

# 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 SOZORANGA, PUYANGO Y PALTAS, MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Tesis de grado previo a la  
obtención del título en Ingeniería  
en Manejo y Conservación del  
Medio Ambiente.

Ruiz Bermeo Nixon Bladimir

AUTOR

Ing. Pablo Alvarez Figueroa Mg. Sc.

DIRECTOR

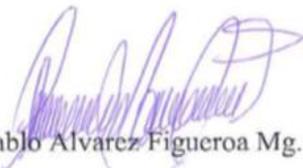
Loja - Ecuador  
2017



## CERTIFICACIÓN

En calidad de Director de la tesis titulada “**MODELACIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA EN LOS CANTONES DE SOZORANGA, PUYANGO Y PALTAS, MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**”, de autoría del señor egresado de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente **Nixon Bladimir Ruiz Bermeo**, 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 SOZORANGA, PUYANGO Y PALTAS, MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**”, de autoría del señor egresado de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente **Nixon Bladimir Ruiz Bermeo**, 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, 06 de Junio de 2017

Atentamente,

Ing. Vinicio Alvarado Jaramillo, Mg. Sc.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



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



Ing. Diana Ochoa Gordillo, Mg. Sc.  
**VOCAL DEL TRIBUNAL**



## AUTORÍA

Yo, Nixon Bladimir Ruiz Bermeo, declaro ser autor del presente trabajo de tesis 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.

**Autor:** Nixon B. Ruiz Bermeo

**Firma:** -----

**Cédula:** 1105626640

**Fecha:** Loja, 06 de Junio de 2017

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

Yo, Nixon Bladimir Ruiz Bermeo, declaro ser autor de la tesis titulada "MODELACIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA EN LOS CANTONES DE SOZORANGA, PUYANGO Y PALTAS, 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 06 días del mes de junio de dos mil diecisiete, firma el autor.

Firma: -----

**Autor:** Nixon Bladimir Ruiz Bermeo

**Número de Cédula:** 1105626640

**Dirección:** Loja; Punzara. **Correo electrónico:** [rdj912@gmail.com](mailto:rdj912@gmail.com)

**Celular:** 0982365538

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

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

**Tribunal de Grado:** Ing. Vinicio Alvarado Jaramillo, Mg. Sc.

Ing. Aurita Gonzaga Figueron, Mg. Sc.

Ing. Diana Ochoa Gordillo, Mg. Sc.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a todas las personas, e instituciones que contribuyeron durante el desarrollo y la culminación de la presente investigación.

En primer lugar agradecer al Ing. Pablo Alvarez Figueroa Mg. Sc. Director de la presente investigación, en quien siempre encontré un apoyo crítico, y tiempo para mis demandas, así como para conducirme y exigir los mejores resultados del trabajo.

Agradezco a la Universidad Nacional de Loja; el centro Integrado de Geomática Ambiental (CINFA) por el apoyo técnico brindado y especialmente al personal que en el laboran, al Ing. Aníbal Gonzáles, José Merino y Fabián Sotomayor, por permitir hacer uso de las instalaciones y compartir horas de trabajo y amistad.

Así mismo agradecer a quienes conforman el Programa de Investigación, Biodiversidad, Bosques y Servicios Ecosistémicos, por haberme apoyado durante el desarrollo de la tesis y por haberme facilitado el transporte para poder realizar el trabajo de campo, en los diferentes cantones de estudio.

Por último quiero agradecer todos quienes conforman la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente de la UNL, especialmente al personal docente y amigos del cuarto año del periodo 2016 - 2017, por haber contribuido en la presente tesis durante el proceso de pasantías.

## **DEDICATORIA**

La elaboración del siguiente trabajo de investigación está dedicada especialmente a Dios por haberme dado vida, salud y el apoyo espiritual a lo largo del trayecto de mi investigación.

A mis padres María Bermeo y Efre Ruiz, por haberme inculcado los mejores valores, para ser una persona de bien y ser uno de los pilares más importantes dentro de mi vida, gracias a ellos por su apoyo incondicional. A mis hermanas Tatiana, Julissa y Aldenny quienes con sus consejos día a día me ayudaron a ser una buena persona, me apoyaron incondicionalmente en todo momento para terminar una de mis principales metas propuestas. A mi hermano Rodrigo que sé que desde el cielo con sus oraciones me ayuda espiritualmente en todo momento.

A mis abuelitos Paternos y Maternos por ayudarme en todo momento y estar en sus oraciones, a mis tías Rosita y Bertita quienes me han apoyado en los momentos difíciles y poder continuar con mis estudios.

A mis amigos (as) Anabel, Valeria, Karina, Johanna, Christian, Gabriela, Álvaro y Carlos por sus ánimos constantes y especialmente a Wilson y Edwin por ser ese apoyo incondicional durante la elaboración del presente trabajo de investigación. Y de manera especial quiero dedicar esta investigación, a mi amigo Freddy que sé que desde el cielo con sus oraciones al creador, me ha dado esa fuerza para culminar con éxito mis investigación.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
AUTORÍA.....	ii
CARTA DE AUTORIZACIÓN .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
DEDICATORIA .....	vii
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1. EL SUELO: UN RECURSO NATURAL NO RENOVABLE.....	3
2.2. EROSIÓN DEL SUELO.....	3
2.3. PROCESOS Y MECANISMOS EROSIVOS.....	4
2.3.1. Erosión eólica .....	4
2.3.2. Erosión hídrica.....	4
2.3.2.1. La erosión por salpicadura .....	5
2.3.2.2. Erosión por escurrimiento o escorrentía .....	5
2.3.2.3. Remoción en masa .....	6
2.4. DAÑOS INDIRECTOS E INDIRECTOS OCASIONADOS POR EROSIÓN HÍDRICA .....	6
2.5. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y EROSIÓN.....	6
2.6. MODELOS DE ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA .....	7
2.6.1. Water Erosion Prediction Project “(WEPP)” .....	8
2.6.2. Kineros, Kinematic runoff and Erosion “(K2)” .....	8
2.6.3. Modelo Europeo de Erosión del Suelo “(EUROSEM)” .....	8
2.6.4. Ecuación universal de pérdida del suelo / ecuación universal de pérdida del suelo revisada (USLE/RUSLE).....	9
2.7. MODELO DE ESTUDIO.....	9
2.7.1. Ecuación universal de pérdida del suelo / ecuación universal de pérdida del suelo revisada (USLE/RUSLE).....	9
2.7.1.1. Factor R o índice de erosividad de la lluvia .....	10
2.7.1.2. Factor K o índice de erodabilidad .....	10

2.7.1.3.	Factor LS o Longitud y Gradiente de la Pendiente .....	11
2.7.1.4.	Factor C o de Cobertura Vegetal.....	11
2.7.1.5.	Factor P o de prácticas de conservación de suelos.....	11
<b>3.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>12</b>
3.1.	ÁREA DE ESTUDIO .....	12
3.1.1.	Ubicación y Política y Geográfica del cantón Sozoranga .....	12
3.1.2.	Ubicación Política y Geográfica del cantón Puyango .....	13
3.1.3.	Ubicación Política y Geográfica del cantón Paltas .....	13
3.2.	MATERIALES.....	14
3.2.1.	Fase de campo.....	14
3.2.2.	Fase de laboratorio (materiales).....	14
3.2.3.	Fase de Análisis .....	14
3.3.	METODOLOGÍA .....	15
3.3.1.	Base de datos digital con información biofísica requerida para la estimación de la erosión del suelo.....	15
3.3.1.1.	Determinación del factor R.....	15
3.3.1.2.	Determinación del factor K.....	15
3.3.1.3.	Determinación del factor C.....	16
3.3.1.4.	Determinación del factor LS.....	17
3.3.1.5.	Determinación del factor P.....	19
3.3.2.	Estimación la erosión actual y potencial en base a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE), para la identificación de las zonas más susceptibles. ....	19
3.3.2.1.	Erosión hídrica actual. ....	19
3.3.2.2.	Erosión Hídrica Potencial .....	19
3.3.3.	Propuesta con alternativas adecuadas de manejo y uso del suelo en las diferentes categorías de erosión.....	19
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>21</b>
4.1.	BASE DE DATOS DIGITAL CON INFORMACIÓN BIOFÍSICA REQUERIDA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN DEL SUELO.....	21
4.1.1.	Base de datos del factor R.....	21

4.1.1.1.	Mapa del factor R del cantón Sozoranga. ....	22
4.1.1.2.	Mapa del factor R del cantón Puyango. ....	23
4.1.1.3.	Mapa del factor R del cantón Paltas. ....	24
4.1.2.	Base de datos del factor K .....	25
4.1.2.1.	Mapa del factor K del cantón Sozoranga. ....	28
4.1.2.2.	Mapa del factor K del cantón Puyango. ....	32
4.1.2.3.	Mapa del factor K del cantón Paltas .....	37
4.1.3.	Base de datos del factor C. ....	38
4.1.3.1.	Mapa del factor C del cantón Sozoranga. ....	38
4.1.3.2.	Mapa del factor C del cantón Puyango. ....	41
4.1.3.3.	Mapa del factor C del cantón Paltas. ....	43
4.1.4.	Mapas de factor LS, factor P. ....	45
4.1.4.1.	Mapa del factor LS, de Sozoranga. ....	45
4.1.4.2.	Mapa del factor LS, de Puyango. ....	46
4.1.4.3.	Mapa del factor LS, de Paltas. ....	46
4.1.4.4.	Mapa del factor P, de Sozoranga. ....	47
4.1.4.5.	Mapa del factor P, de Puyango. ....	48
4.1.4.6.	Mapa del factor P, de Paltas. ....	49
4.1.5.	Erosión hídrica actual. ....	51
4.1.5.1.	Mapa de erosión actual del cantón Sozoranga. ....	51
4.1.5.2.	Mapa de erosión actual del cantón Puyango .....	53
4.1.5.3.	Mapa de erosión actual del cantón Paltas. ....	57
4.1.6.	Erosión hídrica potencial. ....	61
4.1.6.1.	Mapa de erosión potencial y escenarios futuros negativos. ....	61
4.1.6.2.	Mapa de erosión potencial del cantón Puyango. ....	63
4.1.6.3.	Mapa de erosión potencial del cantón Paltas. ....	65
4.2.	<b>ALTERNATIVAS ADECUADAS DE MANEJO Y USO DEL SUELO EN LAS DIFERENTES CATEGORÍAS DE EROSIÓN. ....</b>	<b>66</b>
4.2.1.	Mapa de erosión hídrica actual del cantón Sozoranga (prácticas de conservación). ....	68
4.2.2.	Mapa de erosión hídrica actual del cantón Puyango (prácticas de conservación). ....	69

4.2.3.	Mapa de erosión hídrica actual del cantón Paltas (prácticas de conservación). .....	71
4.2.4.	Prácticas de manejo de los ecosistemas que contribuyen a disminuir la pérdida del suelo..	72
4.2.4.1.	Cultivos en Contorno .....	72
4.2.4.2.	Sistemas agroforestales Quesungual .....	74
4.2.4.3.	Rotación de cultivos.....	75
4.2.4.4.	Selección de especies forrajeras, arbusto o árboles.....	75
4.2.4.5.	Sistemas agroforestales (SAF) .....	75
<b>5.</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>77</b>
5.1.	BASE DE DATOS DIGITAL CON INFORMACIÓN BIOFÍSICA REQUERIDA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN DEL SUELO.....	77
5.2.	ESTIMAR LAS TASAS DE EROSIÓN HÍDRICA ACTUAL, POTENCIAL.....	77
5.3.	ALTERNATIVAS ADECUADAS DE MANEJO Y USO DEL SUELO EN LAS DIFERENTES CATEGORÍAS DE EROSIÓN.....	83
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>85</b>
<b>7.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>86</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>87</b>
<b>9.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>96</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Pág.

<b>Cuadro 1.</b> Índice modificado de Fournier y valores del factor de R de las estaciones ubicadas dentro y adyacente a la provincia de Loja. ....	21
<b>Cuadro 2.</b> Valores de la variable K del cantón Sozoranga. ....	26
<b>Cuadro 3.</b> Valores de la variable K del cantón Puyango. ....	30
<b>Cuadro 4.</b> Valores de la variable K del cantón Paltas. ....	34
<b>Cuadro 5.</b> Valores del factor C con el área de cada una de las unidades diferenciadas de cobertura vegetal. ....	40
<b>Cuadro 6.</b> Valores del factor C con el área de cada una de las unidades diferenciadas de cobertura vegetal. ....	42
<b>Cuadro 7.</b> Valores del factor C con el área de cada una de las unidades diferenciadas de cobertura vegetal. ....	44
<b>Cuadro 8.</b> Pérdida de suelo, grado de erosión y área que ocupa dentro del cantón Sozoranga. ....	51
<b>Cuadro 9.</b> Pérdidas de suelo, área y porcentaje a nivel parroquial del cantón Sozoranga. ....	52
<b>Cuadro 10.</b> Pérdida de suelo, grado de erosión y área que ocupa dentro del cantón Puyango. ....	54
<b>Cuadro 11.</b> Pérdidas de suelo, área y porcentaje a nivel parroquial del cantón Puyango. ....	55
<b>Cuadro 12.</b> Perdida de suelo, grado de erosión y área que ocupa dentro del cantón Paltas. ....	57
<b>Cuadro 13.</b> Pérdidas de suelo, área y porcentaje a nivel parroquial del cantón Paltas. ....	58
<b>Cuadro 14.</b> Pérdida de suelo por erosión hídrica en el cantón Sozoranga. ....	62
<b>Cuadro 15.</b> Pérdida de suelo por erosión hídrica en el cantón Puyango. ....	64
<b>Cuadro 16.</b> Pérdida de suelo por erosión hídrica en el cantón Paltas. ....	66

<b>Cuadro 17.</b> Factor P de prácticas de conservación adaptado de Mancilla, (2008) ...	67
<b>Cuadro 18.</b> Detalle de las pérdidas de suelo al aplicar prácticas de conservación en el cantón Sozoranga.....	69
<b>Cuadro 19.</b> Detalle de las pérdidas de suelo al aplicar prácticas de conservación en el cantón Puyango.....	70
<b>Cuadro 20.</b> Detalle de las pérdidas de suelo al aplicar prácticas de conservación en el cantón Paltas. ....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

<b>Figura 1.</b> Tipos de modelos en la evaluación de erosión hídrica.....	7
<b>Figura 2.</b> Mapa base de los cantones de Sozoranga, Puyango y Paltas. ....	12
<b>Figura 3.</b> Mapa de erosividad (factor R) del cantón Sozoranga .....	23
<b>Figura 4.</b> Mapa de erosividad (factor R) del cantón Puyango .....	24
<b>Figura 5.</b> Mapa de erosividad (factor R) del cantón Paltas.....	25
<b>Figura 6.</b> Mapa de materia orgánica (A); Mapa de Arena muy fina (B); mapa de permeabilidad (C) y Mapa de erodabilidad del suelo (factor K) del cantón Sozoranga (D).....	29
<b>Figura 7.</b> Mapa de materia orgánica (A); Mapa de Arena muy fina (B); mapa de permeabilidad (C) y Mapa de erodabilidad del suelo (factor K) del cantón Puyango (D).....	33
<b>Figura 8.</b> Mapa de materia orgánica (A); Mapa de Arena muy fina (B); mapa de permeabilidad (C) y Mapa de erodabilidad del suelo (factor K) del cantón Paltas (D).....	38
<b>Figura 9.</b> Mapa de uso actual del suelo (factor C) del cantón Sozoranga .....	40
<b>Figura 10.</b> Mapa de uso actual del suelo (factor C) del cantón Sozoranga .....	42
<b>Figura 11.</b> Mapa de uso actual del suelo (factor C) del cantón Paltas.....	44
<b>Figura 12.</b> Mapa de la topografía del terreno (factor LS) del cantón Sozoranga .....	45
<b>Figura 13.</b> Mapa de la topografía del terreno (factor LS) del cantón Puyango .....	46
<b>Figura 14.</b> Mapa de la topografía del terreno (factor LS) del cantón Paltas.....	47
<b>Figura 15.</b> Mapa de prácticas agrícolas (factor P) del cantón Sozoranga.....	48
<b>Figura 16.</b> Mapa de prácticas agrícolas (factor P) del cantón Puyango.....	49
<b>Figura 17.</b> Mapa de prácticas agrícolas (factor P) del cantón Paltas .....	50
<b>Figura 18.</b> Erosión actual del cantón Sozoranga .....	51
<b>Figura 19.</b> Erosión actual del cantón Puyango .....	54

<b>Figura 20.</b> Erosión actual del cantón Paltas .....	57
<b>Figura 21.</b> Erosión potencial del cantón Sozoranga sin cobertura vegetal (A), con cobertura vegetal degradada (B) y mapa de erosión actual (C).....	61
<b>Figura 22.</b> Erosión potencial del cantón Puyango sin cobertura vegetal (A), con cobertura vegetal degradada (B) y mapa de erosión actual (C).....	63
<b>Figura 23.</b> Erosión potencial del cantón Paltas sin cobertura vegetal (A), con cobertura vegetal degradada (B) y mapa de erosión actual (C).....	65
<b>Figura 24.</b> Erosión hídrica aplicando prácticas de manejo del suelo (cantón Sozoranga) .....	69
<b>Figura 25.</b> Erosión hídrica aplicando prácticas de manejo del suelo (cantón Puyango).....	70
<b>Figura 26.</b> Erosión hídrica aplicando prácticas de manejo del suelo (cantón Paltas). .....	71
<b>Figura 27.</b> Cultivos en contorno .....	73
<b>Figura 28.</b> Barreas de Piedra.....	74

## ÍNDICE DE ANEXOS

Pág.

<b>Anexo 1.</b> Toma de muestras de suelo de los cantones de estudio. ....	96
<b>Anexo 2.</b> Toma de datos del punto de muestro y validación del tipo de cobertura...	96
<b>Anexo 3.</b> Calicatas realizadas por IEE en los cantones Sozoranga, Puyango y Paltas .....	97
<b>Anexo 4.</b> Suelos desnudos con pendientes elevadas. ....	97
<b>Anexo 5.</b> Cultivos asociados subtropicales en los cantones de estudio.....	98
<b>Anexo 6.</b> Matorral seco denso en los cantones de estudio. ....	98
<b>Anexo 7.</b> Cambio de uso actual del suelo (de bosque húmedo semidenso a pastizales). ....	98

## ACRÓNIMOS

<b>CINFA</b>	Centro Integrado de Geomática Ambiental
<b>MED</b>	Modelo de Elevación Digital
<b>FHIA</b>	Fundación Hondureña de Investigación Agrícola
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura
<b>INETER</b>	Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales
<b>INAMHI</b>	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador.
<b>IEE</b>	Instituto Ecuatoriano Espacial
<b>IGM</b>	Instituto Geográfico Militar
<b>IMF</b>	Índice modificado de Fournier.
<b>POT</b>	Plan de Ordenamiento Territorial
<b>RUSLE</b>	Ecuación Universal de Pérdida del Suelo Revisada.
<b>SRTM</b>	Shuttle Terrain Radar Mapping
<b>SENPLADES</b>	Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo
<b>SIG</b>	Sistemas de Información Geográfica
<b>USLE</b>	Ecuación Universal de Pérdida del Suelo.
<b>UNESCO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura.

**“MODELACIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA EN LOS CANTONES DE  
SOZORANGA, PUYANGO Y PALTAS, MEDIANTE SISTEMAS DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA”**

## RESUMEN

La erosión hídrica, es uno de los principales problemas que causa la degradación del suelo. Se aplicó el modelo RUSLE, en los cantones de Sozoranga, Puyango y Paltas, con el fin de identificar las áreas más susceptibles a erosión hídrica. Su aplicación se realizó empleando Sistemas de Información Geográfica (SIG) que son una herramienta útil en las estimaciones. En el cálculo RUSLE, se generó información, con salidas de campo a los sitios de estudio y también el uso de información secundaria. Se utilizó información de estaciones meteorológicas, se determinó la erodabilidad de los suelos; determinando la estructura, permeabilidad, textura, arena muy fina y materia orgánica, la cobertura vegetal, la topografía, y las prácticas de manejo. Y con los resultados obtenidos se propuso alternativas de control de la erosión en los lugares más afectados. Los resultados revelaron que la erosión hídrica actual en el cantón Sozoranga entre alta y muy alta va de 9,60 a 7,90 %, en el cantón Puyango entre alta y muy alta están en 16,50 a 10,50 % y finalmente en el cantón Paltas 19,30 a 5,30 %. Al ser estos cantones productivos en diferentes actividades agrícolas, tienden a realizar malas prácticas de conservación de suelos, lo que al darse fuertes precipitaciones, y la falta de cobertura vegetal genera mayor pérdida de suelo. Se planteó prácticas de conservación como reforestación, sistemas agroforestales, cultivos en contorno, que al ser modelados presento una reducción de la erosión hídrica del suelo, para el cantón Sozoranga de 5,40 a 6,40 % entre alta y muy alta, en el cantón Puyango entre alta y muy alta va de 2,80 a 6,80 % y finalmente en el cantón Paltas con 8,14 a 4,60 %.

## **ABSTRACT**

Water erosion is one of the main problems caused by soil degradation. The RUSLE model was applied in the cantons of Sozoranga, Puyango and Paltas, in order to identify the areas most susceptible to water erosion. Its application was made using Geographic Information Systems (GIS) that are a useful tool in the estimations. In the RUSLE calculation, information was generated, with field outputs to the study sites and also the use of secondary information. Meteorological station information was used, soil erodibility was determined; Determining the structure, permeability, texture, very fine sand and organic matter, vegetation cover, topography, and management practices. With the results obtained, erosion control alternatives were proposed in the most affected areas. The results revealed that the current water erosion in the Sozoranga canton between high and very high goes from 9.60 to 7.90%, in the Puyango canton between high and very high are 16.50 to 10.50% and finally in The Canton Paltas 19.30 to 5.30%. As these cantons are productive in different agricultural activities, they tend to perform poor soil conservation practices, which in the event of heavy precipitation, and the lack of vegetation cover generates greater loss of soil. Conservation practices such as reforestation, agroforestry systems, contour crops, which were modeled, presented a reduction of soil water erosion, for the Sozoranga canton of 5.40 to 6.40% between high and very high, in the Puyango canton between high and very high goes from 2.80 to 6.80% and finally in the Paltas canton with 8.14 to 4.60%.

## 1. INTRODUCCIÓN

El término suelo, que deriva del latín solum, y significa piso, es un componente esencial del ambiente en el que se desarrolla la vida; es vulnerable, de difícil y larga recuperación (Campaña, 2015; Silva & Correa, 2010). Su importancia radica en que es un elemento natural dinámico y vivo, es indispensable para la vida en el planeta y la base fundamental para la explotación agropecuaria y forestal. Sirve de sustento de alimento para las plantas, almacenar nutrientes; poseer y albergar materia orgánica (García, Ramírez, & Sánchez, 2012; Silla, 2015).

La erosión del suelo es un fenómeno natural, que ocurre como parte de los procesos geológicos y antrópicos (Krasilnikov, Makarov, Alyabina, & Nachtergaele, 2016). Las actividades antropogénicas han acelerado, convirtiéndolo en el principal problema agrícola y medioambiental a nivel mundial (López, Arrúe, & Moret, 2005). Los daños que provoca la erosión no solo se presentan en lugar de origen, si no que se extiende a lo largo de los diversos ecosistemas en las zonas bajas y en los cuerpos de agua superficiales (Hill, Clérici, Mancassola, & Sánchez, 2015).

La degradación de los suelos debido a fenómenos hidrológicos ocasiona la erosión hídrica, dada por la dispersión y transporte del suelo a causa del impacto de las gotas de lluvia conjuntamente con escurrimiento superficial del agua (Huerta & Loli, 2014). Las tierras afectadas por erosión hídrica alcanzan las 1094 millones de hectáreas, de las cuales cerca de un 75 % están severamente dañadas (Campaña, 2015; Santacruz, 2011), de las cuales 123 millones de hectáreas de 243 millones en América del Sur se encuentran afectadas (Santacruz, 2011).

En Ecuador la erosión hídrica se da debido a múltiples factores adversos como el minifundio, el nivel de pendiente, cambio de sistemas de producción de cultivos asociados y policultivos por monocultivos, reducción de la diversidad de especies cultivadas, deficientes prácticas de conservación de suelos, falta de políticas e incentivos para la conservación del ambiente (Campaña, 2015).

Para determinar la susceptibilidad de erosión hídrica, se han generado diversos métodos entre los cuales la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo

Revisada (RUSLE), formulada por Wischmeier & Smith, (1978) y revisada por Nearing, Foster, Lane, & Finkner, (1989), a la que se le han introducido ciertas modificaciones en lo referente a la determinación del factor de erosividad de la lluvia R y al factor topográfico LS, es el modelo más difundido en evaluaciones de pérdida de suelo por erosión hídrica y pese a que se considera un modelo que sobrestima fuertemente sus evaluaciones es uno de los modelos más aplicados (González, Serrano, Vilchez, Núñez, & García, 2016; Oñate, 2004). Su aplicación se ha realizado empleando Sistemas de Información Geográfica (SIG) que han demostrado ser una herramienta útil en las estimaciones, ya que permite almacenar, procesar, manipular y visualizar bases de datos espaciales, representando así, una buena alternativa de apoyo en la planificación y gestión de los recursos naturales, que ayuda a los usuarios a mejorar los procesos de toma de decisiones (González et al., 2016).

La presente investigación, incluye resultados de la aplicación del Modelo RUSLE en los cantones de estudio, Sozoranga, Puyango y Paltas de la provincia de Loja, con el principal objetivo de estimar las pérdidas del suelo por causa de la erosión hídrica, y además, el planteamiento de alternativas que pueden ser aplicadas en los sitios con mayor índice de erosión y poder contrarrestar este problema ambiental.

Los objetivos específicos que se plantearon en la presente investigación fueron:

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

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. El suelo: un recurso natural no renovable**

El suelo es una interface en el que interactúan diferentes partes de aquel: la litosfera, la atmósfera, la hidrosfera y la biosfera. Debido a esto, el suelo es dinámico y sensible a prácticamente todos los aspectos de su entorno (Tarbuck & Lutgens, 2005). En él se derivan procesos que involucran componentes físicos, químicos e incluso vivos para aportar en el desarrollo de las plantas y fundamental para el desarrollo de cualquier cultivo agrícola; es considerado como un recurso no renovable debido a lo frágil y difícil que cuesta recuperarlo para que siga aportando al desarrollo de los recursos naturales existentes en nuestro medio (Veliz, 2015).

Uno de los ámbitos de la geomorfología que, sin duda, más atención ha despertado en las últimas cuatro décadas ha sido el estudio de la erosión del suelo (García & Lana, 2011). Debido a que el suelo es un recurso natural básico para el soporte de los ecosistemas terrestres, lo que implica que su pérdida y degradación no son reversibles en el curso de una vida humana. Sin embargo, pese a que es un recurso natural muy valioso, a menudo no se le presta la debida atención. Por ello la importancia de conservar un suelo de calidad (Food and Agriculture Organization, 2015; Saturnino, Alcazar, Cermeño, & Barbero, 2011).

### **2.2. Erosión del suelo**

La erosión es considerada como uno de los problemas medioambientales y socioeconómicos más importantes a nivel global del siglo XXI. Se estima que una sexta parte del suelo mundial se encuentra afectado por erosión hídrica (Walling & Fang, 2003). Los cambios significativos de la cubierta terrestre afectan de forma crucial a la calidad y salud de los suelos, sobre todo los cambios de uso que promueven la degradación de éstos (Beheshti, Raiesi, & Golchin, 2012; Zucca, Canu, & Previtali, 2010).

Cuando los procesos de degradación del suelo se dan sin intervención humana, se producen a una velocidad que está en equilibrio con la velocidad de restauración natural. Sin embargo, la degradación que se da de manera acelerada de la tierra se produce, comúnmente, como resultado de la intervención humana en el

ambiente (López et al., 2005; Stocking y Murnaghan 2003). Se da por procesos naturales, ya que forma parte del reciclaje constante de los materiales, es producido en particular por el agua y el viento, que mueven los componentes del suelo de un lugar a otro (Moreira, 2005).

Por ello, la degradación del suelo está considerada como el mayor problema ambiental que amenaza la producción mundial de alimentos y uno de los principales peligros para el desarrollo sostenible de los terrenos agrícolas (Cotler, López, & Martínez-Trinidad, 2011)

### **2.3. Procesos y mecanismos erosivos**

La erosión del suelo es un proceso con dos fases consistentes en el desprendimiento de partículas individuales de la masa del suelo y su transporte por los agentes erosivos, como las corrientes de agua y el viento (Morgan, 2005).

#### **2.3.1. Erosión eólica**

La erosión eólica puede alterar la fertilidad física y química de los suelos, afectando el rendimiento de los cultivos o puede provocar impactos ambientales negativos. Uno de estos impactos es la liberación de partículas con diámetros menores a 10  $\mu\text{m}$  (PM10) a la atmósfera (Buschiazzo et al., 2009). Algunos investigadores consideran la abrasión producida por el impacto de las partículas removidas por el viento, como parte del proceso de erosión eólica. La acumulación del material removido puede ocurrir a distancias variables de la fuente de origen, dependiendo principalmente de la erosividad del viento y del tamaño de las partículas removidas (Rostagno, del Valle, & Buschiazzo, 2004). La erosión eólica, en comparación con la erosión hídrica, es uno de los principales problemas de la degradación del suelo en zonas áridas y semiáridas (Eltaif & Gharaibeh, 2011).

#### **2.3.2. Erosión hídrica**

La erosión hídrica es el proceso de pérdida de espesores de suelo que altera su funcionalidad, generando limitantes que alteran severamente la productividad (Montico & Leo, 2015). Es causada principalmente por el agua, por la acción de los impactos de las gotas de lluvia y la escorrentía, que se genera sobre el suelo al ser saturada por el agua acumulada, pero también se genera la erosión por la irrigación

de cultivos de ciclo corto plantados en pendientes y con poca vegetación, causando la disminución del espesor del suelo superficial (horizonte A), debido a la remoción uniforme de los materiales del suelo (Veliz, 2015; Zavala, Palma, Fernández, López, & Shirma, 2011).

La erosión del suelo es un problema severo ya que más del 80.5% (106440000 km<sup>2</sup>) de la superficie del planeta presenta este fenómeno, originado tanto por causas naturales como antropogénicos. A largo plazo resulta ser un problema ambiental serio en muchas partes del mundo (Alvarado, Colmenares, & Valderrabano, 2007).

Según Pedraza (2015). Se definen tres clases o formas de erosión hídrica, atendiendo la forma de cómo actúa el agua en el suelo estas tres clases de erosión son:

- Erosión por salpicadura
- Erosión por escurrimiento o escorrentía
- Remoción en masa

#### **2.3.2.1.La erosión por salpicadura**

Se da por el golpe de las gotas de lluvia al caer sobre el suelo desnudo (salpicadura). La fuerza y tamaño de las gotas de lluvia caída ocasiona el desprendimiento de las partículas de los agregados del suelo y su dispersión (Pedraza, 2015).

#### **2.3.2.2.Erosión por escurrimiento o escorrentía**

Según Pedraza (2015) dependiendo de la pendiente, la cantidad de agua y la clase de suelo, se presentan diferentes formas de esta clase de erosión, definida así:

- a) Escurrimiento difuso
- b) Erosión laminar
- c) Erosión en surcos
- d) Erosión en cárcavas
- e) Erosión regresiva o remontante
- f) Terracetas

### **2.3.2.3. Remoción en masa**

Es un movimiento de una masa del suelo, ocasionada por la infiltración del agua y la acción de la gravedad. Se da de movimiento o flujo lento como la solifluxión o de flujo rápido como los derrumbes (Pedraza, 2015).

### **2.4. Daños directos e indirectos ocasionados por erosión hídrica**

Los daños causados por la erosión pueden ser directos cuando afectan los cultivos o dañan la chacra, disminuyen la capacidad de producción y desvalorizan la propiedad. La suma o conjunto de problemas de erosión de varias chacras ocasiona daños indirectos que se manifiestan en desequilibrios hidrológicos y ecológicos, en problemas de sedimentación y daños en las vías, en los acueductos y en las viviendas (Ocampo, Medina, & Lovaton, 1996). Además todos los daños directos e indirectos, significan grandes pérdidas económicas para el agricultor, la comunidad y el país, y en ocasiones la pérdida irreparable de vidas humanas y la esterilidad de vastas zonas (Moreno, Gutiérrez, Hernández, Prieto, & Castellón, 2003).

### **2.5. Sistemas de información geográfica y erosión.**

Es la integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión (Ramon & Reyes, 2005). En los sistemas de información geográfica se utilizan los modelos de elevación digital (MED), que trata de una representación digital de la altitud como variable continua sobre una superficie bidimensional a través de una red regular de valores Z referenciados a un datum común. Los más comunes son los de estructura tipo raster, que consisten en una malla o matriz de celdas cuadradas con la información de elevación en cada celda o pixel (Pusineri, Pedraza, & Lozeco, 2010; Roa & Kamp, 2008). Por medio de los SIG es fácil realizar análisis de riesgo erosivo, así como también la elaboración de bases de datos que son necesaria para llevar a cabo una buena planificación territorial (Martínez et al., 2006).

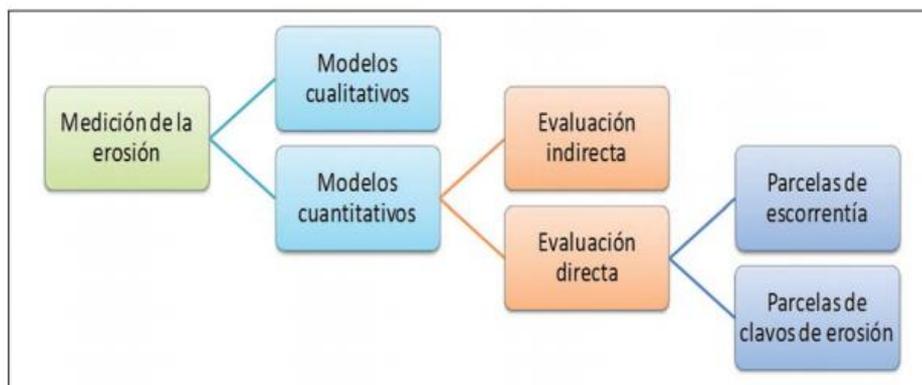
## 2.6. MODELOS DE ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA

Según De Regoyos, (2003), los modelos son una simplificación de la realidad y por lo tanto la complejidad o sencillez de éste es función de los objetivos buscados.

Los datos sobre la erosión del suelo y los factores que la controlan, pueden tomarse en campo o para condiciones de simulación, en laboratorio. Para conseguir datos reales de pérdidas de suelo, las medidas de campo son las más fiables (Santos, 2014). En la actualidad se vienen empleando diversos modelos de erosión empíricos ampliamente ensayados que nos permiten predecir y calcular un aproximado en la degradación de los tipos de suelos, tanto en erosión hídrica (lluvia), como eólica (viento). Tenemos algunos modelos que se vienen utilizando en ensayos tomando muy en cuenta su ubicación geográfica y sus tipos de modelos como los siguientes: U.S.L.E, ANSWERS, EPIC, RUSLE, EROSIÓN n3D, USPED, SEAGIS y algunos más (Veliz, 2015).

Existen modelos cualitativos y cuantitativos; los modelos cualitativos suelen estar orientados a la expresión cartográfica, estableciéndose en ellos niveles de jerarquización para los distintos parámetros en estudio, usualmente el suelo, la vegetación y la topografía (Veliz, 2015). Los modelos cuantitativos permiten la estimación numérica de la erosión y pueden tener una evaluación indirecta o directa (L. Vega, 2008; Veliz, 2015).

A continuación se mencionan algunos modelos:



**Figura 1.** Tipos de modelos en la evaluación de erosión hídrica (L. Vega, 2008).

### **2.6.1. Water Erosion Prediction Project “(WEPP)”.**

El modelo Water Erosion Prediction Project (WEPP) representa una tecnología de simulación de escurrimiento y erosión basada en los procesos físicos que ocurren en el suelo (Jorge, 2012; Jorge, et.al. 2011) Su modo de funcionamiento permite estimar diariamente el total de suelo desagregado por la lluvia y por el escurrimiento y lo compara con la capacidad de transporte total de la lluvia y de la escorrentía, si la segunda supera el primero, habrá erosión, de lo contrario ocurrirá deposición. Los principales datos de entrada incluyen el clima, las precipitaciones, la topografía, el suelo y el manejo agronómico (Jorge, Pérez, Terra, & Sawchik, 2015)

### **2.6.2. Kinos, Kinematic runoff and Erosion “(K2)”.**

K2 es un modelo distribuido, que es aplicable desde la parcela a las escalas de cuencas hidrográficas y ha sido exitosamente calibrado y validado en cuencas experimentales con insumos de alta resolución y observaciones de hasta 150 km<sup>2</sup> de tamaño. K2 es un modelo basado en eventos que calcula el escurrimiento, la erosión y el transporte de sedimentos en los elementos. Las entradas de precipitación son típicamente en forma de observaciones de pluviometría en cualquier momento y pares de lluvia acumulados o pares de intensidad de tiempo, o estimaciones de intensidad de lluvia radar proporcionadas en escalas de tiempo de decenas de minutos o menos. Los pasos internos del tiempo computacional se ajustan automáticamente para satisfacer la condición de Courant y los pasos del tiempo de salida son definidos por el usuario (Goodrich et al., 2012).

### **2.6.3. Modelo Europeo de Erosión del Suelo “(EUROSEM)”**

Es un modelo distribuido dinámico, capaz de simular la erosión, el transporte de sedimentos y la deposición sobre la superficie terrestre por procesos de enrojecimiento e interrill en tormentas únicas tanto para campos individuales como pequeños (Morgan, 2005). En comparación con otros modelos de erosión del suelo, EUROSEM tiene una simulación explícita del flujo interrillero y de ribera, los efectos de la cubierta vegetal sobre la intercepción de la precipitación y los efectos del fragmento de roca en la filtración (Smets, Borselli, Poesen, & Torri, 2011).

#### **2.6.4. Ecuación universal de pérdida del suelo / ecuación universal de pérdida del suelo revisada (USLE/RUSLE)**

La USLE/RUSLE, se diseñó como una herramienta de trabajo para los conservacionistas y es un modelo empírico o indirecto. Se busca con esta ecuación el cálculo de la pérdida de suelo se estandarizara a la vez que resultara más sencillo. Sin embargo existen limitaciones en su uso ya que la ecuación se desarrolló con datos de parcelas experimentales en condiciones de longitud y pendiente controladas, además que considera lluvias, cobertura vegetal y tipo de suelo uniformes. También es de señalar que la USLE está basada en la capacidad de las gotas de lluvia para desprender partículas de suelo y no brinda información certera acerca de la producción de sedimentos ni su deposición dentro de la cuenca (Mendoza, 2013).

#### **2.7. Modelo de estudio.**

##### **2.7.1. Ecuación universal de pérdida del suelo / ecuación universal de pérdida del suelo revisada (USLE/RUSLE)**

Para la predicción de pérdidas de suelo a través de USLE/RUSLE, es necesario valorar cada uno de sus factores. Esto se da mediante la observación de diversos parámetros, los que se pueden cuantificar directamente. A continuación se entregan las maneras más óptimas para la estimación de cada uno de los factores de la ecuación USLE/RUSLE (Salazar, 2012).

$$E = R.K.L.S.C.P \quad \text{Ec. "1"}$$

- E es la pérdida anual de suelo
- R: índice de erosividad pluvial basado en la medida anual de la resultante de multiplicar la energía cinética de la lluvia por la intensidad máxima durante 30 minutos.
- K: es el índice de erosionabilidad del suelo definido como la pérdida media anual de suelo por unidad de R.
- LS: Los factores de longitud de pendiente (L) y grado de la pendiente (S) se combinan en un solo índice (factor topográfico) que expresa la relación entre la pérdida de suelo en una ladera de pendiente y longitud dada.

- C: es el factor de manejo del cultivo y representa la relación entre la pérdida de suelo con un cultivo dado y la que se produce con ese mismo suelo desnudo.
- P: los valores para el factor de prácticas de control de la erosión se obtiene de las tablas que relacionan las pérdidas de suelo en parcelas donde se aplican las prácticas con las producidas sin ellas. Sin prácticas de control de la erosión, el valor de P = 1,0.

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

El factor R representa la capacidad potencial de las lluvias para generar erosión; en función de las características físicas de las mismas (intensidad, duración, velocidad y tamaño de las gotas) y además la altitud incide significativamente en los valores obtenidos (Morales, 2014; E. Pérez, 2006; L. Ramírez, 2010) del mismo modo nos dice que, existe una relación directa entre la erosividad y la precipitación anual, dada la definición misma de dicho índices.

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

### **2.7.1.2.Factor K o índice de erodabilidad**

Este factor K se refiere a la erodabilidad del suelo, es decir, define cuanto suelo se desprende según la cantidad de energía que le aplica una lluvia o una corriente de agua que ésta (Estrada, 2013).

La ecuación desarrollada por Wischmeier y Smith en 1978, este método de cálculo permite emplear los datos obtenidos de laboratorio en el análisis de suelos (Ramírez et al., 2007).

Según Ochoa et al., (2016) La erodabilidad del suelo (factor K) se calcula de acuerdo con la fórmula de Renard, Foster, Weesies, McCool, & Yoder, (1997) y se convirtieron en unidades SI de  $t\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$ .

### **2.7.1.3.Factor LS o Longitud y Gradiente de la Pendiente**

El factor LS se conoce con el nombre de factor topográfico. Expresa el efecto del relieve sobre la pérdida de suelos, representando el efecto del largo y grado de la pendiente (Ramírez, 2010).

L es el factor de longitud de la pendiente y representa su efecto en la erosión (adimensional). La longitud de la pendiente es la distancia desde el origen de la escorrentía superficial a lo largo de su vía de flujo a la localidad donde se concentra el flujo o donde se deposita el suelo desprendido. El factor S es el grado de inclinación de la pendiente. Representa los efectos de la inclinación en la erosión (Ibáñez, Moreno, & Gisbert, 2012). La pérdida de suelo se incrementa más rápidamente con pendientes muy escarpadas en comparación con el incremento en longitud de la pendiente. La relación entre la pérdida del suelo y la gradiente se ve influenciada por la densidad de la cobertura vegetal y el tamaño de las partículas del suelo (Barrios & Esneira, 2000).

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

### **2.7.1.4.Factor C o de Cobertura Vegetal**

La vegetación actúa como una capa protectora o amortiguadora entre la atmósfera y el suelo. Los componentes aéreos, como hojas y tallos, absorben parte de la energía de las gotas de lluvia, del agua en movimiento y del viento, de modo que su efecto es menor que si actuaran directamente sobre el suelo, mientras que los componentes subterráneos, como los sistemas radicales, contribuyen a la resistencia mecánica del suelo (Morgan, 2005).

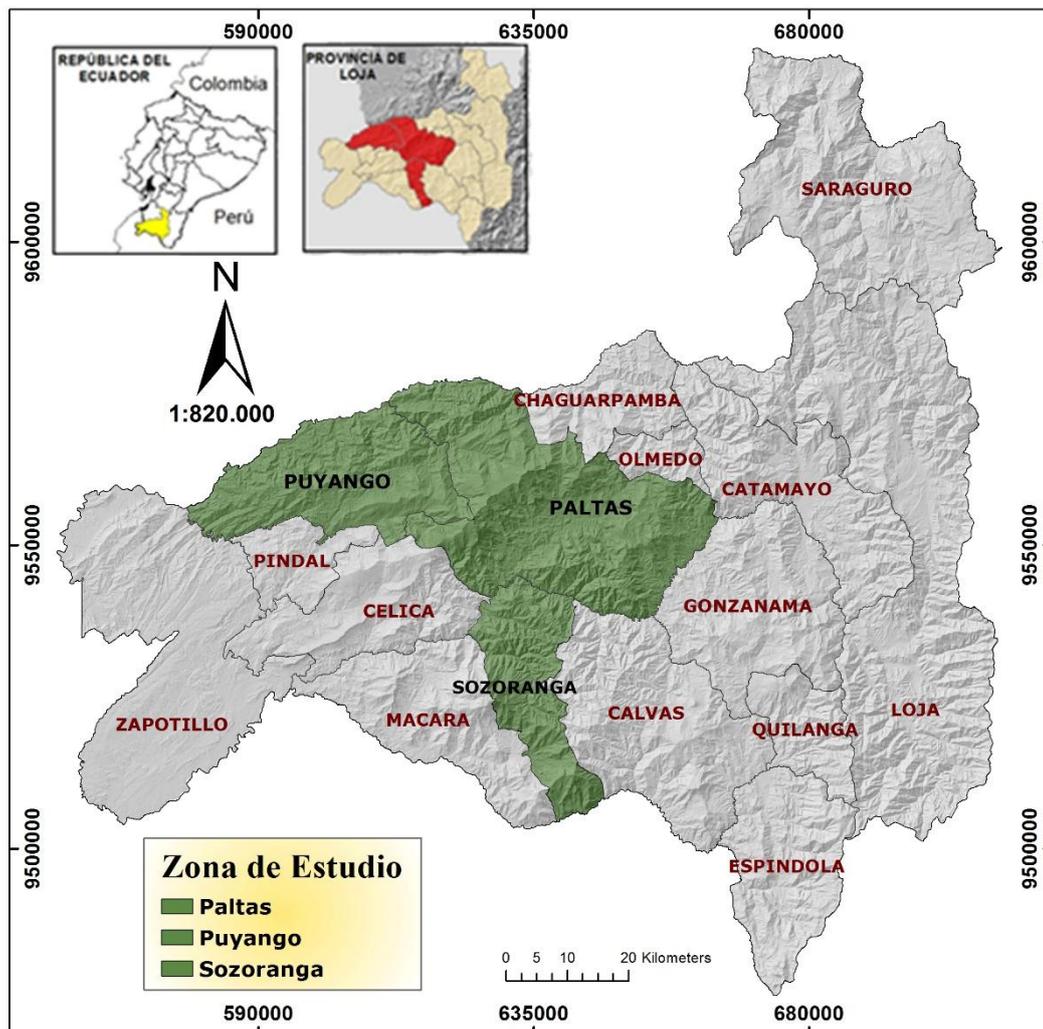
### **2.7.1.5.Factor P o de prácticas de conservación de suelos**

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

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. ÁREA DE ESTUDIO

El presente estudio se realizó en los cantones de Sozoranga, Puyango y Paltas ubicados en la provincia de Loja.



*Figura. 2.* Mapa base de los cantones de Sozoranga, Puyango y Paltas.

##### 3.1.1. Ubicación y Política y Geográfica del cantón Sozoranga

El cantón Sozoranga está ubicado al sur oriente de la provincia de Loja. Su cabecera cantonal se encuentra aproximadamente a 157 Km de la ciudad de Loja. Sus límites: Al norte con el cantón Paltas y Celica, al sur con la República del Perú,

al este con el cantón Calvas y al Oeste con el cantón Macara. Está conformada por tres parroquias: Sozoranga (cabecera cantonal), Nueva Fátima y Tacamoros (parroquias rurales), con alrededor 65 comunidades campesinas.

El cantón Sozoranga tiene una extensión territorial de 414 km<sup>2</sup>, a una altura de 1700 m.s.n.m. Por lo irregularidad de su orografía participa de tres microclimas: frío, templado y cálido, las temperaturas promedios oscilan entre 16 a 18° C en las partes altas y entre los 22 a 26° C en los valles y partes bajas. Se encuentra ubicado entre las siguientes coordenadas: latitud sur 04° 19' 59.988" y longitud oeste 79° 46' 59.879" (Plan de Ordenamiento Territorial Sozoranga, 2014).

### **3.1.2. Ubicación Política y Geográfica del cantón Puyango**

El cantón Puyango se ubica al sur occidente de la provincia de Loja y sus límites son: al norte con el cantón Las Lajas en la provincia de El Oro, al sur con los cantones de Pindal y Celica de la provincia de Loja, al este con el cantón Paltas de la provincia de Loja y al oeste con la parroquia Mangahurco del cantón Zapotillo de la provincia de Loja y Tumbes y Piura de la República del Perú. Está conformado por una parroquia urbana Alamor y 5 parroquias rurales Ciano, El Arenal, El Limo, Mercadillo y Vicentino, y 99 barrios.

Tiene una superficie de 627 km<sup>2</sup>, a una altura de 1150 m.s.n.m. El territorio puyanguense participa de dos climas: templado húmedo en la zona de altura y cálido en los valles bajos, presenta una temperatura media anual en la cabecera cantonal de 20°C. Sus coordenadas son las siguientes: latitud sur 04° 01' 0.012" y longitud oeste 80° 01' 0.12" (Plan de Ordenamiento Territorial Puyango, 2014).

### **3.1.3. Ubicación Política y Geográfica del cantón Paltas**

El cantón Paltas se ubica al noroccidente de la provincia de Loja y sus límites son: al norte con los cantones de Chaguarpamba, Olmedo y la provincia de El Oro, al sur con los cantones de Calvas, Sozoranga y Celica, al Este con los cantones de Gonzanama y Catamayo y al Oeste con el cantón Puyango. Está conformado por 2 parroquias urbanas Catacocha y Lourdes, por 7 parroquias rurales Cangonamá, Guachanamá, Lauro Guerrero, Orianga, San Antonio, Casanga, Yamana y por 73 barrios.

El cantón paltas tiene una superficie de 1183 km<sup>2</sup>, a una altura de 1183 m.s.n.m. Debido a la gran extensión de su territorio, posee varios pisos climáticos, destacando los climas: frío, templado y subtropical. La temperatura media de la cabecera cantonal es de 18°C. Sus coordenadas son las siguientes: latitud sur 04° 04' 0.012" y longitud oeste 79° 37' 59.88" (Plan de Ordenamiento Territorial Paltas, 2012).

### **3.2. MATERIALES**

#### **3.2.1. Fase de campo.**

- Barreta
- Machete
- System Global Position (GPS)
- Mapa de las zonas de estudio
- Cámara fotográfica
- Hoja de registro
- Bolígrafos
- Fundas plásticas
- Etiquetas

#### **3.2.2. Fase de laboratorio (materiales).**

- Muestras de suelo
- Balanza analítica de precisión. 0,01g-0,00001g
- Tamiz (2mm, 100 micras y 50 micras)

#### **3.2.3. Fase de Análisis**

- Computadora
- Internet
- Literatura citada
- Bolígrafos
- Calculadora
- Software ArcMap

### **3.3. Metodología**

#### **3.3.1. Base de datos digital con información biofísica requerida para la estimación de la erosión del suelo.**

A continuación se presenta las bases de datos de los factores R, K, C, LS y P, que fueron levantadas mediante información secundaria y complementada en campo.

##### **3.3.1.1. Determinación del factor R.**

Para el cálculo del factor R, se basó en información obtenida por Tamayo, (2016) el mismo que aplicó la metodología sugerida por la RUSLE para el cálculo del factor R es la I30 que requiere de registros pluviográficos. Teniendo en cuenta que la provincia de Loja no dispone de esta información, utilizó el Índice modificado de Fournier propuesto por Arnoldus, (1980) citado por Lahlaoui, Rhinane, Hilali, Lahssini, & Khalile, (2015), 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).

Para formar la base de datos partió de información primaria proporcionada por el INAMHI, la misma que contiene la precipitación mensual de un periodo de 35 años, comprendidos entre 1980 a 2014; de 28 estaciones meteorológicas ubicadas en la provincia de Loja, una estación en la provincia de El Oro y dos en la provincia de Zamora Chinchipe.

##### **3.3.1.2. Determinación del factor K.**

Para analizar las características del suelo, se realizó un muestreo en puntos previamente identificados por el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), donde se recolectaron muestras que luego fueron analizadas en el laboratorio. La profundidad de muestreo dependió del espesor de la capa superficial (horizonte A). En el laboratorio se determinó solamente el porcentaje de: arena muy fina, debido a que el porcentaje de arena, limo, arcilla y materia orgánica se obtuvo del estudio ya realizado por el IEE, al igual que la estructura y profundidad del suelo. La permeabilidad se estimó en función de la textura. En todos puntos de muestreo se recolectaron muestras simples que fueron colocadas en fundas ziplock de 1 kg con su

respectiva etiqueta. Estas fueron guardadas en un lugar seco y fresco para su posterior traslado al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Loja, para su respectivo análisis.

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

En la fase de laboratorio, para determinar arena muy fina, se procedió a tamizar las muestras en un tamiz de 2 mm, el resultado se lo tamizo en un tamiz de 50 micras. Luego se pesaron 5 gramos de suelo libre de humedad para colocarlos en tamices de 50 y 100 micras, (la arena muy fina tienes tamaños que varían entre este rango). Finalmente se pesó la cantidad resultante (arena muy fina) obteniendo el porcentaje mediante regla de tres.

Esta base tomó forma con los resultados obtenidos de las muestras de suelo analizadas en el laboratorio. Aplicando únicamente las ecuaciones de Renard et al., (1997).

$$K = 0.277 * 10^{-6} * M^{1.14} (12 - MO) + 0.0043 (S - 2) + 0.033 (P - 3) \text{ Ec. "2"}$$

$$M = (\% \text{ de sedimento} + \% \text{ de arena muy fina}) * (100\% - \text{Arcilla}) \text{ Ec. "3"}$$

Las mismas que ya están representadas en el SI y obtener finalmente los valores de K.

En el caso del factor K, se utilizó la herramienta "IDW" (Distancia inversa ponderada) interpolación que determina los valores de celda utilizando una combinación ponderada lineal de un conjunto de puntos de muestra. El peso es una función del inverso de la distancia. La superficie que se está interpolado debe ser la de una variable dependiente de localización. Aplicada la herramienta IDW se obtiene una imagen raster (Tamayo, 2016).

### **3.3.1.3.Determinación del factor C.**

Con el uso de ortofotos con resolución de 0,5 x 0,5 en el tamaño de pixel y utilizando las categorías (Bosque seco, Matorral, Cultivos de maíz, etcétera) del Ministerio del Ambiente, se delimito cada una de las unidades de cobertura vegetal

presentes en los cantones de Sozoranga, Puyango y Paltas, mediante la utilización del software ArcMap.

Para la elaboración de la base de datos del factor C se determinó los valores de ponderación de acuerdo a investigaciones en las que utilizaron la misma metodología para determinar la erosión, en base a todas las características presentes de los diferentes tipos de cobertura vegetal. Finalmente con la base de datos vectorial, se convirtió a formato raster, para obtener los resultados requeridos.

#### **3.3.1.4.Determinación del factor LS.**

Para calcular los factores L y S, se utilizó información raster de Shuttle Terrain Radar Mapping (SRTM), con resolución espacial de 30 m, los diferentes raster RSTM de las zonas de estudio se unieron con la herramienta “Mosaic to Raster”, dando como resultado el MED georeferenciado. Con esta información se obtuvo los parámetros que sirvieron para determinar el factor L y S, aplicando la metodología de cálculo elaborada por (Tamayo, 2016).

Para obtener el cálculo del factor L, fue necesario aplicar un relleno al MED con el fin de evitar espacios vacíos en el raster, se elaboró mediante la herramienta “Fill” del software ArcMap, con la imagen resultante se creó un raster de pendientes (Slope) para crear el factor F empleando la Ecuación 4 de Dangermond (1969).

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

Dónde:  $\beta$  = Es el ángulo de la pendiente

En ArcMap con Raster Calculator se aplicó la ecuación 5 de Dangermond (1969), para obtener el factor F:

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

Ec. "5".

Con el resultado del factor F, se procedió a obtener el factor M que también es un dato a considerar en la obtención del Factor L, para ello se empleó la ecuación 6 de Dangermond (1969), en “Raster Calculator”

$$\text{Factor } M = \text{"Factor } F" / (1 + \text{"Factor } F") \quad \text{Ec.}^{\text{"6"}}$$

Luego se debe obtener la dirección de flujo y acumulación del flujo con las herramientas Flow Direction y Flow Accumulation respectivamente. Obtenidas estas dos imágenes se obtuvo el Factor L en “Raster Calculator” empleando la ecuación 7 y 8 de Dangermond (1969):

$$L_{(i,j)} = \frac{(A_{(i,j)}+D^2)^{m+2}-A_{(i,j)}^{m+1}}{x^m * D^{m+2} * (22.12)^m} \quad \text{Ec.}^{\text{"7"}}$$

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

$$\text{Factor } L = (\text{Power}(\text{"flow\_acc"} + 625, (\text{"Factor\_M"} + 1)) - \text{Power}(\text{"flow\_acc"}, (\text{"Factor\_M"} + 1))) / \text{Power}(25, (\text{"Factor\_M"} + 2)) * \text{Power}(22.13, \text{"Factor\_M"}) \quad \text{Ec.}^{\text{"8"}}$$

Para el cálculo del Factor S se aplicó la ecuación 9 y 10 de Dangermond (1969):

$$S_{(i,j)} = \begin{cases} 10.8 \sin \beta_{(i,j)} + 0.03 & \tan \beta_{(i,j)} < 0.09 \\ 16.8 \sin \beta_{(i,j)} - 0.5 & \tan \beta_{(i,j)} \geq 0.09 \end{cases} \quad \text{Ec.}^{\text{"9"}}$$

$$\text{Factor } S = \text{Con}((\text{Tan}(\text{"Slope"} * 0.01745) < 0.09), (10.8 * \text{Sin}(\text{"Slope"} * 0.01745) + 0.03), (16.8 * \text{Sin}(\text{"Slope"} * 0.01745) - 0.5)) \quad \text{Ec.}^{\text{"10"}}$$

Con todos los factores anteriores se calcularon el factor LS que se perseguía en la presente investigación. Para ello se utilizó la ecuación 11 de Dangermond (1969).

$$\text{Factor } LS = \text{"Factor\_L"} * \text{"Factor\_S"} \quad \text{Ec.}^{\text{"11"}}$$

### **3.3.1.5. Determinación del factor P.**

Para el caso del Factor P, se lo realizó mediante 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. De esta forma la base de datos del factor P presenta solamente el valor de 1 en las zonas de estudio, debido a que no se evidenciaron prácticas agrícolas que ayuden a impedir la erosión del suelo en el territorio.

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

### **3.3.2. Estimación la erosión actual y potencial en base a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE), para la identificación de las zonas más susceptibles.**

#### **3.3.2.1. Erosión hídrica actual.**

Para obtener las tasas de erosión hídrica actual, se utilizó el modelo de la RUSLE.

$$A = \text{Factor } R * \text{Factor } K * \text{Factor } C * \text{Factor } LS * \text{Factor } P \quad \text{Ec. "12"}$$

#### **3.3.2.2. Erosión Hídrica Potencial**

Para el caso de la erosión hídrica potencial, únicamente se utilizan los siguientes factores de la RUSLE (Dangermond, 1969).

$$A = \text{Factor } K * \text{Factor } R * \text{Factor } LS \quad \text{Ec. "13"}$$

### **3.3.3. Propuesta con alternativas adecuadas de manejo y uso del suelo en las diferentes categorías de erosión.**

Con la información obtenida al aplicar la ecuación universal de RUSLE, en la que se identificaron las zonas con mayor erosión de los cantones en estudio, se procedió a la revisión de información secundaria de los diferentes estudios realizados

a nivel mundial, e identificar las alternativas de conservación aplicadas, teniendo en cuenta las condiciones del lugar y poderla implementar en los sitios de la presente investigación, con el fin de lograr disminución de la magnitud de este fenómeno edáfico que aqueja a toda la región sur del país. Es necesario mencionar que las alternativas a implementar deben ser fácilmente aplicables y que se logre obtener buenos resultados en el menor tiempo posible.

## 4. RESULTADOS

Una vez obtenida, analizada y sistematizada toda la información de los cantones en estudio, se obtuvo los siguientes resultados para cada uno de los objetivos propuestos.

### 4.1. BASE DE DATOS DIGITAL CON INFORMACIÓN BIOFÍSICA REQUERIDA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN DEL SUELO.

#### 4.1.1. Base de datos del factor R.

En el Cuadro 1 se puede observar los datos del factor R, para la provincia de Loja.

**Cuadro 1.** Índice modificado de Fournier y valores del factor de R de las estaciones ubicadas dentro y adyacente a la provincia de Loja.

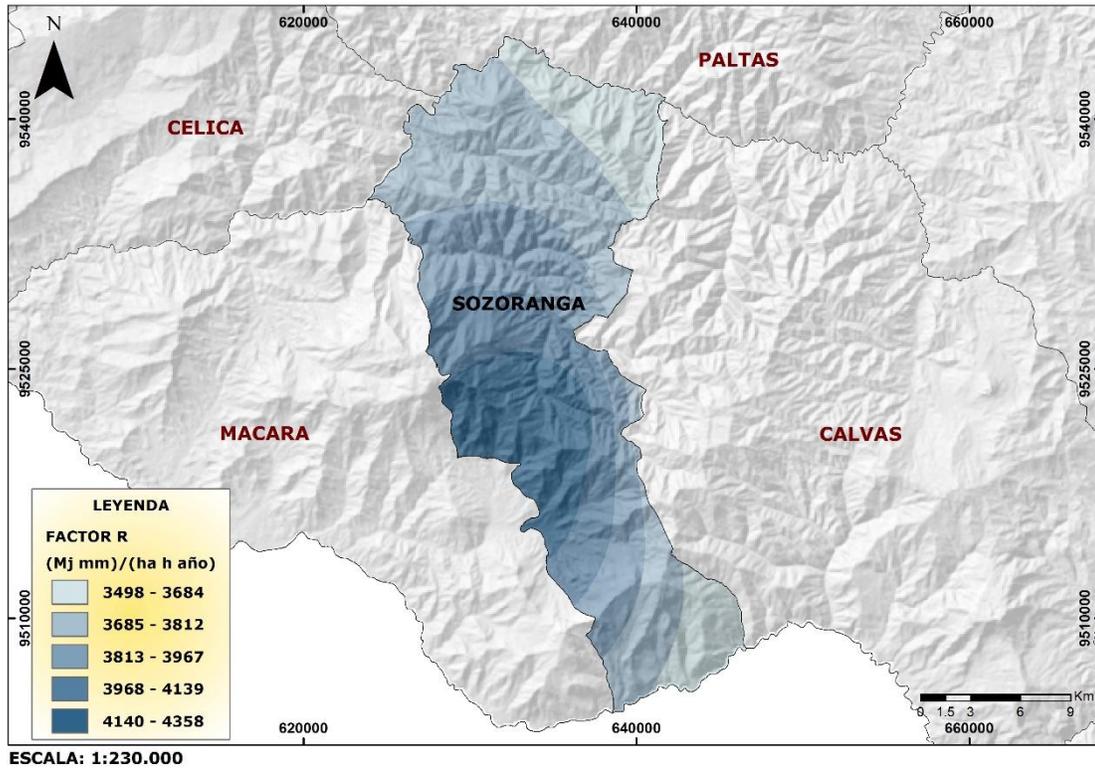
Código	Nombre	Coordenadas UTM WGS84		Altitud (m)	Media Anual (35 años)	IMF	R
		X	Y				
M0033	La Argelia	699711	9553630	2160	965,76	108,03	1654,80
M0040	Pasaje	636774	9632736	40	893,25	150,33	2247,86
M0142	Saraguro	696167	9600576	2525	804,02	98,23	1515,16
M0143	Malacatos	691894	9533772	1453	693,14	107,11	1641,73
M0144	Vilcabamba	697804	9528598		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	3392,59
M0149	Gonzanamá	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	2643,91
M0435	Alamor	607925	9555751	1250	1442,61	358,63	5032,76
M0437	Saucillo	588930	9526784	328	752,47	246,03	3548,91
M0438	Jimbura	670274	9488265	2100	1315,58	240,25	3471,55

### Continuación del Cuadro 1.

<b>M0439</b>	Sabiango	632020	9517853	700	1267,95	333,1	4699,76
<b>M0481</b>	Ushcurrumi	716666	9632700	290	746,57	127,12	1924,22
<b>M0502</b>	Pangui	758210	9564913	820	1628,05	153,84	2296,48
<b>M0503</b>	San Francisco	714075	9561615	1620	2183,9	218,51	3179,35
<b>M0515</b>	Catacocha	650478	9551575	1808	900,18	185,51	2731,65
<b>M0544</b>	Colaisaca	645033	9522745	2410	1209,18	252,25	3632,00

#### 4.1.1.1. Mapa del factor R del cantón Sozoranga.

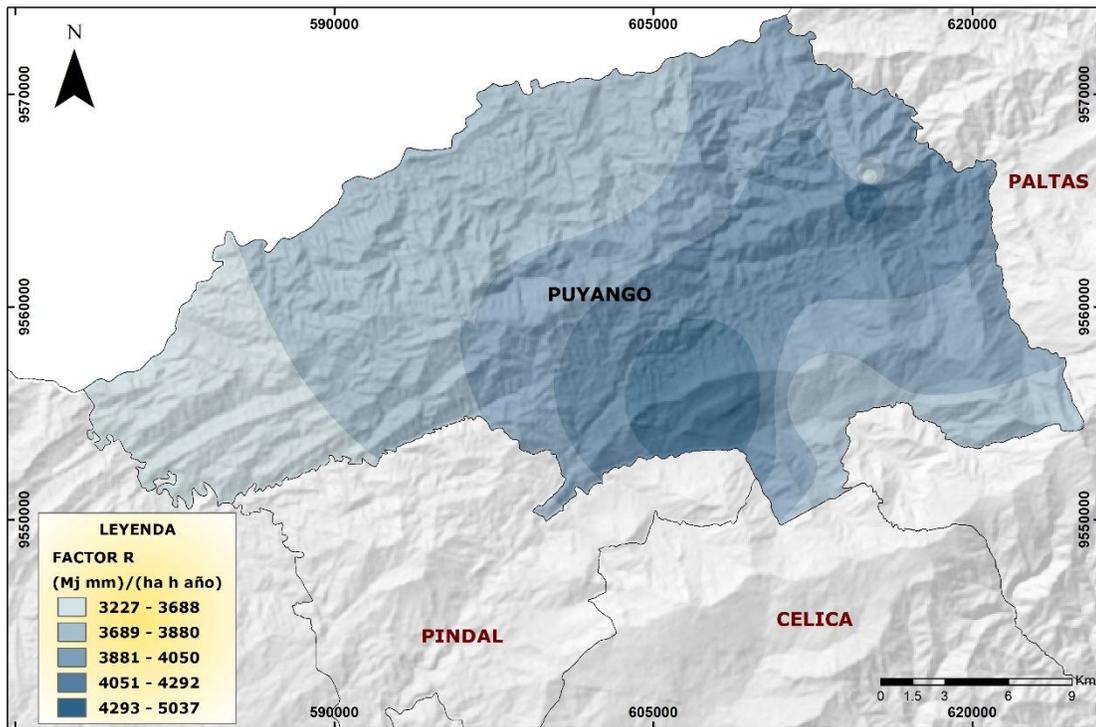
De acuerdo a la Figura 3, los resultados obtenidos para el factor R están entre 3498 y 4358 (Mj.mm)/(ha.h.año) dentro del territorio de estudio. Los valores más bajos, están registrados en la parroquia Tacamoros y en la parte norte del cantón Sozoranga con 3498 a 3812 (Mj.mm)/(ha.h.año). Los valores más altos se encuentran registrados en las parroquia Nueva Fátima y Sozoranga, con 3813 a 4358 (Mj.mm)/(ha.h.año). Con esta información, se puede mencionar que el suelo del cantón Sozoranga, está expuesto a procesos erosivos por efecto de las gotas de lluvia, esto debido a factores como temperatura, topografía, pendientes y cobertura vegetal que varían según el piso altitudinal. Los valores que representan mayor riesgo de erosión están entre 4140 a 4358 (Mj.mm)/(ha.h.año).



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

#### 4.1.1.2. Mapa del factor R del cantón Puyango.

En la Figura 4, los resultados obtenidos para el factor R están entre 3227 y 5037 (Mj.mm)/(ha.h.año). Los valores más altos, están registrados en su mayoría en las parroquias de Puyango, El Arenal y Ciano; con datos que van de 3881 a 5037 (Mj.mm)/(ha.h.año). En Mercadillo, El Limo y Vicentino, los valores están entre 3227 a 3880 (Mj.mm)/(ha.h.año), esto debido a los diferentes pisos altitudinales del cantón, así como también el tipo de cobertura boscosa de estos sectores. En base a los valores de precipitación obtenidos, se puede mencionar que el suelo del cantón Puyango, está expuesto a procesos erosivos, la mayor parte del cantón presenta elevada precipitación, por ende mayor riesgo de erosión.

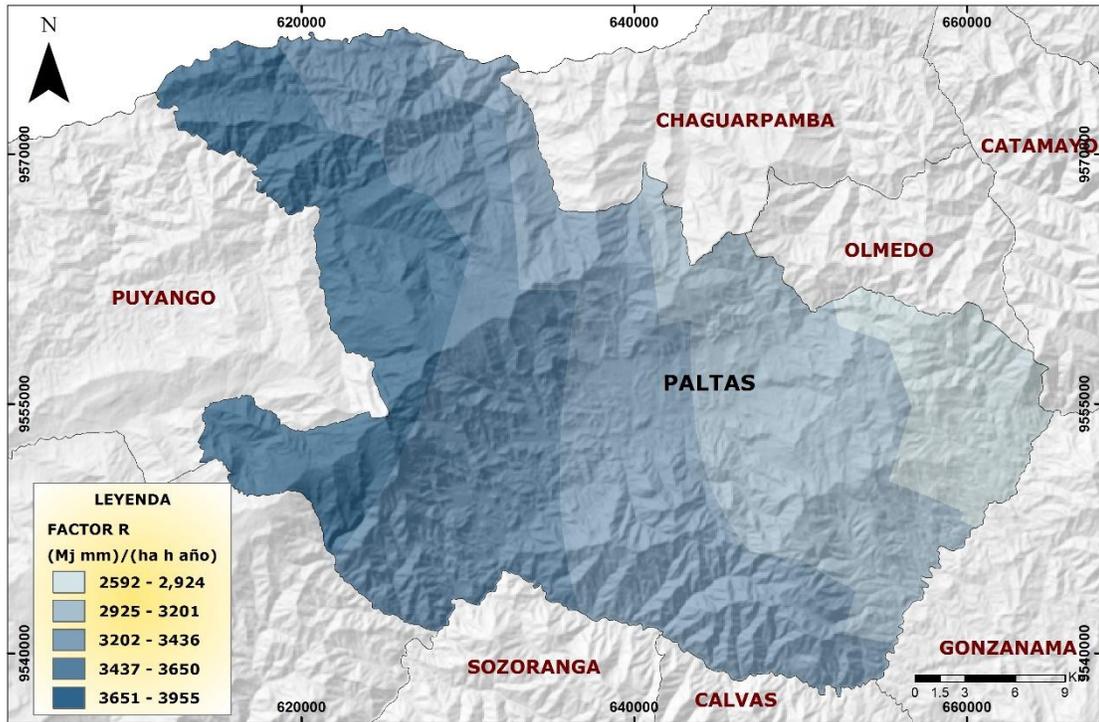


ESCALA: 1:180.000

*Figura. 4.* Mapa de erosividad (factor R) del cantón Puyango

#### 4.1.1.3. Mapa del factor R del cantón Paltas.

En la Figura 5, el factor R están entre 2592 A 3955 (Mj.mm)/(ha.h.año). Los valores más altos, están registrados en las parroquias de Guachanama y Orianga con 3437 a 3955 (Mj.mm)/(ha.h.año), por otra parte los valores más bajos se encuentran registrados la parroquia de Catacocha con valores que van de 2592 a 2994 (Mj.mm)/(ha.h.año). El cantón Paltas, está expuesto a procesos erosivos por efecto de las gotas de lluvia, debido a factores como temperatura, topografía, pendientes y cobertura vegetal que varían según el piso altitudinal. Los valores que representan mayor riesgo de erosión están entre 3202 a 3955 (Mj.mm)/(ha.h.año).



ESCALA: 1:230.000

*Figura. 5.* Mapa de erosividad (factor R) del cantón Paltas

#### 4.1.2. Base de datos del factor K

A continuación se presenta la base de datos correspondiente a la variable K, del cantón Sozoranga Cuadro 2, cuyos valores fueron obtenidos mediante la utilización de las Ecuaciones 4 y 5, así como también de la base de datos del IEE y de las muestras analizadas en laboratorio.

**Cuadro 2.** Valores de la variable K del cantón Sozoranga.

Muestra	MO	Ao	Lo	Ar	Arena muy fina	Estructura	Clase textural	Permeabilidad		Factor K (SI)
								externo	interno	
Sozoranga 1	2,15	60	26	14	4,50	Bloques sub- angulares	Franco arenoso	Rápido	Bueno	0,02
Sozoranga 2	2,22	54	24	22	8,50	Bloques angulares	Franco	Rápido	Bueno	0,03
Sozoranga 3	1,29	44	28	28	9,50	Prismática	Franco arcilloso	Rápido	Moderado	0,04
Sozoranga 4	1,81	48	22	30	6,50	Grumoso	Franco	Rápido	Moderado	0,03
Sozoranga 5	4,85	50	26	24	5,50	Bloques sub- angulares	Franco	Rápido	Moderado	0,03
Sozoranga 6	8,28	44	28	28	6,00	Grumoso	Franco arcilloso	Rápido	Mal drenado	0,02
Sozoranga 7	3,65	56	22	22	8,50	Grumoso	Franco	Rápido	Mal drenado	0,02
Sozoranga 8	1,76	62	20	18	14,00	Masiva	Franco arenoso	Rápido	Moderado	0,01
Sozoranga 9	4,05	44	30	26	6,00	Grumoso	Franco	Rápido	Mal drenado	0,03
Sozoranga 10	1,80	42	24	34	7,50	Grumoso	Franco arcilloso	Rápido	Moderado	0,04
Sozoranga 11	1,20	30	26	44	4,00	Granular	Arcilloso	Rápido	Moderado	0,05
Sozoranga 12	6,23	44	24	32	8,00	Grumoso	Franco arcilloso	Rápido	Moderado	0,02
Sozoranga 13	3,08	40	24	36	7,00	Grumoso	Franco arcilloso	Rápido	Moderado	0,03
Sozoranga 14	6,35	52	26	22	1,50	Grumoso	Franco	Rápido	Mal drenado	0,01
Sozoranga 15	4,07	34	34	32	14,50	Granular	Franco arcilloso	Rápido	Moderado	0,04
Sozoranga 16	11,18	38	38	24	20,00	Grumoso	Franco	Rápido	Moderado	0,01
Sozoranga 17	4,80	48	26	26	7,50	Grumoso	Franco	Rápido	Moderado	0,02
Sozoranga 18	4,45	34	38	28	11,00	Grumoso	franco arcilloso	Rápido	Mal drenado	0,04
Sozoranga 19	3,32	34	40	26	11,00	Bloques sub- angulares	Franco	Rápido	Mal drenado	0,05
Sozoranga 20	4,24	40	28	32	12,50	Grumoso	Franco arcilloso	Rápido	Moderado	0,03
Sozoranga 21	4,08	32	38	30	18,50	Bloques sub- angulares	Franco arcilloso	Rápido	Moderado	0,05
Sozoranga 22	0,48	72	16	12	9,00	Grano simple	Franco arenoso	Normal	Bueno	0,01

**Continuación del Cuadro 2.**

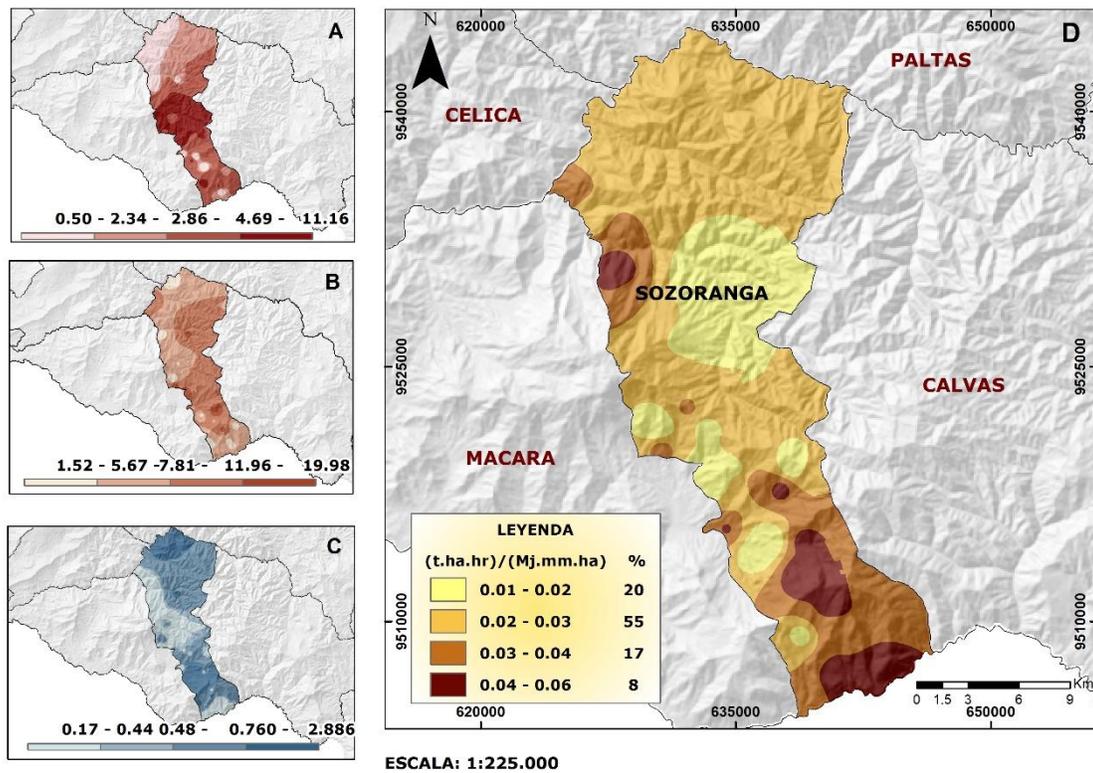
<b>Sozoranga 23</b>	5,36	56	28	16	4,50	Grumoso	Franco arenoso	Normal	Moderado	0,01
<b>Sozoranga 24</b>	1,51	44	24	32	7,50	Bloques sub-angulares	Franco arcilloso	Lento	Mal drenado	0,04
<b>Sozoranga 25</b>	0,74	28	62	10	7,50	Bloques sub-angulares	Franco limoso	Rápido	Moderado	0,06
<b>Sozoranga 26</b>	3,75	30	40	30	14,50	Bloques sub-angulares	Franco arcilloso	Rápido	Moderado	0,05
<b>Sozoranga 27</b>	2,46	48	28	24	4,50	Bloques sub-angulares	Franco	Rápido	Bueno	0,04
<b>Sozoranga 28</b>	4,01	44	34	22	7,50	Bloques angulares	Franco	Rápido	Mal drenado	0,03
<b>Sozoranga 29</b>	4,93	44	22	34	5,00	Bloques sub-angulares	Franco arcilloso	Normal	Moderado	0,03
<b>Sozoranga 30</b>	1,19	32	24	44	4,50	Cuña	Arcilloso	Rápido	Moderado	0,05
<b>Sozoranga 31</b>	2,38	26	28	46	7,50	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Normal	Moderado	0,06
<b>Sozoranga 32</b>	2,93	42	28	30	8,00	Grumoso	Franco arcilloso	Rápido	Moderado	0,03
<b>Sozoranga 33</b>	4,10	40	40	20	2,00	Grumoso	Franco	Rápido	Bueno	0,03
<b>Sozoranga 34</b>	6,56	46	32	22	7,00	Grumoso	Franco	Rápido	Bueno	0,02
<b>Sozoranga 35</b>	5,47	52	24	24	9,00	Grumoso	Franco arcillo-arenoso	Rápido	Mal drenado	0,01

Los datos obtenidos en el factor K (Cuadro 2) del cantón Sozoranga están entre 0,01 y 0,05. En su mayoría son suelos francos. Esto ocasiona que el desprendimiento de partículas sea moderado y por lo tanto la escorrentía sea media. En cuanto al contenido de materia orgánica, como podemos observar en el Cuadro 2, el valor más alto (11,18) ubicado en la parroquia Sozoranga, del Cantón del mismo nombre, este resultado puede estar influenciado por el tipo de cobertura vegetal (Matorral húmedo alto), debido a que el resto de valores son bajos, por lo que estos suelos están propensos a erodabilidad y escorrentía.

#### **4.1.2.1. Mapa del factor K del cantón Sozoranga.**

El factor K (Figura 6D) representa la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica. Su valor depende del contenido de materia orgánica, textura superficial, estructura del suelo y permeabilidad. En base a los datos obtenidos en el mapa del factor K, podemos observar que los valores que están entre 0,04 a 0,06 (t.ha.hr)/(Mj.mm.ha) son suelos que presentan problemas de erodabilidad. Y se encuentran ubicados en parte de las parroquias Tacamoros, Nueva Fátima y Sozoranga con un área 3194,46 ha abarcando el 8% del territorio de Sozoranga. Por otra parte los valores que están en el rango de 0,01 a 0,02 (t.ha.hr) / (Mj.mm.ha), están menos susceptibles a erodabilidad y ocupan 8045,37 ha con un 20% del territorio de Sozoranga.

En la Figura 6A de materia orgánica, podemos mencionar tanto en la parroquia de Sozoranga como en parte de la parroquia Nueva Fátima existe, presencia de materia orgánica con valores que van de 4,69 a 11,16 (t.ha.hr)/(Mj.mm.ha). Con estos valores podemos mencionar que esta zona existe baja susceptibilidad de erosión hídrica. En la Figura 6B de arena muy fina, la parroquia con mayor porcentaje es la parroquia de Sozoranga, con valores que van desde 7,81 a 19,98 (t.ha.hr) / (Mj.mm.ha). Por su parte la Figura 6C de permeabilidad nos muestra que, donde los suelos son más permeables es en la parroquia de Sozoranga y Tacamoros, con valores de 0,48 a 2,89 y en la parroquia Nueva Fátima presenta menor permeabilidad 0,17 a 0,44 (Mj.mm) / (ha.h.año), lo que hace que estos suelos sean propensos a erosionar.



**Figura. 6.** Mapa de materia orgánica (A); Mapa de Arena muy fina (B); mapa de permeabilidad (C) y Mapa de erodabilidad del suelo (factor K) del cantón Sozoranga (D).

A continuación se presenta la base de datos correspondiente a la variable K, Cuadro 3 del cantón Puyango, cuyos valores fueron obtenidos mediante la utilización de las Ecuaciones 4 y 5, así como también de la base de datos del IEE y de las muestras analizadas en laboratorio.

**Cuadro 3.** Valores de la variable K del cantón Puyango.

Muestra	MO	Ao	Lo	Ar	Arena muy fina	Estructura	Clase textura	Permeabilidad		Factor K (SI)
								Externo	interno	
<b>Puyango 1</b>	13,50	46	20	34	7,50	Bloques sub-angulares	Franco arcillo-arenoso	Rápido	Bueno	0,01
<b>Puyango 2</b>	9,76	26	38	36	22,50	Bloques sub-angulares	Franco arcilloso	Rápido	Bueno	0,03
<b>Puyango 3</b>	2,48	12	26	62	5,50	Bloques sub-angulares	Arcilla pesada	Normal	Bueno	0,09
<b>Puyango 4</b>	9,55	24	36	40	8,50	Granular	Arcilloso	Normal	Moderado	0,02
<b>Puyango 5</b>	8,20	24	34	42	15,00	Granular a bloques sub-angulares	Arcilloso	Normal	Moderado	0,03
<b>Puyango 6</b>	5,59	20	30	50	10,50	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Rápido	Moderado	0,05
<b>Puyango 7</b>	5,28	16	34	50	11,00	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Normal	Bueno	0,06
<b>Puyango 8</b>	6,81	22	30	48	9,00	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Rápido	Bueno	0,04
<b>Puyango 9</b>	5,01	16	38	46	13,00	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Rápido	Bueno	0,06
<b>Puyango 10</b>	3,34	14	30	56	10,50	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Rápido	Bueno	0,08
<b>Puyango 11</b>	2,57	20	34	46	11,00	Granular a bloques sub-angulares	Arcilloso	Normal	Bueno	0,06
<b>Puyango 12</b>	3,12	18	34	48	12,00	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Rápido	Bueno	0,07
<b>Puyango 13</b>	7,11	16	32	52	14,00	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Normal	Moderado	0,05
<b>Puyango 14</b>	4,88	18	32	50	14,50	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Rápido	Moderado	0,06
<b>Puyango 15</b>	4,59	20	28	52	10,50	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Normal	Moderado	0,06
<b>Puyango 16</b>	6,47	14	30	56	7,00	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Normal	Bueno	0,05
<b>Puyango 17</b>	5,83	16	24	60	12,00	Bloques sub-angulares	Arcilla pesada	Rápido	Malo	0,06
<b>Puyango 18</b>	3,66	38	22	40	14,00	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Rápido	Bueno	0,04
<b>Puyango 19</b>	5,66	24	26	50	15,50	Granular a bloques sub-angulares	Arcilloso	Rápido	Bueno	0,04
<b>Puyango 20</b>	3,84	26	32	42	7,00	Granular a bloques sub-angulares	Arcilloso	Rápido	Bueno	0,05
<b>Puyango 21</b>	6,77	18	34	48	8,50	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Rápido	Moderado	0,04

**Continuación del Cuadro 3.**

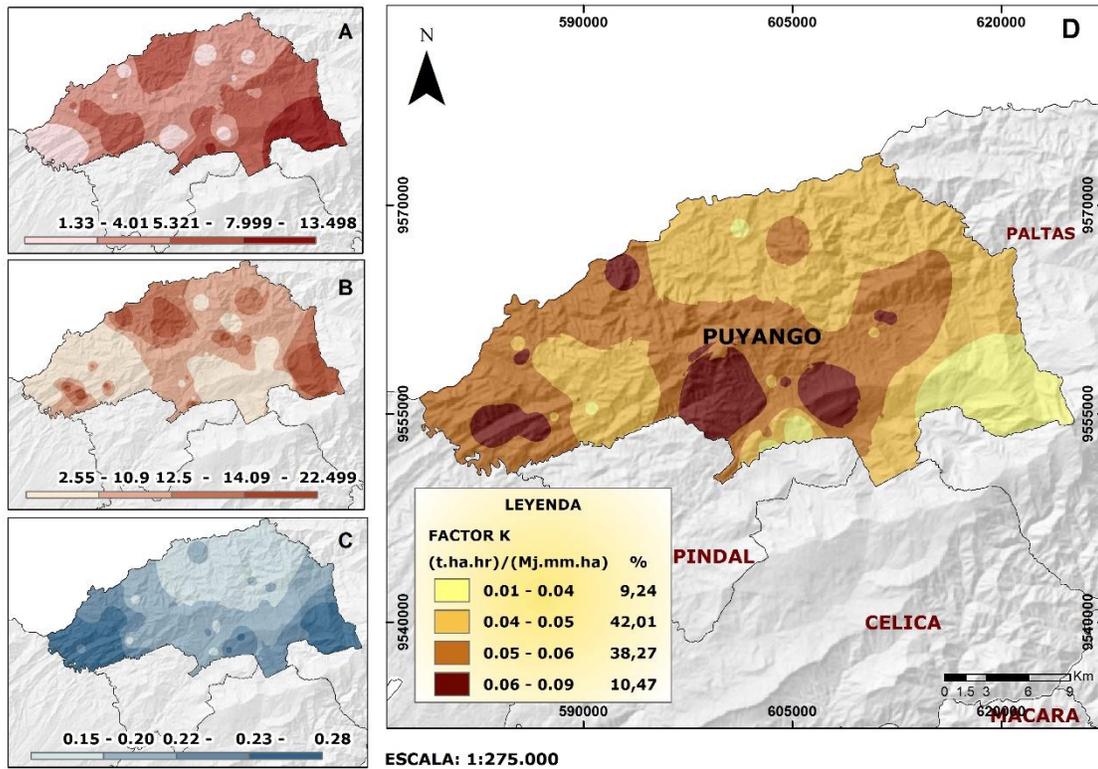
<b>Puyango 22</b>	6,92	24	30	46	15,50	Granular a bloques sub-angulares	Arcilloso	Rápido	Moderado	0,03
<b>Puyango 23</b>	5,46	24	34	42	2,50	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Rápido	Moderado	0,05
<b>Puyango 24</b>	4,75	26	36	38	9,00	Bloques sub-angulares	Franco arcilloso	Rápido	Bueno	0,05
<b>Puyango 25</b>	5,55	26	36	38	9,00	Bloques sub-angulares	Franco arcilloso	Normal	Bueno	0,05
<b>Puyango 26</b>	2,62	22	30	48	18,50	Bloques angulares	Arcilloso	Normal	Moderado	0,07
<b>Puyango 27</b>	1,33	32	32	36	15,00	Bloques sub-angulares	Franco arcilloso	Normal	Bueno	0,06
<b>Puyango 28</b>	2,30	28	32	40	10,00	Bloques angulares	Arcilloso	Normal	Moderado	0,06
<b>Puyango 29</b>	3,93	28	30	42	8,00	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Normal	Bueno	0,05
<b>Puyango 30</b>	5,88	26	36	38	13,00	Bloques sub-angulares	Franco arcilloso	Rápido	Bueno	0,05
<b>Puyango 31</b>	6,93	24	36	40	5,00	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Normal	Moderado	0,04
<b>Puyango 32</b>	3,27	14	38	48	7,00	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Rápido	Moderado	0,08
<b>Puyango 33</b>	6,23	34	28	38	4,00	Bloques sub-angulares	Franco arcilloso	Rápido	Bueno	0,04
<b>Puyango 34</b>	5,47	28	30	42	20,00	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Rápido	Moderado	0,05
<b>Puyango 35</b>	7,43	22	30	48	13,00	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Normal	Bueno	0,04
<b>Puyango 36</b>	3,50	22	34	44	15,50	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Rápido	Bueno	0,06
<b>Puyango 37</b>	8,00	24	34	42	12,50	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Rápido	Bueno	0,04
<b>Puyango 38</b>	2,59	32	20	48	10,00	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Rápido	Bueno	0,05

En el cuadro 3 podemos observar que el rango del factor K del cantón Puyango está entre 0,01 a 0,07. Por lo que se puede determinar que en su mayoría son suelos arcillosos. Esto ocasiona que exista mayor susceptibilidad a procesos erosivos. El contenido de materia orgánica, para el cantón Puyango, el valor más alto (9,76) se encuentra ubicado en la parroquia Mercadillo, del Cantón del Puyango, este resultado puede estar influenciado por el tipo de cobertura vegetal (Bosque húmedo denso), debido a que el resto de valores son bajos, y al presentar suelos arcillosos estos suelos están propensos a erodabilidad y escorrentía.

#### **4.1.2.2. Mapa del factor K del cantón Puyango.**

En el cantón Puyango, el mayor valor de factor k (figura 7D) está entre 0,06 a 0,09 (t.ha.hr)/(Mj.mm.ha), abarcando parte de las parroquias Puyango y El Limo, son suelos que presentan problemas de erosión, presenta una extensión de 6682,14 abarcando el 10,47% del cantón Puyango. Por otra parte los valores que están en el rango de 0,01 a 0,04 (t.ha.hr)/(Mj.mm.ha), abarcan un área de 5893,56 con un 9,24% del territorio del cantón de estudio.

En la Figura 7A de materia orgánica, podemos mencionar que en la parroquia de Mercadillo, existe mayor presencia de materia orgánica, esto puede ser por factores como la cobertura vegetal, sus valores están entre 7,9 a 13,4 (t.ha.hr)/(Mj.mm.ha). Con estos valores podemos mencionar que esta zona existe baja susceptibilidad de erosión hídrica. En la Figura 2B de arena muy fina, las parroquias con mayor porcentaje son las parroquias de Alamor y Mercadillo, con valores que van desde 14,09 a 22,49 (t.ha.hr) / (Mj.mm.ha). Por su parte la Figura 7C de permeabilidad nos muestra que, donde los suelos son más permeables es en la parroquia de Mercadillo y El Limo, con valores de 0,23 a 0,28 y en parte de la parroquia de Puyango y Ciano, presenta menor permeabilidad 0,15 a 0,20 (Mj.mm)/(ha.h.año) lo que hace que estos suelos sean propensos a erosionar.



**Figura. 7.** Mapa de materia orgánica (A); Mapa de Arena muy fina (B); mapa de permeabilidad (C) y Mapa de erodabilidad del suelo (factor K) del cantón Puyango (D).

A continuación se presenta la base de datos correspondiente a la variable K, Cuadro 4 del cantón Paltas, cuyos valores fueron obtenidos mediante la utilización de las Ecuaciones 4 y 5, así como también de la base de datos del IEE y de las muestras analizadas en laboratorio.

**Cuadro. 4.** Valores de la variable K del cantón Paltas.

Muestra	MO	Ao	Lo	Ar	Arena muy fina	Estructura	Clase textura	Permeabilidad		Factor K (SI)
								externo	interno	
<b>Paltas 1</b>	6,85	20	18	62	10,50	Bloques sub-angulares	Arcilla pesada	Rápido	Bueno	0,05
<b>Paltas 2</b>	4,64	36	26	38	10,00	Bloques sub-angulares	Franco arcilloso	Rápido	Bueno	0,04
<b>Paltas 3</b>	2,67	42	34	24	10,50	Bloques sub-angulares	Franco	Rápido	Bueno	0,04
<b>Paltas 4</b>	4,31	22	38	40	10,50	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Normal	Bueno	0,06
<b>Paltas 5</b>	3,88	52	22	26	8,00	Bloques sub-angulares	Franco arcillo-arenoso	Rápido	Bueno	0,03
<b>Paltas 6</b>	2,2	58	26	16	5,00	Grumoso	Franco arenoso	Rápido	Bueno	0,02
<b>Paltas 7</b>	2,63	36	30	34	4,50	Bloques sub-angulares	Franco arcilloso	Normal	Bueno	0,04
<b>Paltas 8</b>	2,46	58	20	22	2,00	Bloques sub-angulares	Franco arcillo-arenoso	Rápido	Bueno	0,03
<b>Paltas 9</b>	9	38	24	38	5,50	Bloques sub-angulares	Franco arcilloso	Normal	Bueno	0,03
<b>Paltas 10</b>	6,61	24	28	48	6,50	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Rápido	Bueno	0,04
<b>Paltas 11</b>	9,64	34	30	36	7,00	Bloques sub-angulares	Franco arcilloso	Rápido	Bueno	0,02
<b>Paltas 12</b>	1,75	44	26	30	15,50	Bloques sub-angulares	Franco arcilloso	Rápido	Bueno	0,04
<b>Paltas 13</b>	3,99	50	28	22	3,50	Bloques sub-angulares	Franco	Rápido	Bueno	0,03
<b>Paltas 14</b>	3,19	56	26	18	5,00	Bloques sub-angulares	Franco arenoso	Rápido	Bueno	0,03
<b>Paltas 15</b>	1,47	32	34	34	4,00	Bloques sub-angulares	Franco arcilloso	Normal	Moderado	0,05
<b>Paltas 16</b>	2,3	44	30	26	2,50	Bloques sub-angulares	Franco	Normal	Bueno	0,04
<b>Paltas 17</b>	0,55	44	40	16	2,50	Bloques sub-angulares	Franco	Rápido	Bueno	0,05
<b>Paltas18</b>	1,55	38	22	40	9,50	Grano simple	Arcilloso	Normal	Bueno	0,04
<b>Paltas 19</b>	1,01	54	40	6	2,50	Bloques sub-angulares	Franco arenoso	Normal	Bueno	0,03
<b>Paltas 20</b>	7,64	32	32	36	3,00	Bloques sub-angulares	Franco arcilloso	Normal	Bueno	0,03
<b>Paltas 21</b>	2,3	64	24	12	9,50	Bloques sub-angulares	Franco arenoso	Rápido	Bueno	0,02
<b>Paltas 22</b>	4,93	40	26	34	3,00	Bloques sub-angulares	Franco arcilloso	Rápido	Bueno	0,04
<b>Paltas 23</b>	1,8	50	32	18	4,50	Bloques sub-angulares	Franco	Normal	Bueno	0,03

**Continuación del Cuadro 4.**

<b>Paltas 24</b>	3,46	50	32	18	1,50	Bloques sub-angulares	Franco	Rápido	Bueno	0,03
<b>Paltas 25</b>	3,84	38	22	40	4,50	Granular	Arcilloso	Normal	Bueno	0,03
<b>Paltas 26</b>	3,47	42	26	32	11,50	Granular	Franco arcilloso	Normal	Bueno	0,03
<b>Paltas 27</b>	1,86	52	26	22	3,00	Granular	Franco arcillo-arenoso	Normal	Bueno	0,02
<b>Paltas 28</b>	8,77	18	26	56	6,50	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Normal	Moderado	0,04
<b>Paltas 29</b>	4,75	16	24	60	7,00	Bloques sub-angulares	Arcilla pesada	Rápido	Moderado	0,06
<b>Paltas 30</b>	3,69	48	22	30	9,00	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Normal	Bueno	0,03
<b>Paltas 31</b>	4,18	50	26	24	9,50	Bloques sub-angulares	Franco arcillo-arenoso	Rápido	Bueno	0,03
<b>Paltas 32</b>	6,27	32	26	42	9,00	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Rápido	Moderado	0,04
<b>Paltas 33</b>	3,64	36	22	42	9,50	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Normal	Moderado	0,05
<b>Paltas 34</b>	4,21	16	24	60	8,00	Bloques sub-angulares	Arcilla pesada	Normal	Moderado	0,07
<b>Paltas 35</b>	3,16	38	34	28	4,50	Bloques sub-angulares	Franco arcilloso	Rápido	Moderado	0,05
<b>Paltas 36</b>	5,45	20	20	60	6,0	Bloques sub-angulares	Arcilla pesada	Rápido	Mal drenado	0,05
<b>Paltas 37</b>	5,4	22	26	52	3,50	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Rápido	Moderado	0,05
<b>Paltas 38</b>	4,83	30	30	40	8,00	Bloques sub-angulares	Arcilloso	Rápido	Moderado	0,04
<b>Paltas 39</b>	10,95	20	30	50	8,00	Bloques sub-angulares	Franco arenoso	Rápido	Moderado	0,01
<b>Paltas 40</b>	1,39	54	30	16	6,50	Bloques sub-angulares	Franco arenoso	Rápido	Bueno	0,03
<b>Paltas 41</b>	1,99	50	36	14	7,50	Bloques sub-angulares	Franco	Rápido	Bueno	0,03
<b>Paltas 42</b>	3,33	38	26	36	11,00	Bloques sub-angulares	Franco arcilloso	Rápido	Moderado	0,04

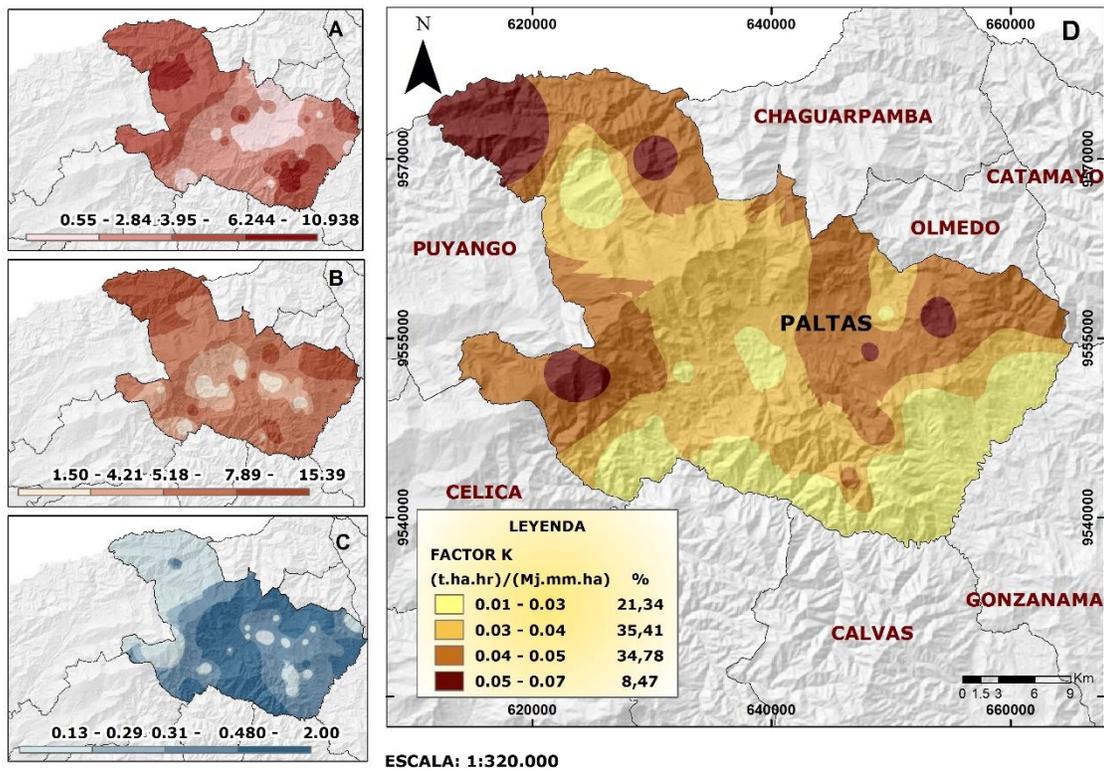
En el cuadro 4 podemos observar el rango del factor K del cantón Paltas (0,01 a 0,07). Esto significa que el desprendimiento de partículas en ciertos puntos del cantón es elevado, por lo que la escorrentía es elevada, los suelos en ciertos puntos son arcillosos. El contenido de materia orgánica, para el cantón Paltas, el valor más alto (10,95) se encuentra ubicado en la parroquia Orianga, del Cantón del Paltas, este resultado puede estar influenciado por el tipo de cobertura vegetal

(Bosque húmedo denso), debido a que el resto de valores son bajos, por lo que estos suelos están propensos a erosión y escorrentía.

#### 4.1.2.3. Mapa del factor K del cantón Paltas

En la Figura 7D del cantón Paltas, el mayor valor de factor k esta entre 0,05 a 0,07 (t.ha.hr)/(Mj.mm.ha), abarcando parte de las parroquias Guachanama, Orianga y Catacocha ocupando 9786,42 ha equivaliendo el 8,47% del territorio del cantón Paltas, por lo que se puede determinar que son suelos que presentan problemas de erosión. Por otra parte los valores que están en el rango de 0,01 a 0,03 (t.ha.hr)/(Mj.mm.ha), con una extensión de 24651,09 ha equivaliendo el 21,34% de territorio de estudio. Lo que significa que los suelos son de textura suelta (suelos medios), con porosidades que permiten el flujo de agua y aire con facilidad.

En la Figura 7A de materia orgánica, podemos mencionar que en las parroquias de Catacocha, Guachanama y Orianga, existe mayor presencia de materia orgánica, esto puede ser por factores como la cobertura vegetal, sus valores están entre 3,95 a 10,93 (t.ha.hr)/(Mj.mm.ha). Con estos valores podemos mencionar que esta zona existe baja susceptibilidad de erosión hídrica. En la Figura 7B de arena muy fina, las parroquia con mayor porcentaje son Orianga y Catacocha, con valores que van desde 7,89 a 15,39 (t.ha.hr)/(Mj.mm.ha). Por su parte la Figura 7C de permeabilidad nos muestra que, los suelos menos permeables están en la parroquia de Orianga y en parte de la parroquia Guachanama, y algunos sectores de Catacocha y Cansanga, con valores de 0,13 a 0,29 (Mj.mm)/(ha.h.año) y en el resto del cantón Platas existe mayor permeabilidad 0,31 a 2,00 (Mj.mm)/(ha.h.año) lo que hace que estos suelos sean menos propensos a erosionar.



**Figura. 8.** Mapa de materia orgánica (A); Mapa de Arena muy fina (B); mapa de permeabilidad (C) y Mapa de erodabilidad del suelo (factor K) del cantón Paltas (D).

#### 4.1.3. Base de datos del factor C.

A continuación se presentan los valores correspondientes al factor C para cada cobertura del suelo encontradas dentro de la zona de estudio, con sus respectivos códigos presentes en la leyenda del mapa de dicho factor. Los valores asignados fueron recopilados de varias investigaciones (Anexo 1) donde han utilizado la USLE y RUSLE.

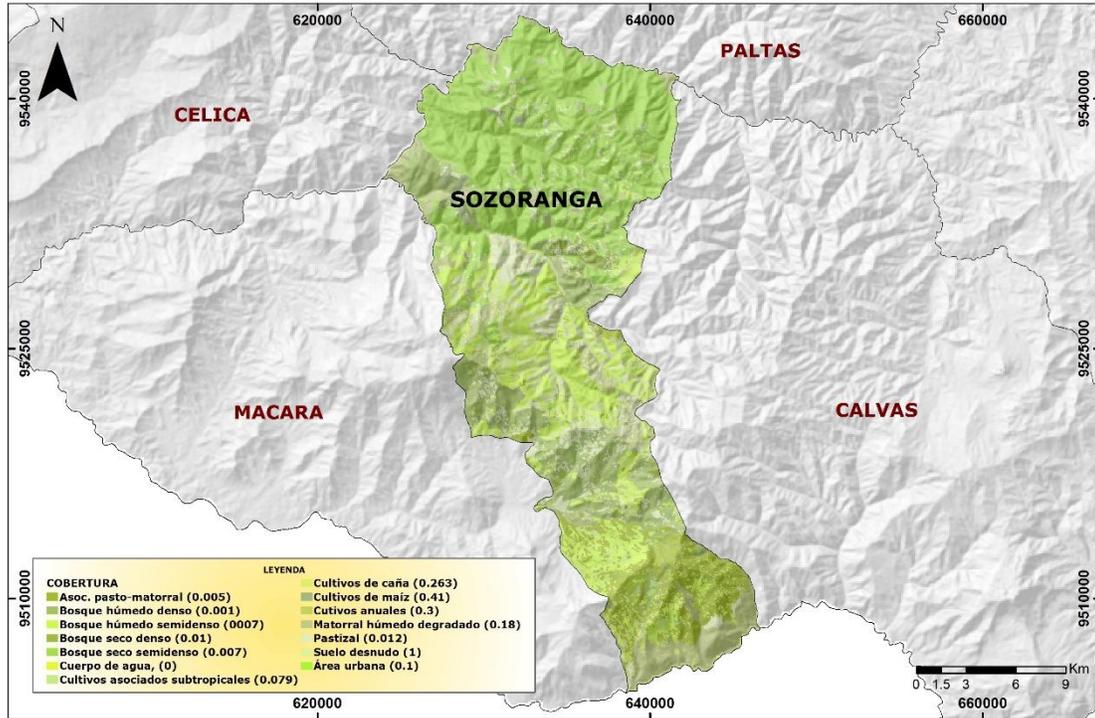
##### 4.1.3.1. Mapa del factor C del cantón Sozoranga.

El factor C, nos indica el estado de protección vegetal y el comportamiento del suelo frente al efecto de la intensidad generada por la precipitación y la disminución del efecto erosivo en el suelo.

De acuerdo al Cuadro 5 y la Figura 9, podemos determinar que el bosque seco semidenso ocupa 13735,8665 ha. Las mismas que están distribuidas en la parte norte del cantón Sozoranga, en una pequeña parte al sur, este tipo de cobertura toma un valor según Lianes, Marchamalo, & Roldán, 2009 de 0,007, este valor presenta gran significancia al momento de impedir la erosión hídrica. Luego de ello tenemos el Bosque húmedo denso con un valor del factor C, de 0,001, siendo el valor más bajo y que impide la erosión el momento de existir precipitaciones considerables. Este tipo de cobertura esta mayormente concentrado en las tres parroquias del cantón Sozoranga con un extensión de 4672,3189 ha.

Así mismo tenemos el cultivos de maíz, que cubre una extensión de 351,0071 ha, el mismo que se extiende en la parte sur del cantón Sozoranga, con un valor de factor C de 0,415, siendo un valor de ponderación muy alto, el cual no contribuye a la conservación de los suelos. Los cultivos anuales presentan un valor de Factor C de 0,3, que al igual que el cultivo de maíz no contribuyen en la conservación de los suelos, estos cultivos ocupan una extensión poca en relación al cultivo de maíz de 46,3269 ha, las mismas que están centradas en las parroquias de Nueva Fátima y Sozoranga.

Por último uno de los valores más elevados del factor C es el 1, un valor de ponderación que se da a suelos desnudos, los mismos que fueron identificados a lo largo del cantón Sozoranga, abarcando una extensión de 852,1724 ha. Cabe mencionar que estos suelos son los más perjudicados por la precipitación, ya que existe mayor facilidad del arrastre de las partículas del suelo por la lluvia.



ESCALA: 1:230.000

Figura. 9. Mapa de uso actual del suelo (factor C) del cantón Sozoranga.

**Cuadro 5.** Valores del factor C con el área de cada una de las unidades diferenciadas de cobertura vegetal.

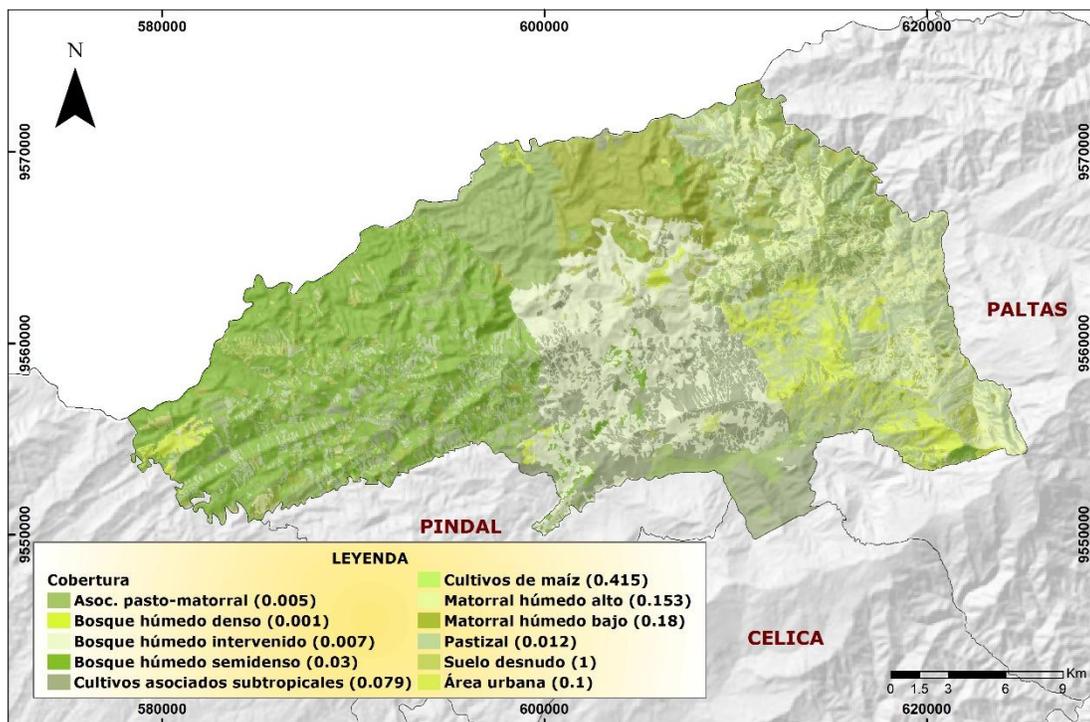
COBERTURA	Factor C	Área (ha)
Área urbana	0,1	47,69
Asoc. Pasto-matorral	0,005	3594,92
Bosque húmedo denso	0,001	4672,31
Bosque húmedo semidenso	0,007	6523,61
Bosque seco denso	0,01	336,448
Bosque seco semidenso	0,007	13735,86
Cuerpo de agua	0	46,70
Cultivos asociados subtropicales	0,079	1156,28
Cultivos de caña	0,263	634,35
Cultivos de maíz	0,415	351,00
Cultivos anuales	0,3	46,327
Matorral húmedo degradado	0,18	4816,248
Pastizal	0,012	4246,245
Suelo desnudo	1	852,172

#### **4.1.3.2. Mapa del factor C del cantón Puyango.**

En el Figura 10 y el Cuadro 6 podemos observar, los diferentes valores del factor C, para cada tipo de cobertura vegetal identificada en el cantón Puyango. El tipo de cobertura Asoc. Pasto-matorral, es el que presenta mayor extensión en todo el cantón de estudio con 10007,239 ha, las mismas que está extendidas en la parroquia el Limo, en su límite con el cantón Zapotillo. Presenta un valor del factor C de 0,005, lo que lo hace un valor de gran significancia al momento de impedir la erosión hídrica.

Seguidamente el tipo de cobertura de bosque húmedo denso con un valor de factor C de 0,001, es el valor de ponderación más bajo, evitando en estas zonas problemas de erosión hídrica, este tipo de cobertura abarca un extensión de 3253,488 ha, que están ubicadas, en las parroquias de Mercadillo, El Arenal y Alamor. El matorral húmedo bajo presenta un valor de ponderación del factor C de 0,180 en un área de 4987,095 ha, siendo un valor muy alto al igual que el Matorral húmedo alto con un área de 5741,28 ha, que toma un valor de factor C de 0,153. Al ser valores muy altos, estos suelos tienden a ser más susceptibles a la erosión hídrica por efectos de las gotas de lluvia.

Por último uno de los valores más elevados del factor C es el 1, un valor de ponderación que se da a suelos desnudos, los mismos que fueron identificados en las parroquias de Alamor, Mercadillo, Ciano, y El limo, abarcando una extensión de 1465,396 ha. Cabe mencionar que estos suelos son los más perjudicados por la precipitación, ya que existe mayor facilidad del arrastre de las partículas del suelo por la lluvia.



ESCALA: 1:175.000

Figura. 10. Mapa de uso actual del suelo (factor C) del cantón Puyango.

**Cuadro 6.** Valores del factor C con el área de cada una de las unidades diferenciadas de cobertura vegetal.

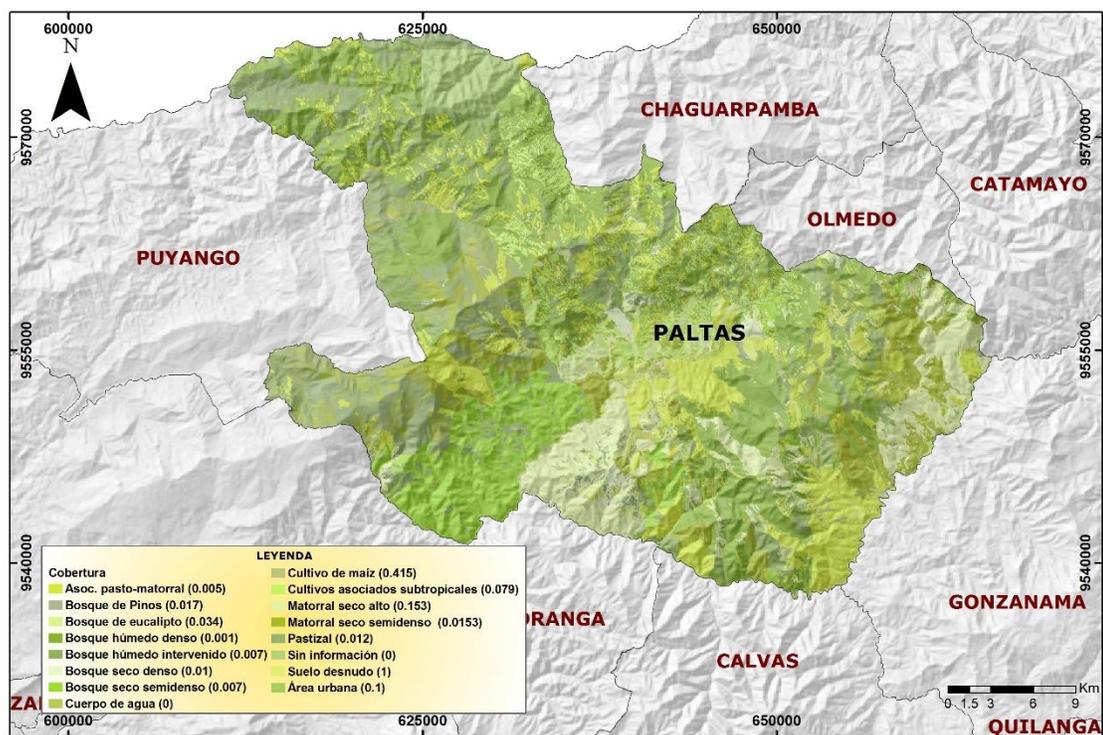
COBERTURA	Factor C	Área (ha)
Área urbana	0,1	84,31
Asoc. Pasto-matorral	0,005	10007,239
Bosque húmedo denso	0,001	3253,488
Bosque húmedo intervenido	0,007	8310,251
Bosque húmedo semidenso	0,007	14631,33
Cultivos asociados subtropicales	0,039	6417,133
Cultivos de maíz	0,415	39,219
Matorral húmedo bajo	0,180	4987,095
Matorral húmedo alto	0,153	5741,28
Pastizal	0,012	8717,604
Suelo desnudo	1	1465,396

#### **4.1.3.3. Mapa del factor C del cantón Paltas.**

Como podemos observar en la Figura 11 y Cuadro 7, se muestran todos los valores de ponderación de cada tipo de cobertura identificada en el cantón Paltas. El tipo de cobertura Asoc. Pasto-matorral, es el que ocupa mayor extensión, con un área de 17462,6877 ha, la misma que está distribuida en todo el cantón de paltas y posee un valor de ponderación de 0,005, lo que hace que exista riesgo de erosión hídrica.

Seguidamente el matorral seco alto, con un valor de factor C, presenta una valoración de 0,153, y una área de 11622,7905 ha, distribuida en todas las parroquias del Cantón Paltas con la excepción de Orianga, lo que significa que el valor de ponderación es elevado y por ende estos suelos son más propensos a sufrir erosión hídrica. Así mismo el cultivo de maíz con 1665,2542 ha, y un valor de factor C de 0,415, indica que estos suelos están, propensos a erosión, principalmente por la falta de prácticas agrícolas en la zona, lo que hace que estos suelo presenten riesgos de desprendimiento de sus partículas por efecto de las gotas de lluvia.

Por último uno de los valores más elevados del factor C es el 1, un valor de ponderación que se da a suelos desnudos, los mismos que fueron identificados con mayor presencia en las parroquias de Catacocha, Casanga y Lauro Guerrero y en el resto de parroquias en un menor porcentaje, abarcando una extensión de 2280,9425 ha. Cabe mencionar que estos suelos son los más perjudicados por la precipitación, ya que existe mayor facilidad del arrastre de las partículas del suelo por la lluvia.



ESCALA: 1:270.000

*Figura. 11.* Mapa de uso actual del suelo (factor C) del cantón Paltas.

**Cuadro 7.** Valores del factor C con el área de cada una de las unidades diferenciadas de cobertura vegetal.

COBERTURA	Factor C	Área (ha)
Área urbana	0,1	218,7365
Asoc. Pasto-matorral	0,005	17462,6877
Bosque húmedo denso	0,001	28857,066
Bosque de eucalipto	0,034	82,5697
Bosque de pinos	0,017	32,921
Bosque húmedo intervenido	0,007	4602,6902
Bosque seco denso	0,01	1180,9798
Bosque seco semidenso	0,007	9272,3181
Cuerpo de agua	0	180,397
Cultivos asociados subtropicales	0,079	5089,8182
Cultivos de maíz	0,415	1665,2542
Matorral seco semidenso	0,153	12786,4229
Matorral seco alto	0,18	11622,7905
Pastizal	0,012	17367,2638

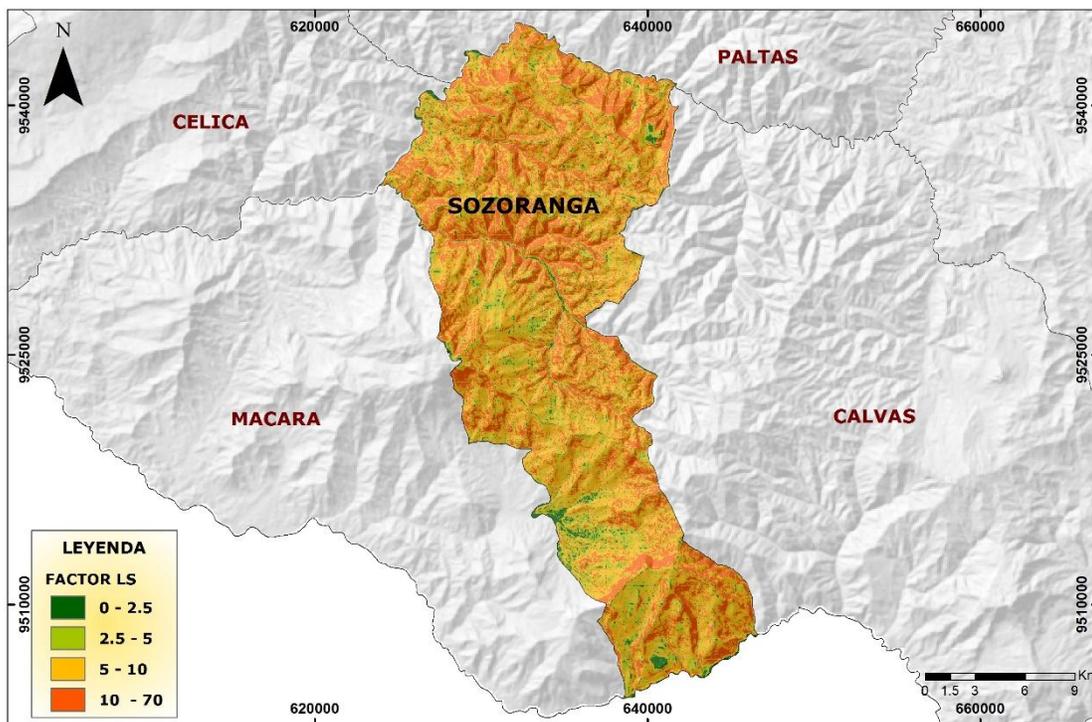
## Continuación del Cuadro 7

Suelo desnudo	1	2280,9425
---------------	---	-----------

### 4.1.4. Mapas de factor LS, factor P.

#### 4.1.4.1. Mapa del factor LS, de Sozoranga.

En la Figura 12, podemos observar que el 55,50 % corresponde a una topografía que va desde 5 a 10 y está ubicado a lo largo de todo el cantón Sozoranga, donde la rugosidad del suelo es fuerte. Y el 31,29 % corresponde a una topografía que va de 10 a 70 y está ubicado en las tres parroquias del cantón Sozoranga.

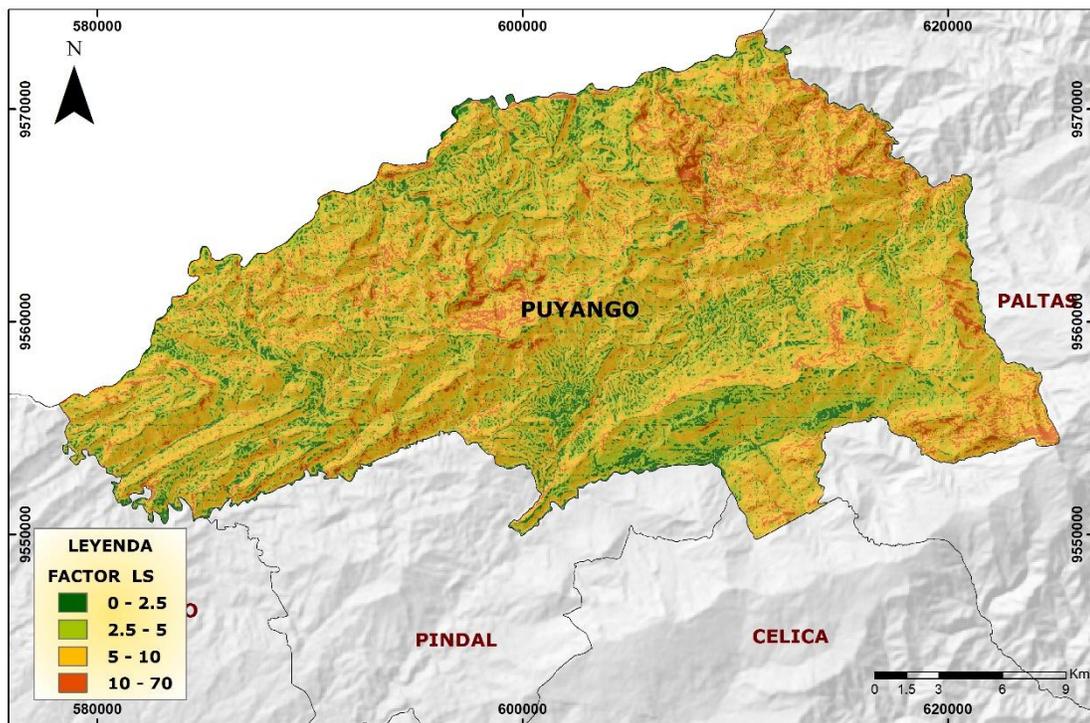


ESCALA: 1:230.000

*Figura. 12.* Mapa de la topografía del terreno (factor LS) del cantón Sozoranga.

#### 4.1.4.2. Mapa del factor LS, de Puyango.

En la Figura 13, podemos observar que el 55,90 % corresponde a una topografía que va desde 5 a 10 y está ubicado en todo el cantón Puyango, donde la rugosidad del suelo es fuerte. Y el 25,24 % corresponde a una topografía que va de 2,5 a 5 y está ubicado en todas las parroquias del cantón Puyango y el 8,06 % corresponde a una topografía 10 - 70 y se ubica en las parroquias Alamor, Mercadillo, Ciano y Vicentino.



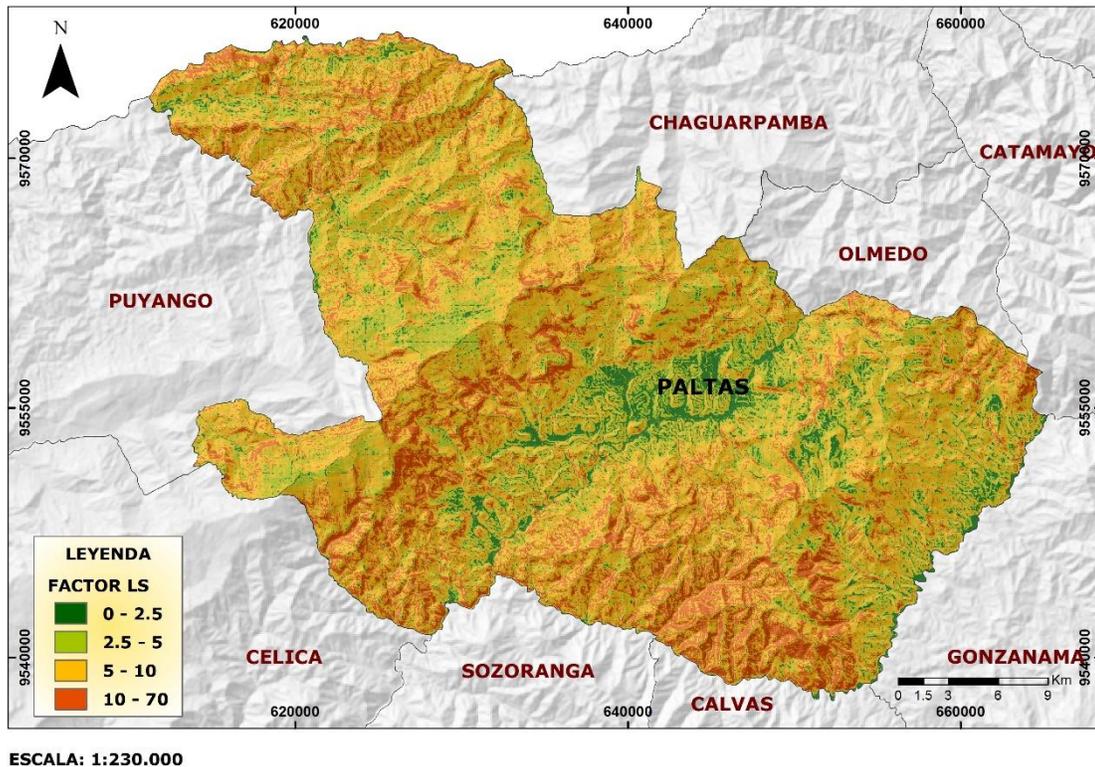
ESCALA: 1:180.000

*Figura. 13.* Mapa de la topografía del terreno (factor LS) del cantón Puyango.

#### 4.1.4.3. Mapa del factor LS, de Paltas.

En la Figura 14, podemos observar que el 55,86 % corresponde a una topografía que va desde 5 a 10 y está ubicado en todo el cantón Paltas, donde la rugosidad del suelo es fuerte. Y el 18,39 % corresponde a una topografía que va de 2,5 a 5 y está ubicado en las parroquias de Catacocha, Guachanama, Casanga, Lauro Guerrero y Orianga y el

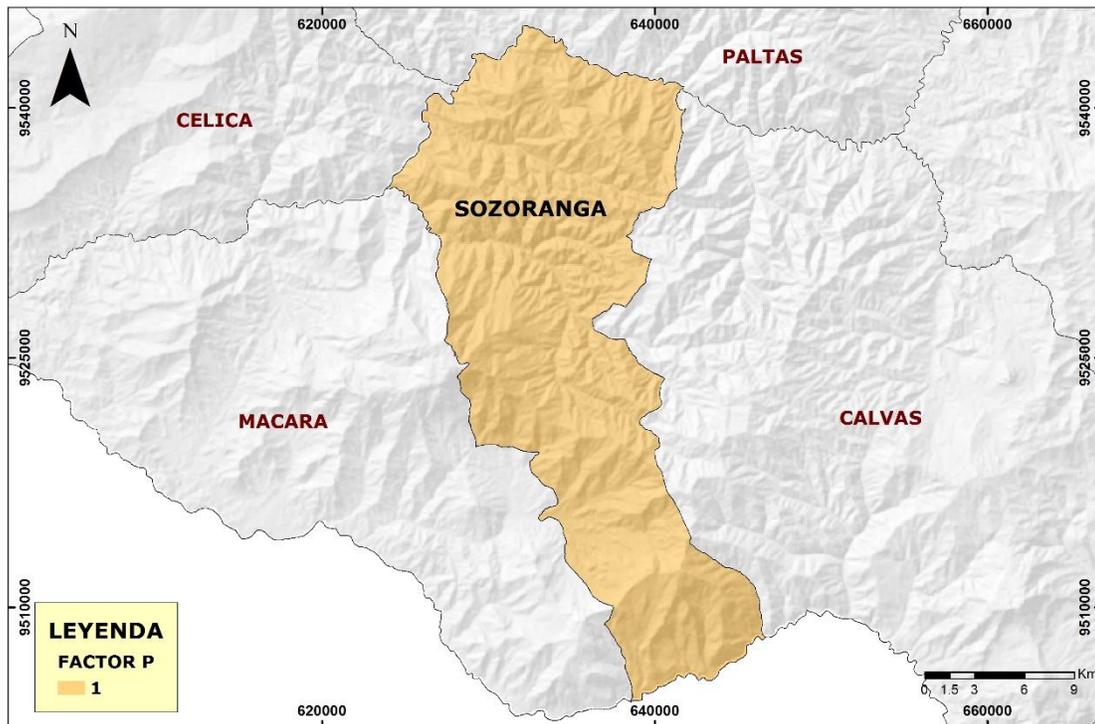
18, 68% corresponde a una topografía 10 - 70 presente en parte de todas las parroquias del cantón Paltas, con mayor presencia en la parroquia de Catacocha.



*Figura. 14.* Mapa de la topografía del terreno (factor LS) del cantón Paltas.

#### 4.1.4.4. Mapa del factor P, de Sozoranga.

Para el factor P, como podemos observar en la Figura 15, se le asignó el valor de 1, ya que en las salidas de campo para validar cobertura vegetal no se pudo evidenciar que existan prácticas agrícolas en fin de conservar los suelos y evitar la pérdida del mismo por problemas de erosión hídrica. El factor P puede o no ser incluido dentro ecuación de la RUSLE, en el caso de no existir prácticas agrícolas de conservación.



ESCALA: 1:230.000

*Figura. 15.* Mapa de prácticas agrícolas (factor P) del cantón Sozoranga.

#### 4.1.4.5. Mapa del factor P, de Puyango.

Para el factor P, como vemos en la Figura 16, se le asignó el valor de 1, ya que en las salidas de campo para validar cobertura vegetal no se pudo evidenciar que existan prácticas agrícolas en fin de conservar los suelos y evitar la pérdida del mismo por problemas de erosión hídrica. El factor P puede o no ser incluido dentro ecuación de la RUSLE, en el caso de no existir prácticas agrícolas de conservación.

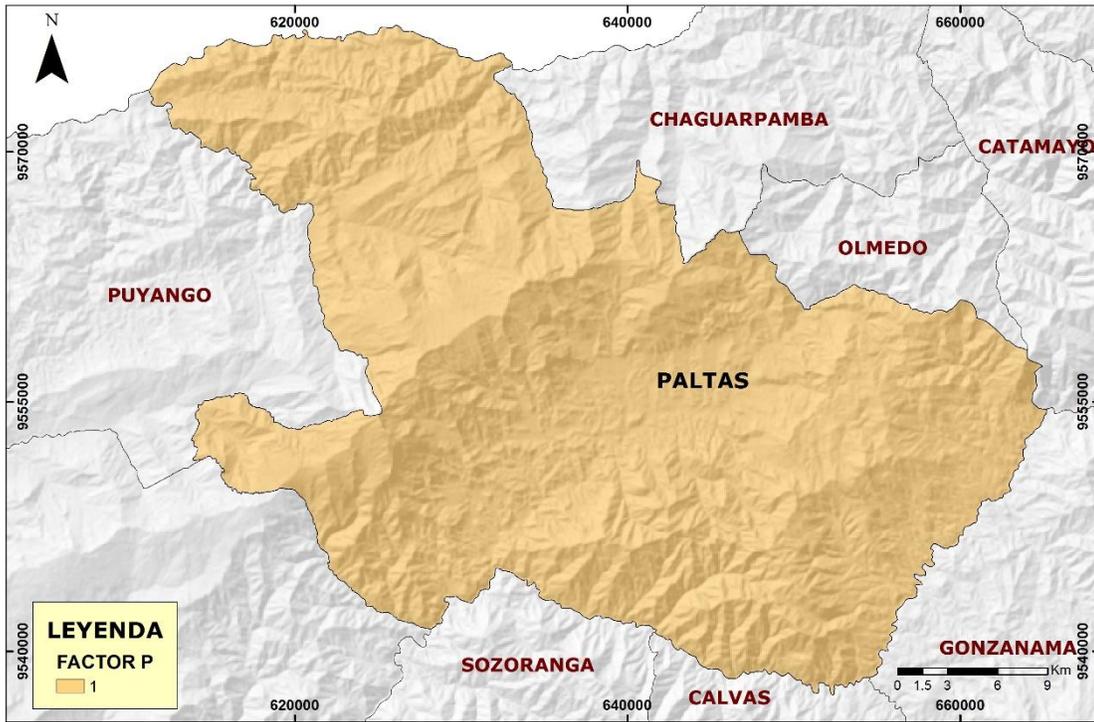


ESCALA: 1:170.000

*Figura. 16.* Mapa de prácticas agrícolas (factor P) del cantón Puyango.

#### 4.1.4.6. Mapa del factor P, de Paltas.

Para el factor P en el cantón Paltas (Figura 17) al igual que los cantones antes mencionados, se le asignó el valor de 1, ya que en las salidas de campo para validar cobertura vegetal no se pudo evidenciar que existan prácticas agrícolas en fin de conservar los suelos y evitar la pérdida del mismo por problemas de erosión hídrica. El factor P puede o no ser incluido dentro ecuación de la RUSLE, en el caso de no existir prácticas agrícolas de conservación.



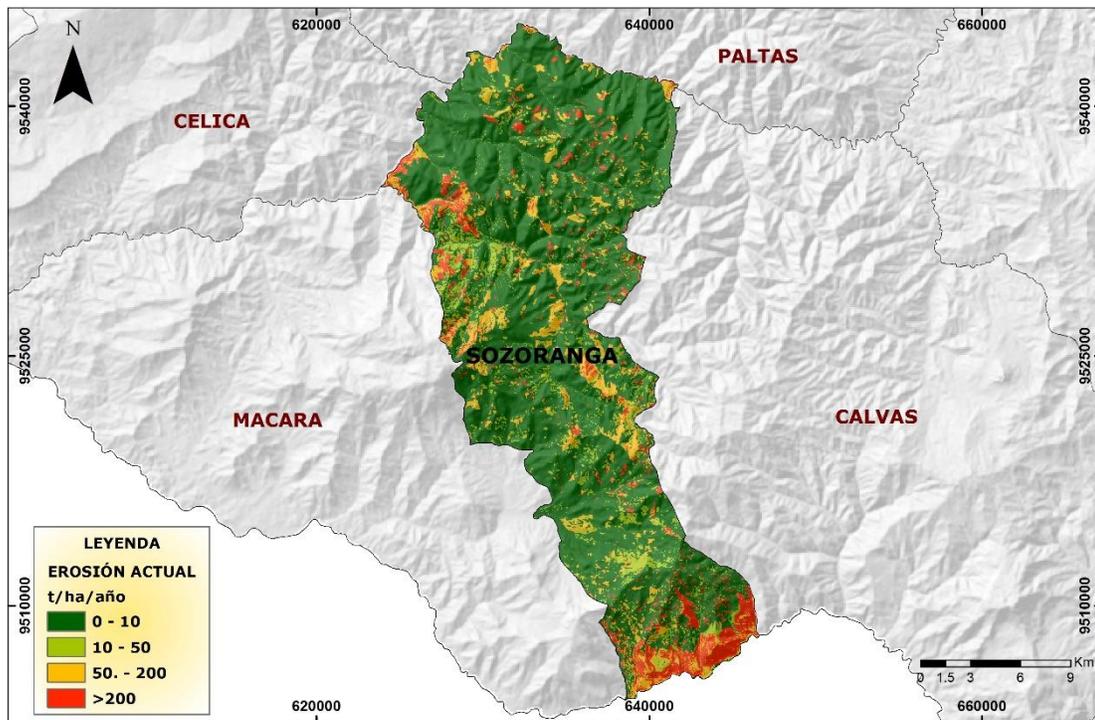
ESCALA: 1:230.000

*Figura. 17.* Mapa de prácticas agrícolas (factor P) del cantón Paltas.

#### 4.1.5. Erosión hídrica actual.

##### 4.1.5.1. Mapa de erosión actual del cantón Sozoranga.

En la Figura 18 y en el Cuadro 8, se muestra cómo está distribuida la erosión actual en el cantón Sozoranga, para lo cual se agrupó empleado la Clasificación Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos confeccionada por la F.A.O., P.N.U.M.A. y U.N.E.S.C.O. según Jiménez, (2014). En el Cuadro 9, se detalla la pérdida del suelo, a lo largo de cada parroquia del cantón Sozoranga.



ESCALA: 1:230.000

*Figura. 18.* Erosión actual del cantón Sozoranga.

**Cuadro 8.** Pérdida de suelo, grado de erosión y área que ocupa dentro del cantón Sozoranga.

Pérdidas de suelo (Tn/ha/año)	Área (ha)	Porcentaje (%)
< 10	30705,13	74,90
10 – 50	3131,78	7,60

**Continuación del Cuadro 8**

50 – 200	3821,37	9,60
> 200	3221,10	7,90

**Cuadro 9.** Pérdidas de suelo, área y porcentaje a nivel parroquial del cantón Sozoranga.

Categoría	Pérdidas del suelo (Tn/ha/año)	Área	Área	Área	Área	Área	Área
		(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
		P. Tacamoros		P. Sozoranga		P. Nueva Fátima	
Ligera	0 – 10	4466,66	58,90	23378,56	81,20	2854,59	61,80
Moderada	10 – 50	692,39	9,10	1725,09	6,00	716,87	15,50
Alta	50 – 200	865,98	11,40	2314,39	8,10	741,04	16,10
Muy alta	>200	1556,94	20,50	1357,61	4,70	306,96	6,60

Como podemos observar en los cuadros 8 y 9 de la Figura 18, los valores,  $<10 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  se encuentran distribuidos a lo largo del cantón Sozoranga, en las parroquias de Nueva Fátima con 2854,59 ha con un porcentaje de 61,80% y Tacamoros con 4466,66 ha con un porcentaje de 58,90%. Abarcando una extensión de 30705.13 ha equivaliendo a un 74,90% del territorio del cantón Sozoranga. Las pérdidas de suelo son bajas debido a que algunos factores influyen para detener la erosión como el tipo de cobertura vegetal, como es el bosque seco denso - denso, bosque húmedo denso, además por presentar lugares en que la pendiente no es muy pronunciada, por otro lado a pesar de que las precipitaciones son elevadas en esta zona, la presencia de cobertura vegetal impide que exista un mayor riesgo de erosión hídrica.

Seguidamente tenemos pérdidas de suelo que van de 10 a 50  $\text{t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ , las mismas que ocupan un área de 3131,78 hectáreas que abarca, 7,60% del territorio ubicándose en pequeñas partes de las parroquias de Sozoranga con 1725,09,14 ha equivaliendo el 6% del territorio de la parroquia, así mismo en Nueva Fátima 716,87 ha equivaliendo el 15,50% del territorio de la parroquia y Tacamoros con 692,39 ha equivaliendo el 9,10% del territorio de la parroquia, para este caso las condiciones de

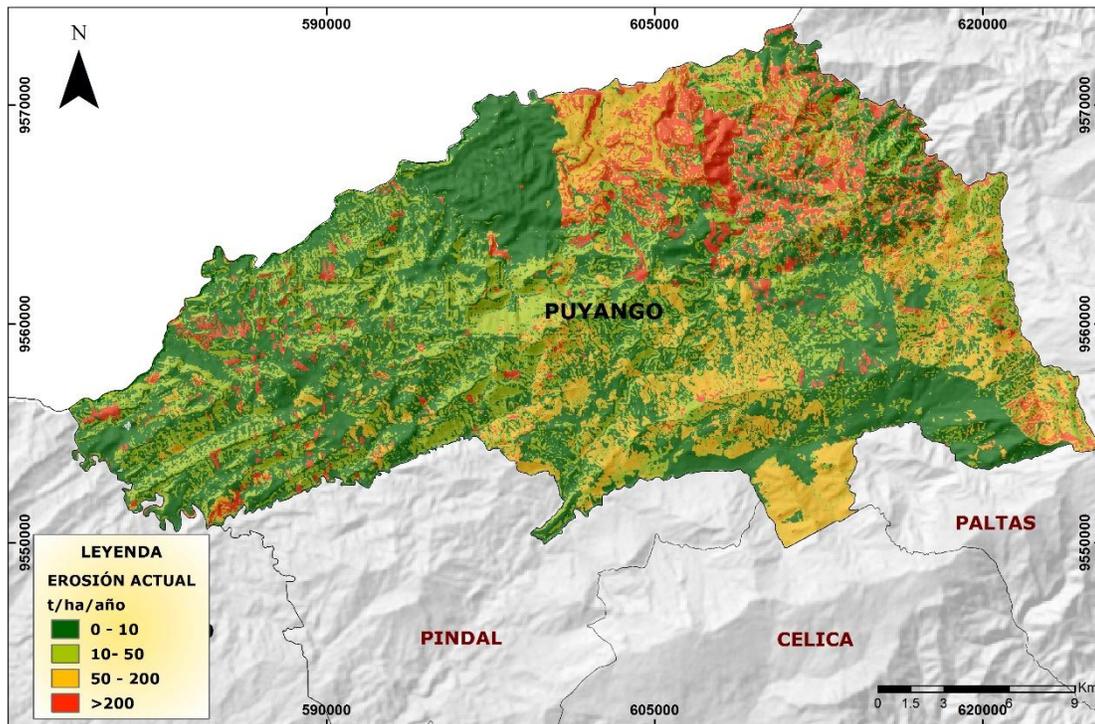
precipitación son similares a las anteriores, en el tipo de cobertura vegetal está en su mayoría por bosque húmedo seco semidenso y bosque húmedo semidenso, estas condiciones ayuda a que no exista un elevado pronunciamiento de erosión hídrica.

Se ubican pérdidas de erosión que van de 50 a 200 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> abarcando un área de 3821,37 lo que equivale 9,60% del territorio del cantón Sozoranga, se encuentran en pequeñas partes a lo largo del cantón Sozoranga, con presencia en la parroquia de Tacamoros con 865,98 ha equivaliendo 11,40% del territorio parroquial, en la parroquia Nueva Fátima con 741,04 ha equivaliendo el 16,10% del territorio parroquial y en la parroquia de Sozoranga con 2314,39 ha equivaliendo el 8,10% del territorio parroquia. Su grado de erosión se debe principalmente a que en estas zonas hay presencia de cultivos de maíz, cultivos asociados subtropicales, cultivos anuales, cultivos de caña y matorral húmedo degradado, con fuertes pendientes e iguales condiciones de lluvia indicados en los párrafos anteriores. Cabe mencionar que en esto puntos son las zonas con alta susceptibilidad a la erosión hídrica.

Por último tenemos la erosión del suelo mayor a 200 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> con un extensión de 3221,10 ha, abarcando el 7,90% del territorio. Este tipo de erosión está ubicada en sectores de suelo desnudo, cultivos de maíz y en ríos y quebradas, se ubica principalmente en mayor porcentaje en la parroquia de Tacamoros con 1556,94 ha en frontera con la república del Perú equivaliendo a 20,50% del territorio parroquial. Al presentarse, fuertes precipitaciones y al tener una pendiente elevada, existe una elevada erosión hídrica en estos lugares. En esto puntos son las zonas con muy alta susceptibilidad a la erosión hídrica.

#### **4.1.5.2. Mapa de erosión actual del cantón Puyango**

En la Figura 19 y el Cuadro 10 se muestra cómo está distribuida la erosión actual en el cantón Puyango, para lo cual se agrupó empleado la Clasificación Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos confeccionada por la F.A.O., P.N.U.M.A. y U.N.E.S.C.O. según Jiménez, (2014) . En el Cuadro 11, se detalla la pérdida del suelo, a lo largo de cada parroquia del cantón Puyango.



ESCALA: 1:175.000

*Figura. 19.* Erosión actual del cantón Puyango

**Cuadro 10.** Pérdida de suelo, grado de erosión y área que ocupa dentro del cantón Puyango.

Pérdidas de suelo (t/ha/año)	Área (ha)	Porcentaje (%)
< 10	30140,83	47,40
10 – 50	16278	25,60
50 – 200	10498,62	16,50
> 200	6654,97	10,50

**Cuadro 11.** Pérdidas de suelo, área y porcentaje a nivel parroquial del cantón Puyango.

Categoría	Pérdidas del suelo (Tn/ha/año)	Área	Área	Área	Área	Área	Área	Área	Área	Área	Área	Área	Área
		(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
		P. El Limo		P. Alamor		P. Ciano		P. Mercadillo		P. El Arenal		P. Vicentino	
Ligera	0 – 10	11348,79	55,90	10102,19	42,40	3097,16	38,20	2436,89	86,50	1859,51	65,60	1282,66	22,70
Moderada	10 – 50	7196,09	35,40	4612,69	19,40	1557,29	19,20	300,16	10,70	746,15	26,30	1868,22	33,00
Alta	50 – 200	677,27	3,30	6552,25	27,50	1234,55	15,20	68,87	2,40	53,61	1,90	1912,07	33,80
Muy alta	>200	1091,48	5,40	2460,02	10,70	2219,12	27,40	11,88	0,40	176,18	6,20	595,68	10,50

Como podemos observar en los cuadros 10 y 11 de la Figura 19, los valores,  $<10 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  se encuentran distribuidos en todas las parroquias del cantón Puyango, con mayor presencia en las parroquias de Alamor con 11348,79 ha equivaliendo al 42,40% del territorio parroquia, Mercadillo con 2436,89 ha equivaliendo el 86,50 y en pequeño porcentaje en las parroquias de El Limo, El Arenal, Ciano y Vicentino. El cantón Puyango abarca una extensión de 30140,83 equivaliendo a un 47,40% de la pérdida de suelo  $<10$ . Las pérdidas de suelo son bajas debido a que algunos factores influyen para detener la erosión como el tipo de cobertura vegetal, como es el bosque húmedo denso e intervenido, además por presentar lugares en que la pendiente no es muy pronunciada, por otro lado las precipitaciones no son elevadas en esta zona, y la presencia de cobertura vegetal impide que exista un mayor riesgo de erosión hídrica.

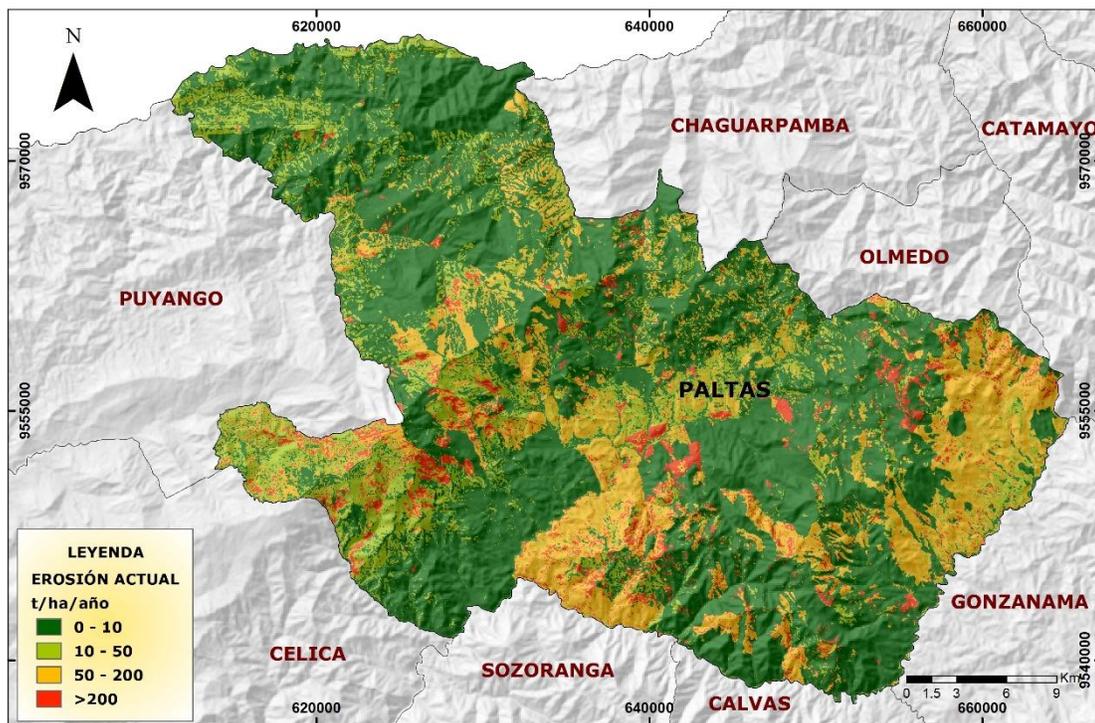
Seguidamente tenemos pérdidas de suelo que van de 10 a 50 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>, las mismas que ocupan un área de 16278 hectáreas que abarca, 25,60%, siendo el valor más alto en relación al área del cantón Puyango se ubica en el territorio de las parroquias de El Limo con 7196,09 ha equivaliendo el 35,40% del territorio de la parroquia, y parte de Alamor con 4612,69 ha equivaliendo el 19,40%, el resto de parroquias presentan un porcentaje menor, para este caso las condiciones de precipitación son similares a las anteriores, en el tipo de cobertura vegetal está en su mayoría por bosque húmedo semidenso, estas condiciones ayuda a que no exista un elevado pronunciamiento de erosión hídrica.

Se ubican pérdidas de erosión que van de 50 a 200 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> abarcando un área de 10498,62 ha, lo que equivale 16,50%, se encuentran en pequeñas partes a lo largo del cantón Puyango, específicamente, en las parroquias de Alamor con 6552,25 ha equivaliendo el 27,50%, Ciano con 1234,55 ha, equivaliendo el 15,20% y Vicentino con 1912,68 ha, equivaliendo el 33,80%, estos porcentajes equivalen al territorio parroquial. Su grado de erosión se debe principalmente a que en estas zonas hay presencia de cultivos de asociados subtropicales y matorral húmedo alto, pastizal, con fuertes pendientes, la presencia de lluvias es elevada por ende existe mayor presencia de erosión hídrica en el lugar. Cabe mencionar que en estos puntos son las zonas con alta susceptibilidad a la erosión hídrica.

Por último tenemos la erosión del suelo mayor a 200 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> con un extensión de 6654,97 ha, abarcando el 10,50% del territorio, es el menor porcentaje en relación al área del cantón. Este tipo de erosión está ubicada en sectores de suelo desnudo, en ríos y quebradas, se ubica a lo largo del cantón Puyango principalmente en mayor porcentaje en la parroquia de Ciano con 2219,12 ha, equivaliendo el 27,40% y Alamor con 2460,02 ha equivaliendo el 10,70%. Al presentarse, fuertes precipitaciones y al tener una pendiente elevada, existe una elevada erosión hídrica en estos lugares. En estos puntos son las zonas con muy alta susceptibilidad a la erosión hídrica.

#### 4.1.5.3. Mapa de erosión actual del cantón Paltas.

En la Figura 20 y el Cuadro 12, se muestra como está distribuida la erosión actual en el cantón Puyango, para lo cual se agrupó empleado la Clasificación Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos confeccionada por la F.A.O., P.N.U.M.A. y U.N.E.S.C.O. según Jiménez, (2014). En el Cuadro 13, se detalla la pérdida del suelo, a lo largo de cada parroquia del cantón Paltas.



ESCALA: 1:230.000

*Figura. 20.* Erosión actual del cantón Paltas

**Cuadro 12.** Pérdida de suelo, grado de erosión y área que ocupa dentro del cantón Paltas.

Pérdidas de suelo (t/ha/año)	Área (ha)	Porcentaje (%)
< 10	69910,34	60,60
10 – 50	17123,06	14,80
50 – 200	22228,94	19,30
> 200	6093,11	5,30

**Cuadro 13.** Pérdidas de suelo, área y porcentaje a nivel parroquial del cantón Paltas.

Categoría	Perdidas del suelo												
	(Tn/ha/año)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
	P. Lauro Guerrero			P. Cangonama		P. San Antonio		P. Yamana		P. Casanga		P. Catacocha	
<b>Ligera</b>	0 – 10	6445,12	65,40	3331,19	75,80	2548,49	72,30	1030,70	45,80	2158,99	41,30	24462,40	55,50
<b>Moderada</b>	10 – 50	941,98	9,60	372,89	8,50	450,34	12,80	581,41	25,90	1189,96	22,80	2968,02	6,80
<b>Alta</b>	50 – 200	2146,37	21,80	661,23	15,00	499,88	14,20	557,34	24,80	1548,89	29,70	13359,61	30,30
<b>Muy alta</b>	>200	319,94	3,20	31,64	0,70	24,24	0,70	81,41	3,60	236,03	6,20	3267,25	7,40
	<b>P. Orianga</b>			<b>P. Guachanama</b>									
<b>Ligera</b>	0 – 10	14645,46	72,20	15269,89	55,10								
<b>Moderada</b>	10 – 50	3348,13	16,50	7275,73	26,20								
<b>Alta</b>	50 – 200	150,8	0,70	3306,56	11,90								
<b>Muy alta</b>	>200	152,77	0,80	1890,59	6,80								

Como podemos observar en el Cuadro 12 y 13 de la Figura 20, los valores,  $<10 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  se encuentran distribuidos a lo largo de todo el cantón Paltas, con una extensión de 69910,34 equivaliendo a un 60,60% del territorio del cantón Paltas. Las pérdidas de suelo son bajas debido que algunos factores influyen para detener la erosión como el tipo de cobertura vegetal, como es el bosque húmedo denso y bosque húmedo intervenido, además por presentar lugares en que la pendiente no es muy pronunciada, también es necesario mencionar que existir elevadas precipitaciones en ciertos lugares, existe mayor riesgo de erosión hídrica, teniendo en cuenta que la vegetación cumple un rol fundamental al retener las gotas de lluvia.

Seguidamente tenemos pérdidas de suelo que van de 10 a  $50 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ , las mismas que ocupan un área de 17123,06 ha que abarca, 14,80% del territorio ubicándose en pequeñas partes de las parroquias de Yamana con 581,41 ha, abarcando el 25,90%, Guachanama con 7275,73 ha, equivaliendo el 26,20% y Casanga con 1189,96 equivaliendo el 22,80%, el porcentaje está basado en relación al territorio de cada parroquia. Para este caso las condiciones de precipitación son fuertes, aunque cabe mencionar que el tipo de cobertura vegetal está en su mayoría por bosque seco semidenso, bosque de eucaliptos y bosque de pinos, ayudan a que no exista un elevado pronunciamiento de erosión hídrica.

Por otro lado se ubican pérdidas de erosión que van de 50 a  $200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  abarcando un área de 22228,94 ha, lo que equivale 19,3%, con mayor presencia en las parroquias de Catacocha con 13359,61 ha y Casanga ,con 1548,89 ha, equivaliendo el 29,70, su grado de erosión se debe principalmente a que en estas zonas hay presencia de cultivos de maíz, cultivos asociados subtropicales, Matorral seco semidenso, Matorral seco alto, pastizal, con fuertes pendientes y con condiciones de precipitación un poco elevadas. Por ende se puede observar en la Figura 20 como está distribuida la erosión hídrica en el cantón Puyango.

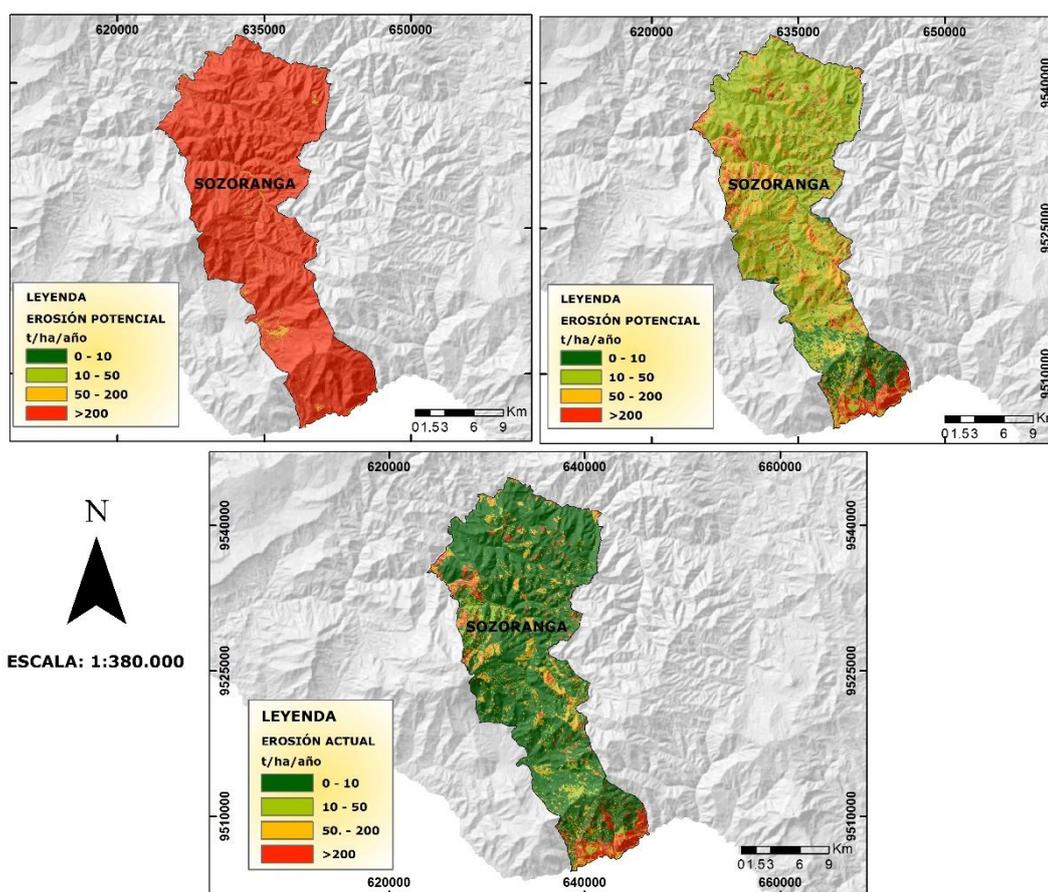
Por ultimo tenemos la erosión del suelo mayor a  $200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  con un extensión de 6093,11 ha, abarcando el 5,30% del territorio. Este tipo de erosión está ubicada en sectores de suelo desnudo, cultivos de maíz y en ríos y quebradas, se ubica principalmente en mayor porcentaje en la parroquia de Catacocha con 3267,25

ha, equivaliendo el 7,4%, Casanga con 236,03 ha, equivaliendo el 6,2% y Guachanama con 1890,59 ha, equivaliendo el 6,80%. Al presentarse, fuertes precipitaciones y al tener una pendiente elevada, existe una elevada erosión hídrica en estos lugares. En esto puntos son las zonas con muy alta susceptibilidad a la erosión hídrica.

#### 4.1.6. Erosión hídrica potencial.

##### 4.1.6.1. Mapa de erosión potencial y escenarios futuros negativos.

Para determinar la erosión potencial del cantón Sozoranga, se la realizó en dos escenarios negativos, en primer escenario solo se hizo uso de los factores R, LS, K, no se utilizó los factores C y P, debido a que estos representan actividades favorables al proceso erosivo y en la medida en que se creen prácticas de conservación la erosión potencial tiende a reducir a valores considerable (Figura 21A). El segundo mapa, se realizó con escenario negativo para la cobertura vegetal que implica un grado de degradación (Figura 21B). En el Cuadro 14, se detalla la pérdida del suelo, el área y porcentajes de la erosión potencial del cantón Sozoranga, en dos escenarios negativos.



**Figura. 21.** Erosión potencial del cantón Sozoranga sin cobertura vegetal (A), con cobertura vegetal degradada (B) y mapa de erosión actual (C).

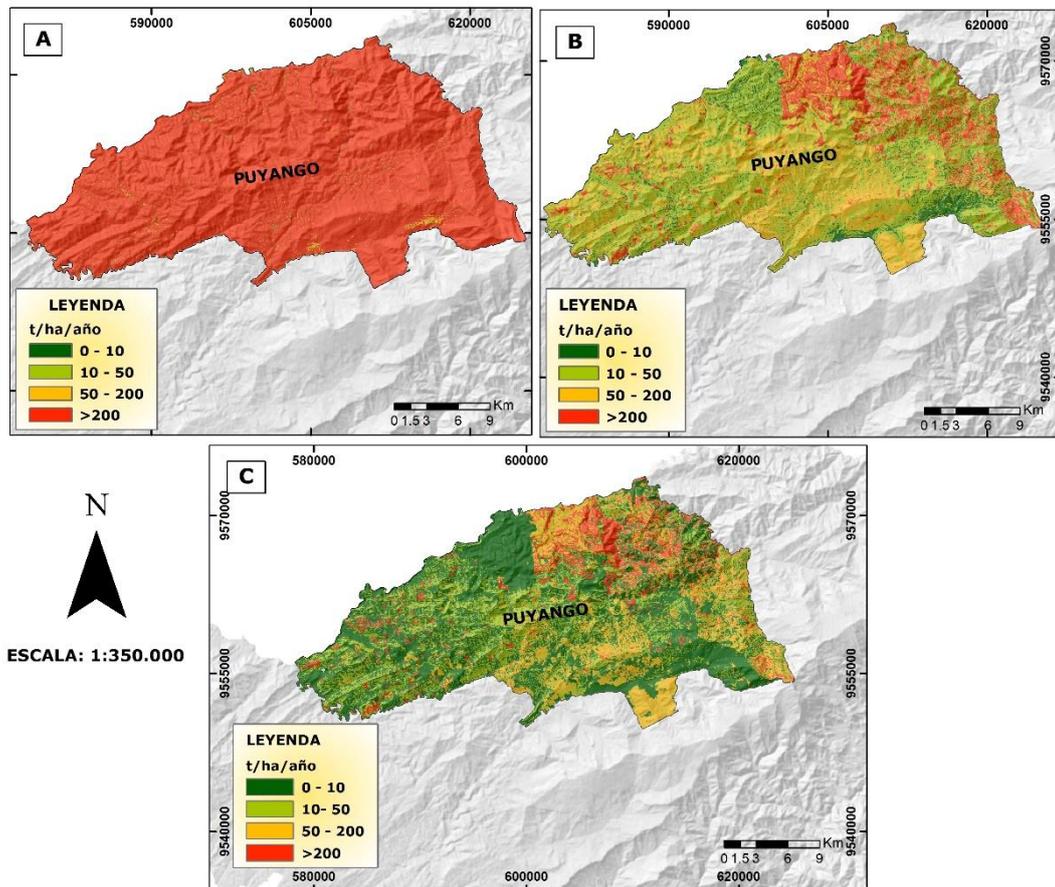
**Cuadro 14.** Pérdida de suelo por erosión hídrica en el cantón Sozoranga.

<b>Pérdidas de suelo (Tn97,6/ha/año)</b>	<b>Susceptibilidad a Erosión Hídrica</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>Pérdida del Suelo, sin factor C (%)</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>Pérdida del suelo, con factor C degradado (%)</b>
< 10	Ligera	18,89	0,05	4369,43	10,70
10 – 50	Moderada	86,09	0,20	23703,81	57,80
50 – 200	Alta	831,25	2,00	8830,95	21,60
> 200	Muy alta	40048,53	97,70	4072,63	9,90

Como podemos observar en el primer escenario de la Figura 21 (A) y el Cuadro 14, casi la totalidad el territorio del cantón Sozoranga presenta una susceptibilidad muy alta a la erosión hídrica con un 97,70%, y alta con 2% Moderada con el 0,20% y Ligera con el 0,05%. Estos se deben principalmente a las pendientes muy pronunciadas, y las elevadas precipitaciones que se dan en la Zona, así como también la estructura y permeabilidad que presentan los suelos. Por otra parte en el segundo escenario de la Figura 22B y el Cuadro 14 en la que se utilizó los factores R, LS, K y C este último con ponderación alta de cobertura degradada, obteniendo mayor pérdida de suelo de 10 -50, lo que equivale a una susceptibilidad de erosión hídrica de moderada, el territorio que abarca es de 23703,81 ha, representando el 57,80%. En menor cantidad se encuentre en la parroquia de Tacamoros con 4072,63 ha lo que corresponde al 9,90% del territorio parroquial. Al comparar esto datos con el mapa de erosión actual, podemos observar que en el primer escenario (A), el 97,70% presenta una erosión muy alta y en el segundo escenario (B) presenta mayor erosión moderada, y en la erosión actual (C), presenta mayor erosión ligera, denotando la influencia de la cobertura vegetal en la degradación del suelo por efectos de la lluvia.

#### 4.1.6.2. Mapa de erosión potencial del cantón Puyango.

Para el caso de la erosión potencial del cantón Puyango, se realizó al igual que el cantón Sozoranga, en dos escenarios, en el primer escenario solo se hizo uso de los factores R, LS, K, no se utilizó los factores C y P, debido a que estos representan actividades favorables del proceso erosivo y en la medida en que se creen prácticas de conservación la erosión potencial tiende a reducir a valores considerables (Figura 22A). El segundo mapa, se realizó con escenario negativo para la cobertura vegetal que implica un grado de degradación (Figura 22B). En el Cuadro 15, se detalla la pérdida del suelo, el área y porcentajes de la erosión potencial del cantón Puyango, en dos escenarios negativos.



**Figura. 22.** Erosión potencial del cantón Puyango sin cobertura vegetal (A), con cobertura vegetal degradada (B) y mapa de erosión actual (C).

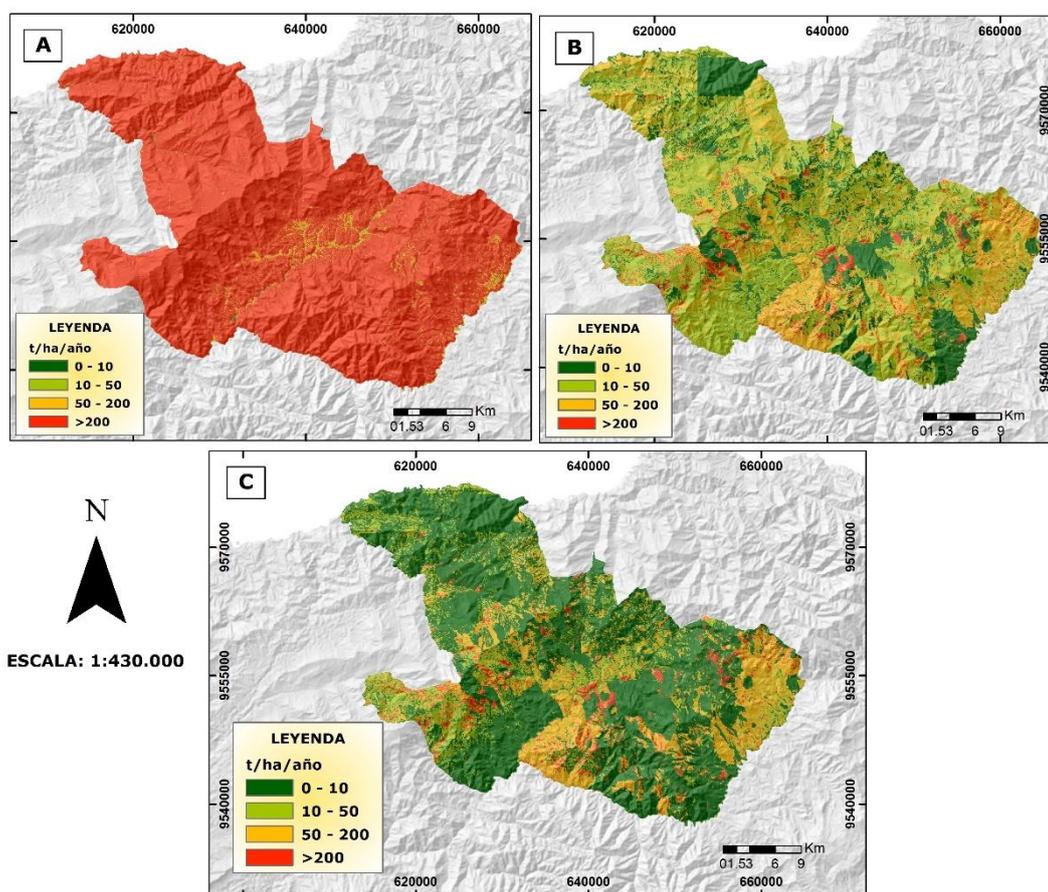
**Cuadro 15.** Pérdida de suelo por erosión hídrica en el cantón Puyango.

<b>Pérdidas de suelo (t/ha/año)</b>	<b>Susceptibilidad a Erosión Hídrica</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>Pérdida del Suelo, sin factor C (%)</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>Pérdida del suelo, con factor C degradado (%)</b>
<b>&lt; 10</b>	Ligera	100,68	0,20	4612,097	7,30
<b>10 – 50</b>	Moderada	136,25	0,20	831126,46	49,00
<b>50 – 200</b>	Alta	1277,19	2,00	17442,12	27,40
<b>&gt; 200</b>	Muy alta	62192,02	97,60	10389,16	16,30

Como podemos observar la Figura 22 y el Cuadro 15, en el primer escenario negativo (A), casi la totalidad el territorio del cantón Puyango presenta una susceptibilidad muy alta a la erosión hídrica con un 97,60%, y alta con 2% Moderada con el 0,20% y Ligera con el 0,20%. Estos se deben principalmente a las pendientes muy pronunciadas, y las elevadas precipitaciones que se dan en la Zona, así como también la estructura y permeabilidad que presentan los suelos. Por otra parte en el segundo escenario (B) de la Figura 22 y el Cuadro 15 en la que se utilizó los factores R, LS, K y C este último con ponderación alta de cobertura degradada, obteniendo mayor pérdida de suelo de 10 -50, lo equivale a una susceptibilidad de erosión hídrica de moderada, el territorio que abarca es de 831126,46 ha, representando el 49%. En menor cantidad se encuentra en las parroquias de Ciano y Alamar con 10389,16 ha lo que corresponde al 16,30% del territorio parroquial. Al comparar esto datos con el mapa de erosión actual (C), podemos observar que en el primer escenario, el 97,60% presenta una erosión muy alta y en el segundo escenario presenta mayor erosión moderada, y en la erosión actual (C), presenta mayor erosión ligera, denotando la influencia de la cobertura vegetal en la degradación del suelo por efectos de la lluvia.

#### 4.1.6.3. Mapa de erosión potencial del cantón Paltas.

La erosión potencial del cantón Paltas se realizó en dos escenarios (A y B), como en los cantones antes mencionados, en el primero escenario (A) se hizo uso de los factores R, LS, K, no se utilizó los factores C y P, debido a que estos representan actividades favorables del proceso erosivo y en la medida en que se creen prácticas de conservación la erosión potencial tiende a reducir a valores considerables (Figura 23A). El segundo mapa, se realizó con escenario negativo para la cobertura vegetal que implica un grado de degradación (Figura 23B). En el Cuadro 16, se detalla la pérdida del suelo, el área y porcentajes de la erosión potencial del cantón Paltas, en dos escenarios negativos.



**Figura. 23.** Erosión potencial del cantón Paltas sin cobertura vegetal (A), con cobertura vegetal degradada (B) y mapa de erosión actual (C).

**Cuadro 16.** Pérdida de suelo por erosión hídrica en el cantón Paltas.

Pérdidas de suelo (t/ha/año)	Susceptibilidad a Erosión Hídrica	Área (Ha)	Pérdida del Suelo, sin factor C (%)	Área (Ha)	Pérdida del suelo, con factor C degradado (%)
< 10	Ligera	107,46	0,10	26485,31	23,00
10 – 50	Moderada	438,25	0,40	52851,33	45,80
50 – 200	Alta	3713,58	3,20	29888,08	25,90
> 200	Muy alta	111099,33	96,30	6127,82	5,30

Como podemos observar la Figura 23 y Cuadro 16, en el primer escenario negativo (A), casi la totalidad el territorio del cantón Paltas presenta una susceptibilidad muy alta a la erosión hídrica con un 96,30%, y alta con 3,20% Moderada con el 0,40% y Ligera con el 0,10%. Estos se deben principalmente a las pendientes muy pronunciadas, y las elevadas precipitaciones que se dan en la Zona, así como también la estructura y permeabilidad que presentan los suelos. Por otra parte en el segundo escenario (B) de la Figura 23 y el Cuadro 16 en la que se utilizó los factores R, LS, K y C este último con ponderación alta de cobertura degradada, obteniendo mayor pérdida de suelo de 10 -50, lo equivale a una susceptibilidad de erosión hídrica de moderada, el territorio que abarca es de 52851,33 ha, representando el 45,80%. En menor cantidad se encuentra en las parroquias de Guachanama y Catacocha con 6127,82 ha lo que corresponde al 5,30% del territorio parroquial. Al comparar esto datos con el mapa de erosión actual (C), podemos observar que en el primer escenario, el 96,30% presenta una erosión muy alta y en el segundo escenario presenta mayor erosión moderada, y en la erosión actual (C), presenta mayor erosión ligera, denotando la influencia de la cobertura vegetal en la degradación del suelo por efectos de la lluvia.

#### **4.2. Alternativas adecuadas de manejo y uso del suelo en las diferentes categorías de erosión.**

Los daños que provoca la erosión no solo se manifiestan donde ella se produce, sino en diferentes posiciones del ecosistema (Hill et al., 2015). La erosión así planteada afecta la producción de los cultivos, causando la degradación de tierras que es un fenómeno de gran interés mundial, al igual que otros como el cambio

climático, la pérdida de biodiversidad, la escasez de agua y las sequías (Huerta & Loli, 2014). Conforme la pendiente disminuye, esa presión es menor y los materiales son entonces mayoritariamente evacuados por el efecto de arrastre del agua. Se ha establecido que la vegetación influye sobre la erosión aumentando la estabilidad de los agregados del suelo y la propia coherencia del suelo, protegiéndolo del impacto de las gotas de agua, incrementando la capacidad de infiltración y frenando la escorrentía (García, 2004).

Una de las alternativas propuestas para contrarrestar la erosión hídrica presente en los cantones de Sozoranga, Puyango y Paltas, es modificar el factor P, de prácticas de conservación con una valoración de 1 utilizada inicialmente, debido a que no se evidenciaron prácticas agrícolas en la zona. Según Mancilla, (2008), el empleo de prácticas de conservación en el suelo disminuye el efecto del flujo de agua, por lo que la USLE incluye el factor P para tres situaciones:

- El empleo de labranza siguiendo curvas de nivel (cultivo en contorno).
- El empleo de fajas de cultivo en contorno.
- El empleo de terrazas

El cultivo en contorno es el más utilizado en el sector forestal, dado que las plantaciones se establecen siguiendo en general las curvas de nivel.

Al implantar prácticas de conservación de suelos se le asignó un nuevo valor en relación a la pendiente que presenta el terreno, en todas las áreas de cultivos, tal como lo señala Wischmeier & Smith, (1978) citado por Mancilla, (2008) en el Cuadro 17.

**Cuadro 17.** Factor P de prácticas de conservación adaptado de Mancilla, (2008)

Pendiente (%)	Cultivo en contorno o curvas de nivel
	P
1 – 2	0,60
3 – 5	0,50
6 – 8	0,50

Continuación del Cuadro 17	0,60
13 – 16	0,70
17 – 20	0,80
20 – 25	0,90

A continuación presentamos cada uno de los mapas de erosión hídrica actual de cada cantón de estudio, con el factor P de prácticas de conservación modificado.

#### **4.2.1. Mapa de erosión hídrica actual del cantón Sozoranga (prácticas de conservación).**

De acuerdo a los Cuadros 8, 18 y la Figura 24 podemos observar los cambios que darán si se aplican las prácticas de conservación de suelos, los valores de erosión hídrica muy alta disminuyen de 3221,10 a 2615,58 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> y la erosión hídrica alta de 3821,37 a 2196,9 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>. La categoría de ligera y moderada tienden a subir un 4 y 1,40% respectivamente, debido a que estos suelos son reutilizados para no alterar las zonas agrícolas y de esta manera no alterar los ecosistemas que están en proceso de recuperación, por lo que se tiene que mejorar el tipo de labranza del suelo y disminuir las malas prácticas agrícolas por parte de los agricultores con el objetivo de mejorar sus cultivos, lo que permite disminuir la erosión hídrica del suelo y mejorar su productividad.

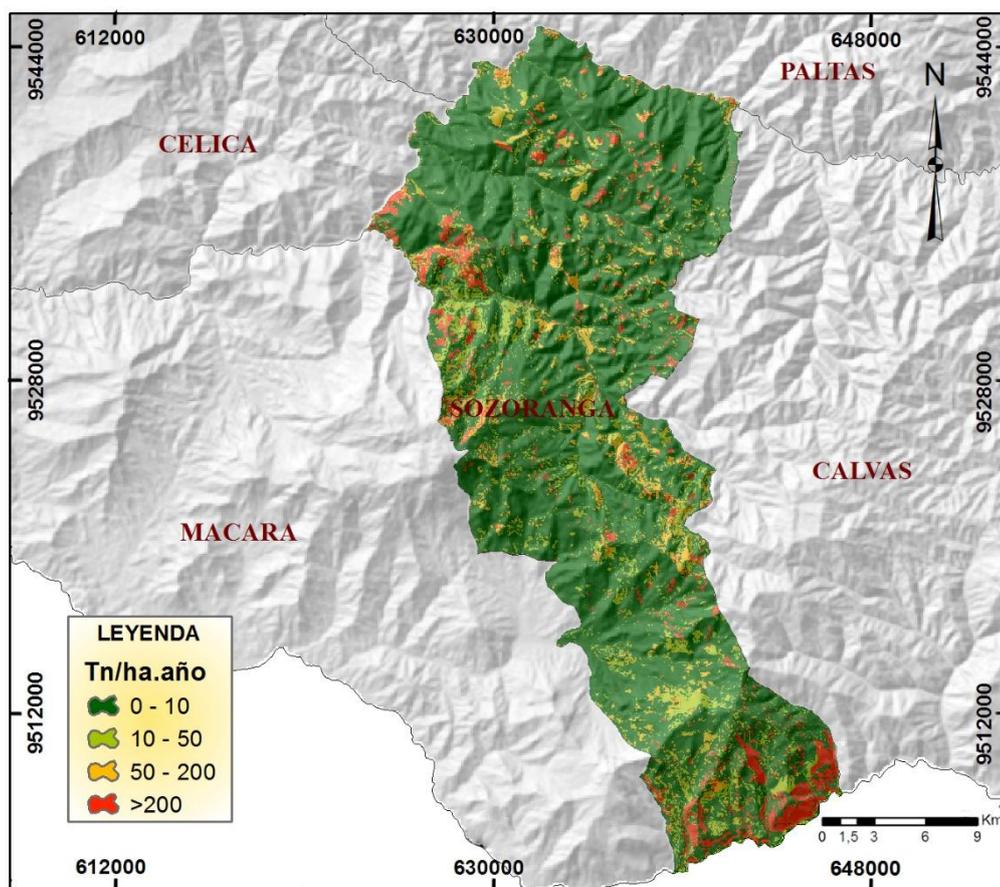


Figura 24. Erosión hídrica aplicando prácticas de manejo del suelo (cantón Sozoranga).

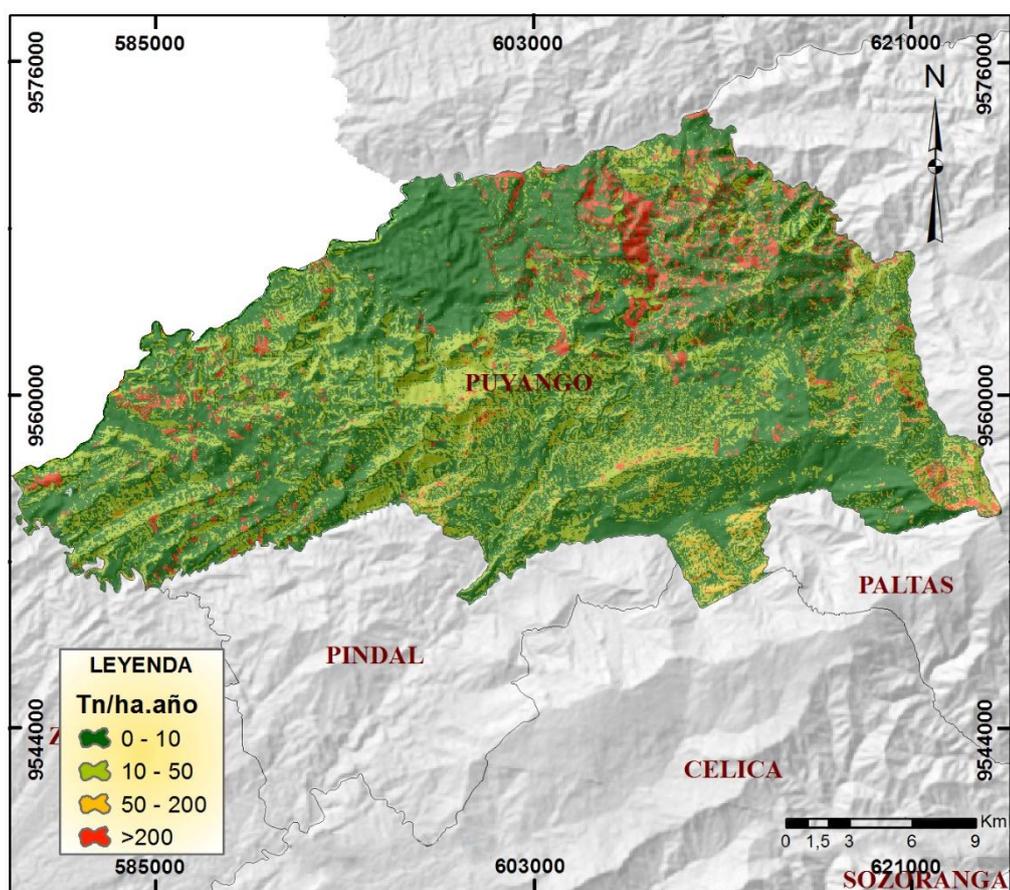
**Cuadro 18.** Detalle de las pérdidas de suelo al aplicar prácticas de conservación en el cantón Sozoranga.

Categoría	Pérdidas de suelo t/ha/año	Área (ha)	Porcentaje (%)
Ligera	0 -10	32117,58	79,10
Moderada	10 - 50	3653,55	9,00
Alta	50 – 200	2196,90	5,40
Muy alta	>200	2615,58	6,40

#### 4.2.2. Mapa de erosión hídrica actual del cantón Puyango (prácticas de conservación).

Como podemos observar en los Cuadro 10, 19 y la Figura 25, los cambios que darán si se aplican las prácticas de conservación de suelos, los valores de erosión hídrica muy alta disminuyen de 6654,97 a 4290,03 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> y la erosión hídrica

alta de 10498,62 a 1771,20 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>. La categoría de ligera y moderada tienden a subir un 15 y 3 % respectivamente, debido a que estos suelos son reutilizados para no alterar las zonas agrícolas y de esta manera no alterar los ecosistemas que están en proceso de recuperación, por lo que se tiene que mejorar el tipo de labranza del suelo y disminuir las malas prácticas agrícolas por parte de los agricultores con el objetivo de mejorar sus cultivos, lo que permite disminuir la erosión hídrica del suelo y mejorar su productividad.



*Figura 25.* Erosión hídrica aplicando prácticas de manejo del suelo (cantón Puyango).

**Cuadro 19.** Detalle de las pérdidas de suelo al aplicar prácticas de conservación en el cantón Puyango.

Categoría	Pérdidas de suelo t/ha/año	Área (ha)	Porcentaje (%)
Ligera	0 -10	39068,19	62,10
Moderada	10 - 50	17823,78	28,30
Alta	50 – 200	1771,20	2,80
Muy alta	>200	4290,03	6,80

#### 4.2.3. Mapa de erosión hídrica actual del cantón Paltas (prácticas de conservación).

De acuerdo a los Cuadros 12, 20 y a la Figura 26 podemos observar los cambios que darán si se aplican las prácticas de conservación de suelos, los valores de erosión hídrica muy alta disminuyen de 6093,11 a 5136,66 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> y la erosión hídrica alta de 22228,94 a 9086,04 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>. La categoría de ligera y moderada tienden a subir un 12 y 0,30% respectivamente, debido a que estos suelos son reutilizados para no alterar las zonas agrícolas y no alterar los ecosistemas en proceso de recuperación, por lo que se tiene que mejor tipo prácticas agrícolas por parte de los agricultores con el objetivo de mejorar sus cultivos, lo que permite disminuir la erosión hídrica del suelo y mejorar su productividad.

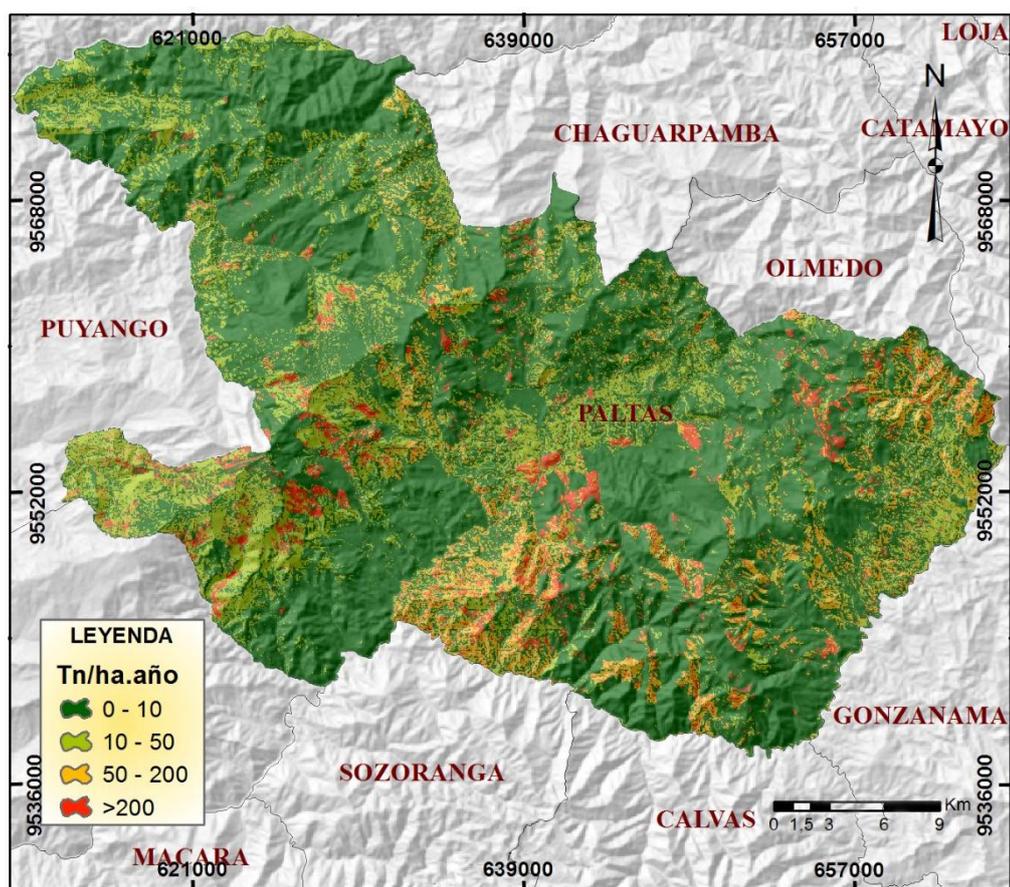


Figura 26. Erosión hídrica aplicando prácticas de manejo del suelo (cantón Paltas).

**Cuadro 20.** Detalle de las pérdidas de suelo al aplicar prácticas de conservación en el cantón Paltas.

<b>Categoría</b>	<b>Pérdidas de suelo t/ha/año</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
<b>Ligera</b>	0 -10	80569,44	72,15
<b>Moderada</b>	10 - 50	16875,54	15,11
<b>Alta</b>	50 – 200	9086,04	8,14
<b>Muy alta</b>	>200	5136,66	4,60

#### **4.2.4. Prácticas de manejo de los ecosistemas que contribuyen a disminuir la pérdida del suelo.**

A continuación se mencionaran diversas técnicas, para conservar el recurso suelo de una manera amigable con el ambiente, contrarrestando la erosividad de la lluvia en las zonas más vulnerables, que presentan poca vegetación, y en lugares donde se aplica agricultura a pequeña y gran escala. Estas técnicas pueden ser aplicadas en cada uno de los cantones de estudio.

##### **4.2.4.1.Cultivos en Contorno**

Conocido también como cultivo en curvas de nivel, es una de las prácticas más simples y de gran eficiencia en el control de la erosión; consiste en la siembra de cultivos en función de las curvas de nivel del terreno, es decir, perpendicularmente a su pendiente. Como práctica aislada para el control de la erosión, el cultivo en contorno es recomendado solamente para áreas limitadas, con una pendiente hasta 3%, y una extensión de ladera no muy larga (Lima, 2011).



**Figura 27.** Cultivos en contorno

**Fuente.** Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (2011)

La importancia de esta práctica es que al sembrar las hileras del cultivo en contra de la pendiente, las demás labores del cultivo como limpieza y aporques, se hacen de la misma manera. Además, cada surco o hilera del cultivo se oponen al paso del agua de lluvia que no se logra filtrar en el suelo, disminuyendo su velocidad, y así hay menos arrastre del suelo y nutrientes (FAO, 2000). Para proteger de mejor manera los suelos inclinados, se recomienda combinar esta práctica con otras de mayor eficiencia para el control de la erosión como las barreras vivas, barreras de piedras y zanjas de ladera.

- **Barreras vivas**

Esta práctica de conservación de suelos, es de menor costo y fácil de hacer para los agricultores. Consiste en sembrar hileras de plantas de crecimiento denso en contra de la pendiente del terreno siguiendo las curvas de nivel o desnivel. Para el caso de los cantones en estudio es recomendable la siembra de pastos, guineo, caña de azúcar entre otras. Estas plantas se pueden sembrar en hileras distanciadas de 15 a 20 cm, separada una barrera de la otra, dependiendo de la pendiente y la clase de cultivo. La importancia de estas barreras es que permiten disminuir la velocidad del agua de las lluvias y aumenta la capacidad de infiltración del suelo, conservando la humedad, por mayor tiempo (Lima, 2011). Estas barreras vivas pueden generar pasto

de corte para los animales, así como también en el caso de la caña de azúcar y el guineo se puede obtener réditos económicos al agricultor.

- **Barreras de Piedra**

Es recomendable de realizar estas barreras en terrenos que son pedregosos, de esta forma se limpia el terreno y facilita la labor agrícolas; se reducen las plagas y disminuye la escorrentía. Las barreras de piedras a nivel son muros construidos con las piedras superficiales de tamaños manejables, presentes en el propio terreno. En las zonas de laderas, los muros deben ser construidos sobre una pequeña base aplanada para darle firmeza y no debe sobrepasar los 60 cm de alto (Sagastume, 2005).



*Figura 28.* Barreras de Piedra

**Fuente.** Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (2011).

#### **4.2.4.2. Sistemas agroforestales Quesungual**

Quesungual es un sistema de producción sostenible empleado en el manejo de suelo, agua y vegetación. Consta de tres componentes principales: 1) Un primer piso de árboles maderables y en menor grado frutales 2) Un segundo piso de árboles de uso múltiple podados entre 1 hasta 2.5 metros. 3) El tercer componente es el de cultivos agrícolas, principalmente maíz, frijol. Las especies arbóreas usadas, tiene como resultado un aporte fuerte de hojas al momento de la poda y de su caída natural al suelo, generando materia orgánica en el suelo. La materia orgánica proporcionada por los árboles y residuos de cosechas de granos básicos asegura la protección contra

la erosión, aporta nutrientes y aumenta la retención de la humedad en las épocas críticas (Sagastume, 2005).

En síntesis, este es un sistema agroforestal basado en tres tipos de cobertura al suelo: residuos y cultivos, arbustos y árboles. Los árboles están dispersos en regeneración natural.

#### **4.2.4.3. Rotación de cultivos**

La rotación de cultivos es la siembra sucesiva de diferentes cultivos en un mismo campo, siguiendo un orden definido (por. ejm: maíz-frijol-girasol o maíz avena). En contraste, el monocultivo es la siembra repetida de una misma especie en el mismo campo, año tras año (Escandón, 2012).

El mismo autor menciona también el beneficio de la rotación de cultivos, ya que al mantener el suelo cubierto, debido a que siempre esta con cualquier cultivo o con algunas plantas que suelen llamar malezas, evita que las elevadas precipitaciones arrastren las partículas del suelo, causando la erosión del mismo y pérdida de su productividad.

#### **4.2.4.4. Selección de especies forrajeras, arbusto o árboles.**

Al elegir las plantas es fundamental observar si existen barreras viva en la zona y el tipo de plantas que las componen, puesto que es importante seleccionar las de mejor adaptación el clima y suelo del lugar. Estas deben ser perennes, de fácil propagación con abundante follaje y ramificaciones que inicien bajo el suelo inmediato lo más cerca posible de él, y un sistema denso de raíces. Estas plantas, pueden ser incluso un cultivo en faja de algunas especies forrajeras que se adapte a las condiciones climáticas de cada cantón de estudio. También, como una forma de crear barreas vivas, se debe considerar el establecimiento de especies forestales introducidas o autóctonas de la zona, como también la introducción de alguna especie frutícola.

#### **4.2.4.5. Sistemas agroforestales (SAF)**

Los sistemas agroforestales y silvopastoriles, son formas de uso de la tierra donde interactúan, ecológica y económicamente y de manera secuencial o temporal,

los árboles y arbustos con cultivos anuales, perennes, forrajes o ganado. El uso de los SAF ha sido fundamental en las prácticas de manejo de los recursos como el suelo para detener la erosión del mismo de manera acelerada por efecto de las gotas de lluvia. La agroforestería está basada principalmente en el manejo de árboles de uso múltiple, ya que estos pueden aportar y contribuir significativamente en los sistemas donde ellos están inmersos. Para alcanzar sus efectos benéficos; la agroforestería debe reunir tres atributos: productividad (producir los bienes requeridos por el productor), sostenibilidad (capacidad del sistema a permanecer productivo indefinidamente) y adaptabilidad (aceptación del sistema de acuerdo a las limitantes y características propias de cada productor) (Pérez, 2001).

## **5. DISCUSIÓN**

### **5.1. Base de datos digital con información biofísica requerida para la estimación de la erosión del suelo.**

Una base de datos según Marquéz (2009), es un conjunto de datos almacenados en memoria externa y están organizados mediante una estructura de datos. Cada base de datos es diseñada con el fin de satisfacer los requisitos de información de una empresa u otro tipo de organización. En una base de datos todos los datos se integran con una mínima cantidad de duplicidad.

En la presente investigación se utilizó base de datos con diferente información obtenida y recolectada en la fase de campo, las bases de datos utilizadas son de precipitación, propiedades físicas del suelo, prácticas agrícolas y cobertura vegetal. Cabe mencionar que estas bases de datos fueron aplicadas en cada uno de los factores de la RUSLE, con ayuda del Software Arcmap, lo que permitió obtener resultados requeridos de manera inmediata y eficiente, los mismo que son confiables de acuerdo a la realidad actual de los cantones de estudio.

### **5.2. Estimar las tasas de erosión hídrica actual, potencial.**

La RUSLE fue diseñada para estimar la pérdida del suelo anual, es decir la erosión hídrica del suelo, es una herramienta de trabajo para los conservacionistas y es un modelo empírico o indirecto (Mendoza, 2013; Alatorre, 2014). La misma que se obtiene a través de diferentes factores, R, K, C, LS y P, aplicados en los cantones de Sozoranga, Puyango y Paltas. Los factores de cada cantón de estudio antes mencionados se muestran en las Figuras de la 3 a la 17.

La ecuación universal para estimar la pérdida de suelo por unidad de área en relación al tiempo es uno de los métodos indirectos más utilizados alrededor del mundo (CHEN, Oguchi, & WU, 2017; Ruiz, 2016). Dicho modelo y su versión revisada fueron desarrollados en EEUU para estimar tasas de erosión para combinaciones de localidad-suelo-topografía-uso y manejo. Pese a sus deficiencias es el más utilizado en el mundo para la toma de decisiones en planificación del uso y manejo de suelos para minimizar la erosión (Ganasri & Ramesh, 2016; Hill et al., 2015; Salazar, 2012), puede procesar la entrada de datos para grandes regiones y

proporciona una base para llevar a cabo el análisis de escenarios y tomar medidas contra la erosión (Lu et al., 2003).

El Factor R es una variable que se encuentra incluido en la RUSLE, es un índice de erosión para el período de tormenta dado en MJ.mm/(ha.h.año), compete a la influencia que tienen los eventos de lluvia sobre la erosión del suelo (Devatha, Deshpande, & Renukaprasad, 2015; Ruiz, 2016). Este factor es determinado con el uso de estaciones de medición de la precipitación de las zonas de estudio, las mismas que posteriormente son interpoladas espacialmente con el uso del SIG y se genera un mapa de factores R. La estimación del factor R de la RUSLE en los cantones de estudio, Sozoranga, Puyango y Paltas, nos proyecta los siguientes datos. En cantón Sozoranga los valores oscilan entre 3373 y 3778 (Mj.mm)/(ha.hr.año), en el cantón Puyango van desde 3601 y 4161 (Mj.mm)/(ha.hr.año), y en el cantón Paltas con valores que oscilan entre 2592 y 3955 (Mj.mm)/(ha.hr.año). Estos datos concuerdan con otras investigaciones realizadas en las mismas condiciones de precipitaciones dentro de la provincia de Loja como es el la investigación de Tamayo, (2016) en el cual sus datos oscilan entre 2459 a 5007 (Mj.mm)/(ha.hr.año), cuyo estudio se realizado en los cantones de Pindal y Zapotillo. Por su parte Vega, (2016) en estudio se realizado en los cantones de Gonzanamá y Catamayo presenta valores del factor R de 1465 a 3997 (Mj.mm)/(ha.hr.año). Y en la parte costera de nuestro país otro estudio realizado en la Cuenca del rio Guayas por Tapia, (2012) muestran valores de R mínimo 2085 y máximo de 7162 (Mj.mm)/(ha.hr.año).

En base a estos estudios investigativos se puede mencionar que los datos de lluvia utilizados para este factor son confiables, debido a que las estaciones utilizadas se encuentran cercanas a los sitios de estudio, así como también dentro de estos. Para los tres cantones de estudio el factor R evidencia las fuertes precipitaciones a las que están sometidos principalmente en época de invierno, generando un alto poder erosivo, esto debido a factores como la altitud, la cobertura vegetal y la topografía. Para este trabajo, el método utilizado en R es indirecto, ya que se usó datos de 28 estaciones, con un registro de 35 años.

El factor K es la cantidad promedio de suelo perdido por unidad de factor R, resulta del análisis de la clase textural y el contenido de materia orgánica como características predominantes en la pérdida de suelo, (Estrada, 2013; Hill et al., 2015). En el cantón Sozoranga el factor K presenta valores bajos y altos, los altos con mayor presencia en la parroquia Tacamoros y en la parroquia Nueva Fátima. El factor K en el cantón Puyango tienen mayor presencia en la parroquia de Alamor y El Limo con valores elevados. En el cantón Paltas sus valores son elevados en la parroquia de Orianga. Estos valores del factor K que se dan en los tres cantones presentan una marcada susceptibilidad de los suelos a sufrir riesgos erosivos, principalmente por el tipo de cobertura vegetal. La presencia de coberturas boscosas presentan mayor contenido de materia orgánica, favoreciendo la formación de una estructura estable de agregados, incrementando retención de agua y reduciendo la erosión (Crespo, 2011). La UNESCO en el libro editado por Brea & Balocchi, (2010), menciona que tanto la estructura y permeabilidad de un suelo también juegan un rol preponderante en la determinación de la erosividad, debido a su influencia en la cohesividad de las partículas y la infiltración del agua entre los conglomerados en cuestión.

Al comparar los datos obtenidos del factor K con otras investigaciones, se observa la semejanza que existe con los valores obtenidos para el factor K en los 3 cantones de estudio, como el estudio realizado por Salazar, (2012) en la microcuenca del río Mundo, en el cual presenta valores del factor K que van de 0,04 a 0,079 (t.ha.hr)/(Mj.mm.ha), presentando mayor susceptibilidad del suelo a ser erosionado. Por su parte Tamayo, (2016) en estudio realizado en los cantones de Zapotillo y Pindal, provincia de Loja, en condiciones similares presentan valores 0,0164 a 0,0745 (t.ha.hr)/(Mj.mm.ha). Mientras que Vega, (2016), presenta valores del factor K de los cantones Catamayo y Gonzanama con características similares del suelo, que oscilan entre 0,013 a 0,055 (t.ha.hr)/(Mj.mm.ha). El método utilizado para el cálculo de este factor fue directo indirecto, puesto que se trabajó en campo y en el laboratorio.

Los valores del factor C, indican la protección que la cobertura vegetal presta al suelo al interceptar las gotas de lluvia y amortiguar su energía de impacto y de

escorrentía disminuyendo el efecto erosivo (Campaña, 2015; Galilea, 2015). La vegetación más superficial, las raíces de las plantas y, en especial, los sistemas radiculares de los pastos y árboles, funciona como barrera de la escorrentía, disminuyendo la velocidad de la misma, modificando la dirección del flujo y mejorando la infiltración del agua en el suelo (Salazar, 2012; Sánchez, 1996). La identificación de tipo de cobertura vegetal de los cantones en estudio se la hizo a través del uso de ortofotos a escala 1:5000, las mismas que permitieron tener una mayor visibilidad de los sitios de estudio y por ende obtener una mejor precisión de la erosión hídrica que afecta a estos lugares.

Las coberturas que más predominan, para el caso del cantón Sozoranga el bosque seco semidenso abarca una extensión de 13735,86 ha y con un valor de ponderación de 0,007; y el bosque húmedo denso con 4672,31 ha, con un valor de ponderación 0.007. Para el caso del cantón Puyango el tipo de cobertura que mayor predomina es el bosque húmedo semidenso con 14631,33ha, con valor de ponderación de 0,007 y Asoc. pasto-matorral con 10007,23ha, con valor de ponderación de 0,005 y final mente en el cantón Paltas el tipo de cobertura con mayor presencia es el bosque húmedo denso con 28857,07 ha, con valor de ponderación de 0.001 y Asoc. pasto-matorral con 17462,68 ha, con un valor de 0,005. Existen diversos modelos para representar el factor C, de los cuales el que se ha utilizado es por Wischmeier & Smith, (1978) citado por López et al., (2003); Lianes, Marchamalo, & Roldán, (2009) por la facilidad en el acoplamiento de datos, quienes han elaborado investigaciones experimentales confiables y detalladas acerca de los valores que representan la cobertura vegetal. El factor C es considerado factor atenuante y toma valores de ponderación de 0 a 1, correspondiendo el valor de la unidad al suelo que está desnudo, sin cobertura vegetal y en barbecho. El valor de C en la ecuación es multiplicativo y a medida que aumenta la cobertura vegetal en densidad y frecuencia, el valor de C tiende a disminuir (Loredo, Beltrán, Moreno, & Casiano, 2007). Por ellos los valores para el factor C de esta investigación, son valores adaptados a la situación en la que se hallan los tipos de cobertura vegetal dentro de los cantones de estudio (Cuadro 5, 6 y 7).

El factor LS, representan el efecto de la topografía sobre la erosión del suelo. La erosión aumenta conforme incrementa la longitud del terreno (L) en el sentido de la pendiente y la inclinación de la superficie (S) se hace mayor (Peralta, 2015; Ramírez, 2010). En general, el cálculo del modelo RUSLE, el factor L y S se calculan mediante diferentes ecuaciones. Los valores obtenidos para este factor se ubican de 0 a 70 en todos los cantones donde se realizó la presente investigación (Sozoranga, Puyango y Paltas). Dichos resultados fueron obtenidos a partir de las Ecuaciones 5, 8 y 10 utilizadas por Amador, Velásquez, Isabel, & Efraín, (2013); Mendoza, (2013) y Jiménez, (2014). Por tal razón podemos deducir que los resultados obtenidos son confiables ya que se utilizó la misma metodología. Es necesario mencionar que para la elaboración de estos factores, utilizamos el MDT con resolución de 30 m, que hace referencia a las distancia en pixeles (Lamelas, 2007).

En el factor de prácticas de conservación de suelos o factor P de los cantones de estudio. Refleja el impacto que las prácticas de control tienen sobre la tasa de erosión. (Peralta, 2015). Este problema no es ajeno a los cantones de Sozoranga, Puyango y Paltas, debido a que en las salidas de campo se pudo evidenciar el cambio de uso de suelo. En base a lo antes mencionado, en los cantones de estudio se realizan diferentes actividades agrícolas sin ningún tipo de manejo conservacionista. Y a la falta de información con respecto al factor P en el área de estudio, el valor asignado a este factor en el presente modelo fue de 1, que al ser una constante no influye en el cálculo final, metodología similar a estudios realizados por Salazar, (2012) y Campaña, (2015).

Una vez mencionados cada uno de los factores del modelo RUSLE (R, K, LS, C y P), se presenta la erosión hídrica actual de los cantones en estudio Sozoranga, Puyango y Paltas, que para el caso del cantón Sozoranga abarca 7,9% del área total del cantón, representado a suelos mayores a 200 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>. En el cantón Puyango presenta valores de perdida de suelos mayores a 200 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> año ocupando el 10,5% del territorio del cantón. Y por último en el cantón Paltas los valores mayores 200 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> de perdida de suelo abarcan el 5,3% del territorio del cantón. Hay que mencionar que en los tres cantones de estudio existe precipitaciones elevadas que

aceleran la erosión del suelo, por lo que concuerda con Stavi, Barkai, Knoll, & Zaady, (2016) quien menciona que la erosión se produce cuando existen lluvias que van de 800 a 1000 mm/año, independientemente del tipo de uso que se le dé al suelo. Con esta información, en la que se tiene los sitios identificados con mayor pérdida de suelo, permite que la toma de decisiones de las instituciones encargadas para disminuir la erosión hídrica, e implementar prácticas de conservación, ya sea de siembra de especies vegetales, así como también buenas prácticas agrícolas en los cultivos.

La erosión potencial de los cantones Sozoranga, Puyango y Paltas, se realizó en dos escenarios negativos en el primer escenario se usó los factores R, K y LS sin presencia de cobertura vegetal, como lo sugiere Mendoza, (2013). En el segundo escenario solo se aplicó los factores R, K, LS y C, este último con valores de cobertura degradada. Es necesario mencionar que la erosión potencial permite aproximarse a lo que sucedería si en una determinada zona desapareciera la cubierta vegetal (Giráldez, 2012). Si observamos los mapas de los niveles de erosión potencial expuestos en los resultados, detectamos que gran parte de los cantones presenta riesgo potencial de erosión. Esto es debido sobre todo a sus escarpadas pendientes y a los suelos poco evolucionados existentes en la zona. En el segundo escenario negativo los valores cambian significativamente, en relación al primero, en este escenario existe presencia de cobertura vegetal degradada. Es necesario mencionar que los valores de los cantones en estudio que se encuentran  $<10 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  presenta pérdidas de suelo inferiores, esto debido a que se encuentran en los lugares donde se sitúan las vegas de río o en pendientes bajas no mayores al 3 %. Si comparamos estos resultados con la erosión hídrica actual vemos la influencia de la cobertura vegetal en la erosión hídrica de los cantones de estudio al igual como menciona Salazar, (2012) que gracias a la protección que supone la cobertura del suelo no nos enfrentamos a un escenario tan drástico.

En base a toda la información obtenida y los resultados generados, permite a las diferentes autoridades, especialmente a los gobiernos autónomos descentralizados, tanto municipios como parroquiales de los cantones Sozoranga,

Puyango y Paltas. Generar proyectos de conservación de suelos, tanto agrícolas, como forestales.

### **5.3. ALTERNATIVAS ADECUADAS DE MANEJO Y USO DEL SUELO EN LAS DIFERENTES CATEGORÍAS DE EROSIÓN.**

Los suelos cumplen con diversas funciones que posibilitan la producción de alimentos, fibras y madera; mantienen la capacidad de retención de agua, regulan los gases de efecto invernadero y alojan una gran biodiversidad, por lo que son esenciales para la sociedad (Cotler, Cram, Martínez Trinidad, & Bunge, 2015).

Según Zavala et al., (2011) menciona que la cantidad de suelo salpicado por las gotas de lluvia es de 50 a 90 veces más grande, que la cantidad de suelo arrastrado por el flujo superficial; se estima que un suelo desnudo, las lluvias fuertes salpican más o menos  $25 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ . En terrenos con pendiente, la cantidad de suelo removido es mayor hacia las partes bajas, este efecto es causado por una erosión grave en pendientes abruptas. Los sistemas de producción agropecuarios y forestales inadecuados son, en muchos casos, la causa de la degradación de los suelos, en especial de la erosión. En esos casos, el establecimiento de prácticas de conservación busca recuperar y mejorar la calidad de los suelos al tiempo que minimiza el proceso de erosión (Cotler, Cram, Martinez, & Quintanar, 2013).

La provincia de Loja presenta pendientes elevadas, así como también fuertes precipitaciones, lo que la hace más susceptible a problemas por erosión hídrica, (Ramon & Reyes, 2005). Con los antecedentes expuestos, el presente estudio se realizó en el cantón Sozoranga, Puyango y Paltas, el cual posee un alto porcentaje de suelos erosionados. En virtud de la importancia de cuidar el suelo, el estado ecuatoriano en la constitución del 2008, aún vigente, en los artículos 409 y 410, promueve la conservación del suelo.

Por ello en el Apartado 4.2 se mencionan algunas alternativas aplicables en los sitios de estudio, las mismas que evitaren la pérdida de superficie del suelo por causa de la erosión hídrica. La conservación de suelos no se resuelve solo con una respuesta técnica. En este tema, también la comprensión de los aspectos sociales, culturales y políticos resulta fundamental para entender el proceso de aceptación y de

adopción por parte de los dueños de la tierra (de Graaff, Kessler, & Olsen, 2010; Sattler & Nagel, 2010). Por lo tanto algunos autores (Escandón, 2012; Lima, 2011; Sagastume, 2005) han aplicado las técnicas anteriormente mencionados en las mismas condiciones de precipitación y tipo de cobertura del suelo, por lo que son confiables e indicadas para ser aplicadas en los cantones de estudio.

Para llevar a cabo este objetivo, con algunas prácticas de conservación se aplicó nuevamente el modelo con la ecuación RUSLE en los tres cantones de estudio, Sozoranga (Figura 24), Puyango (Figura 25) y Paltas (Figura 26). En los cuales se puede observar la disminución de la erosión hídrica, aumentando los valores que están en el rango de 0 a 10 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> volviéndose una erosión ligera y mejorando considerablemente los suelos tanto agrícolas como forestales.

## 6. CONCLUSIONES

- La base de datos generada, de los factores R, K, LS y C con información obtenida en campo e información secundaria permitió determinar las zonas más susceptibles a la erosión hídrica, y por ende proponer alternativas de conservación de suelos tanto para áreas agrícolas como forestales, esta base de datos elaborada se encuentra disponible en el Centro de Investigaciones Tropicales.
- De los tres cantones de estudio Sozoranga, Puyango y Paltas, el que mayor degradación de suelo por erosión hídrica presenta, es el cantón Puyango, presentando mayor riesgo erosivo por la elevada presencia de precipitaciones, la topografía y el uso actual del suelo.
- La erosión potencial dada en los tres cantones estudio, aplicando el primer escenario negativo (sin cobertura vegetal) presentan valores superiores al 95% del territorio cantonal, demostrando la importancia de la cobertura vegetal en el suelo, factor fundamental en la conservación de suelos.
- Al modelar prácticas de conservación de suelos en las zonas de estudio, que incluyen actividades como reforestación con especies nativas en suelos desnudos, matorrales y el cultivo de productos agrícolas en función de las curvas de nivel del terreno, es decir, perpendicularmente a su pendiente. Los valores de erosión hídrica actual alta y muy alta disminuyen considerablemente.

## **7. RECOMENDACIONES**

- Implementar las medidas propuestas en la presente investigación y evaluar sus efectividades con la participación de comunidades locales y gobiernos descentralizados y que además se implementen proyectos agrícolas y forestales en los cuales se planten buenas prácticas ambientales en beneficio del recurso suelo.
- Evitar la expansión de la frontera agrícola en cada uno de los cantones de investigación, debido a que la cubierta vegetal es uno de los factores fundamentales al momento de contrarrestar la erosión del suelo producto de las elevadas precipitaciones.
- Ejecutar proyectos de reforestación, en los cuales se implemente la reforestación de los sitios degradados con especies nativas de lugar, con el fin de obtener mejor resultados y contrarrestar la pérdida de los suelos de estos sitios afectados.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- (INTER) Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales. (2005). Erosión hídrica. Managua, Nicaragua: 2005.
- Alvarado, M., Colmenares, A., & Valderrabano, M. (2007). La erosión hídrica del suelo en un contexto ambiental, en el estado de Tlaxcala, México, 14(3), 317–326.
- Amador, M., Velásquez, R., Isabel, B., & Efraín, S. (2013). Respuesta del chile mirasol a la labranza reducida , enmiendas al suelo y acolchado plástico \* Response of Mirasol chili pepper to reduced tillage , soil amendments and plastic mulch Resumen Introducción. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 4(4), 543–555.
- Barrios, A., & Esneira, Q. (2000). Evaluación de la erosión utilizando el modelo (R)USLE, con apoyo de SIG. Aplicación en una microcuenca de los andes venezolanos. Revista Forestal de Venezuela, 44(1), 65–71.
- Beheshti, A., Raiesi, F., & Golchin, A. (2012). Soil properties, C fractions and their dynamics in land use conversion from native forests to croplands in northern Iran. Agriculture, Ecosystems and Environment, 148, 121–133.
- Brea, J., & Balocchi, F. (2010). Procesos de erosión - sedimentación en cauces y cuencas (1st ed.). Montevideo, Uruguay: 2010. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Buschiazzo, D. E., Panebianco, J. E., Guevara, G., Rojas, J., Zurita, J. J., Bran, D., ... Hurtado, P. (2009). Potential effects of wind erosion on soil degradation and air quality in different regions of Argentina | Incidencia potencial de la erosión eólica sobre la degradación del suelo y la calidad del aire en distintas regiones de la Argentina. Ciencia Del Suelo, 27(2), 255–260.
- Campaña, F. (2015). Aplicación Del Modelo Rusle Para El Cálculo De Erosión Hídrica En La Microcuenca Del Río Perlaví. Universidad Central del Ecuador.
- CHEN, H., Oguchi, T., & WU, P. (2017). Assessment for soil loss by using a scheme of alterative sub-models based on the RUSLE in a Karst Basin of Southwest China. Journal of Integrative Agriculture, 16(2), 377–388.
- Cotler, H., Cram, S., Martinez, S., & Quintanar, E. (2013). Forest soil conservation in

- central Mexico: An interdisciplinary assessment. *Catena*, 104, 280–287.
- Cotler, H., Cram, S., Martínez Trinidad, S., & Bunge, V. (2015). Evaluación de prácticas de conservación de suelos forestales en México: Caso de las zanjas trinchera. *Investigaciones Geograficas*, 2015(88), 6–18.
- Cotler, H., López, C. A., & Martínez-Trinidad, S. (2011). ¿Cuánto nos cuesta la erosión de suelos? Aproximación a una valoración económica de la pérdida de suelos agrícolas en México. *Investigación Ambiental*, 3(2), 31–43.
- Crespo, G. (2011). Comportamiento de la materia orgánica del suelo en pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(4), 343–347.
- de Graaff, J., Kessler, A., & Olsen, P. (2010). Farm-level adoption of soil and water conservation measures and policy implications in Europe. *Land Use Policy*, 27(1), 1–3.
- De Regoyos, M. (2003). Metodología para la evaluación de la erosión hídrica con modelos informáticos. Aplicación del modelo GEOWEPP a dos pequeñas cuencas de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.
- Devatha, C. P., Deshpande, V., & Renukaprasad, M. S. (2015). Estimation of Soil loss Using USLE Model for Kulhan Watershed, Chattisgarh- A Case Study. *Aquatic Procedia*, 4, 1429–1436.
- Eltaiif, N. I., & Gharaibeh, M. A. (2011). Aplicación de un modelo matemático para predecir y reducción de la erosión eólica en tierras áridas no protegidas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, 17(Especial), 195–206.
- Escandón, N. (2012). “Rotación Y Asociación De Cultivos En La Provincia Del Azuay Para El Rescate De La Soberanía Alimentaria.” Universidad de Cuenca.
- Estrada, atalia. (2013). indentificación de áreas prioritarias en la oferta de servicios ecosistémicos para establecer esquemas de Pagos (PSA) direccionados, Costa Rica. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza.
- FAO. (2000). Los principales factores ambientales y de suelos que influyen sobre la productividad y el manejo. Ibandan, Nigeria: 2000.
- Food and Agriculture Organization. (2015). El suelo es un recurso no renovable. Food

- and Agriculture Organization. Hitalia: 2015. Retrieved from [fao.org/soils-2015](http://fao.org/soils-2015)
- Galilea, I. (2015). Erosión de suelos y laderas en el espacio agrícola de La Rioja . Aplicación y cartografía del modelo Rusle. Universidad de La Rioja. Universidad de la Rioja.
- Ganasri, B. P., & Ramesh, H. (2016). Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*, 7(6), 1–9.
- García, J., & Lana, N. (2011). Hydrological and erosive consequences of farmland abandonment in Europe –a review. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 140(3–4), 317–338.
- García, P. (2004). Interacciones entre la vegetación y la erosión hídrica. In *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante* (EGRAF, S.A, pp. 309–334). Madrid: 2004.
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos : una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos Y Forrajes*, 35(2), 125–137.
- Giráldez, J. (2012). Inventario Nacional erosión de suelos. (S. . EGRAF, Ed.) (1st ed.). España, Andalucía: 2012.
- González, O. N., Serrano, J. I. B., Vilchez, F. F., Núñez, R. M. M., & García-sancho, A. G. (2016). Riesgo de erosión hídrica y estimación volcánicos en México. Water erosion risk and soil loss estimation in volcanic geomorphological landscapes of Mexico. *Cultivos Tropicales*, 37(2), 45–55.
- Goodrich, D. C., Bums, I. S., Unkrich, C. L., Semmens, D. J., Guertin, D. P., Hernandez, M., ... Levick, L. R. (2012). KINEROS 2/AGWA: Model use, calibration, and validation. *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1561–1574.
- Hill, M., Clérico, C., Mancassola, V., & Sánchez, G. (2015). Estimación de pérdidas de suelo por erosión hídrica en tres diferentes sistemas de manejo hortícola del sur de Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 19(1), 94–101.
- Huerta, P., & Loli, O. (2014). Erosión Hídrica En La Cuenca Alta Del Río Moche. *Ecología Aplicada*, 13(1), 15–22.

- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2012). La Ecuación Universal De Pérdidas De Suelo ( USLE ). Universidad Politécnica de Valencia.
- Jorge, G. (2012). Sobre la erosión hídrica en sistemas. Aplicación del Modelo WEPP. Universidad de la Republica.
- Jorge, G., Pérez, M., Terra, J., & Sawchik, J. (2015). Ajuste del modelo de erosión WEPP para un Argisol Subéutrico y un Brunosol Éutrico en el Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 19(1), 84–93.
- Krasilnikov, P., Makarov, O., Alyabina, I., & Nachtergaele, F. (2016). Assessing soil degradation in northern Eurasia. *Geoderma Regional*, 7(1), 1–10.
- Lahlaoi, H., Rhinane, H., Hilali, A., Lahssini, S., & Khalile, L. (2015). Potential Erosion Risk Calculation Using Remote Sensing and GIS in Oued El Maleh Watershed, Morocco. *Journal of Geographic Information System*, 7(2), 128–139.
- Lamelas, M. (2007). Análisis Y Cartografía Mediante Sig En El Entorno De Zaragoza. *Geographicalia*, 52, 79–111.
- Lianes, E., Marchamalo, M., & Roldán, M. (2009). Evaluación Del Factor C De La Rusle Para El Manejo De Coberturas Vegetales En El Control De La Erosión En La Cuenca Del Río. *Agronomía Costarricense*, 33(2), 217–235.
- Lima, L. (2011). Guía sobre prácticas de conservación de suelos. Segunda edición. (FHIA, Ed.) (2nd ed.). Honduras: 2011.
- López, F., Ernesto, H., Menes, M., Mota, O., Luis, J., González, C., ... Tepatitlán, H. D. E. (2003). Integración De La Eups a Un Sig Para Estimar La Erosión. *Terra Latinoamericana*, 21(2), 233–244.
- López, M., Arrúe, J., & Moret, D. (2005). Dynamics of surface barley residues during fallow as affected tillage and decomposition in semiarid Aragon. *Edafología*, 01–29.
- Loredo, C., Beltrán, S., Moreno, F., & Casiano, M. (2007). Erosión hídrica a nivel (1st ed.). México: 2007.
- Lu, H., Prosser, I. P., Moran, C. J., Gallant, J. C., Priestley, G., & Stevenson, J. G. (2003). Predicting sheetwash and rill erosion over the Australian continent.

- Australian Journal of Soil Research, 41(6), 1037–1062.
- Mancilla, G. (2008). Uso y conservación de suelos: Uso de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE) en el campo forestal. Universidad de Chile.
- Marquéz, M. (2009). Bases de datos. Castellon, España: 2009.
- Martínez, A., Goy, J., Cruz, R., Forteza, J., Zazo, C., & Barrera, I. (2006). Cartografía del riesgo de erosión hídrica mediante SIG en los espacios naturales de Candelario – Gredos. *Edafología*, 13(1), 11–20.
- 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. *Ingenieria Hidraulica Y Ambiental*, 34(2), 3–16.
- Montico, S., & Leo, N. Di. (2015). Evaluación de perfiles culturales en ambientes degradados por erosión hídrica. *Ciencia, Docencia Y Tecnología*, 26(51), 396–403.
- Morales, M. (2014). Estimación de la erosión laminar y sedimentación con modelos hidrológicos para la selección de prácticas de conservación de suelos y cambios de cobertura en la Unidad Hidrográfica de Aquin/Saint-Louis Du Sud-Haití. Centro Agroómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Moreira, A. (2005). Modelo de Análisis Ambiental aplicado a Paysandú: interacciones entre el suelo, la sociedad y la economía. Universidad de la Republica.
- Moreno, M., Gutiérrez, M., Hernández, A., Prieto, J., & Castellón, E. (2003). Comparación de métodos en la estimación de erosión hídrica. *Investigaciones Geograficas*, 51(821), 23–36.
- Morgan, R. (2005). Soil Erosion and Conservation. *Environmental Modelling: Finding Simplicity in Complexity: Second Edition (Tercera ed)*. Australia: 2005.
- Nearing, M., Foster, G., Lane, L., & Finkner, S. (1989). A process - based soil erosion model for USDA - water erosion prediction project technology. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 32(5), 1587–1593.
- Ochoa, P. A., Fries, A., Mejía, D., Burneo, J. I., Ruíz-Sinoga, J. D., & Cerdà, A. (2016). Effects of climate, land cover and topography on soil erosion risk in a semiarid

basin of the Andes. *Catena*, 140, 31–42.  
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.01.011>

- Oñate, F. (2004). Metodología para la evaluación del riesgo de erosión hídrica en zonas áridas y su aplicación en el manejo y protección de proyectos hidráulicos. *Revista Electrónica de La REDLACH*, 1(1), 27–32.
- Pedraza, A. (2015). Estimación de la erosión hídrica mediante dos métodos de la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS) en la cuenca del río Chapingo, Texcoco. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Peralta, A. (2015). Aplicación del modelo RUSLE para el cálculo de la erosión hídrica en la microcuenca río Cubí. Universidad Central del Ecuador.
- Pérez, E. (2006). Caracterización de sistemas silvopastoriles y su contribución socioeconómica a productores ganaderos de Copán, Honduras. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Pérez, S. (2001). Modelo para evaluar la erosión hídrica en Colombia utilizando Sistemas de Información Geográfica. Universidad Industrial Santander.
- Plan de Ordenamiento Territorial Paltas. (2012). Jorge Luis Feijoo Valarezo ALCALDE. Catacocha: 2011.
- Plan de Ordenamiento Territorial Puyango. (2014). Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Del Cantón Puyango 2012-200 Actualización 2014. Alamor: 2014.
- Plan de Ordenamiento Territorial Sozoranga. (2014). Planes de desarrollo y ordenamiento territorial gadc sozoranga 1. Sozoranga: 2009.
- Pusineri, G., Pedraza, R., & Lozeco, C. (2010). Uso de modelos digitales de elevación y de sistemas de información geográfica en la modelación hidrológica. *SCielo*, 1–8.
- Ramírez, F., Hincapié, E., Sadeghian, S., & Pérez, U. (2007). Erosividad de las lluvias en la zona cafetera central y occidental del departamento de Caldas. *Cenicafé*, 58(1), 40–52.
- Ramírez, L. (2010). Estimación de la Pérdida de Suelos por Erosión Hídrica en la Cuenca del Río. Universidad Nacional de Salta.
- Ramon, C., & Reyes, F. (2005). Determinación del grado de erosión actual y potencial

- de los suelos del cantón Catamayo. Universidad Nacional de Loja.
- Renard, K., Foster, G., Weesies, G., McCool, D., & Yoder, D. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Agricultural Handbook N*, (703), 404.
- Roa, 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 Geografica Venezolana*, 49(1), 11–42.
- Rostagno, C. M., del Valle, H. F., & Buschiazzi, D. (2004). La erosión eólica. *Conicet*, 01–12.
- Ruiz, M. L. (2016). de la microcuenca Tzalá , San Marcos , Guatemala Estimación de la erosión hídrica en los suelos de la microcuenca Tzalá , San Marcos , Guatemala. Escuela agrícola Panamericana.
- Sagastume, N. (2005). Manejo de suelos y agua Tecnologías y metodologías validadas para mejorar la seguridad alimentaria en las zonas secas de Honduras. (PASOLAC, Ed.) (1st ed.). Honduras: 2005.
- Salazar, A. (2012). Riesgo De Erosión Hídrica En La Cuenca Hidrográfica Del Río Mundo. Universidad Complutense.
- Sánchez, J. (1996). Perdida de suelo en cuencas. In *Manual de Ingeniería de Ríos* (584th ed., p. 45). México: 1996.
- Santacruz, G. (2011). Estimación de la erosión hídrica y su relación con el Uso del Suelo en la Cuenca del Río Cahoacán, Chiapas, México. *Aqua-LAC*, 3(1), 45–54.
- Santos, A. (2014). Estudio de la erosión hídrica en la parte alta de la zona cañera, microcuenca los Sujuyes, diagnóstico y servicios en el instituto privado de investigación sobre cambio climático -ICC-, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala, C.A. Universidad de San Carlos de Guatemala. Retrieved from Tesis de grado, Ingeniera Agrónoma
- Sattler, C., & Nagel, U. J. (2010). Factors affecting farmers' acceptance of conservation measures-A case study from north-eastern Germany. *Land Use Policy*, 27(1), 70–77.

- Saturnino, A., Alcazar, M., Cermeño, F., & Barbero, F. (2011). Erosión y manejo del suelo. Importancia del laboreo ante los procesos erosivos naturales y antrópicos soil. *Agric. Ecológica*, 7(1), 13–38.
- Silla, R. O. (2015). Síntesis de la evolución del conocimiento en Edafología. *Eubacteria*, (34), 51–64.
- Silva, S., & Correa, F. (2010). Valoración económica del suelo y gestión ambiental: aplicación en empresas floricultoras colombianas. *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, 18(1), 269–280.
- Smets, T., Borselli, L., Poesen, J., & Torri, D. (2011). Evaluation of the EUROSEM model for predicting the effects of erosion-control blankets on runoff and interrill soil erosion by water. *Geotextiles and Geomembranes*, 29(3), 285–297.
- Stavi, I., Barkai, D., Knoll, Y. M., & Zaady, E. (2016). Livestock grazing impact on soil wettability and erosion risk in post-fire agricultural lands. *The Science of the Total Environment*, 01–06.
- Tamayo, M. (2016). Área Agropecuaria Y De Recursos Carrera De Ingeniería En Manejo Y Conservación Del Medio Ambiente Director : Certifico : Universidad Nacional de Loja.
- Tapia, J. (2012). Producción De Caudales Y Sedimentos. Universidad Nacional de la Plata.
- Tarbutck, E., & Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra*. (M. Martín, Ed.) (8th ed.). España: 2005.
- Vega, J. (2016). Tesis Julio 2014. Universidad Nacional de Loja.
- Vega, L. (2008). Evaluación de la erosión hídrica superficial por parcelas experimentales en suelos desnudos de la región de coquimbo. Universidad de Talca.
- Veliz, J. (2015). Estudio Del Riesgo Por Erosión Hídrica Del Suelo Utilizando El Modelo U.S.L.E, Mediante Herramientas S.I.G, Aplicado En La Subcuenca Río Portoviejo, Provincia De Manabí. Universidad Central de Ecuador.
- Walling, D. E., & Fang, D. (2003). Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers. *Global and Planetary Change*, 39(1–2), 111–126.

- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. *Agriculture Handbook No. 537*, (537), 285–291.
- Zavala, J., Palma, D., Fernández, C., López, A., & Shirma, E. (2011). *Degradación y conservación de suelos en la cuenca del Río Grijalva, Tabasco* (1st ed.). Tabasco, México: 2011.
- Zucca, C., Canu, A., & Previtali, F. (2010). Soil degradation by land use change in an agropastoral area in Sardinia (Italy). *Catena*, 83(1), 46–54.

## 9. ANEXOS

**Anexo 1.** Toma de muestras de suelo de los cantones de estudio.



**Anexo 2.** Toma de datos del punto de muestro y validación del tipo de cobertura



**Anexo 3.** Calicatas realizadas por IEE en los cantones Sozoranga, Puyango y Paltas



**Anexo 4.** Suelos desnudos con pendientes elevadas.



**Anexo 5.** Cultivos asociados subtropicales en los cantones de estudio.



**Anexo 6.** Matorral seco denso en los cantones de estudio.



**Anexo 7.** Cambio de uso actual del suelo (de bosque húmedo semidenso a pastizales).

