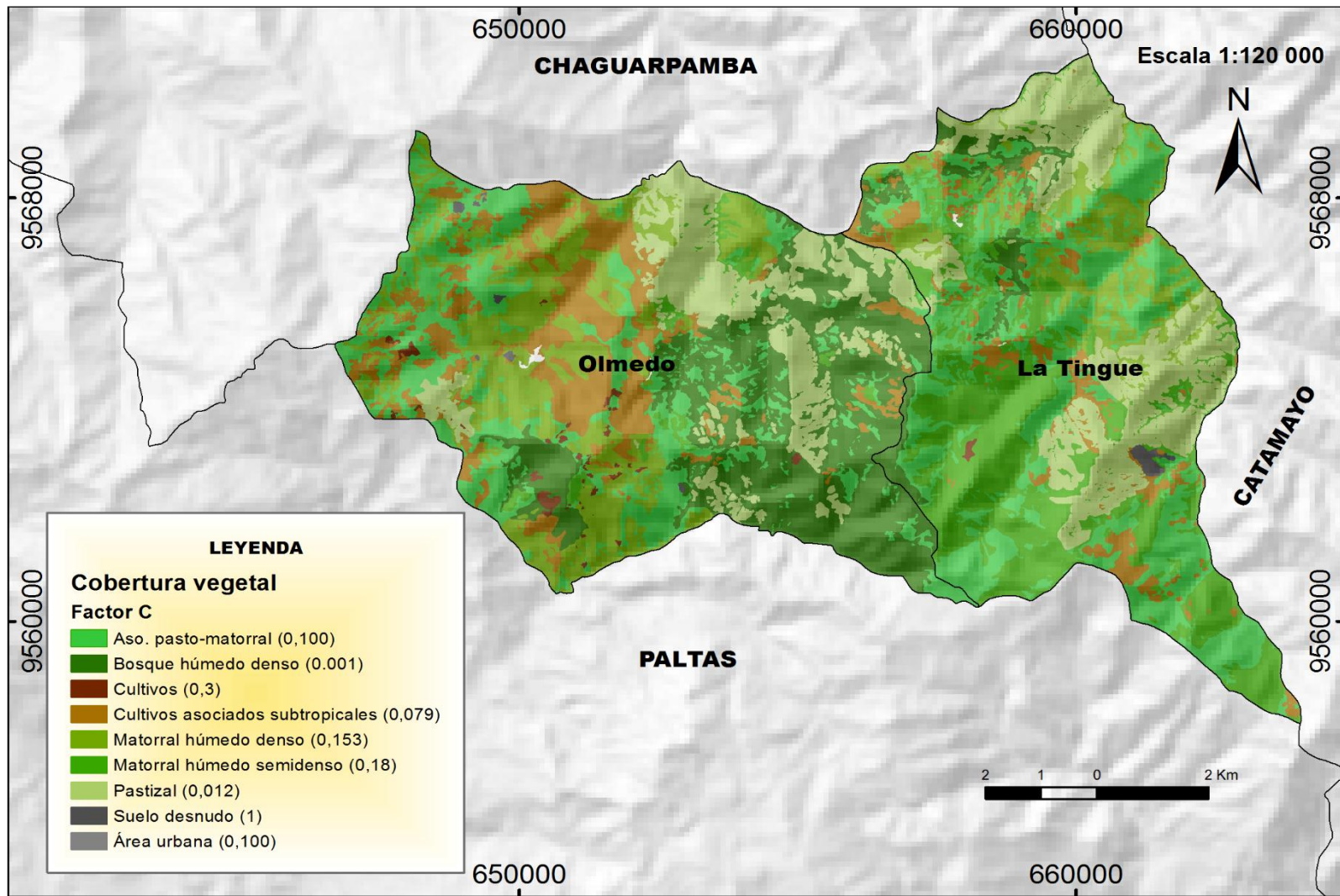


Figura 7. Mapa de cobertura vegetal (factor C) del cantón Olmedo.

4.4. Factor de Longitud y gradiente (factor LS)

A continuación se muestra el mapa de longitud y gradiente de la pendiente de los cantones Loja y Olmedo.

4.4.1. Mapa de longitud y gradiente (factor LS) del cantón Loja

El Factor LS expresa el efecto del relieve sobre la pérdida de suelos, representando el efecto del largo y grado de la pendiente, la relación entre erosión y Factor LS es directamente proporcional (Castro, 2013; Ramírez, 2010). En la figura 8 se puede observar los valores de longitud y gradiente del cantón Loja. En las parroquias urbanas de Loja y parte de las parroquias de Malacatos y Vilcabamba tienen pendientes de 0 a 5 grados de inclinación, esto se debe a la zona urbana de la ciudad de Loja y los valles de Malacatos y Vilcabamba. En cambio en las otras parroquias tienen pendientes que van desde 5 a 50 grados de inclinación, debido a las altas pendientes y montañas pronunciadas.

4.4.2. Mapa de longitud y gradiente (Factor LS) del cantón Olmedo

En la Figura 9 se puede observar los valores de longitud y gradiente (factor LS) del cantón Olmedo, expresa el efecto del relieve sobre la pérdida de suelos, representando el efecto del largo y grado de la pendiente. La mayor parte del cantón Olmedo, tanto en la parroquia de La Tingue y Olmedo tiene pendientes entre 5 a 50 grados de inclinación. Debido al relieve irregular y altas pendientes.

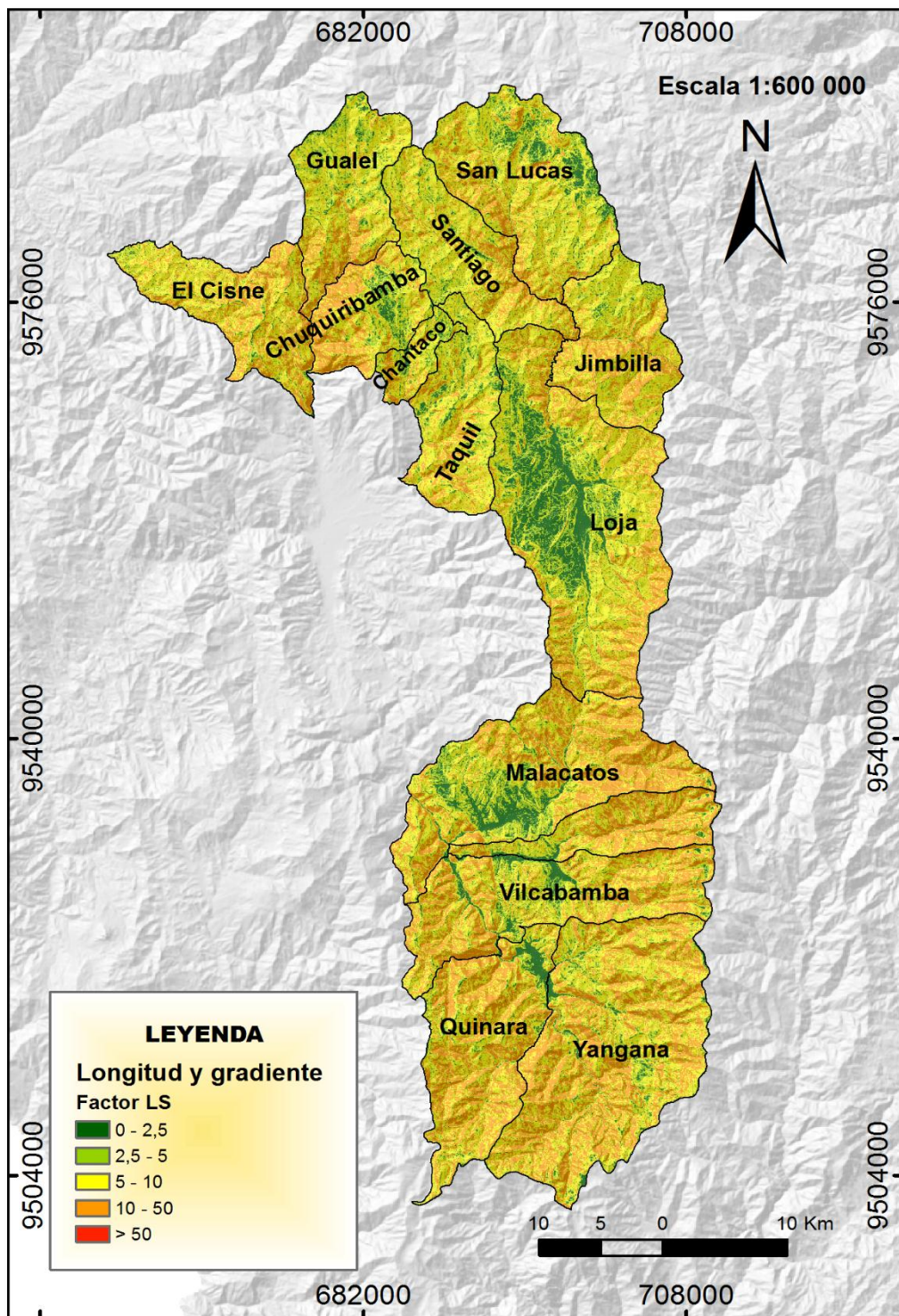


Figura 8. Mapa de longitud y gradiente (factor LS) del cantón Loja

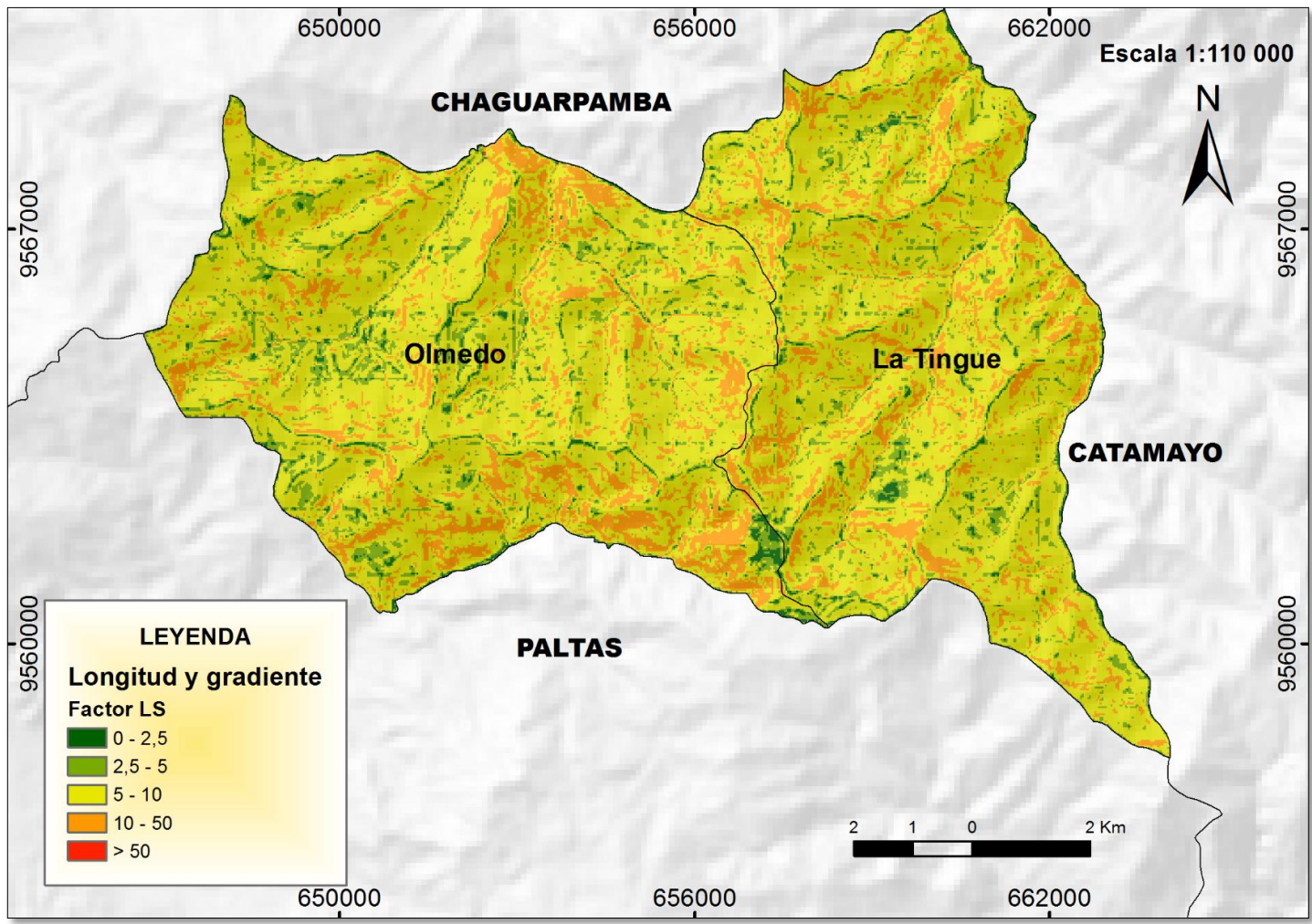


Figura 9. Mapa de longitud y gradiente (factor LS) del cantón Olmedo.

4.5. Factor de conservación (P)

A continuación se representa los mapas del factor P de los cantones Loja y Olmedo.

4.5.1. Mapa del factor P del cantón Loja

Según Velásquez (2008) el factor P de la RUSLE refleja el impacto de las prácticas de control de erosión tiene sobre la tasa de erosión. Como se puede observar en la figura 10 el 100 % de la superficie del territorio en estudio tiene una puntuación de 1, esto se debe que en este cantón no se realizan ningún tipo de buenas prácticas agrícolas o control de erosión.

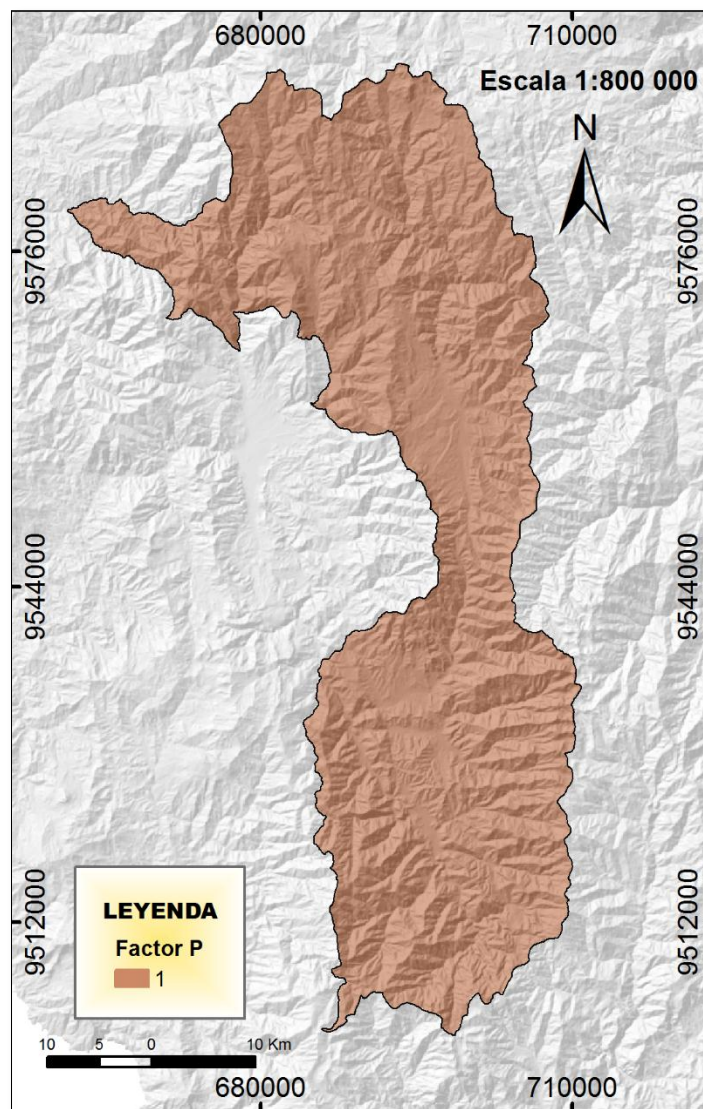


Figura 10. Mapa del factor P del cantón Loja

4.5.2. Mapa del Factor P del cantón Olmedo

En la figura 11, al igual que sucede en el cantón Loja se observa que el 100 % de la superficie del territorio del cantón Olmedo tiene una puntuación de 1, esto se debe que no se realizan ningún tipo de control de la erosión.

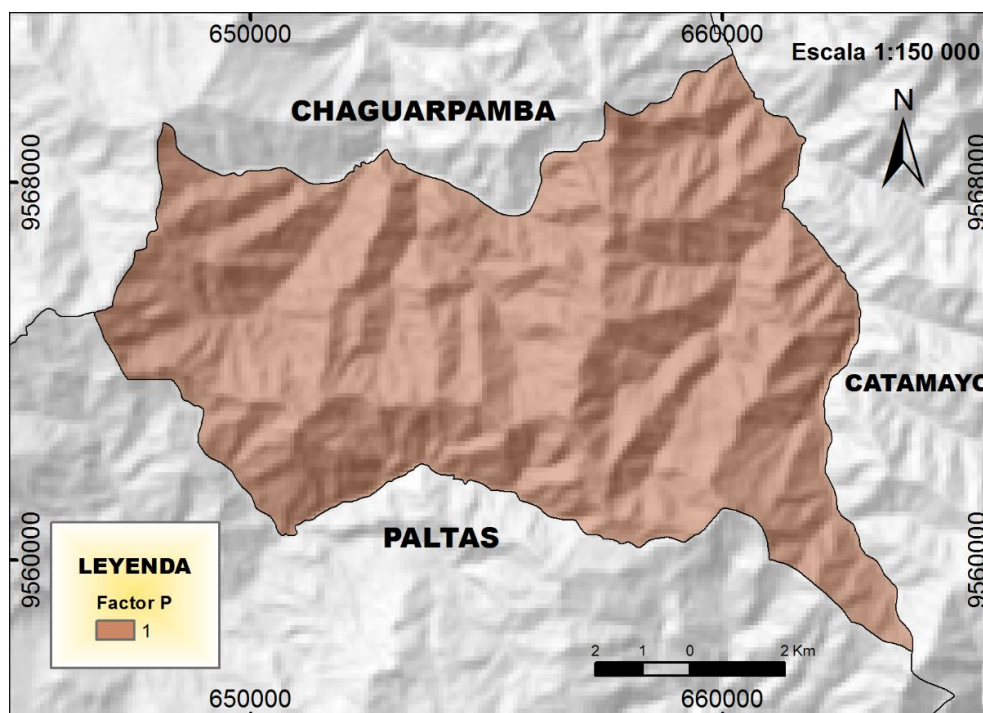


Figura 11. Mapa del factor P del cantón Olmedo

4.6. Erosión hídrica actual

A continuación se presenta las tasas de erosión hídrica actual de los cantones de Loja (ver figura 12) y Olmedo (ver figura 13).

4.6.1. Mapa de la tasa de erosión o erosión hídrica actual del cantón Loja

En el cuadro 6 se presenta la erosión actual del cantón Loja, la susceptibilidad a la erosión hídrica, superficie y porcentaje que cubre del área total de estudio.

Cuadro 6. Pérdida del suelo del cantón Loja

Pérdida de suelo ($t\ ha^{-1}año^{-1}$)	Susceptibilidad a la erosión hídrica	Área (ha)	Porcentaje (%)
< 10	Ligera	139 061	73
10 – 50	Moderada	30 56	16
50 – 200	Alta	18 367	10
>200	Muy alta	996	1

Fuente: FAO

Como se puede observar en la Figura 12 y en el cuadro 6, la pérdida del suelo que está por debajo de $10 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ con una susceptibilidad a la erosión hídrica ligera cubre 139 061 ha o un 73 % del área total del cantón, específicamente en las parroquias de Malacatos, Vilcabamba, Quinara y Yangana, debido a que se encuentra el Parque Nacional Podocarpus adyacente a las parroquias antes mencionadas, mantiene vegetación arbustiva que protege al suelo del impacto directo de las gotas de lluvia. La pérdida de suelo que va desde 10 a $50 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ con una susceptibilidad a la erosión hídrica moderada cubre 30 956 ha o el 16% del área total de estudio. La pérdida de suelo de las parroquias El Cisne, Taquil, Chuquiribamba, Chantaco, Malacatos, Vilcabamba, Quinara y Yangana van desde 50 a $200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ con una susceptibilidad a la erosión hídrica alta, debido a la producción agropecuaria en altas pendientes sin realizar prácticas de conservación de suelo. Finalmente, la pérdida de suelo mayor a $200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ con una susceptibilidad a la erosión hídrica muy alta cubre 996 ha o 1 % del área total de estudio.



Figura 12. Mapa de la erosión actual del cantón Loja

En el cuadro 7 se observa la pérdida del suelo a nivel parroquial del cantón Loja, susceptibilidad a la erosión hídrica, la superficie y el porcentaje del territorio.

Cuadro 7. Pérdida del suelo del cantón Loja a nivel parroquial

Parroquia	Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Chantaco	Ligera	1 592	64
	Moderada	360	14
	Alta	480	19
	Muy alta	60	2
Chuquiribamba	Ligera	4 952	82,7
	Moderada	888	14,8
	Alta	127,6	2,1
	Muy alta	20	0,3
El Cisne	Ligera	4 544	87,8
	Moderada	296	5,7
	Alta	300	5,8
	Muy alta	36	0,7
Gualele	Ligera	8 388	83
	Moderada	856	9
	Alta	604	6
	Muy alta	200	2
Jimilla	Ligera	8 948	88,3
	Moderada	476	4,7
	Alta	688	6,8
	Muy alta	16	0,2
Loja	Ligera	25 528	90
	Moderada	2 324	8,2
	Alta	372	1,3
	Muy alta	140	0,5
Malacatos	Ligera	14 196	70,2
	Moderada	4 884	24,2
	Alta	1 116	5,5
	Muy alta	12	0,1

Continuación del cuadro 7.

Parroquia	Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Quinara	Ligera	9 724	67,8
	Moderada	1 788	12,5
	Alta	2 812	19,6
	Muy alta	16	0,1
San Lucas	Ligera	14 492	92,2
	Moderada	1 008	6,4
	Alta	196	1,2
	Muy alta	16	0,1
San Pedro de Vilcabamba	Ligera	4 388	64,9
	Moderada	1 764	26,1
	Alta	548	8,1
	Muy alta	56	0,8
Santiago	Ligera	8 892	88
	Moderada	728	7
	Alta	420	4
	Muy alta	92	1
Taquil	Ligera	4 096	45
	Moderada	2 952	33
	Alta	1 672	18
	Muy alta	336	4
Vilcabamba	Ligera	7 664	48,6
	Moderada	6 140	38,9
	Alta	1 896	12,0
	Muy alta	84	0,5
Yangana	Ligera	21 228	79,4
	Moderada	2 608	9,8
	Alta	2 864	10,7
	Muy alta	32	0,1

Como se puede observar la pérdida del suelo a nivel parroquial del cantón Loja. Se tiene que la mayor superficie de las parroquias tiene valores menores a $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ con una susceptibilidad a la erosión hídrica ligera que sobrepasan el 60% de su territorio, sin embargo, las parroquias de Vicabamba y Taquil cubren el 48,6% y 45% de su territorio. En cambio, para los valores que van entre 10 y $50 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ con una susceptibilidad moderada existe diferencias, la parroquia de Taquil tiene 2 952 ha que representan 33% la parroquia de San Pedro de Vilcabamba tiene 1 764 ha que representa el 26,14% de su territorio y Malacatos tiene 4 884 ha o 24,2% de su territorio, siendo estas las parroquias con mayor porcentaje en la categoría moderada las demás parroquias tienen porcentajes menores al 14% de sus territorios.

Así mismo, para la pérdida de suelo que va de 50 a 200 t ha⁻¹año⁻¹ con susceptibilidad alta, también existe diferencias entre las parroquias, en el caso de la parroquia de Quinara tiene 2 812 ha o el 19,6% de su territorio, la parroquia de Chantaco cubre 480 ha que abarca el 19% de su territorio y la parroquia de Taquil con 1 672 ha que representa el 18% de su área total, siendo estas parroquias las que tienen mayor superficie en cuanto a la categoría de alto, el resto de parroquias tienen valores menores al 12% de sus superficies. Finalmente para la pérdida de suelo mayor a las 200 t ha⁻¹año⁻¹ con una susceptibilidad muy alta las parroquias de Chantaco, Chuquiribamba y Taquil tienen 4%; 2,1% y 2% de sus territorios siendo estas las parroquias con mayor grado de erosión, el resto de parroquias tienen menor al 1% de su área total.

4.6.2. Mapa de la tasa de erosión o erosión hídrica actual del cantón Olmedo

En el siguiente cuadro (8) se muestra la erosión actual del cantón Olmedo, la susceptibilidad a la erosión hídrica, superficie y porcentaje del área de estudio.

Pérdidas de suelo (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	Susceptibilidad a la erosión hídrica	Área (ha)	Porcentaje (%)	Cuadro 8. Pérdida del suelo del cantón Olmedo
< 10	Ligera	3 933	35	
10 – 50	Moderada	6 581	58,9	
50 – 200	Alta	696	6	
>200	Muy alta	10	0,1	

En la Figura 13 se observa que la pérdida del suelo del cantón Olmedo. La pérdida menos a 10 t ha⁻¹ año⁻¹ con susceptibilidad ligera cubre 3 933 ha o un 35% del área. La pérdida de suelo entre 10 y 50 t ha⁻¹año⁻¹ con susceptibilidad moderada cubre 6 581 ha o el 58,9% del área. La pérdida de suelo entre 50 y 200 t ha⁻¹año⁻¹ con susceptibilidad alta cubre 696 ha o el 6% del área. Finalmente, la pérdida de suelo mayor a 200 t ha⁻¹año⁻¹ con susceptibilidad muy alta cubre 10 ha o 0,1% del área total de estudio.

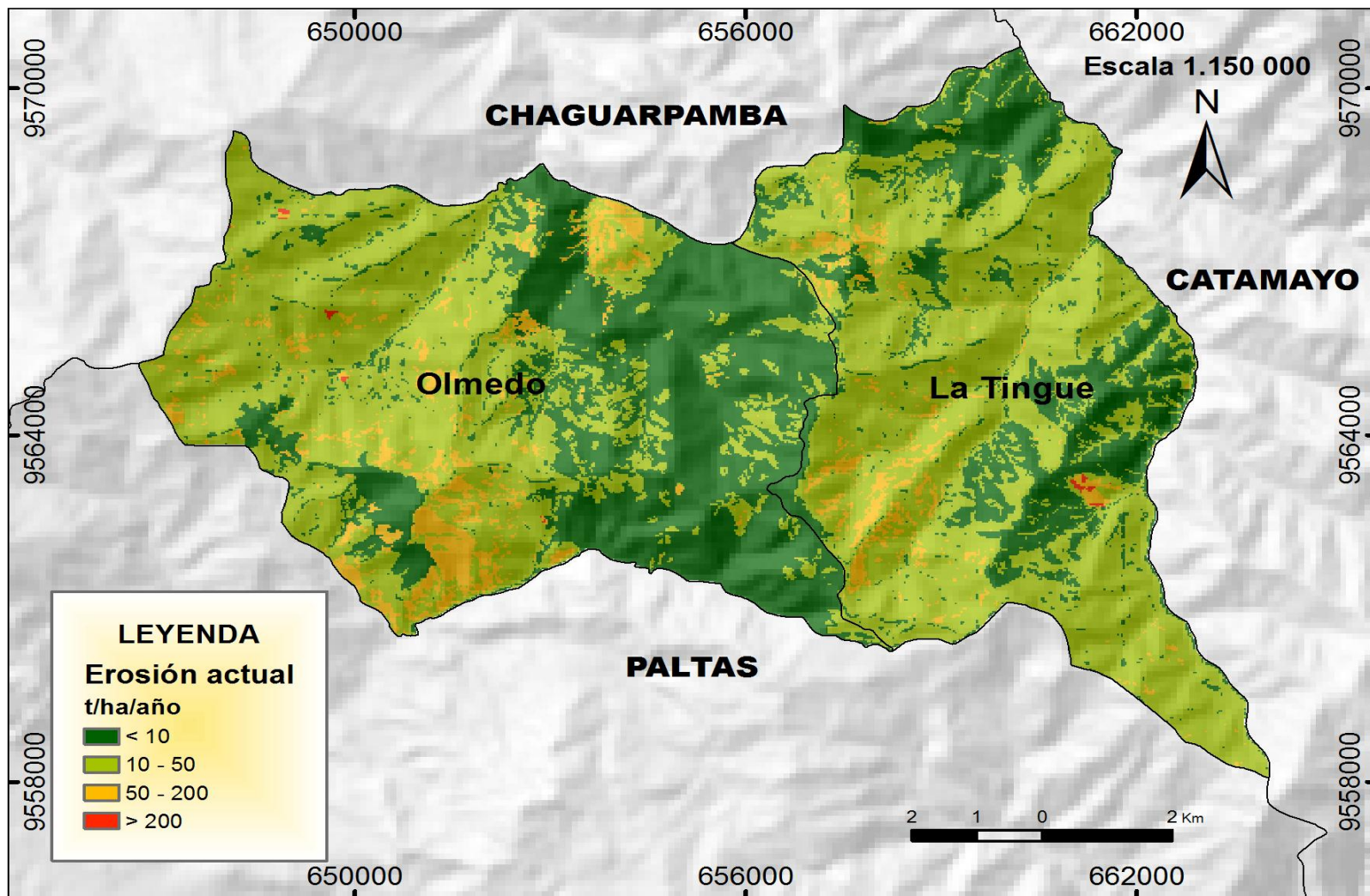


Figura 13. Mapa de erosión actual del cantón Olmedo

En el siguiente cuadro (9) se encuentran la pérdida del suelo a nivel parroquial del cantón Olmedo, la superficie y el porcentaje del territorio.

Cuadro 9. Pérdida del suelo del cantón Olmedo a nivel parroquial.

Parroquia	Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Olmedo	Ligera	2432,7	40,2
	Moderada	2987,8	49,4
	Alta	624,5	10,3
	Muy alta	5,7	0,1
La Tinge	Ligera	1354,6	26,5
	Moderada	3368,8	65,9
	Alta	377,4	7,4
	Muy alta	11,4	0,2

Como se puede observar en la Figura 13 y cuadro 9 la pérdida de suelo a nivel parroquial del cantón Olmedo, la parroquia de Olmedo abarca mayor superficie de pérdida de suelo menor a $10 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ con una susceptibilidad ligera cubriendo 2 432,7 ha que representa el 40,2% de la parroquia, la pérdida de suelo entre 10 y $50 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ con una susceptibilidad moderada cubre 2 987,8 ha que representa 49,4% de la parroquia siendo esta categoría con mayor superficie en esta parroquia. La pérdida de suelo de 50 a $200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ con una susceptibilidad alta tiene 624,5 ha cubriendo 10,3% de la parroquia. La pérdida de suelo mayor a $200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ con una susceptibilidad muy alta tiene 5,7 ha y representa 0,1% de la parroquia.

En la parroquia de La Tinge la pérdida de suelos que va de 10 a $50 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ con una susceptibilidad moderada abarca mayor superficie de la parroquia cubriendo 3 368,8 ha (65,9%).

4.7. La Erosión potencial

A continuación se presentan las Figuras 14 y 15 en donde se compara la erosión hídrica actual, erosión potencial con cobertura degradada y erosión potencial sin tomar en cuenta la cobertura tanto para el cantón de Loja como Olmedo.

4.7.1. Mapa de la erosión potencial del cantón Loja

La Figura 14 representa la erosión potencial en tres escenarios: erosión actual, erosión potencial con cobertura degradada y erosión potencial sin cobertura.

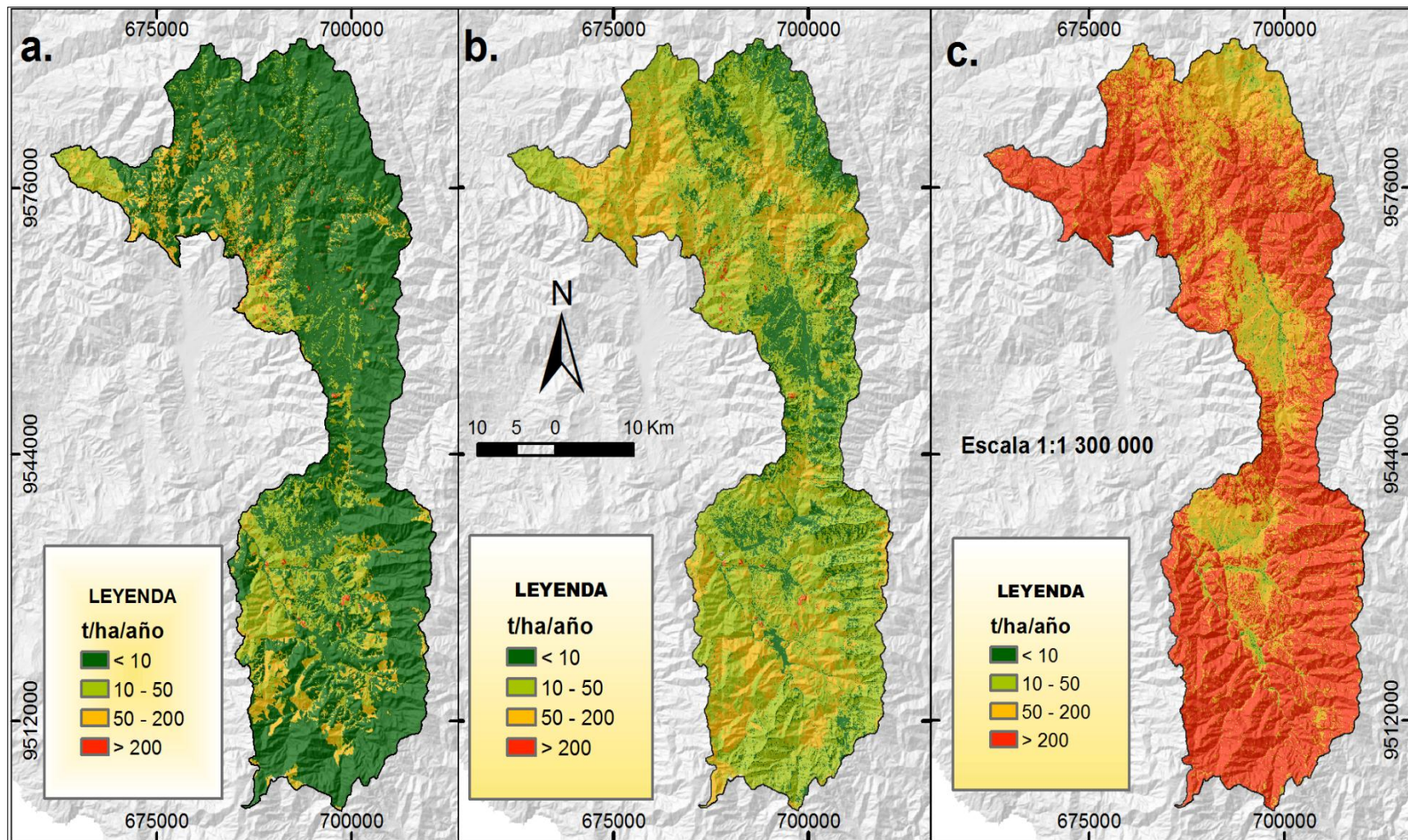


Figura 14. a. Erosión actual, b. Erosión potencial con cobertura degradada y c. Erosión potencial sin cobertura.

El siguiente cuadro (10) compara la erosión actual, la erosión potencial con cobertura degradada y la erosión potencial sin cobertura, así mismo el área y porcentaje de las mismas.

Cuadro 10. Pérdida del suelo del cantón Loja

Pérdida de suelo (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	Clasificación	Erosión actual		Erosión potencial sin cobertura		Erosión Potencial (cobertura degradada)	
		Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
< 10	Ligera	139 061	73	1 123	0,6	41 069	21,7
10 – 50	Moderada	30 956	16	9 409	5	107 552	56,8
50 – 200	Alta	18 367	10	57 003	30	39 729	21
> 200	Muy alto	996	1	121 936	64,4	1 031	0,5

Cuadro 11. Pérdida del suelo del cantón Olmedo.

Pérdida de suelo (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	Clasificación	Erosión actual		Erosión potencial cobertura degradada		Erosión potencial sin cobertura	
		Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
< 10	Ligera	3 933	35	1 559	13,9	9,8	0,1
10 – 50	Moderada	6 581	58,9	8 823	78,6	145	1,3
50 – 200	Alta	696	6	827	7,4	3 789	33,8
> 200	Muy alto	10	0,1	10	0,1	7 275	64,8

En la figura 14 y cuadro 10 se puede ver la erosión actual del cantón Loja, la pérdida de suelo menor a 10 t ha-1año-1 con una susceptibilidad ligera cubre 139 061 ha (73%) de territorio, seguido por la pérdida de suelo entre 10 y 50 t ha-1año-1 con una susceptibilidad moderada que cubre 30 956 ha (16%) del territorio. La pérdida entre 50 y 200 t ha-1año-1 con una susceptibilidad alta cubre 18 367 ha (10%) del territorio, finalmente la pérdida mayor a 200 t ha-1año-1 con una susceptibilidad muy alta cubre 996 ha (1%) del territorio.

En el segundo escenario con cobertura degradada (Figura 14b) la pérdida mayor a 200 t ha-1año-1 con una susceptibilidad muy alta alcanza las 1 031 ha (0,5%) del territorio. La pérdida de suelo entre 50 y 200 t ha-1año-1 con una susceptibilidad alta cubre las 39 729 ha (21%) del territorio. La pérdida de suelo entre 10 a 50 t ha-1año-1 con una susceptibilidad moderada cubre 107 552 ha (56,8%) del territorio, siendo esta categoría con mayor hectáreas. La pérdida de suelo menor a 10 t ha-1año-1 con una susceptibilidad ligera cubre 41 069 ha (21,7%) del territorio.

En el tercer escenario sin tomar en cuenta la cobertura (Figura 14c) la pérdida de suelo aumenta. La pérdida de suelo mayor a 200 t ha-1año-1 con una susceptibilidad muy alta

alcanza 121 936 ha (64,4%) del territorio, la pérdida de suelo entre 50 a 200 t ha⁻¹año⁻¹ con una susceptibilidad alta abarca 57 003 ha (30%) del territorio. En cambio, la pérdida entre 10 a 50 t ha⁻¹año⁻¹ con una susceptibilidad moderada cubre 9 409 ha (5%) de territorio, finalmente la pérdida de suelo menor a 10 t ha⁻¹año⁻¹ con una susceptibilidad ligera apenas alcanza 1 123 ha (0,6%) del territorio.

El Siguiete cuadro (11) se observa la erosión actual, la erosión potencial con cobertura degradada y la erosión potencial sin cobertura del cantón Olmedo, la superficie y el porcentaje que cubre el área de estudio.

4.7.2. Mapa de la erosión potencial del cantón Olmedo

En la figura 15 se denota la erosión actual, erosión potencial con cobertura degradada y la erosión potencial sin cobertura del cantón Olmedo. La pérdida del suelo con mayor superficie en la erosión actual está entre 10 a 50 t ha⁻¹año⁻¹ con una susceptibilidad moderada que cubre 6 581 ha (58,9%) del territorio. En el escenario con cobertura degradada la pérdida de suelo entre 10 y 50 t ha⁻¹año⁻¹ con una susceptibilidad moderada aumenta a 8 823 ha (78,6%) del territorio.

En el tercer escenario sin tomar la cobertura vegetal la pérdida de suelo mayor a 200 t ha⁻¹año⁻¹ con una susceptibilidad muy alta alcanza las 7 275 ha (64,8%) del territorio, la pérdida de suelo entre 50 a 200 t ha⁻¹año⁻¹ con una susceptibilidad alta abarca 3 789 ha (33,8%) del territorio, Mientras que las categorías ligera y moderada en la pérdida de suelo solo alcanza 154,8 ha (1,4%) del territorio. Pidiéndose decir que la cobertura vegetal es importante para contrarrestar este fenómeno.

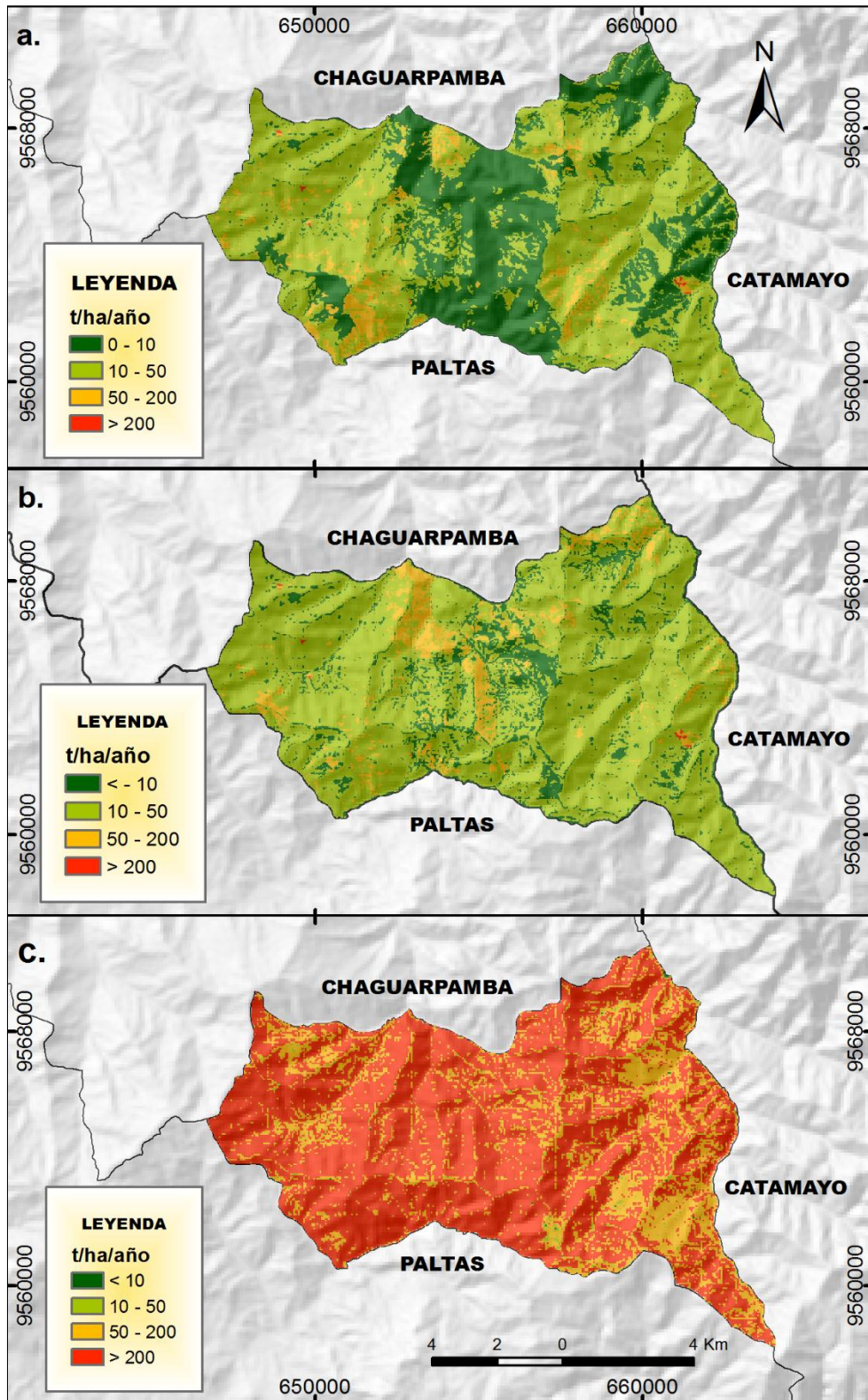


Figura 15. a. erosión actual, b. erosión potencial con cobertura degradada y c. erosión potencial sin cobertura.

4.8. Alternativas adecuadas de manejo y uso del suelo para zonas con altas tasas de erosión.

A continuación se presenta los mapas de las zonas con altas tasas de erosión hídrica del cantón Loja (Figura 16) y Olmedo (Figura 17).

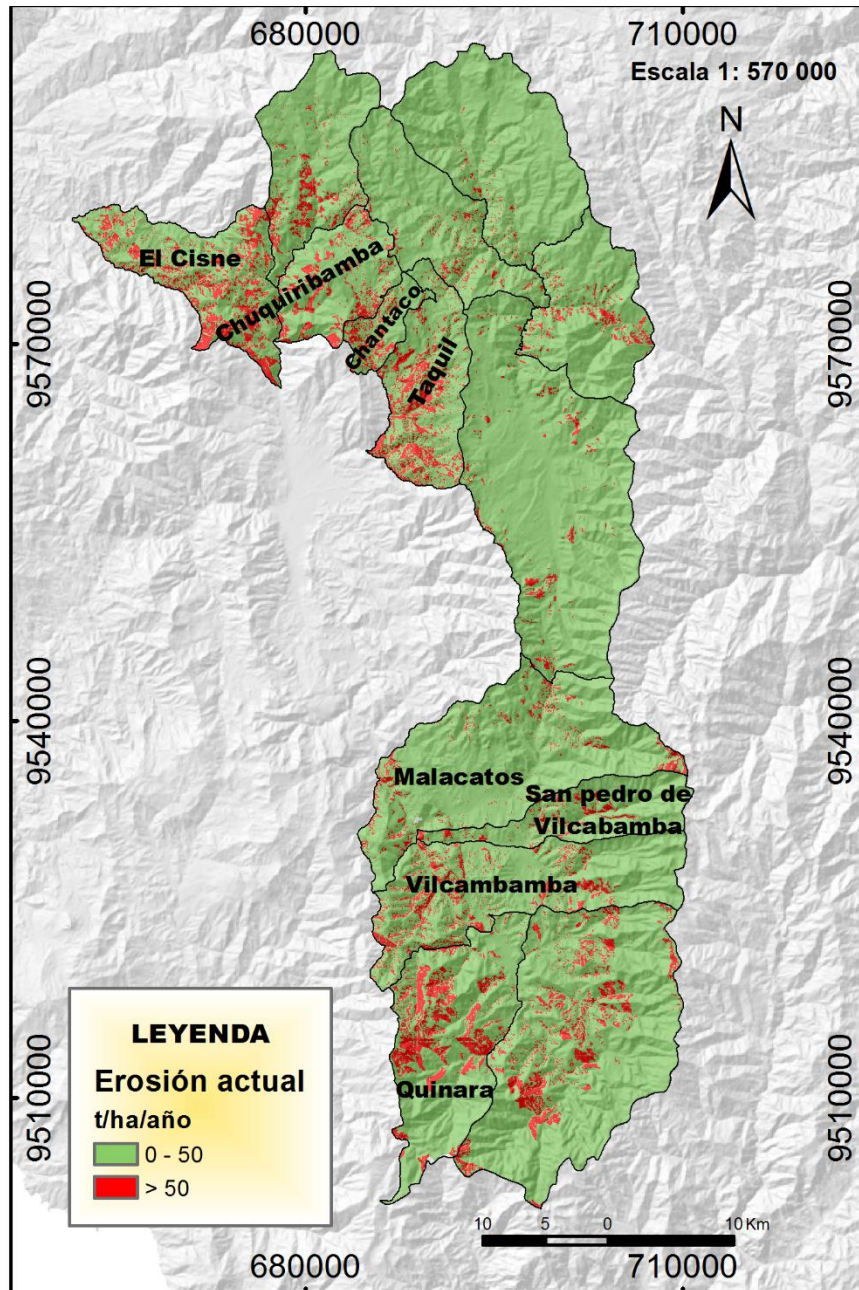


Figura 16. Zonas con altas tasas de erosión del cantón Loja.

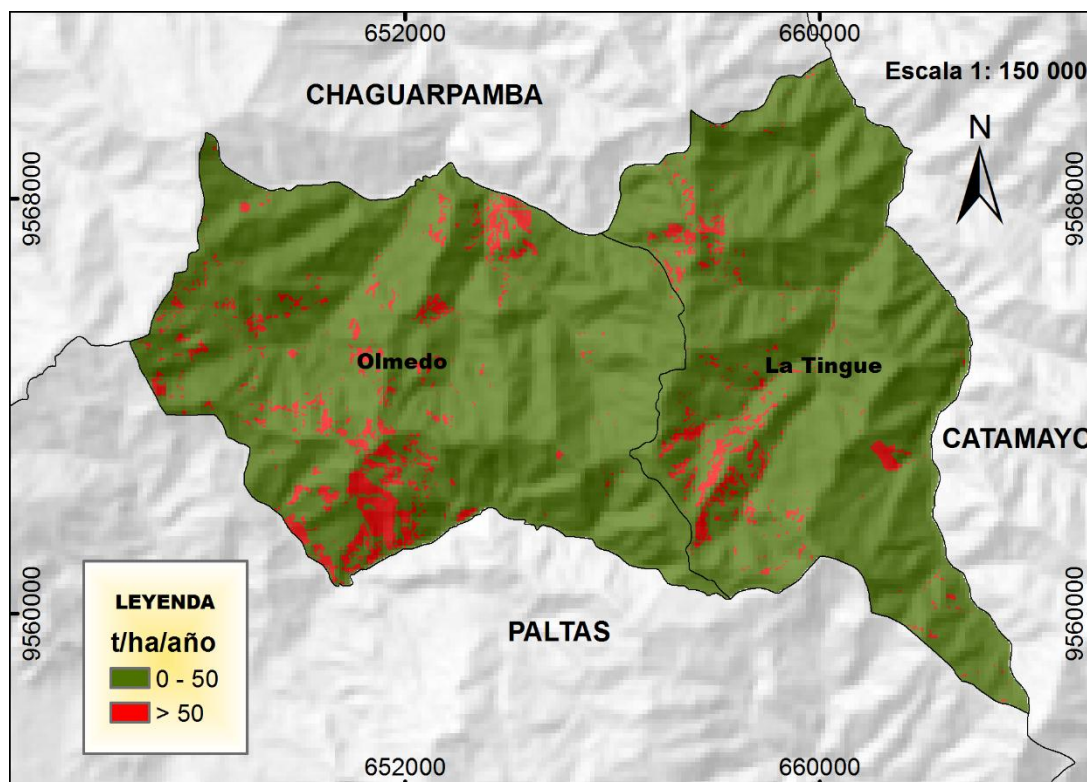


Figura 17. Zonas de altas tasas de erosión del cantón Olmedo

La erosión es un proceso natural, no puede evitarse. Pero puede reducirse a un nivel máximo aceptable a la pérdida de suelo. Esto debe considerarse como un criterio de rendimiento que las medidas de control de la erosión se espera lograr. En consecuencia, es fácil entender que la reposición o implantación de coberturas vegetales y prácticas de conservación son un control efectivo de la erosión.

La cobertura vegetal con una densidad adecuada es la mejor defensa natural de un suelo contra la erosión, ya que disminuye los impactos de las gotas de lluvia, interceptándolas y absorbiendo la energía antes que actúa en ella (Morales, 2014). En el cantón de Loja tenemos dos zonas con altas tasas de erosión. La primera son las parroquias de Chuquiribamba, Chantaco, El Cisne y Taquil, la segunda son las parroquias de Malacatos, San Pedro de Vilcabamba, Vilcabamba y Quinara.

El cantón de Loja y Olmedo tiene problemas de incendios forestales, un sin número de hectáreas se han perdido por esta actividad, muchas de las veces causados por el hombre. Por ello, se plantea que los gobiernos parroquiales y municipales trabajen en conjunto con el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) en el Plan Nacional de Reforestación con fines de conservación. Este proyecto genera un compromiso social que asegura la sostenibilidad, basado en la inversión que se realiza para el establecimiento y mantenimiento de las áreas

restauradas, incentivos por conservación entregados por el programa socio bosque luego del tercer año, y obtención de beneficios por la cosecha de productos diferentes a la madera como la corteza, látex, semillas. Las áreas establecidas mediante el proyecto podrán pasar a formar parte del Capítulo Restauración del programa Socio Bosque, que otorgará incentivos económicos a aquellos propietarios que cumplan de forma eficaz con sus compromisos.

Este proyecto se debería implementar en ambos cantones, en especial en las parroquias de Quinara y Yangana por la extracción de madera que se realiza para la comercialización, sin permiso de las autoridades para realizar esa actividad.

Las diferentes técnicas de conservación se pueden describir bajo el título de medidas agronómicas, manejo del suelo y métodos mecánicos. En las parroquias de Chuquiribamba, Chantaco, El Cisne y Taquil la mayor actividad económica es la agricultura específicamente en plantas medicinales, en terrenos con altas pendientes cultivando grandes extensiones de terreno sin medidas de conservación de suelo.

La alternativa que se plantea para estas parroquias son las buenas prácticas agrícolas. El manejo sostenible del suelo busca mantener y mejorar sus características naturales a través de técnicas que aseguren la conservación de la fertilidad, minimizando la contaminación y evitando la erosión. Se debe implementar los cultivos en contorno, esto se debe hacer en curvas de nivel sembrando en líneas que respetan un mismo nivel de altura para evitar arrastre de terreno por lluvias dejando además protección vegetal en los bordes del cultivo.

Una vez implementado las alternativas estratégicas en el cuadro (12) se puede observar la disminución de la pérdida de suelo en el cantón de Loja.

Cuadro 12. Erosión actual y proyección de reducción de la erosión del cantón Loja

Pérdida de suelo (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	Clasificación	Erosión actual		Proyección de reducción de la erosión	
		Área (ha)	%	Área (ha)	%
< 10	Ligera	138 536	73,9	141 934	74,5
10 – 50	Moderada	29 720	15,9	31 299	16,5
50 – 200	Alta	18 256	9,7	16 058	9
> 200	Muy alto	924	0,5	88	0,05

Como podemos observar el cuadro 12 y figura 16 se comparan la erosión actual y la proyección de erosión del cantón Loja. La pérdida de suelo es notable en las parroquias de Chuquiribamba, Chantaco, El Cisne y Taquil. La pérdida en todo el cantón de Loja menor a $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ con una susceptibilidad ligera llaga a 141 934 ha (74,5%) de territorio, la pérdida entre 10 y $50 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ con una susceptibilidad moderada abarca 31 299 ha (16,5%) del territorio. La pérdida de suelo de 50 a $200 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ con una susceptibilidad alta cubre 16 058 ha (9%) del territorio. Finalmente la pérdida mayor a $200 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ con una susceptibilidad muy alta cubre 88 ha (0,05%) del cantón Loja.

Como se puede ver la disminución de la erosión en la categoría de alta y muy alta disminuye considerablemente, en la categoría alta disminuye de 18 256 ha (9,7%) del territorio a 16 058 ha (9 %) del territorio reduciéndose en total 2 198 hectáreas en todo el cantón de Loja. En la categoría de muy alta se disminuye de 924 ha (0,5%) del territorio a 88 ha (0,05%) del cantón de Loja reduciéndose la pérdida del suelo en 836 ha en todo el cantón.

4.8.1. Mapa de proyección de reducción de la erosión

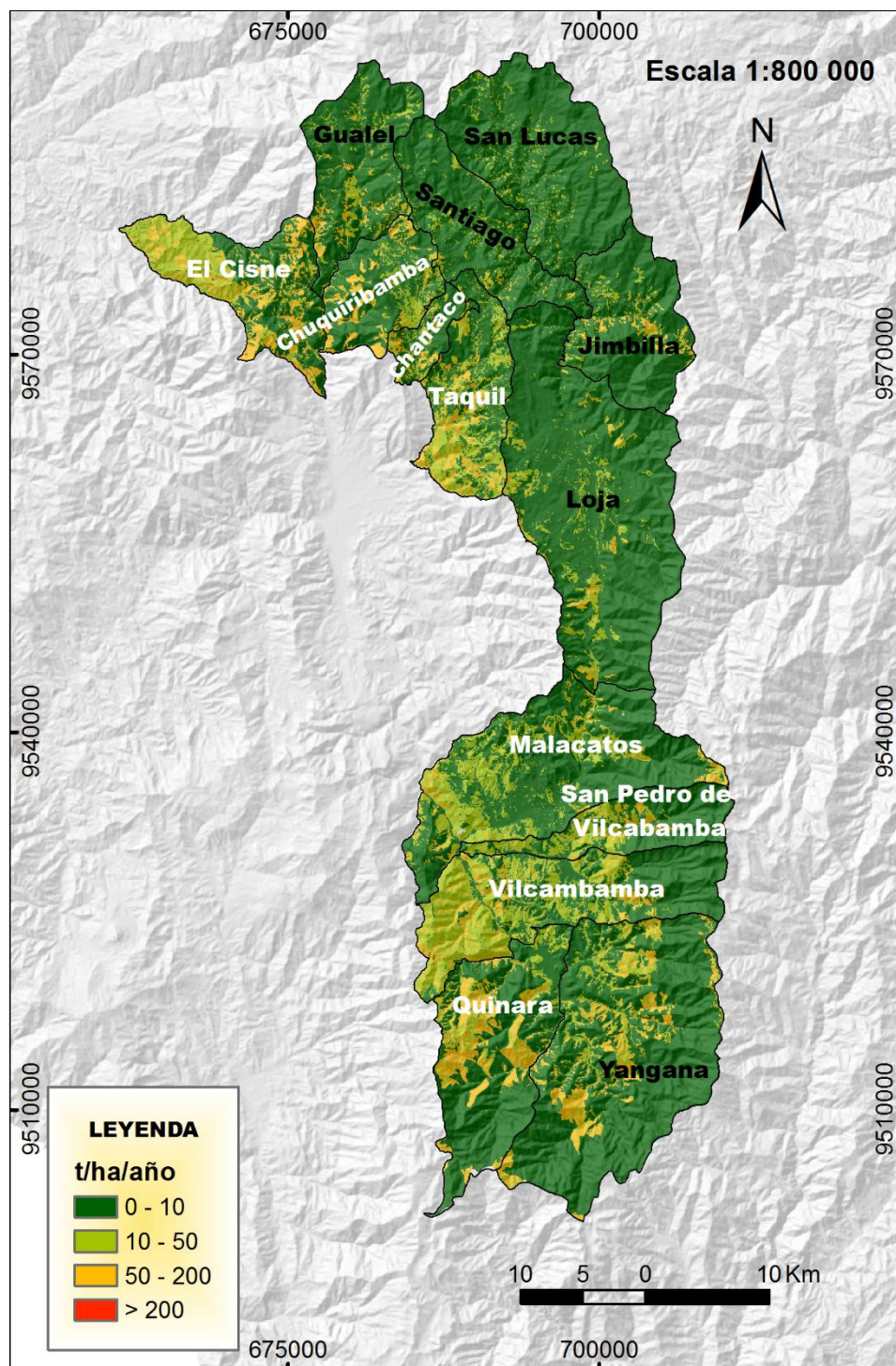


Figura 18. Proyección de reducción de la erosión del cantón Loja

El cuadro 13 compara la erosión actual del cantón Olmedo y la proyección de reducción de la erosión al implementar las alternativas.

Cuadro 13. Erosión actual y proyección de reducción de la erosión del cantón Olmedo

Pérdida de suelo (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	Clasificación	Erosión actual		Proyección de reducción de la erosión	
		Área (ha)	%	Área (ha)	%
< 10	Ligera	3 933	35	4 800	42,8
10 – 50	Moderada	6 581	58,9	5 805	51,7
50 – 200	Alta	696	6	614	5,5
> 200	Muy alto	10	0,1	1	0,01

En la Figura 19 se puede ver la disminución de la pérdida de suelo del cantón Olmedo. La pérdida de suelo menor a 10 t ha⁻¹ año⁻¹ con una susceptibilidad ligera cubre 4 800 ha (42,8%) del territorio, mientras que la pérdida de suelo entre 10 y 50 t ha⁻¹ año⁻¹ con una susceptibilidad moderada abarca las 5 805 ha (51,7%) de territorio, siendo esta la categoría con mayor extensión de terreno del cantón Olmedo. La pérdida de suelo entre 50 y 200 t ha⁻¹ año⁻¹ con una susceptibilidad alta cubre 614 ha (5,5%) del territorio. Finalmente la pérdida de suelo mayor a 200 t ha⁻¹ año⁻¹ con una susceptibilidad muy alta abarca 1 ha (0,01%) del territorio.

Se puede denotar que la disminución de la pérdida de suelo en el cantón Olmedo es considerable, en la categoría alta disminuye de 696 ha (6%) del territorio a 614 ha (5,5%) del cantón. En cambian en la categoría de muy alta disminuye 9 ha (0,01%) del cantón. Debido a que la mayor parte de la superficie de este cantón se mantiene cubierta por vegetación.

4.8.2. Mapa de proyección de reducción de la erosión del cantón Olmedo

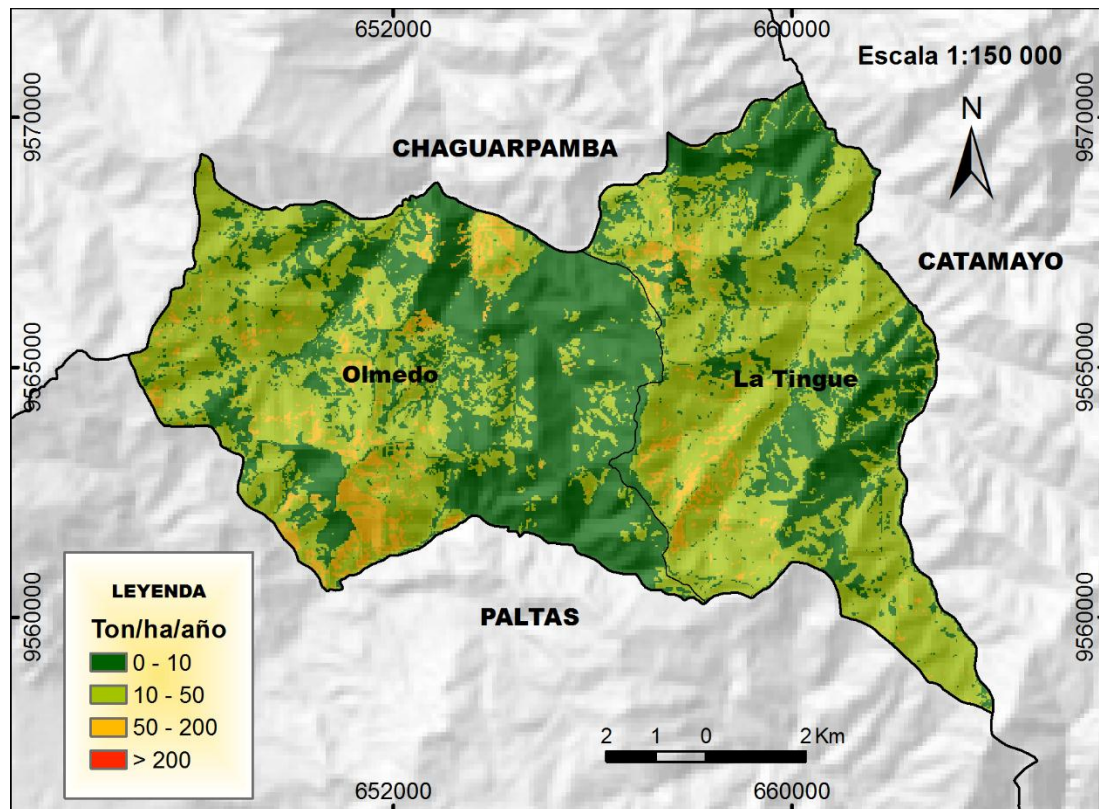


Figura 19. Proyección de la reducción de la erosión del cantón Olmedo

5. DISCUSIÓN

5.1. Base de datos geoespacial de los cantones de Loja y Olmedo

La base de datos es el método preferido para el almacenamiento estructurado de datos, se utiliza para asegurar la integridad de los datos y facilitar la labor tanto de usuarios como de los programadores que las desarrollaron (Camps *et al*, 2005).

Durante la investigación se utilizó una base de datos, con el fin de aplicar la ecuación RUSLE que necesita de varios parámetros para cada uno de los factores (R, K, C, LS, P). Se utilizó para la precipitación, parámetros físicos y químicos del suelo, cobertura vegetal y prácticas agrícolas. Esto permitió ordenar una alta cantidad de datos con facilidad, rapidez y obtener resultados confiables con ayuda del software ArcMap.

Existen diferentes estudios realizados en todo el mundo aplicando la ecuación RUSLE, como los que realizaron González, Serrano, Vilchez, Núñez, & García-sancho, (2016) en México para determinar el riesgo de erosión hídrica y estimación de pérdida de suelo. En la misma línea, Rodríguez Vagaría & Gaspari, (2015) en Argentina para estimar admisibilidad de pérdidas de suelo por erosión hídrica. Y Rawat, Joshi, & Mesia, (2013) en India para estimar el índice de erosividad y de la pérdida de suelo. En este contexto se puede decir que la metodología utilizada es confiable.

5.2. Estimar la erosión actual, potencial y zonas susceptibles en los cantones de Loja y Olmedo.

La ecuación universal RUSLE es una herramienta útil para estimar la erosión, usada de manera propia, sirve para tomar decisiones de manejo. Los factores están asociados con la pendiente del terreno, cantidad e intensidad de la precipitación, prácticas mecánicas de control de erosión, características hidrodinámicas de la superficie del suelo y la densidad de la vegetación. Estos parámetros pueden ser estimados a partir de la información obtenida en campo y en laboratorio (Ahmad & Verma, 2013; Bagherzadeh, 2014; Verbist, 2015; Zhao et al., 2013).

5.2.1. Factores que integran el modelo de erosión

El factor R indica la vulnerabilidad del suelo a la erosión por precipitación, los valores del factor R del cantón de Loja son superiores a 1000 Mj.mm/ha.h.año debido a las zonas más lluviosas en el cantón que superan los 1 000 mm de precipitación anual. Además en el límite con la provincia de Zamora Chinchipe y con el Parque Nacional Podocarpus, se caracteriza por su bosque nublado y diferentes tipos de páramos (Aguirre, Ojeda, Eguiguren, & Aguirre, 2015). En cambio, los valores de R del cantón Olmedo oscilan de 2 475 a 3 035 Mj.mm/ha.h.año. Tiene un rango de precipitación entre 700 y 1 200 mm distribuidos en un régimen de temporada de lluvia o invierno (PDOT, 2014).

La erodabilidad del suelo está influenciada por algunas propiedades tales como, distribución del tamaño de las partículas, materia orgánica y textura (Colín García, Ibáñez Castillo, Reyes Sánchez, & Arteaga Ramírez, 2013). El cantón de Loja tiene valores desde 0,0039 a 0,0196 Mj.mm/ha.h.año. De la misma forma, en cantón Olmedo los valores de K oscilan entre 0,0064 a 0,0087 Mj.mm/ha.h.año, donde de manera general se tiene una susceptibilidad de los suelos a la erosión hídrica, debido a que la mayor parte de la superficie de estos dos cantones tienen una clases textural de franco arcillosos y arcillosos esto se corrobora en Plan de Desarrollo de Ordenamiento Territorial de cada cantón.

La materia orgánica es un componente importante para determinar el factor K, juega un papel importante para contrarrestar la erosión, mejora la retención del agua haciéndolos más resistentes a la sequía, mejora su capacidad de infiltración y evita que las partículas sean transportadas con el agua durante las lluvias intensas (Altieri & Nicholls, 2013). El cantón de Loja tiene valores menores al 10% y en el cantón Olmedo menores a 7% de contenido, en este contexto se puede decir que estos suelos son vulnerables a la erosión hídrica. Comparando con el estudio realizado por Palacios, (2016) en los cantones de Espindola y Quilanga los valores de K tienen cierta similitud debido a que las condiciones edafológicas son similares a los cantones en estudio.

El factor LS incorpora el efecto de la topografía de un terreno (longitud y pendiente) que afecta significativamente la pérdida de suelo por erosión hídrica (Pérez-Nieto et al., 2012). En el cantón Loja y Olmedo la mayor parte de sus superficies tiene terrenos inclinados. Producto de los sistemas montañosos y fuertes pendientes datos que se corrobora con el PDOT de cada cantón.

El factor C es el más importante en la erosión del suelo, para valorar este factor existen diferentes criterios, los valores están representados en el cuadro 6 para Loja y cuadro 7 para Olmedo, fueron extraídos de una tabla elaborada por diferentes autores (anexo 1), citado por Alvarez *et al* (2016) y Palacios (2016).

El factor C que predomina en el cantón Loja es 0,012 (figura 6) que corresponde a pastizal y cubre el 40% del territorio ya que la mayor actividad realizada en las zonas rurales es la ganadería. Seguido por el 0,001 que corresponde al bosque húmedo denso y abarca el 25% del área que forma parte del Parque Nacional Podocarpus (PNP). Por otro lado, el factor C que predomina en el cantón Olmedo es 0,1 que corresponde a la asociación pasto-matorral abarca el 30% del territorio, seguido de 0,001 y 0,012 representa el bosque húmedo denso y pastizal respectivamente. La cubierta vegetal es la mejor defensa natural de un terreno contra la erosión, un terreno recubierto por una vegetación permanente, no muestra señales de erosión, puede haber escorrentía si la pendiente es fuerte, pero las pérdidas de tierra son nulas (Santos, 2010).

El factor P, representa el efecto de las prácticas de conservación de suelo y agua, estas prácticas de control combaten la erosión, puesto que modifica los patrones de flujo y el grado o dirección de superficie de escurrimiento. El valor de P se encuentra entre 0 y 1 (Vargas, 2010; Pérez *et al*, 2012).

Para el factor P de los cantones Loja y Olmedo, existe un solo valor de 1 esto debido a que no se identificó alguna técnica que contrarreste la erosión hídrica, tampoco realizan prácticas de conservación de suelos en actividades agrícolas.

5.2.2. Erosión hídrica actual

En base a los resultados del cuadro 10 se logró identificar que en gran parte del territorio del cantón Loja la tasa de erosión hídrica ligera y moderada cubre el 89% del territorio y la tasa de erosión hídrica muy alta abarca el 1% de territorio. En esta parte del territorio es donde se debe tomar mayor atención para contrarrestar el proceso erosivo. En el cantón Olmedo la tasa de erosión ligera y moderada cubre 93,9% del territorio y la pérdida mayor a 200 t ha⁻¹año⁻¹ tiene 0,1% del territorio.

Los datos presentando en los párrafos anteriores tienen concordancia con los presentados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca MAGAP

(2016), el mismo indica que la región 7 el 43% y 40% del territorio tienen susceptibilidad a la erosión baja y moderada respectivamente y el 4% tiene una susceptibilidad alta a la erosión. En la misma línea PREDESUR (2000) 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 cuanto a las zonas susceptibles a la erosión, en la figura 12 y cuadro 9 se identifica la erosión a nivel parroquial siendo 8 parroquias las más afectadas por la erosión hídrica Chuquiribamba, Chantaco, El Cisne, Taquil, Malacatos, San Pedro de Vilcabamba, Quinara y Yangana. Para el cantón de Olmedo la parroquia de Olmedo. Debido a la actividad agrícola que se realiza en altas pendientes sin realizar prácticas de conservación, para abarcar más terreno para la agricultura y ganadería, además los incendios forestales que destruyen grandes hectáreas de bosques.

5.2.3. Erosión Potencial

En la figura 14 y cuadro 12 se denota la erosión potencial, por un lado con cobertura degradada, modificando los factores C y P debido a que estos factores pueden ser alterados por actividades antropogénicas y por otro lado sin cobertura tomando sólo en cuenta los Factores R, K y LS. Cabe mencionar que para el cantón Olmedo se realizó el mismo procedimiento.

Esta misma metodología fue utilizada por Mendoza (2013) para estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de la presa Madín, México. De la misma manera Palacios (2016) utilizó esta metodología para determinar zonas susceptibles a la erosión hídrica en Quilanga y Espindola, Ecuador. Entonces se puede decir que la metodología utilizada para determinar la erosión potencial es confiable.

Existe una gran diferencia en el resultado de la erosión potencial con cobertura degradada y sin cobertura. En el cantón de Loja y Olmedo se puede observar que la erosión potencial sin cobertura tiende a tener mayor porcentaje en la categoría de erosión muy alta, mientras que con cobertura degradada tiende a tener mayor porcentaje en la categoría de erosión ligera y moderada. Es por ello, que el parámetro de cobertura vegetal es importante para impedir el arrastre de sedimentos; es decir, que si el suelo permanece desnudo durante la época de lluvias la capacidad de desprendimiento y arrastre del material es más alta que si tuviese algún tipo de cobertura.

Estos resultados son similares con otros estudios como los que obtuvo Sánchez-Hernández et al., (2013) en México indican que la erosión potencial que va de medio a alto cubre el 83% del territorio de la cuenca Grijalva-Usumancita, mientras que solo el 17% equivale a un nivel bajo de erosión. De la misma forma Alvarez et al (2016) mencionan que más del 90% del área de estudio tiene niveles de erosión de alta y muy alta. Estos resultados similares a este estudio se deben a la gran importancia de la cubierta vegetal, en especial los bosques que disminuye el impacto de las gotas de lluvia y contrarrestan la erosión hídrica.

Comparando el proceso aplicado por Mendoza (2013), Sánchez *et al* (2014) y Alvarez *et al* (2016) se puede decir que el primer caso 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, con lo que se asume que el área de estudio se encontraría desprovista en su totalidad de cobertura vegetal, situación que muy difícilmente podría llegar a ser realidad.

5.3. Alternativas adecuadas de manejo y uso del suelo para zonas con altas tasas de erosión.

En el presente estudio se plantea como alternativa realizar un programa de reforestación sostenible con especies arbóreas que se adapten a condiciones climáticas y edafológicas; así mismo, realizar prácticas de conservación de los suelos para contrarrestar la erosión hídrica conjuntamente con los GADs parroquiales y el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE).

Las técnicas propuestas en esta investigación son de gran aceptación y ampliamente usadas para la mitigación de la erosión hídrica, específicamente en los sectores rurales. Prueba a ello es que al realizar la proyección de reducción de la erosión con la conservación de la cobertura y buenas prácticas de conservación en ambos cantones la tasa de erosión muy alta, baja considerablemente.

6. CONCLUSIONES

- ✓ La base de datos digital elaborada para los cantones de Loja y Olmedo, permitió determinar las zonas susceptibles a la erosión hídrica... y proponer alternativas que contrarresten este fenómeno.
- ✓ La mayor parte de la superficie de los cantones de Loja y Olmedo tienen una tasa de erosión entre ligera y moderada que cubren el 89% y 93% de sus territorios respectivamente, esto debido a que la mayor parte de la superficie está cubierta por vegetación como pastizal bosque y matorrales.
- ✓ En la erosión potencial, la cobertura vegetal juega un papel importante, ya que incide considerablemente en el primer escenario (sin cobertura) aumentando significativamente la tasa de erosión alta y muy alta.
- ✓ Al aplicar las practicas propuestas las tasas de erosión hídrica alta y muy alta se disminuirán para Loja en 0,7% (2198 ha) y 0,45% (836 ha) respectivamente. En Olmedo 0,5% (82 ha) alta y 0,09% (9 ha) muy alta.

7. RECOMENDACIONES

- ✓ Los gobiernos locales, provinciales y entidades gubernamentales deben implantar medidas de conservación de suelo que permitan reducir la degradación de este recurso natural no renovable.
- ✓ Aplicar las normativas legales existentes que permitan reducir los incendios forestales y las actividades de deforestación, ya que la cobertura vegetal es una barrera de protección contra erosión del suelo producto de las elevadas precipitaciones.
- ✓ Implementar sistemas agroforestales que es un grupo de prácticas y sistemas de producción, donde la siembra de los cultivos y árboles forestales se encuentran secuencialmente y en combinación con la aplicación de prácticas de conservación de suelo.
- ✓ Realizar estudios con otros modelos o métodos que permitan determinar la pérdida de suelo de los cantones en estudio con el fin de validar la presente investigación.

8. BIBLIOGRAFÍA

Aguirre, N., Ojeda, T., Eguiguren, P., & Aguirre, Z. (2015). Cambio climático y Biodiversidad: estudio de caso de los páramos del Parque nacional Podocarpus, Ecuador.

Ahmad, I., & Verma, M. K. (2013). Application of USLE Model & GIS in Estimation of Soil Erosion for Tandula Reservoir, 3(4), 570–576.

Alatorre, L. C., García, A. K., Rodríguez, A. J., Erives, V., & González, E. (n.d.). Cuenca de la laguna Bustillos , 249–258.

Alonso, G., Ruiz, M., Schiettecatte, W., Diaz, J., & Almoza, Y. (2007). Riesgo de Erosión Hídrica en la Cuenca Hidrográfica La Güira , Río Cuyaguajeje , Cuba, 11(1), 110–123.

Altieri, M. a., & Nicholls, C. I. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología*, 8(1), 7–20. Retrieved from <http://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:2056/servlet/articulo?codigo=4536643&info=resumen&idioma=ENG>

Alvarado, M., Colmenero, J. A., & Valderrábano, M. de la L. (2007). La erosión hídrica del suelo en un contexto ambiental, en el estado de Tlaxcala, México. *Ciencia Ergo Sum.*, 14(3), 317–326.

Arango, J. D., & Sánchez, O. J. M. (2010). Estimación del factor de erosividad de la lluvia en Colombia, 28.

Ascarrunz, M. C. M. (2014). Estimación de la erosión laminar y sedimentación con modelos hidrológicos para la selección de conservación de suelos y cambios de cobertura en la Unidad Hidrográfica de Aquin/Saint-Louis Du Sud-Haití.

Bagherzadeh, A. (2014). Estimation of soil losses by USLE model using GIS at Mashhad plain, Northeast of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(1), 211–220. <http://doi.org/10.1007/s12517-012-0730-3>

Blanco-Canqui, H., & Lal, R. (2010). Principles of Soil Conservation and Management. <http://doi.org/10.1007/978-1-4020-8709-7>

Buzai, G. D. (2011). Geografía y Sistemas de Información Geográfica Evolución Teórico-Methodológica Hacia Geography and Geographic Information Theoretical and Methodological Developments Into Emerging Fields. *Revista Geográfica de América Central, Edición Es*, 582–600.

Cabezas, F. (2010). Centro Estimación de pérdida de carbono en el suelo por erosión hídrica laminar bajo diferentes escenarios de producción hortícola y ganadera en la subcuenca del río Birris, Costa Rica. CATIE.

Chela, E., Monar, C., Valverde, F., & Cruz, E. (2008). Evaluation of soil loss from water erosion in three production systems of the Alumbre River watershed, Ecuador

Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en tres sistemas de producción en la microcuenca del río Alumbre-Ecuador 1, (3).

Ciseros, J., Cholaky, C., Cantero Gurtiérrez, A., González, J., Reynero, M., Diez, A., & Bergesio, L. (2012). Erosión Hídrica, Principios y técnicas de manejo. Retrieved from http://www.todoagro.com.ar/documentos/2013/Erosion_Hidrica.pdf

Colín García, G., Ibáñez Castillo, L. A., Reyes Sánchez, J., & Arteaga Ramírez, R. (2013). Diagnóstico De La Erosión Hídrica De La Cuenca Del Río Pichucalco. *Ingeniería Agrícola Y Biosistemas*, 5(1), 23–31. <http://doi.org/10.5154/r.inagbi.2013.04.002>

Coyne, Jan; Bell, William; Brown, Mary; Rupert, Chad; Nolan, J. (2012). Geographic Information Systems. Geographic Information Systems: Socioeconomic Applications: Second Edition, 1–208. <http://doi.org/10.4324/9780203432877>

Delgado, M. I. (2010). Modelización de la pérdida de suelo en sierras del sudoeste de la provincia de buenos aires. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 42(2), 1–14.

Dikau, R. 1992. Aspects of constructing a digital geomorphological base map. *Geological Journal*. (A122): 357-370.

FAO. (2008). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos.

Fu, B., Liu, Y., Lü, Y., He, C., Zeng, Y., & Wu, B. (2011). Assessing the soil erosion control service of ecosystems change in the Loess Plateau of China. *Ecological Complexity*, 8(4), 284–293. <http://doi.org/10.1016/j.ecocom.2011.07.003>

González, O. N., Serrano, J. I. B., Vilchez, F. F., Núñez, R. M. M., & García-sancho, A. G. (2016). Erosion risk and soil loss estimation in volcanic geomorphological landscapes of Mexico, 37(2), 45–55. <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.3942.5527>

Keesstra, S., Pereira, P., Novara, A., Brevik, E. C., Azorin-Molina, C., Parras-Alcántara, L., ... Cerdà, A. (2016). Effects of soil management techniques on soil water erosion in apricot orchards. *Science of the Total Environment*, 551–552, 357–366. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.182>

La, E. Y., Del, C., Oliva, A. D. E., Ref, V., & View, F. (2005). La erosión hídrica : Imporancia y clases . Parámetros climáticos condicionantes de la erosión.

Lázaro y Torres, M. L., & González González, M. J. (2005). La utilidad de los sistemas de información en el estudio de los feminicidios. *Didáctica Geográfica*, 105–122.

Loaiza, J. C. (2010). El Recurso Suelo. *Suelos Ecuatoriales*, 41(1), 6–18.

Lodha, V. H. P. P. P., Khalid, I., & Songara, J. C. (2015). Estimation of Soil Erosion for Vishwamitri River Watershed Using Universal Soil Loss Equation and GIS, 3(3), 444–449. <http://doi.org/10.11648/j.ajwse.20150102.11>

Loss, E., Soil, O. F., Erosion, B. Y., In, W., Siguas, T. H. E., & Basin, R. (2015). Estimated loss of soil by erosion water in the siguas river basin using, *76(2)*, 324–329.

Magnus, D., & Amara, K. (2016). Estimation of Soil Erodibility and Erosivity of Rainfall Patterns in Njala Land Resource Area of Southern Sierra Leone Estimation of Soil Erodibility and Erosivity of Rainfall Patterns in Njala Land, (March 2014).

Mendoza, I. C. (2013). Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madín , México Soil loss estimate by hydric erosion at Madin dam watershed , state of Mexico , Mexico. *Ingeniería Hidráulica Y Ambiental*, *XXXIV(2)*, 3–16.

Monay, E. N., Trujillo, E., Monay, O. I. N., & State, T. (2007). Influencia de la variabilidad espacial del suelo sobre parametros de la caña de azucar (*Saccharum officinarum*), 39–52.

Nearing, M. A. (2013). *Soil Erosion and Conservation. Environmental Modelling: Finding Simplicity in Complexity: Second Edition*. <http://doi.org/10.1002/9781118351475.ch22>

Oñate-Valdivieso, F., & Bosque Sendra, J. (2007). Extracción de modelos digitales de elevación a partir de imágenes ASTER para la determinación de características morfométricas de cuencas hidrográficas. *TELEDETECCIÓN - Hacia Un Mejor Entendimiento de La Dinámica Global Y Regional*, 457–464.

PDOT Loja. (2014). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Loja. Loja, Ecuador: GAD Loja.

PDOT Olmedo. (2012). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Olmedo. Olmedo, Ecuador: GAD.

PREDESUR. (2000). Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la Provincia de Loja. Loja, Ecuador: Programa Regional para el Desarrollo del Sur.

Palacios, L. E. (2016). “Determinación de Zonas Susceptibles a Erosión Hídrica en los Cantones de Quilanga y Espindola de la Provincia de Loja , Utilizando Sistemas de Información Geográfica.” Universidad Nacional de Loja.

Pérez-Nieto, S., Arellano-Monterrosas, J. L., Ibáñez-Castillo, L. A., & Hernández-Saucedo, F. R. (2012). Estimate of the Water Erosion Caused by Hurricane Stan in the Coastal Basins of Chiapas , Mexico. *Terra Latinoamericana*, *30(2)*, 103–110.

Rawat, J. S., Joshi, R. C., & Mesia, M. (2013). Estimation of erosivity index and soil loss under different land uses in the tropical foothills of Eastern Himalaya (India). *Tropical Ecology*, *54(1)*, 47–58.

Rivera-Toral, F., Pérez-Nieto, S., Ibáñez-Castillo, L. A., & Hernández-Saucedo, F. R. (2012). Aplicabilidad del modelo swat para la estimación de la erosión hídrica en las cuencas de México. *Agrociencia*, *46(2)*, 101–105.

Roa Lobo, J., & Kamp, U. (2008). Modelos de Elevación Digital (MED) a partir de sistemas satelitales. Una introducción y análisis comparativo en la cordillera de Mérida-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 49(1), 11–42.

Rodríguez Vagaría, A., & Gaspari, F. (2015). Estimación de la admisibilidad de pérdidas de suelo por erosión hídrica en la cuenca del arroyo Napaleofú, provincia de Buenos Aires-Argentina. *Revista Geográfica Venezolana*, 56(1), 105–119.

Sánchez-hernández, R., Mendoza-palacios, J. D. D., Cesar, J. C., Enrique, J., & Reyes, R. R. (2013). Mapa de erosión potencial en la cuenca hidrológica Grijalva_Usamacinta México mediante el uso de SIG, 29(2), 153–161.

Sánchez Garcia, J. (2012). Pérdida de suelo en cuencas. *Manual de Ingeniería de Ríos*.

Santos, A. (2010). Determinación de la erosión hídrica para diferentes rangos de pendientes en finca Santa Albina, municipio de Colomba costa Cuca, departamento de Quetzaltenango. Universidad Rafael Landívar.

Sheikh, a H., Palria, S., & Alam, A. (2011). Integration of GIS and Universal Soil Loss Equation (USLE) for soil loss estimation in a Humalayan Watershed. *Recent Res. in Sci Tech.*, 3(3), 51–57. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Tamayo, M. (2016). Área Agropecuaria Y De Recursos Carrera De Ingeniería En Manejo Y Conservación Del Medio Ambiente: Universidad Nacional de Loja.

Van Westen. 1994. GIS in landslide hazard zonation: a review, with examples from the Anes of Colombia. En: Taylor and Francis, Mountain Environments and GIS. 135-165. Basingstoke, UK.

Vega-Carreño, M. B., & Febles-González, J. M. (2005). La investigación de suelos erosionados: métodos e índices de diagnóstico Investigation in eroded soils: methods and diagnosis indexes, 21(2).

Verbist, D. (2015). Aplicación del modelo USLE en parcelas de erosión bajo prácticas de conservación de suelos y aguas en San Pedro de Melipilla , Chile Application USLE model on erosion plots under soil conservation practices and water in San Pedro de Melipilla , 36(1).

Villafaña, A. P. (2006). Estimación de la erosión hídrica mediante dos métodos de la ecuación universal de la pérdida de suelo (EUPS) en la cuenca del río Chapingo. Universidad autonoma de México. Retrieved from <http://intranet.uaeh.edu.mx/rectoria/plataforma/Direcciones> de la UAEH/procedimientos/Coordinaciones/Docencia/Diseño, Revisión y Evaluación Curricular/Dise_rev_curricular.doc

Zhao, G., Mu, X., Wen, Z., Wang, F., & Gao, P. (2013). Soil erosion, conservation, and eco-environment changes in the loess plateau of china. *Land Degradation and Development*, 24(5), 499–510. <http://doi.org/10.1002/ldr.2246>

Zhu, M. (2015). Soil erosion assessment using USLE in the GIS environment: a case study in the Danjiangkou Reservoir Region, China. *Environmental Earth Sciences*, 73(12), 7899–7908. <http://doi.org/10.1007/s12665-014-3947-5>

9. ANEXOS

Anexo 1. Valores del Factor C, determinados por varios autores.

Factor vegetación (factor C) de coberturas arbóreas, de matorral y pastos						
	Mora, 1987	FAO 1989	ICE 1999	Saborio 2002 Gómes 2002 CATIE 2003	Marchama lo 2004, 2007	Lianes 2009
BOSQUE						
Bosque primario	0.0001					
Bosque natural		0.003	0,001- 0,003			0.003
Selva virgen		0.001				
Bosque denso				0,003- 0,010		
Bosque claro, subestrato herbáceo denso				0,003- 0,010		
Bosque claro, subestrato herbáceo degradado				0,010- 0,100		
Bosque					0.003	
Bosque secundario		0.007				
Charral, pasto	0.018					
Charral					0.012	
Bosque degradado						0.037
MATORRAL/PASTOS						
Matorral denso				0,003- 0,030		
Matorral claro, subestrato herbáceo denso				0,003- 0,030		
Matorral claro, subestrato herbáceo degradado				0,030- 0,100		
Páramo				0,003- 0,040		
Pasto		0.009	0,001- 0,015		0.013	
Pasto (natural o mejorado)		0.008				
Vegetación natural baja (altura: 50cm)		0.012				
Pastizal natural completo				0,030- 0,010		
Pastizal natural pastoreado				0,040- 0,200		
Pastizal cultivado (manejado)				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, café con macadamia o pejibaye	0.3					
Cultivos perennes		0.079	0.086			
Café		0.09			0.08	
Banano		0.062				
Cacao		0.05				
Cultivos 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, caña brava	0.050					
Cultivos anuales		0.495	0.340			
Papa-zanahoria o papa-cebolla		0.615				
Maíz		0.519				
Tomate/chile dulce		0.502				
Caña		0.263			0.050	
Cultivos anuales de ciclo corto (1-6 meses)				0,300-0,800		
Cultivos anuales de ciclo largo (6 meses)				0,400-0,900		
Cultivos (cobertura baja)					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 2. Cuadro de registro de campo

P	Código	X	Y	Z	X	Y	Z	MO	Cobertura	% Cobertura	Estado de crecimiento	Observaciones
1	PN8-P163	696141	9593112	3309				17,74	Pastizal			
2	PM2-P155	692075	9592464	2935				17,57	Pasto natural			
3	PM2-P156	692696	9587225	2495				6,81	Pastizal			
4	PN1-P159	689455	9581495	2456				3,35	Pasto natural			
5	PM2-P153	679364	9584941	2759				8,28	Pasto natural			
6	PN8-P164	684131	9578284	2722				5,38	Pastizal			
7	PN6-P142	674232	9576161	2310				7,30	Pastizal			
8	PN6-P143	676497	9569134	2008				6,90	Pastizal			
9	PN1-P158	694400	9576837	2209				5,57	Pasto natural			
10	PN6-P140	695561	9570706	2423				3,54	Pastizal			
11	PN8-P165	684733	9571474	2440				3,12	Bosque de eucalipto			
12	PN8-P175	684351	9569238	2343				3,74	Pastizal			
13	PN8-P176	685571	9569627	2077				2,27	Pastizal			
14	PM2-P160	685925	9568397	2096				2,25	Pastizal			
15	PM2-P161	689189	9569146	2160				1,48	Matorral semidenso			
16	PN6-P141	689545	9567922	2307				6,04	Bosque de pino			
17	PN6-P144	691179	9569476	2277				3,73	Bosque de pino			
18	PN1-P170	694994	9567214	2285				6,40	Pastizal			
19	PN1-P172	694824	9565715	2219				3,57	Pastizal			
20	PN6-P153	691025	9565643	2300				2,31	Pastizal			

Anexo 3. Coberturas vegetales en los cantones en estudio

Pastizales



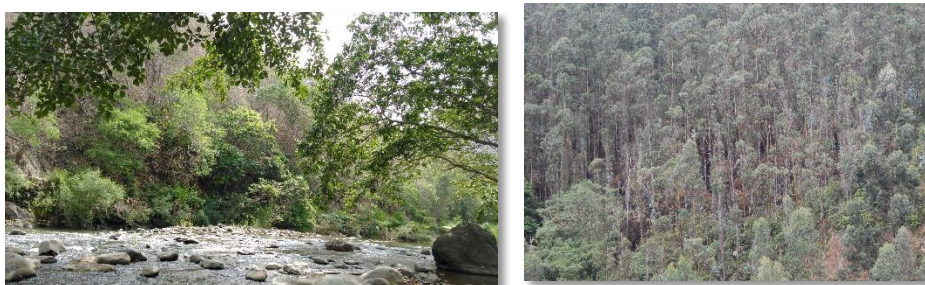
Cultivos



Matorrales



Bosques



Suelo desnudo



Anexo 4. Calicatas del IEE



Anexo 5. Análisis de laboratorio

