

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

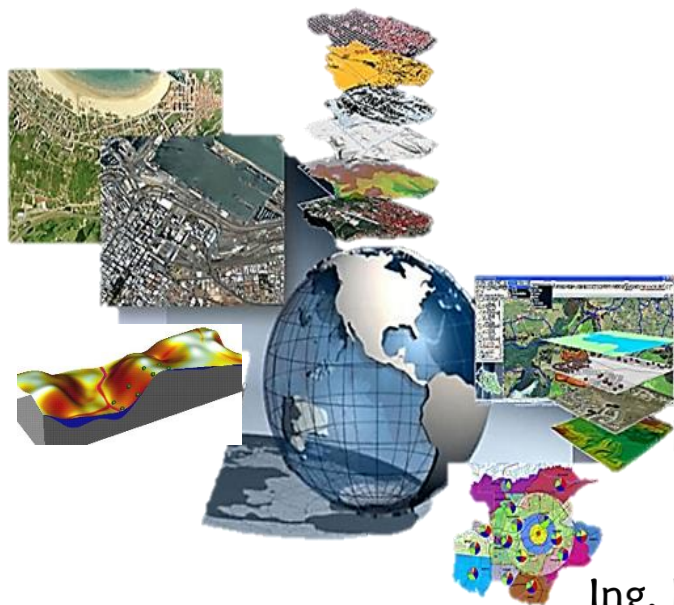


## FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

Carrera de Ingeniería en Manejo y  
Conservación del Medio Ambiente



### “MODELACIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA EN LOS CANTONES DE CALVAS, CHAGUARPAMBA Y SARAGURO MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN”



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

Edwin Fabián Sanmartín Pucha  
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 CALVAS, CHAGUARPAMBA Y SARAGURO, MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN**”, de autoría del señor egresado de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente **Edwin Fabián Sanmartín Pucha**, 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 Álvarez Figüeroa Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TESIS**

## CERTIFICACIÓN

En calidad de tribunal Calificador de la Tesis titulada “**MODELACIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA EN LOS CANTONES DE CALVAS, CHAGUARPAMBA Y SARAGURO, MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN**”, de autoría del señor egresado de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente **Edwin Fabián Sanmartín Pucha**, 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. Felix Hernández Mg. Sc.

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

Ing. Santiago García Mg. Sc.

**VOCAL DEL TRIBUNAL**

Biol. Alejandro Zury Mg. Sc.

**VOCAL DEL TRIBUNAL**



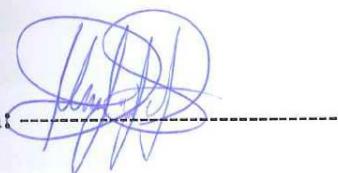
## AUTORÍA

Yo, Edwin Fabián Sanmartín Pucha, declaro ser autor de la presente tesis titulada **“MODELACIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA EN LOS CANTONES DE CALVAS, CHAGUARPAMBA Y SARAGURO, MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN”**, 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:** Edwin F. Sanmartín Pucha

**Firma:** \_\_\_\_\_



**Cédula:** 1104808173

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



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

Yo, **Edwin Fabián Sanmartín Pucha**, declaro ser autor de la tesis titulada **“MODELACIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA EN LOS CANTONES DE CALVAS, CHAGUARPAMBA Y SARAGURO, MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN”**, 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 las 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 del dos mil diecisiete, firma el autor.

**Firma:** -----

**Autor:** Edwin F. Sanmartín Pucha

**Número de Cédula:** 1104808173

**Dirección:** Loja; El Valle. **Correo electrónico:** edwin.sanmartinp@gmail.com

**Celular:** 0969381435

### **DATOS COMPLEMENTARIOS**

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

Tribunal de Grado: Ing. Felix Hernández Mg. Sc.

Ing. Santiago García Mg. Sc.

Biol. Alejandro Zury Mg. Sc.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Me gustaría que estas líneas sirvieran para expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial a mis padres Víctor y Margarita ya que con su apoyo incondicional he podido culminar con éxito la carrera.

De la misma manera agradezco al Ing. Pablo Alvarez Figueroa Mg. Sc. Director de la presente investigación, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continua de la misma, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido a lo largo de esta investigación.

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

Así mismo, se agradece 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 ultimo un agradecimiento muy especial a todos quienes conforman la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Loja, especialmente al personal docente y amigos de la carrera por haber contribuido en la presente tesis durante el proceso de pasantías.

A todos ellos, muchas gracias.

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado especialmente a Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis papás Margarita Pucha y Víctor Sanmartín, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, por los ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan y que me han infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante, pero más que nada, por su amor.

A mis hermanas y hermanos, Maritza, Fernando, Diego y Diana, por haberme dado sus palabras de motivación y sus consejos para poder sobresalir, y así llegar a la meta propuesta, por cada uno de ustedes por tener su apoyo siempre, he logrado cumplir mi objetivo.

A mi novia Belsy, por ser mi motivación, inspiración y felicidad para poder cumplir esta meta, por su apoyo, sus consejos, por ser el pilar más importante y demostrarme su cariño y amor incondicional en todo momento.

A mi fraternal amigo Edgar Peña por su apoyo al realizar esta investigación, y especialmente a Wilson y Nixon por ser las bases fundamentales durante la elaboración del presente trabajo de investigación.

“La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar” Thomas Chalmers.

Att. Edwin Sanmartín Pucha

## ÍNDICE GENERAL

	Pag.
CERTIFICACIÓN.....	ii
CERTIFICACIÓN.....	iii
AUTORÍA.....	iv
CARTA DE AUTORIZACIÓN.....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
DEDICATORIA.....	vii
ÍNDICE GENERAL .....	viii
ÍNDICE DE CUADROS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
ACRÓNIMOS .....	xv
RESUMEN .....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Suelo .....	3
2.2. Erosión del suelo.....	3
2.3. Procesos y mecanismos erosivos .....	4
2.3.1. Erosión hídrica.....	4
2.4. Causas de la erosión hídrica.....	5
2.4.1. Clima.....	5
2.4.2. Relieve.....	6
2.4.3. Suelo.....	6
2.4.4. Sistema de producción.....	7
2.5. Consecuencias de la erosión hídrica .....	7

<b>2.6.</b>	<b>Sistemas de información geográfica .....</b>	<b>7</b>
<b>2.7.</b>	<b>Modelos para estimar la erosión hídrica.....</b>	<b>8</b>
2.7.1.	El modelo europeo de erosión de suelos (EUROSEM) .....	8
2.7.2.	Water erosion prediction project (WEPP) .....	9
2.7.3.	A kinematic runoff and erosion model (KINEROS).....	9
2.7.4.	Ecuación universal de pérdida del suelo / Ecuación Universal de Pérdida del Suelo Revisada (USLE/RUSLE) .....	10
<b>2.8.</b>	<b>Modelo del estudio .....</b>	<b>11</b>
2.8.1.	Ecuación universal de pérdida de suelo / ecuación universal de pérdida de suelo revisada (Usle/Rusle) .....	11
2.8.2.	Factor R o índice de erosividad de la lluvia .....	12
2.8.3.	Factor K o índice de erodabilidad .....	12
2.8.4.	Factor LS o longitud y gradiente de la pendiente .....	12
2.8.5.	Factor C o de cobertura vegetal .....	13
2.8.6.	Factor P o de prácticas de conservación de suelos .....	13
<b>3.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>14</b>
<b>3.1.</b>	<b>Área de estudio .....</b>	<b>14</b>
3.1.1.	Ubicación y límites del cantón Calvas.....	14
3.1.2.	Ubicación y límites del cantón Chaguarpamba.....	15
3.1.3.	Ubicación y límites del cantón Saraguro .....	15
<b>3.2.</b>	<b>Materiales .....</b>	<b>16</b>
3.2.1.	Fase de campo .....	16
3.2.2.	Fase de laboratorio .....	16
3.2.3.	Fase de análisis .....	17
<b>3.3.</b>	<b>Metodología .....</b>	<b>17</b>
3.3.1.	Bases de datos digitales con información biofísica requerida para la estimación de la erosión del suelo .....	17
3.3.2.	Estimación de la erosión hídrica actual, potencial y zonas susceptibles a erosión hídrica .....	21
3.3.3.	Metodología para proponer alternativas adecuadas de manejo y uso del suelo en las diferentes categorías de erosión.....	22
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>23</b>
<b>4.1.</b>	<b>Erosión hídrica actual, potencial y zonas susceptibles y erosión potencial .....</b>	<b>23</b>
4.1.1.	Tasas de erosión o erosión hídrica actual .....	23



4.1.2.	Erosión Potencial y Escenarios Futuros negativos.....	61
4.2.	Alternativas adecuadas de manejo y uso del suelo en las diferentes categorías de erosión.....	67
4.2.1.	Alternativa en un escenario futuro positivo .....	68
5.	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>76</b>
5.1.	Base de datos digitales con información biofísica requerida para la estimación de la erosión del suelo .....	76
5.2.	Estimar las tasas de erosión hídrica actual, potencial y las zonas susceptibles a erosión .....	76
5.3.	Alternativas adecuadas de manejo y uso del suelo en las diferentes categorías de erosión.....	81
6.	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>83</b>
7.	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>84</b>
8.	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>85</b>
9.	<b>ANEXOS .....</b>	<b>92</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Pag.

<b>Cuadro 1.</b> Índice Modificado de Fournier y valores del Factor R de las estaciones ubicadas dentro y adyacente a la provincia de Loja .....	23
<b>Cuadro 2.</b> Parámetros del Factor K de Calvas.....	30
<b>Cuadro 3.</b> Parámetros del Factor K de Chaguarpamba .....	34
<b>Cuadro 4.</b> Parámetros del Factor K de Saraguro .....	38
<b>Cuadro 5.</b> Valores del Factor C con su respectiva área de cada una de las unidades diferenciadas de cobertura vegetal.....	42
<b>Cuadro 6.</b> Valores del Factor C con su respectiva área de cada una de las unidades diferenciadas de cobertura vegetal.....	44
<b>Cuadro 7.</b> Valores del Factor C con su respectiva área de cada una de las unidades diferenciadas de cobertura vegetal.....	46
<b>Cuadro 8.</b> Pérdidas de suelo, grado de erosión y área dentro del cantón Calvas .....	55
<b>Cuadro 9.</b> Pérdidas de suelo, área y porcentaje a nivel parroquial del cantón Calvas .....	55
<b>Cuadro 10.</b> Pérdida de suelo, grado de erosión y área dentro del cantón Chaguarpamba .....	57
<b>Cuadro 11.</b> Pérdidas de suelo, área y porcentaje a nivel parroquial del cantón Chaguarpamba .....	57
<b>Cuadro 12.</b> Pérdidas de suelo, grado de erosión y área que ocupa dentro del cantón Saraguro .....	60
<b>Cuadro 13.</b> Pérdidas de suelo, área y porcentaje a nivel parroquial del cantón Saraguro .....	60
<b>Cuadro 14.</b> Erosión potencial y escenario futuro negativo del cantón Calvas .....	62
<b>Cuadro 15.</b> Erosión potencial y escenario futuro negativo del cantón Chaguarpamba .....	64
<b>Cuadro 16.</b> Erosión potencial y escenario futuro negativo del cantón Saraguro.....	66
<b>Cuadro 17.</b> Erosión hídrica con un escenario positivo del cantón Calvas.....	69
<b>Cuadro 18.</b> Factor P de prácticas de conservación adaptado de Mancilla, (2008) ...	70
<b>Cuadro 19.</b> Valores del factor C en un escenario positivo del cantón Calvas.....	70
<b>Cuadro 20.</b> Erosión hídrica con un escenario positivo del cantón Chaguarpamba ..	72

<b>Cuadro 21.</b> Factor P de prácticas de conservación adaptado de Mancilla, (2008) ...	72
<b>Cuadro 22.</b> Valores del factor C en un escenario positivo del cantón Chaguarpamba .....	73
<b>Cuadro 23.</b> Erosión hídrica con un escenario positivo del cantón Saraguro .....	74
<b>Cuadro 24.</b> Factor P de prácticas de conservación adaptado de Mancilla, (2008) ...	75
<b>Cuadro 25.</b> Valores del factor C en un escenario positivo del cantón Saraguro .....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
<b>Figura 1.</b> Mapa político de la provincia de Loja.....	14
<b>Figura 2.</b> Mapa de erosividad o Factor R del cantón Calvas.....	25
<b>Figura 3.</b> Mapa de erosividad o Factor R del cantón Chaguarpamba.....	26
<b>Figura 4.</b> Mapa de erosividad o factor R del cantón Saraguro. ....	28
<b>Figura 5.</b> Mapa de Erodabilidad del suelo (Factor K) del cantón Calvas.....	29
<b>Figura 6.</b> Mapa de Erodabilidad del suelo (Factor K) del cantón Chaguarpamba. ..	33
<b>Figura 7.</b> Mapa de Erodabilidad del suelo (Factor K) del cantón Saraguro. ....	37
<b>Figura 8.</b> Mapa de uso actual del suelo o Factor C del cantón Calvas. ....	42
<b>Figura 9.</b> Mapa de uso actual del suelo o factor C del cantón Chaguarpamba.....	44
<b>Figura 10.</b> Mapa de uso actual del suelo o factor C del cantón Saraguro.....	46
<b>Figura 11.</b> Mapa de la topografía del terreno o factor LS del cantón Calvas. ....	48
<b>Figura 12.</b> Mapa de la topografía del terreno o factor LS del cantón Chaguarpamba. .....	49
<b>Figura 13.</b> Mapa de la topografía del terreno o factor LS del cantón Saraguro. ....	50
<b>Figura 14.</b> Mapa de prácticas agrícolas o factor P del cantón Calvas. ....	51
<b>Figura 15.</b> Mapa de prácticas agrícolas o factor P del cantón Chaguarpamba. ....	52
<b>Figura 16.</b> Mapa de prácticas agrícolas o factor P del cantón Saraguro.....	53
<b>Figura 17.</b> Erosión actual del cantón Calvas de la provincia de Loja.....	55
<b>Figura 18.</b> Erosión actual del cantón Chaguarpamba de la provincia de Loja. ....	57
<b>Figura 19.</b> Erosión actual del cantón Saraguro de la provincia de Loja. ....	60
<b>Figura 20.</b> Erosión potencial y escenarios futuros negativos del Cantón Calvas. ....	62
<b>Figura 21.</b> Erosión potencial y escenarios futuros negativos del Cantón Chaguarpamba. ....	64
<b>Figura 22.</b> Erosión potencial y escenarios futuros negativos del Cantón Saraguro..	66
<b>Figura 23.</b> Escenario futuro positivo del Cantón Calvas. ....	69
<b>Figura 24.</b> Escenario futuro positivo del Cantón Chaguarpamba.....	72
<b>Figura 25.</b> Escenario futuro positivo del Cantón Saraguro.....	74

## ÍNDICE DE ANEXOS

Pag.

<b>Anexo 1.</b> Valores del Factor C, determinados por varios autores. ....	92
<b>Anexo 2.</b> Matriz de la fase de campo aplicada para Calvas, Chaguarpamba y Saraguro .....	94
<b>Anexo 3.</b> Toma de muestras de suelo y validación de cobertura. ....	99
<b>Anexo 4.</b> Tipo de coberturas de los cantones de Calvas, Chaguarpamba y Saraguro. ....	99
<b>Anexo 5.</b> Calitas previamente realizadas por el IEE y SIGTIERRAS .....	100



## ACRÓNIMOS

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

**“MODELACIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA EN LOS CANTONES DE CALVAS, CHAGUARPAMBA Y SARAGURO MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN”**

## RESUMEN

La erosión del suelo afecta a todo el mundo principalmente ocasionando su degradación. El objetivo de este trabajo es estimar la erosión del suelo utilizando el modelo de ecuación universal de pérdida de suelo (RUSLE) y evaluar prácticas de conservación de suelos en los cantones Calvas, Chaguarpamba y Saraguro de la provincia de Loja. Para este propósito, se recopilieron datos de precipitación, suelos, cobertura vegetal, de longitud de la pendiente y prácticas de conservación para determinar los factores RUSLE. Los resultados que se obtuvieron, el cantón Calvas presenta una pérdida de suelo alta entre  $50 - 200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (28,38 % del cantón) y una pérdida de suelo muy alta  $> 200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (7,30 % del cantón), el cantón Chaguarpamba presenta una pérdida de suelo alta entre  $50 - 200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (0,6 % del cantón) y una pérdida de suelo muy alta  $> 200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (1,4 % del cantón), y el cantón Saraguro presenta una pérdida de suelo alta entre  $50 - 200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (2,46 % del cantón) y una pérdida de suelo muy alta  $> 200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (1,1 % del cantón). Por lo tanto, para reducir la erosión, se tiene que implementar buenas prácticas agrícolas, como la reforestación en Calvas reduciendo un 8,9% de pérdida de suelo  $> 50 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ , cultivos a curvas de nivel en Chaguarpamba reduciendo 0,3% de pérdida de suelo  $> 50 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ , cultivos en fajas en Saraguro reduciendo el 1,61% de pérdida de suelo  $> 50 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ .

## ABSTRACT

Soil erosion affects the entire world mainly causing its degradation. The objective of this study is to estimate soil erosion using the revised universal soil loss equation (RUSLE) and to evaluate soil conservation practices in Calvas, Chaguarpamba and Saraguro cantons of the province of Loja. For this purpose, precipitation, soils, vegetation cover, slope length and conservation practices were collected to determine RUSLE factors. The results that were obtained, Calvas canton shows a high soil loss between 50-200 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> (28.38% of the canton) and a very high soil loss > 200 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> (7, 30% of the canton), Chaguarpamba canton has a high soil loss between 50-200 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> (0.6% of the canton) and a very high soil loss > 200 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> (1.4% of the canton), and Saraguro canton has a high ground loss between 50-200 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> (2.46% of the canton) and a very high ground loss > 200 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> (1.1% of the canton). Therefore, to reduce erosion, good agricultural practices have to be implemented, such as reforestation in Calvas, reducing 8.9% of soil loss > 50 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, crops to contour lines in Chaguarpamba reducing 0, 3% soil loss > 50 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, slash-and-burn crops in Saraguro reducing 1.61% soil loss > 50 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>.

## 1. INTRODUCCIÓN

La erosión del suelo se define en términos generales como la eliminación acelerada de la capa superior del suelo de la superficie de la tierra por agua, el viento o la labranza (FAO, 2015). El proceso de la erosión está estrechamente vinculado con la desertificación y el cambio climático, la pérdida de la biodiversidad, etc. (INEGI, 2014). La erosión hídrica constituye a su vez uno de los principales procesos de pérdida de suelo y representa una de las formas más completas de degradación, englobando la degradación física del suelo como la química y la biológica (De Regoyos, 2003; L. Vega, 2008).

La degradación de suelo afecta el 80,5% (106 440 000 km<sup>2</sup>) de la superficie del planeta, originado tanto por causas naturales como antropogénicas (Alvarado, Colmenero, & Valderrábano, 2007). A lo largo de la historia ha afectado cerca de 2000 millones de hectáreas de tierras en el mundo en los últimos 40 años. Al respecto, se estima que el 80 % de la superficie del planeta presenta este fenómeno y aproximadamente el 66 % de las tierras cultivables se encuentran degradadas por erosión hídrica (Peralta, 2015).

Casos particulares han estimado tasas de pérdida de suelo del orden de las 17 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> para USA; de 30 a 40 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> para Asia, África y Sudamérica, principalmente por prácticas agrícolas inapropiadas; 5,5 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en tierra arables de Alemania y tasas por encima de 50 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> para España, situación que ha llegado al abandono de tierras agrícolas a lo largo de Europa (González, Serrano, Vilchez, Núñez, & García-sancho, 2016). El Ecuador ha sido y sigue siendo afectado por numerosos procesos erosivos acelerados, de tal manera que se puede considerar que la erosión constituye uno de los principales aspectos de degradación. Alrededor del 50 % del territorio presenta este problema (Peralta, 2015).

Para su evaluación se han generado diversos métodos a nivel mundial pero el más aplicado para la estimación de erosión del suelo a nivel mundial es la ecuación universal de pérdida de suelos (USLE) (Wischmeier & Smith, 1978) y la ecuación



universal de pérdida de suelo revisada (RUSLE) (Renard, Foster, Weesies, McCool, & Yoder, 1997).

Esta ecuación se caracteriza por su simplicidad de aplicación y es una herramienta útil para planificar el mejor uso posible del suelo, para seleccionar sistemas de cultivo, manejo y prácticas de conservación, estimar pérdidas de suelo en áreas con uso de suelo diferente a la agricultura (Kinnell, 2010). El modelo RUSLE calcula el promedio anual de erosión esperado en laderas multiplicando varios factores juntos: erosividad de lluvia y escorrentía (R), erodabilidad del suelo (K), longitud de la pendiente e inclinación (LS), la cubierta vegetal (C), y las prácticas de apoyo (P) (Renard et al., 1997).

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

- Elaborar una base de datos geoespacial de los cantones Calvas, Chaguarpamba y Saraguro con información biofísica requerida para la estimación de la erosión del suelo.
- Estimar la erosión actual y potencial de los cantones Calvas, Chaguarpamba y Saraguro 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. Suelo**

Es un cuerpo natural que comprende a sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que ocurren en la superficie de las tierras, que ocupa un espacio y que se caracteriza por los horizontes o capas que se distinguen del material inicial como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia, o por la habilidad de soportar plantas en un ambiente natural. Así que, los suelos contribuyen a las necesidades humanas básicas como la alimentación, el agua potable y el aire limpio, y son un importante portador de la biodiversidad (Landon, 2014; Keesstra et al., 2016).

### **2.2. Erosión del suelo**

Del latín erosio, la erosión es el desgaste que se produce en la superficie del suelo por la acción de agentes externos (como el viento o el agua) o por la fricción continua de otros cuerpos, englobando consigo el proceso de sedimentación. Los efectos in situ son particularmente importantes en las tierras de uso agrícola, donde la redistribución y la pérdida de suelo, la degradación de su estructura y el arrastre de materia orgánica, y nutrientes, llevan a la pérdida del perfil cultural y al descenso de la fertilidad, además reduce también la humedad disponible en el suelo, acentuando la aridez (Cisneros et al., 2012; Chávez, 2007).

Es así que, la erosión alrededor del mundo, tienen gran significancia, donde las tasas de erosión varían desde un mínimo de  $0,001 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  en tierras relativamente planas con cobertura de pasto o bosque, a tasas que van de 1 a  $5 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  en regiones montañosas con vegetación natural. Además, una estimación de la cantidad total de tierra erosionada por el agua de la tierra arable del mundo por año es de 67 mil millones de toneladas, en México, el 52,86% ( $1\,027\,611,50 \text{ km}^2$ ) de la superficie terrestre se ve afectada por la erosión hídrica (Bueno, Velásquez, López, Sánchez, & González, 2016; Pimentel & Burgess, 2013).

Los factores que intervienen en la erosión del suelo se pueden agrupar en tres conjuntos: i) relacionados con los procesos de intercambio de energía entre la

atmósfera y los materiales de la superficie terrestre a través de los agentes erosivos capaces de movilizar las partículas del suelo como la precipitación o el viento (erosividad); ii) relacionados con la resistencia que opone el suelo a ser erosionado, determinada por las características físicas y químicas propias de cada suelo (erodibilidad); iii) derivados de las características protectoras de la cubierta vegetal o de las medidas de protección y conservación llevadas a cabo por los agricultores (Angulo, 2011; Morgan, 2005).

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

La erosión es, un fenómeno natural que debe enmarcarse en la interface entre la litósfera, la atmósfera y la biósfera, y cuya principal fuerza motriz es la gravedad, entretanto la erosión del suelo es un proceso de dos fases consistente en el desprendimiento de partículas de suelo individuales de la masa del suelo y su transporte por agentes erosivos tales como agua corriente y viento. Cuando ya no hay suficiente energía para transportar las partículas, se produce una tercera fase, la deposición (Campaña, 2015; Morgan, 2005).

#### **2.3.1. Erosión hídrica**

La erosión hídrica del suelo en las tierras cultivadas es una grave amenaza para los recursos del suelo en el mundo, se estima que aproximadamente 75.000 millones de toneladas de suelo fértil se pierden cada año de los sistemas agrícolas mundiales, asimismo, una evaluación a nivel nacional de la erosión del suelo proveniente de las tierras cultivadas de los Estados Unidos mostró que las pérdidas de suelo debidas a la erosión hídrica cayeron de 9,9 a 6,7 Mg ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> o 32% entre 1982 y 2007, esto se debe al aumento en la superficie de labranza cero del 2,5 al 16,1% de las tierras cultivables de los Estados Unidos entre 1984 y 2007 (Lanzanova et al., 2013; Leh, Bajwa, & Chaubey, 2013; Pimentel & Burgess, 2013; Service, 2007).

La erosión hídrica es el proceso por el cual se produce el desprendimiento, transporte y deposición de las partículas de suelo por acción de los siguientes agentes principales:

**La energía cinética de la gota de lluvia:** La energía de las lluvias se disipa sobre la superficie del suelo produciendo la ruptura de los terrones y agregados, generando una salpicadura (erosión por salpicadura) que desprende partículas que luego son arrastradas pendiente abajo. Este fenómeno de disipación de la energía de la lluvia está relacionado a la pérdida de infiltración del suelo (Cisneros et al., 2012).

**La escorrentía en movimiento:** Este agente erosivo produce el desprendimiento de nuevo suelo y el transporte del suelo removido, en una magnitud proporcional al caudal escurrido y a la velocidad que adquiere el flujo de agua sobre la superficie. Este agente produce los fenómenos erosivos más visibles (por ejemplo cárcavas), y es el responsable del movimiento de las partículas de suelo removidas. Pueden distinguirse dentro de la escorrentía dos tipos de flujo: el flujo laminar (erosión laminar o mantiforme), que se mueve con una velocidad lenta, y el flujo turbulento/concentrado o flujo en surcos (erosión en surcos), con una velocidad que puede llegar a 4 m/s, y que es el responsable de la mayor parte del transporte de sedimentos (Cisneros et al., 2012).

**La gravedad:** La sola acción de la gravedad es capaz de mover el suelo, especialmente cuando está mojado y en ambientes de altas pendientes. Los movimientos en masa, deslizamientos de laderas, erosión lateral de meandros de ríos, avalanchas de nieve son ejemplos de la acción de la gravedad en procesos erosivos (Cisneros et al., 2012).

## **2.4. Causas de la erosión hídrica**

La erosión hídrica es un proceso complejo, deriva de que puede ser visto a diferentes escalas de tiempo y espacio, a menudo aumenta debido a la alta erodabilidad de los suelos geológicamente viejos y degradados; como también por precipitaciones intensivas, gestión inadecuada del suelo y remoción de la cubierta vegetal (Cisneros et al., 2012; Wantzen & Mol, 2013).

### **2.4.1. Clima**

El principal factor climático que influye en la erosión hídrica es la precipitación, y su energía cinética, es así que, durante los eventos de precipitación,

el flujo terrestre se genera cuando la precipitación excede la capacidad de infiltración del suelo o cuando la precipitación cae sobre suelos saturados con un nivel freático elevado y la energía asociada con el impacto de la gota de lluvia y el flujo de agua pueden separar y transportar las partículas del suelo. El estudio de las precipitaciones es importante dentro de cualquier estudio referido al manejo de la erosión hídrica, ya sea a nivel de una cuenca, como así también a nivel regional (Cisneros et al., 2012; Holz, Williard, Edwards, & Schoonover, 2015).

Dentro de la caracterización de las lluvias interesa conocer:

- Cantidad y distribución.
- La precipitación media y su distribución indica los períodos críticos en cuanto a la ocurrencia de tormentas erosivas.
- Intensidad.

#### **2.4.2. Relieve**

Dentro del relieve el principal parámetro a tener en cuenta en los procesos de erosión hídrica es el grado o inclinación de la pendiente, la que se puede expresar en porcentaje o en grados sexagesimales, siendo el porcentaje de pendiente igual a la tangente del ángulo de inclinación de la misma (una pendiente del 5 % corresponde a un ángulo de inclinación de aproximadamente 3°; una pendiente de 100 % corresponde a una inclinación de 45°), en Filipinas, donde más del 58% de la tierra tiene una pendiente superior al 11%, y en Jamaica donde el 52% de la tierra tiene una pendiente superior al 20%, la erosión del suelo alcanza 400 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>. De la misma manera la longitud de la pendiente es otro factor que define la cantidad de erosión de una ladera y la velocidad terminal de la escorrentía (Cisneros et al., 2012; Pimentel & Burgess, 2013).

#### **2.4.3. Suelo**

La erodabilidad del suelo es una medida de la susceptibilidad al desprendimiento y transporte por los agentes de la erosión. La erodabilidad es un efecto integrado de los procesos que regulan la absorción de la lluvia y la resistencia de las partículas del suelo al desprendimiento y posterior transporte. Estos procesos

están influidos por las propiedades del suelo tales como tamaño de partículas, estabilidad de agregados, materia orgánica, cantidad y tipo de arcillas o por características edáficas que afectan la estructura del suelo y la transmisión de agua (Cisneros et al., 2012; Pimentel & Burgess, 2013).

#### **2.4.4. Sistema de producción**

En un sentido amplio, los sistemas de producción son las formas en que la sociedad hace uso de los recursos naturales, especialmente nos interesa la relación sociedad-naturaleza vinculada al uso y manejo de las tierras. Deben incluirse las interacciones del sistema agropecuario con el resto de los sectores de una sociedad (urbano, suburbano, industrial, extractivo, etc.) ya que es la interacción del conjunto la que define las formas de uso en un momento determinado de la evolución social. El aspecto más directo del uso y manejo de los suelo sobre la erosión se relaciona con el efecto de protección de la superficie del suelo por la vegetación o restos de ella (Cisneros et al., 2012).

#### **2.5. Consecuencias de la erosión hídrica**

- Destrucción de tierras productivas (cárcavas).
- Pérdida de capacidad productiva del suelo (erosión laminar y en surcos).
- Pérdida de agua para los cultivos (productividad de corto plazo).
- Destrucción de infraestructura vial y urbana (puentes, alcantarillas, caminos rurales y rutas).
- Deterioro de ecosistemas de ribera (bordes de ríos y arroyos).
- Contaminación de aguas superficiales (herbicidas, insecticidas).
- Inundación de depresiones, poblaciones, caminos y tierras productivas.
- Mayor inestabilidad y riesgos productivos (Cisneros et al., 2012).

#### **2.6. Sistemas de información geográfica**

La palabra geográfica se ocupa del concepto de geografía y de las definiciones formales de la geografía, es el estudio de la variación espacial, de cómo y por qué las cosas diferían de un lugar a otro en la superficie de la tierra, por lo tanto, los sistemas de información geográfica es un sistema diseñado para capturar,

almacenar, manipular, analizar, gestionar y presentar todos los tipos de datos geográficos, una definición simple sería una forma de fusionar la cartografía, el análisis estadístico y la tecnología de base de datos (Bustamante & Álvarez, 2011; Wright, 2014).

El uso de SIG depende del tipo de análisis espacial, base de datos, hardware y software que se está utilizando. Las aplicaciones SIG permiten a los usuarios hacer consultas, analizar información espacial, hacer correcciones o agregar información a los mapas y presentar todos los resultados de las operaciones. SIG no es un sistema informático para hacer mapas, aunque puede crear mapas con diferentes escalas, proyecciones y colores. Es una herramienta analítica que permite al usuario identificar las relaciones espaciales de las características del mapa (Wright, 2014).

## **2.7. Modelos para estimar la erosión hídrica**

Los modelos se puede usar como herramientas para la predicción de pérdida de suelo, para planes de conservación, proyectos inventarios de erosión y la ordenación del recurso, de tal manera, la modelización trata de dar respuesta a todos aquellos aspectos técnicos que facilitan el conocimiento de los diferentes parámetros e interrelaciones implicados, para posteriormente tratar de reproducir el sistema en el cual se desarrollan los procesos y explicar el comportamiento global en una región (Clérici & García, 2001).

### **2.7.1. El modelo europeo de erosión de suelos (EUROSEM)**

El Modelo Europeo de Erosión de Suelos (EUROSEM) es un modelo distribuido dinámico para simular la erosión, el transporte y la deposición de sedimentos sobre la superficie terrestre mediante procesos de inter-surcos y de enrasado. Está diseñado como un modelo basado en eventos para campos individuales y pequeñas captaciones. Los resultados del modelo incluyen la escorrentía total, la pérdida total de suelo, el hidrograma de tormenta y el gráfico de sedimentos de tormenta. EUROSEM prevé la simulación explícita de inter-surcos, los efectos de la cobertura de la planta sobre la intercepción de lluvias, la infiltración, la energía de lluvia y velocidad, y los efectos de la cubierta del fragmento de la roca en la infiltración, la velocidad del flujo y la erosión del chapoteo. Las capturas se

representan como una red en cascada simplificada de elementos, que pueden ser tanto planos (para segmentos de laderas) como canales. Cada plano se considera uniforme en su suelo, pendiente, microtopografía superficial y cubierta de tierra (Morgan et al., 1998).

### **2.7.2. Water erosion prediction project (WEPP)**

El Proyecto de Predicción de Erosión del Agua (WEPP) fue originado como un producto tecnológico para la predicción de la erosión hídrica de nueva generación involucradas en la conservación del suelo y agua y planificación y evaluación ambiental, en el implemento de este modelo se involucraron ingenieros de investigación y científicos creando lógica y código de modelo, realizando experimentos de campo y de laboratorio, trabajando en parametrización y pruebas de modelos y creando interfaces de usuario y bases de datos (Flanagan, Gilley, & Franti, 2007).

WEPP estaba destinado a ser aplicado a la agricultura, pastizales y bosques. La generación de escorrentía fue por el mecanismo del exceso de lluvia descrito por el modelo de infiltración de GreenAmpt modificado. Recientemente, los científicos han comprendido cada vez más que el exceso de lluvia no es el único mecanismo de generación de escorrentía que influye en la hidrología y la erosión forestales. Las tierras forestales son ejemplificadas por pendientes empinadas y suelos jóvenes, superficiales y de grano grueso, que difieren notablemente de las tierras agrícolas típicas. WEPP es una herramienta razonable para cuantificar la escorrentía y la erosión de los campos agrícolas típicos. Sin embargo, para las aplicaciones de cuencas forestales el modelo necesita ser modificado para representar adecuadamente los procesos hidrológicos involucrados (Covert, Robichaud, Elliot, & Link, 2005; Laflen, Flanagan, & Engel, 2004).

### **2.7.3. A kinematic runoff and erosion model (KINEROS)**

KINEROS (KInematic runoff y EROSIon), o K2, se originó en el Servicio de Investigación Agrícola del USDA (ARS, por sus siglas en inglés) a finales de los años sesenta como un modelo que dirigía la escorrentía de colinas, representada por



una cascada de planos de flujo terrestre y luego lateralmente en canales (Goodrich et al., 2012).

KINEROS es un modelo distribuido que es aplicable desde la parcela a las escalas de la cuenca y ha sido exitosamente calibrado y validado en cuencas experimentales con entradas de alta resolución y observaciones de hasta 150 km<sup>2</sup> de tamaño. KINEROS es un modelo basado en eventos que calcula el escurrimiento, la erosión y el transporte de sedimentos en los elementos del modelo de alcantarillado (flanco de colina), canal, pozo de retención, urbano, de inyección y no presurizada (Goodrich et al., 2012).

#### **2.7.4. Ecuación universal de pérdida del suelo / Ecuación Universal de Pérdida del Suelo Revisada (USLE/RUSLE)**

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) es la más ampliamente usada, la cual fue desarrollada basada en datos obtenidos en parcelas de erosión en suelos “típicos” de los Estados Unidos, al este de las Montañas Rocosas. Aunque la USLE ha sido en general mal empleada, esta sigue siendo la más utilizada y constituye una herramienta práctica y poderosa del manejo del suelo. La USLE se diseñó en principio como un auxiliar útil para la planificación de la conservación. Además, puede utilizarse para generar los datos de pérdida de suelo para correlacionarlos con otros parámetros. La ecuación se desarrolló para calcular la pérdida promedio anual de suelo a largo plazo (Mesén, 2009; Sibello, 2013).

Una Revisión de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (RUSLE) es disponible con aplicaciones a un rango más amplio de condiciones y localizaciones que la USLE original, en la RUSLE se mantiene la misma estructura general, pero se modificó la forma de obtención de cada uno de los factores del modelo. Aunque fue desarrollado para pequeñas pendientes, USLE y sus resultados han sido incorporados en aplicaciones de modelación de erosión y transporte de sedimento a escala de cuenca. Los requerimientos de datos de entrada son bajos, comparado con muchos otros modelos: lluvia anual, un estimado de la erodabilidad, información de la cobertura de suelo y la topografía. Dando como resultado una estimación de la

pérdida de suelo anual promedio (Alonso, Ruiz, Schiettecatte, Diaz, & Almoza, 2007; Du & Walling, 2011; Sibello, 2013; Vega & Febles, 2005)

## 2.8. Modelo del estudio

### 2.8.1. Ecuación universal de pérdida de suelo / ecuación universal de pérdida de suelo revisada (Usle/Rusle)

El modelo USLE, a partir de información referida a seis variables de control, estima el valor en toneladas métricas por hectárea y año de la cantidad de suelo removida por la erosión hídrica (Pérez & López, 2000).

La expresión matemática de este modelo tiene la siguiente forma:

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

Dónde:

- **A**, es la cantidad de material erodado calculado o medido expresado en toneladas por hectárea para una duración de lluvia específica.
- **R**, es el factor de lluvia en forma de un índice (EI30), que es medido por el poder erosivo de la lluvia expresado en toneladas metro por hectárea hora o en joule por metro cuadrado.
- **K**, es el factor de erodabilidad del suelo, es erosión estándar en tonelada por hectárea por unidad de erosividad R, para un suelo específico con una pendiente uniforme de 9% de gradiente y 22,1 m de longitud de pendiente en barbecho limpio labrado.
- **L**, es el factor longitud de pendiente, expresa la relación de pérdida de suelo de una pendiente con una longitud dada y la pérdida de suelo de una pendiente con una longitud estándar de 22,13 m, con idénticos valores de erodabilidad y gradiente de pendiente;
- **S**, es el factor de gradiente de pendiente, expresa la relación de pérdida de suelo de una gradiente de pendiente específica y la pérdida de suelos de una pendiente con gradiente estándar de 9%, bajo otras condiciones similares, definen el efecto de la inclinación de la pendiente sobre la pérdida de suelo por unidad de área;

- **C**, es el factor combinado de vegetación y manejo, expresa relación de pérdida de suelo de un área con cobertura y manejo específicos a un área similar, pero en barbecho continuamente labrado; y
- **P**, es el factor prácticas de conservación de suelo que expresa la relación de pérdida de suelo de un área con cobertura y manejo específico, como cultivo en contorno, cultivo en bandas o terrazas, con otro con labranza a favor de la pendiente.

### **2.8.2. 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, además, existe una relación directa entre la erosividad y la precipitación anual, dada la definición misma de dicho índices (Perez, 2001; F. Ramírez, Hincapié, Sadeghian, & Pérez, 2007; L. Ramírez, 2010).

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

Representa la susceptibilidad del suelo a ser erosionado, el valor del Factor K es una medida empírica de la erodabilidad del suelo y es una función de las propiedades intrínsecas del suelo. La erodabilidad varía con la textura del suelo, la estabilidad del agregado, la capacidad de infiltración y el contenido orgánico y químico, asimismo este factor está influido por la desmontabilidad del suelo, por la infiltración y escorrentía y la transportabilidad del sedimento erosionado del suelo. Las principales propiedades del suelo que afectan al factor K son la textura del suelo, incluida la cantidad de arena fina, además de los porcentajes usuales de arena, limo y arcilla utilizados para describir la textura del suelo, la materia orgánica, la estructura del suelo y la permeabilidad (Bathrellos, Skilodimou, & Chousianitis, 2010; Ochoa et al., 2016).

### **2.8.4. Factor LS o longitud y gradiente de la pendiente**

Este factor se puede dividir en factores L y S que, respectivamente, tienen en cuenta la longitud de la pendiente y la inclinación de la pendiente y, conjuntamente,

se refieren a la influencia topográfica (o de relieve) sobre la intensidad de la erosión. Naturalmente, cuanto más pronunciada es la pendiente de un campo, mayor es la cantidad de pérdida de suelo por erosión. La erosión del suelo también aumenta a medida que la longitud de la pendiente, que se define como la distancia desde el origen del flujo terrestre hasta el punto en que comienza a depositarse, aumenta debido a la mayor acumulación de escorrentía. El factor topográfico puede determinarse multiplicando los factores L y S (Bathrellos et al., 2010; Ibáñez, Moreno, & Gisbert, 2012).

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).

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

El factor C refleja el efecto de las prácticas de cultivo y manejo sobre la tasa de erosión del suelo y está relacionado principalmente con el porcentaje de cobertura de la vegetación. Los bosques no perturbados y el pastizal denso proporcionan la mejor protección del suelo y son casi iguales en su eficacia. El factor C indica cómo el plan de conservación afectará la pérdida promedio anual y cómo la pérdida potencial de suelo será distribuida en el tiempo durante las actividades de construcción, rotaciones de cultivo u otros esquemas de manejo (Bathrellos et al., 2010; Bueno et al., 2016).

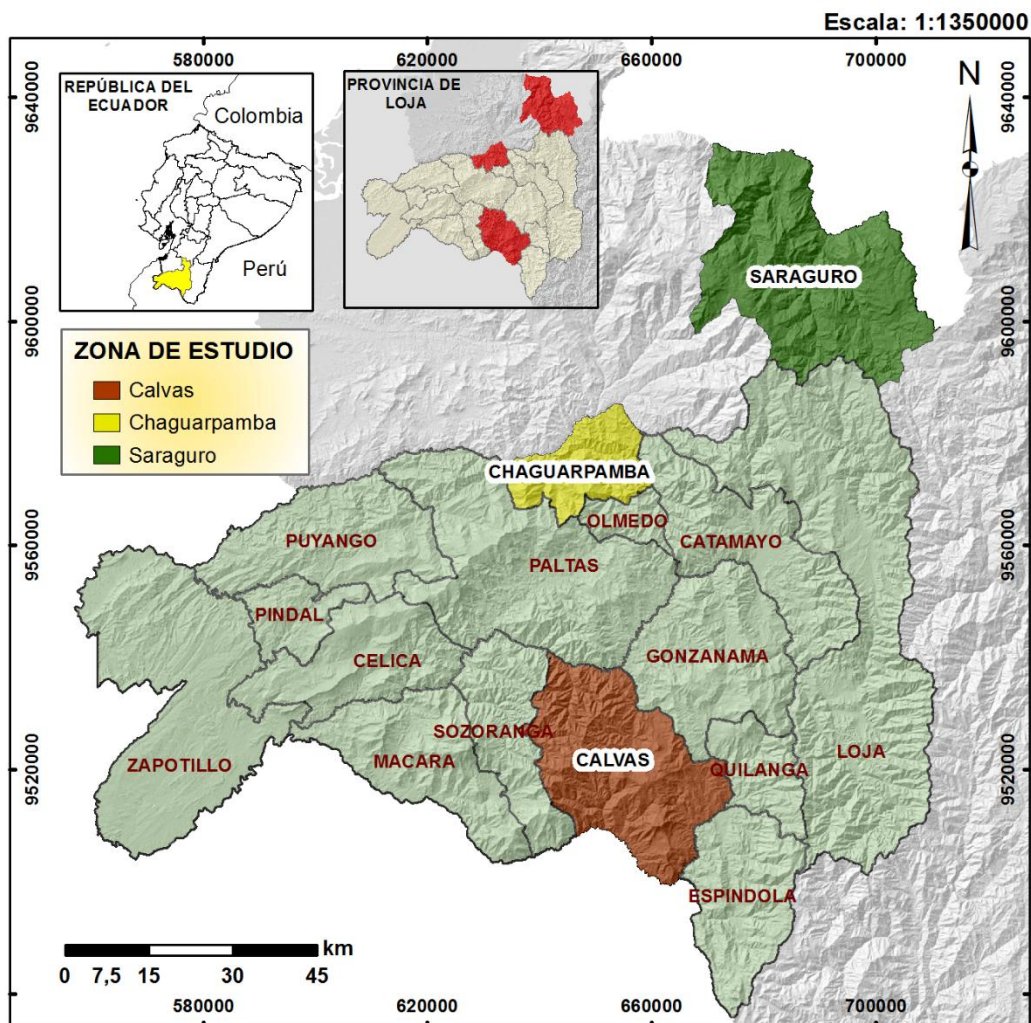
#### **2.8.6. Factor P o de prácticas de conservación de suelos**

El Factor P de prácticas de control de erosión de suelo, se lo define como la proporción de la pérdida de suelo con una práctica específica de apoyo a la correspondiente pérdida de suelo con el cultivo hacia arriba y hacia abajo. Cuanto más bajo sea el valor de P, más efectiva será la práctica de conservación para reducir la erosión del suelo, 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 Cuadros (Bathrellos et al., 2010; Bueno et al., 2016).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Área de estudio

El estudio se lo realizó en los cantones de Calvas, Chaguarpamba y Saraguro, ubicados en la provincia de Loja con una extensión territorial de 141 504 029 ha (Figura 1).



*Figura 1.* Mapa político de la provincia de Loja

**Fuente.** Elaboración propia con datos del sistema nacional de información (SNI).

##### 3.1.1. Ubicación y límites del cantón Calvas

El cantón Calvas se encuentra ubicado en la parte sur de la provincia de Loja, siendo sus límites: al norte con los Cantones de Paltas y Gonzanamá, al sur con la República del Perú, al este con los cantones de Quilanga y Espíndola, al oeste con el cantón Sozoranga y se encuentra a una distancia de 111 km de la ciudad de Loja

#### **3.1.1.1. *Latitud y longitud***

Calvas tiene una extensión territorial de 855 Km<sup>2</sup>, un clima templado seco con una temperatura promedio de 20°C se encuentra ubicado entre las coordenadas planas, latitud: -4,31667, longitud: -79,5667.

#### **3.1.1.2. *División Política***

Política y administrativamente Calvas está dividido en 1 parroquia urbana, 4 parroquias rurales y 122 barrios. De tal manera la parroquia Urbana es su cabecera cantonal Cariamanga, mientras que las parroquias rurales son: Colaisaca, El Lucero, Sanguillín y Utuana.

### **3.1.2. Ubicación y límites del cantón Chaguarpamba**

El cantón Chaguarpamba está ubicado al norte de la provincia de Loja, siendo sus límites: al norte con El Oro, al sur con Olmedo y Paltas, al este con Catamayo, al oeste con Paltas y se encuentra a una distancia de 108 km de la ciudad de Loja.

#### **3.1.2.1. *Latitud y longitud***

Chaguarpamba tiene una extensión territorial de 315 km<sup>2</sup>, su clima es templado en la parte alta y cálido húmedo en la parte baja, la temperatura promedio es de 22°C y ubicado en las siguientes coordenadas planas: 79°, 38', 27" de longitud oeste y 3°, 52', 23" de latitud sur.

#### **3.1.2.2. *División política***

Política y administrativamente el cantón Chaguarpamba está dividido en 1 parroquia urbana, 4 parroquias rurales y 40 barrios. De tal manera la parroquia Urbana es su cabecera cantonal Chaguarpamba, mientras que las parroquias rurales son: Amarillos, Buenavista, El Rosario y Santa Rufina.

### **3.1.3. Ubicación y límites del cantón Saraguro**

El cantón Saraguro se encuentra ubicado al norte con la provincia del Azuay, al sur con el nudo de Acacana en el cantón Loja, al este con la provincia de Zamora Chinchipe y al oeste con el cantón Zaruma provincia de El Oro.

### **3.1.3.1. *Latitud y longitud***

Saraguro tiene una extensión de 1080 km<sup>2</sup>, su temperatura promedio es de 17°C y se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas planas, latitud: -3,55 y longitud: -79,25.

### **3.1.3.2. *División política***

Política y administrativamente el cantón Saraguro posee 11 Parroquias que son, Saraguro, San Pablo de Tenta, El paraíso de Celen, Selva Alegre, Lluzhapa, Manú, Urdaneta, San Sebastián de Yulug, San Antonio de Cumbe, Sumaypamba y El Tablón.

## **3.2. Materiales**

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

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

- Barreta
- Flexómetro
- Sistem Global Position (GPS)
- Mapa de la zona de estudio
- Cámara fotográfica
- Hoja de registro
- Bolígrafos
- Fundas plásticas
- Cinta masking

### **3.2.2. Fase de laboratorio**

- Muestras de suelo
- Tamiz de 2mm.
- Tamiz de 100µm.
- Tamiz de 50µm.
- Balanza de precisión.

- Pinceles
- Bolígrafos

### **3.2.3. Fase de análisis**

- Computadora
- Internet
- Literatura citada
- Calculadora
- Software ArcMap 10.3

## **3.3. Metodología**

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

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

En la determinación del factor R, se tomó los análisis realizados en el estudio de Tamayo (2016), el cual sigue la metodología sugerida por la RUSLE para el cálculo del factor R, donde la estructura de base de datos se la adquirió de información primaria proporcionada por el INAMHI, esta información contienen datos de 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 que se encuentra en la provincia de El Oro y 2 dentro de la provincia de Zamora.

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

Para determinar las características del suelo, se realizó un muestreo en campo, donde se tomó en cuenta la información obtenida a partir de análisis de suelo efectuados por el Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (SIGTIERRAS) y El Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), de tal manera, se consideraron los datos ya determinados en la capa superficial (horizonte A) como son: porcentaje de arena, porcentaje de limo, porcentaje de arcilla, porcentaje de materia orgánica y estructura.



Por lo tanto en el laboratorio se determinó el porcentaje de arena muy fina, y la permeabilidad del suelo se estimó en función de la textura. En todos los casos se tomaron muestras simples que fueron colocadas en fundas ziplock de 1 kg con su debida etiqueta. Estas fueron guardadas en un lugar seco y fresco hasta su traslado al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Loja, para su posterior análisis.

Los resultados obtenidos, se utilizaron para el cálculo de la Erodabilidad del suelo (Factor K), utilizando la fórmula propuesta por (Ochoa et al., 2016) en concordancia con la fórmula propuesta por (Renard et al., 1997) y convertida dentro del Sistema Internacional (Ecuación 2).

Para determinar los valores del factor K se utiliza la siguiente formula:

$$K = 0,277 \times 10^{-6} \times M^{1.14} (12 - MO) + 0.0043 (S - 2) + 0.0033 (P - 3) \text{ Ec. 2.}$$

$$M = (\%Limo + \%Arena\ muy\ fina) \times (100 - \%Arcilla) \quad \text{Ec. 3.}$$

Dónde:

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

El porcentaje de arena muy fina. Se pesaron 20 gramos de suelo libre de humedad para colocarlos en tamices de 50 y 100 micras, (la arena muy fina tiene tamaños que varían entre este rango). Finalmente se pesó la cantidad resultante (arena muy fina) obteniendo el porcentaje mediante regla de tres.

La base de datos del Factor K tomó forma con los resultados obtenidos de las diferentes muestras de suelo analizadas en el laboratorio e información obtenida del SIGTIERRAS e IEE. Aplicando únicamente las Ecuaciones 2 y 3.

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 interpolando debe ser la de una variable dependiente de localización. Aplicada la herramienta IDW se obtiene una imagen raster.

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

En la base de datos del Factor C, se consideró información generada en formato shape, de cada una de las unidades de cobertura vegetal presentes en los cantones Calvas, Chaguarpamba y Saraguro que realizó el SIGTIERRAS y IEE, donde se utilizó las mismas categorías (Bosque seco, Matorral, Cultivos de maíz, etcétera) del Ministerio del Ambiente.

Para la realización de la base de datos del factor C se procedió a determinar los valores de ponderación de acuerdo a otras investigaciones que utilizan la misma metodología para determinar la erosión, tomando en cuenta todas las características presentes en cada uno de los diferentes tipos de cobertura vegetal. Los valores utilizados se detallan en el Anexo 1.

Finalmente con la base de datos subida en el programa, se procedió a convertir de formato vector a formato raster (Polygon to raster), cuyo resultado es la imagen del factor C.

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

En los factores L y S, fue necesario partir con información raster de Shuttle Terrain Radar Mapping (SRTM), misma que fue transformada en Modelo Digital de Elevación (MDE) mediante el software ArcMap 10.3. Para ello se empleó la herramienta “Mosaic to Raster”, en la cual se ingresó las imágenes SRTM unificándolas y generando el MDE con su respectiva georreferenciación. A partir de esta información se obtuvo diferentes parámetros que sirvieron para determinar los factores L y S conjuntamente, aplicando la metodología de cálculo elaborada por (Tamayo, 2016).

En el cálculo del factor L, fue necesario aplicar un relleno al MDE para evitar espacios vacíos en el raster, esto se elaboró mediante la herramienta “Fill” del software empleado. Con la imagen resultante se creó un raster de pendientes (Slope) el mismo que fue utilizado para crear el factor F empleando la Ecuación 4.

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

Dónde

❖  $\beta$  = Es el ángulo de la pendiente

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

Factor F =

$$((\sin(\text{"Slope"}*0.01745)/0.0896)/(3*\text{Power}(\sin(\text{"Slope"}*0.01745),0.8)+0.56))$$

Obtenido el Factor F se procedió a obtener el Factor M, para ello se empleara la siguiente formula en “Raster Calculator”:

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

Seguidamente se procederá a obtener la dirección de flujo y acumulación del flujo con las herramientas Flow Direction y Flow Accumulation respectivamente. Obtenidas estas dos imágenes se obtuvo el Factor L en “Raster Calculator” empleando la siguiente Ecuación 5 y fórmula.

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

Donde

- ❖  $A_{(i,j)}m$  = Es el área aportadora unitaria a la entrada de un pixel (celda)
- ❖  $D$  = Es el tamaño del pixel
- ❖  $x$  = es el factor de correlación de forma

$$\text{Factor L} = \frac{(\text{Power}(\text{"flow\_acc"} + 900), (\text{"Factor\_M"} + 1)) - \text{Power}(\text{"flow\_acc"}, (\text{"Factor\_M"} + 1))}{\text{Power}(30, (\text{"Factor\_M"} + 2)) * \text{Power}(22.13, \text{"Factor\_M"})}$$

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

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

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

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

$$\text{Factor LS} = \text{"Factor\_L"} * \text{"Factor\_S"}$$

### 3.3.1.5. *Determinación del factor P*

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

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

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

#### 3.3.2.1. *Erosión hídrica actual*

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

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

### **3.3.2.2. Erosión Hídrica Potencial y Escenarios Futuros negativos**

En el caso de la erosión hídrica potencial, únicamente se utilizan los siguientes factores de la RUSLE.

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

En el caso de los escenarios futuros negativos se consideró el factor C con valores degradado, los cuales fueron tomados de Cuadros que algunos autores ya previamente han designado

### **3.3.3. Metodología para proponer alternativas adecuadas de manejo y uso del suelo en las diferentes categorías de erosión.**

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

## 4. RESULTADOS

A continuación se detallan los resultados para cada uno de los objetivos propuestos en la presente investigación.

### 4.1. Erosión hídrica actual, potencial y zonas susceptibles y erosión potencial

#### 4.1.1. Tasas de erosión o erosión hídrica actual

A continuación están cada uno de los mapas de las diferentes variables que conforman la ecuación de la RUSLE.

##### 4.1.1.1. *Resultados del Factor R*

El análisis de erosividad de la precipitación o Factor R está estrechamente relacionado con el Índice Modificado de Fournier, lo que permite estimar la erosividad, estos valores se detallan en la Cuadro 1.

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

Código	Nombre	Coordenadas		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	1566	880,44	129,29	1954,65
M0145	Quinara	694953	9522952	1559	893,81	128,4	1942,18
M0146	Cariamanga	660414	9520874	1950	1403,55	259,32	3726,27
M0147	Yangana	702556	9516943	1835	1199,02	149,69	2238,99
M0148	Celica	616393	9546313	1904	1052,95	234,36	3392,59
M0149	Gonzanama	674127	9532243	2042	1431,34	251,17	3617,59
M0150	Amaluza	674106	9493048	1672	1005,93	189,69	2788,66
M0151	Zapotillo	583709	9515550	223	638,35	188,74	2775,71
M0180	Zaruma	654213	9591035	1100	1459,01	260,96	3748,11
M0185	Machala	640755	9657269	13	1574,52	254,49	3661,89
M0189	Gualaquiza	769358	9624070	750	1857,13	189,3	2783,35
M0241	Quilanga	677657	9524372	1819	1313,53	225,41	3272,31

Continúa

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

<b>M0432</b>	San Lucas	693086	9587311	2525	1178,9	124,63	1889,26
<b>M0433</b>	El Lucero	669587	9513515	1180	1357,03	330,42	4664,69
<b>M0434</b>	Sozoranga	634395	9521872	1427	995,97	179,09	2643,91
<b>M0435</b>	Alamor	607925	9555751	1250	1442,61	358,63	5032,76
<b>M0437</b>	Saucillo	588930	9526784	328	752,47	246,03	3548,91
<b>M0438</b>	Jimbura	670274	9488265	2100	1315,58	240,25	3471,55
<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

Fuente: Tamayo (2016).

#### 4.1.1.1. Mapa del Factor R de Calvas

En la Figura 2, se puede observar que la más alta intensidad de precipitación y por ende los valores más altos del Factor R que van de 3 528 Mj.mm/ha.h.año a 3 762 Mj.mm/ha.h.año, se encuentran en la parte Este del Cantón Calvas (parroquias El Lucero, Sanguillín y Cariamanga), es así, que estas parroquias tienden al proceso erosivo por la precipitación que se inicia por el efecto de la salpicadura de las gotas de lluvia. De tal manera, las intensidades bajas de precipitación y por ende bajos valores del Factor R que van de 3 261 Mj.mm/ha.h.año a 3 528 Mj.mm/ha.h.año se sitúan en la parte Oeste del cantón Calvas (parroquias Utuana, Colaisaca y Cariamanga), por lo que, en estos sectores, son menos susceptibles a erosión hídrica.

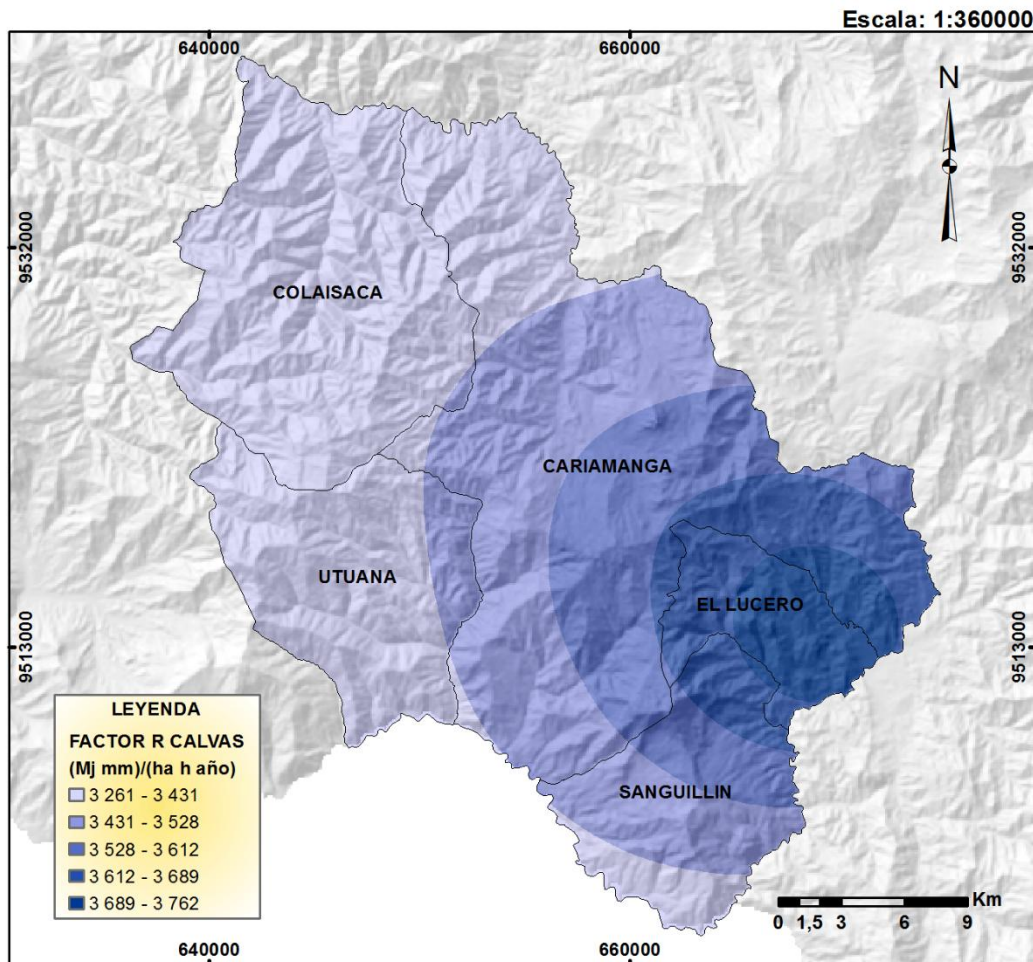


Figura 2. Mapa de erosividad o Factor R del cantón Calvas.



#### 4.1.1.1.2. Mapa del Factor R de Chaguarpamba

En la Figura 3, se puede observar que la más alta intensidad de precipitación y por ende los valores más altos del Factor R que van de 2 895 Mj.mm/ha.h.año a 3 393 Mj.mm/ha.h.año, se encuentran en la parte Oeste del Cantón Chaguarpamba (parroquias Santa Rufina, Buenavista, Amarillos y Chaguarpamba), es así, que estas parroquias tienden al proceso erosivo por la precipitación que se inicia por el efecto de la salpicadura de las gotas de lluvia. De tal manera, las intensidades bajas de precipitación y por ende bajos valores del Factor R que va de 2 600 Mj.mm/ha.h.año a 2 895 Mj.mm/ha.h.año se sitúan en la parte Este del cantón Chaguarpamba (parroquias El Rosario y Chaguarpamba), por lo que, en estos sectores, son menos susceptibles a erosión hídrica.

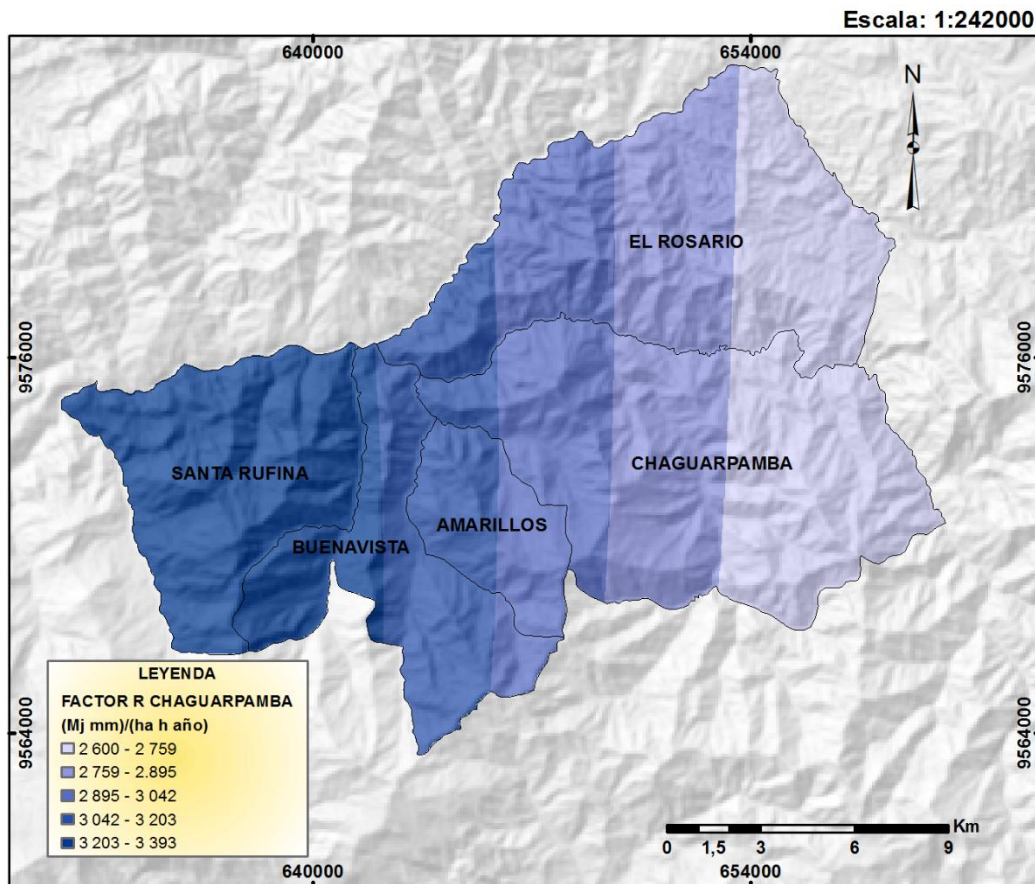
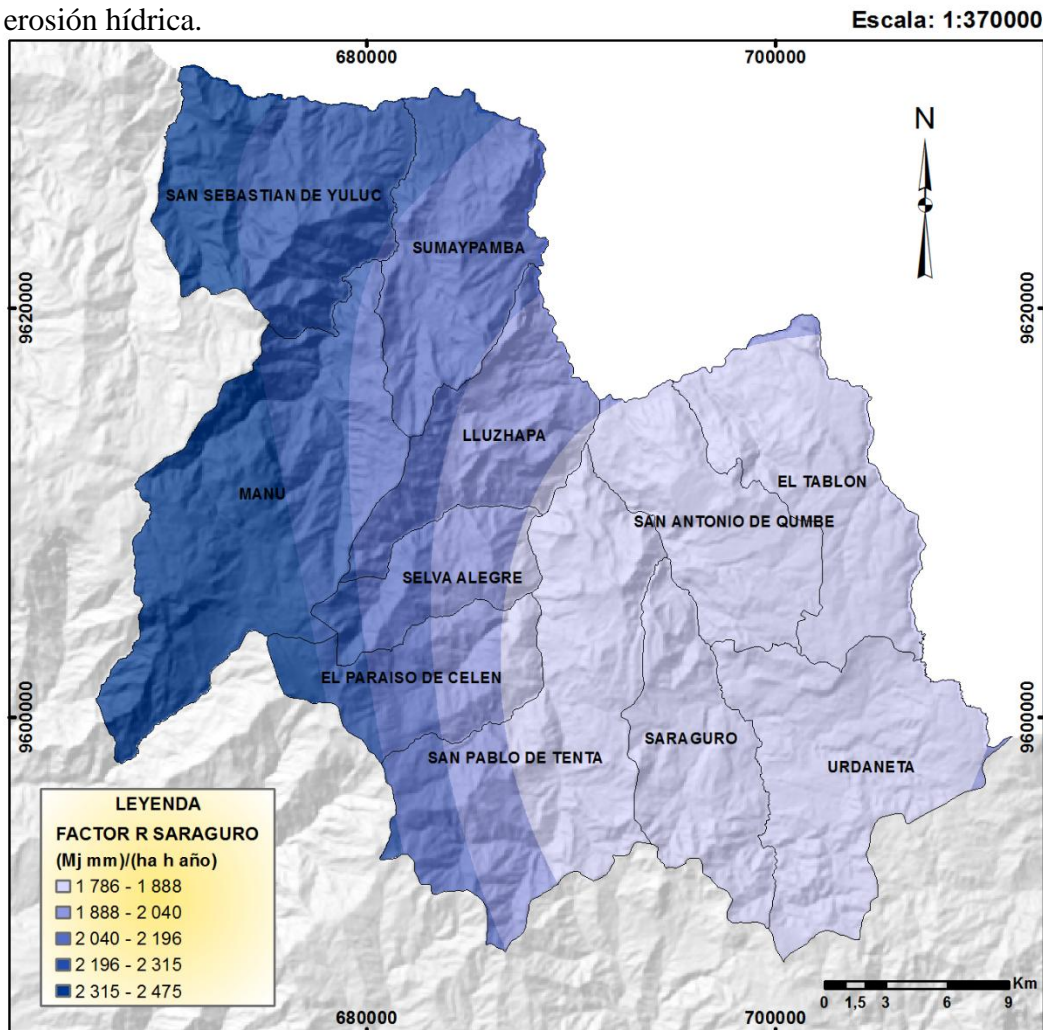


Figura 3. Mapa de erosividad o Factor R del cantón Chaguarpamba.

#### 4.1.1.1.3. Mapa del Factor R de Saraguro

En la Figura 4, se puede observar que la más alta intensidad de precipitación y por ende los valores más altos del Factor R que van de 2 040 Mj.mm/ha.h.año a 2 475 Mj.mm/ha.h.año, se encuentran en la parte Oeste del Cantón Saraguro (parroquias San Sebastián de Yuluc, Manu, Sumaypamba, Lluzhapa, Selva Alegre y El Paraíso de Celen), es así, que estas parroquias tienden al proceso erosivo por la precipitación que se inicia por el efecto de la salpicadura de las gotas de lluvia. De tal manera, las intensidades bajas de precipitación y por ende bajos valores del Factor R que va de 1 786 Mj.mm/ha.h.año a 2 040 Mj.mm/ha.h.año se sitúan en la parte Este del cantón Saraguro (parroquias San Pablo de Tenta, Saraguro, San Antonio de Cumbe, El Tablón y Urdaneta), por lo que, en estos sectores, son menos susceptibles a erosión hídrica.



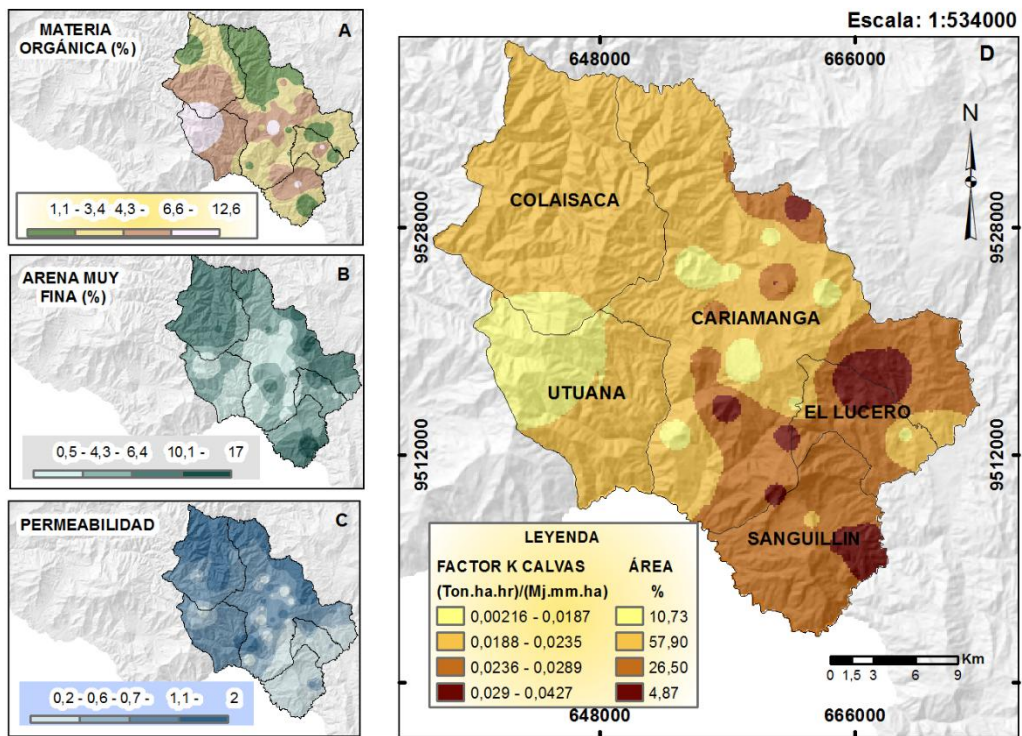
**Figura 4.** Mapa de erosividad o factor R del cantón Saraguro.

#### **4.1.1.2. Resultados del Factor K**

##### **4.1.1.2.1. Mapa del Factor K de Calvas**

El Factor K representa la vulnerabilidad del suelo o material superficial a la erosión, la transportabilidad del sedimento y la cantidad y la tasa de escorrentía dada una entrada de lluvia particular, medida en condiciones estándar (Mahalingam, Malik, & Vinay, 2015).

En la Figura 5, se puede apreciar que los valores del Factor K varían entre 0,00216 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha a 0,0427 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha, en el cantón Calvas hay valores del Factor k que fluctúan entre 0,00216 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha a 0,0187 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha que ofrecen resistencia al desprendimiento de las partículas del suelo y escaso escurrimiento debido a que contienen alto contenido de arcilla (Cuadro 2), materia orgánica de 6,6% - 12,6% (Figura 5A), arena muy fina de 0,5% - 4,3% (Figura 5B) y permeabilidad de 0,2% - 0,6% (Figura 5C), estos suelos ocupan un área de 341,19 hectáreas (10,73%) de la superficie total del cantón Calvas, de la misma manera, los valores del Factor K que están entre 0,0188 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha a 0,0289 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha son suelos considerados como arenosos con texturas gruesas que se caracterizan por ser fácilmente erodables, poco escurrimiento, materia orgánica de 3,4% - 6,6% (Figura 5A), arena muy fina de 4,3% - 10,1% (Figura 5B) y permeabilidad de 1,1% - 2% (Figura 5C), estos suelos ocupan un área de 2 683,89 hectáreas (84,4%) de la superficie total del cantón Calvas, y por último tenemos los valores del factor K que fluctúan entre 0,0289 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha a 0,0427 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha, son los suelos que tienden a ser los más erodables por su gran contenido de limo, forman costras, producen altas tasas de escorrentía, materia orgánica de 1,1% - 3,4% (Figura 5A), arena muy fina de 10,1% - 17% (Figura 5B) y permeabilidad de 0,6% - 1,1% (Figura 5C), estos suelos ocupan 154,8 hectáreas (4,87%) de la superficie total del territorio.



**Figura 5.** Mapa de Erodabilidad del suelo (Factor K) del cantón Calvas. A) Mapa de Materia Orgánica. B) Mapa de Arena Muy Fina. C) Mapa de Permeabilidad. D) Mapa de Erodabilidad.

**Cuadro 2.** Parámetros del Factor K de Calvas

<b>MUESTRA N°</b>	<b>MO</b>	<b>Ao (%)</b>	<b>Lo (%)</b>	<b>Ar (%)</b>	<b>Arena muy Fina (%)</b>	<b>Textura</b>	<b>Estructura</b>	<b>Permeabilidad</b>	<b>Factor K</b>
<b>Calvas 1</b>	1,45	44	30	26	11,5	Franco	Bloques sub-angulares a Desmenuzable	Lenta	0,043
<b>Calvas 2</b>	2,32	58	20	22	4	Franco arcillo- arenoso	Granular a Bloques sub-angulares	Media	0,018
<b>Calvas 3</b>	3,54	42	26	32	4	Franco Arcilloso	Grumoso	Lenta	0,020
<b>Calvas 4</b>	1,53	64	24	12	16	Franco Arenoso	Grumoso	Moderada	0,032
<b>Calvas 5</b>	3,38	16	36	48	2,5	Arcilloso	Bloques sub-angulares	Lenta	0,029
<b>Calvas 6</b>	1,67	50	32	18	11	Franco	Granular	Media	0,035
<b>Calvas 7</b>	7,43	46	28	26	4	Franco	Bloques sub-angulares y Angulares	Lenta	0,024
<b>Calvas 8</b>	3,62	38	24	38	2,5	Franco Arcilloso	Granular	Lenta	0,017
<b>Calvas 9</b>	2,75	68	18	14	7,5	Franco Arenoso	Granular	Media	0,020
<b>Calvas 10</b>	4,81	44	32	24	9,5	Franco	Granular	Media	0,023
<b>Calvas 11</b>	5,44	62	24	14	10,5	Franco Arenoso	Granular	Media	0,020
<b>Calvas 12</b>	3,46	48	22	30	5	Franco arcillo- arenoso	Bloques sub-angulares	Lenta	0,028
<b>Calvas 13</b>	3,23	50	22	28	3,5	Franco arcillo- arenoso	Granular a Bloques sub-angulares	Lenta	0,019
<b>Calvas 14</b>	3,58	62	26	12	1,5	Franco Arenoso	Granular a Bloques sub-angulares	Moderada	0,017
<b>Calvas 15</b>	3,35	48	26	26	9,5	Franco arcillo- arenoso	Bloques sub-angulares	Lenta	0,034
<b>Calvas 16</b>	1,08	62	24	14	7,5	Franco Arenoso	Granular	Media	0,028
<b>Calvas 17</b>	5,02	52	28	20	0,5	Franco Arenoso	Granular	Media	0,016

Continúa

**Cuadro 3.** Parámetros del Factor K de Calvas

<b>Calvas 18</b>	2,39	50	20	30	8	Franco arcillo-arenoso	Granular a Bloques sub-angulares	Lenta	0,022
<b>Calvas 19</b>	1,07	66	12	22	1,5	Franco arcillo-arenoso	Granular a Bloques sub-angulares	Media	0,012
<b>Calvas 20</b>	1,08	82	4	14	4	Franco Arenoso	Bloques sub-angulares	Media	0,017
<b>Calvas 21</b>	4,86	32	42	26	0,5	Franco	Granular a Bloques sub-angulares	Media	0,023
<b>Calvas 22</b>	2,84	52	32	16	3	Franco Arenoso	Granular	Media	0,026
<b>Calvas23</b>	3,67	48	26	26	7	Franco arcillo-arenoso	Granular	Lenta	0,023
<b>Calvas24</b>	11,21	48	28	24	3	Franco	Bloques sub-angulares	Media	0,013
<b>Calvas 25</b>	12,67	60	24	16	5,5	Franco Arenoso	Granular	Media	0,002
<b>Calvas 26</b>	6,23	68	20	12	16,5	Franco Arenoso	Granular	Moderada	0,016
<b>Calvas 27</b>	4,42	50	30	20	4,5	Franco	Granular	Media	0,021
<b>Calvas 28</b>	2,21	50	22	28	4,5	Franco arcillo-arenoso	Granular	Lenta	0,021
<b>Calvas 29</b>	6,5	58	28	14	0,5	Franco Arenoso	Bloques sub-angulares	Media	0,023
<b>Calvas 30</b>	1,41	18	22	60	17	Arcilla Pesada	Bloques sub-angulares	Lenta	0,028
<b>Calvas 31</b>	4,13	44	36	20	5	Franco	Bloques sub-angulares	Media	0,034
<b>Calvas 32</b>	7,26	42	24	34	5,5	Franco Arcilloso	Bloques sub-angulares	Lenta	0,023
<b>Calvas 33</b>	4,75	48	28	24	6	Franco	Bloques sub-angulares	Media	0,027
<b>Calvas 34</b>	4,45	46	28	26	3,5	Franco	Prismática	Lenta	0,030
<b>Calvas 35</b>	3,26	38	30	32	3,5	Franco Arcilloso	Bloques sub-angulares	Lenta	0,031
<b>Calvas 36</b>	6,29	50	26	24	4	Franco arcillo-arenoso	Bloques sub-angulares	Media	0,023

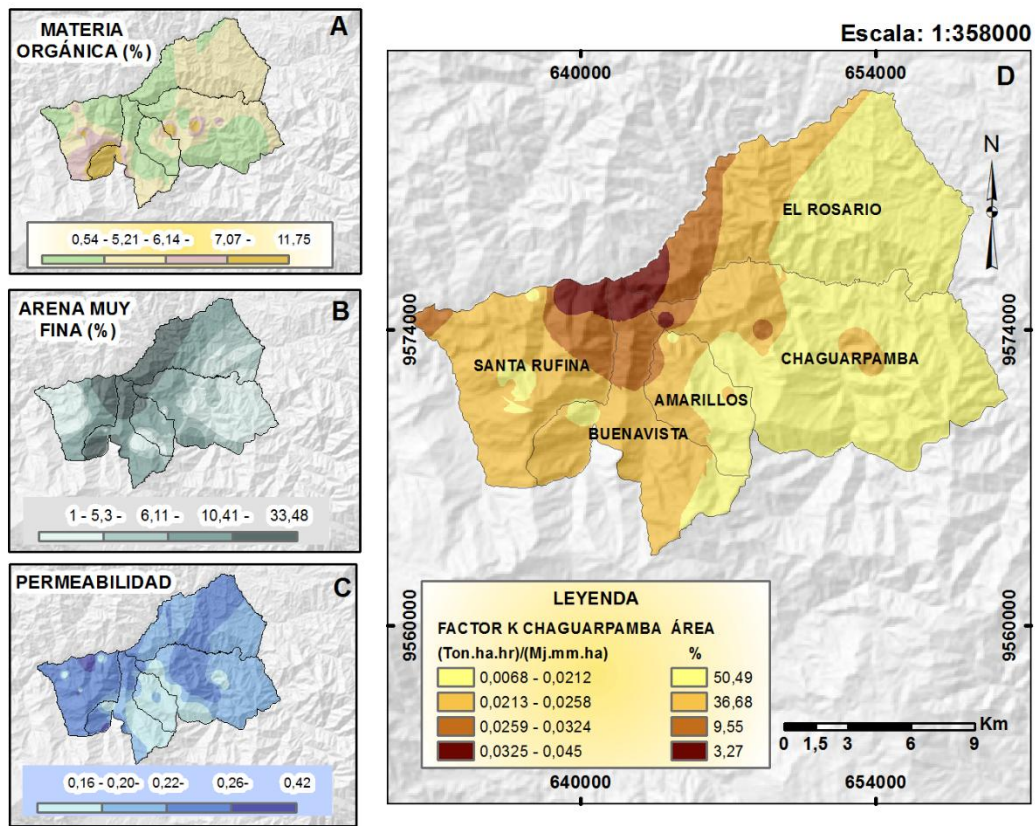
Fuente: Elaboración propia.

#### **4.1.1.2.2. Mapa del Factor K de Chaguarpamba**

El Factor K representa la vulnerabilidad del suelo o material superficial a la erosión, la transportabilidad del sedimento y la cantidad y la tasa de escorrentía dada una entrada de lluvia particular, medida en condiciones estándar (Mahalingam et al., 2015).

En la Figura 6, se puede apreciar que los valores del Factor K varían entre 0,0068 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha a 0,045 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha, en el cantón Chaguarpamba hay valores del Factor k que fluctúan entre 0,0068 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha a 0,0212 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha que ofrecen resistencia al desprendimiento de las partículas del suelo y escaso escurrimiento debido a que contienen alto contenido de arcilla (Cuadro 3), materia orgánica de 0,54% - 6,14% (Figura 6A), arena muy fina de 1% - 5,3% (Figura 6B) y permeabilidad de 0,2% - 0,22% (Figura 6C), estos suelos ocupan un área de 341,19 hectáreas (10,73%) de la superficie total del cantón Chaguarpamba, de la misma manera, los valores del Factor K que están entre 0,0213 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha a 0,0324 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha son suelos considerados como arenosos con texturas gruesas que se caracterizan por ser fácilmente erodables, poco escurrimiento, materia orgánica de 3,4% - 6,6% (Figura 6A), arena muy fina de 4,3% - 10,1% (Figura 6B) y permeabilidad de 1,1% - 2% (Figura 6C), estos suelos ocupan un área de 14 470,2 hectáreas (46,23%) de la superficie total del cantón Chaguarpamba, y por último tenemos los valores del factor K que fluctúan entre 0,0324 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha a 0,045 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha, son los suelos que tienden a ser los más erodables por su gran contenido de limo, forman costras, producen altas tasas de escorrentía, materia orgánica de 1,1% - 3,4% (Figura 6A), arena muy fina de 10,1% - 17% (Figura 6B) y permeabilidad de 0,6% - 1,1% (Figura 6C), estos suelos ocupan 1 024,83 hectáreas (3,27%) de la superficie total del territorio.





**Figura 6.** Mapa de Erodabilidad del suelo (Factor K) del cantón Chaguarpamba. A) Mapa de Materia Orgánica. B) Mapa de Arena Muy Fina. C) Mapa de Permeabilidad. D) Mapa de Erodabilidad.



**Cuadro 4.** Parámetros del Factor K de Chaguarpamba

MUESTRA N°	MO	Ao (%)	Lo (%)	Ar (%)	Arena muy Fina (%)	Textura	Estructura	Permeabilidad	Factor K
<b>Chaguarpamba 1</b>	3,11	18,28	35,26	46,46	6	Arcilla	Bloques sub-angulares	Lenta	0,031
<b>Chaguarpamba 2</b>	3,07	8,28	29,26	62,46	2	Arcilla Pesada	Bloques sub-angulares	Lenta	0,023
<b>Chaguarpamba 3</b>	4,37	20,28	27,26	52,46	3	Arcilla	Bloques sub-angulares	Lenta	0,024
<b>Chaguarpamba 4</b>	5,56	10,28	33,26	56,46	1	Arcilla	Bloques sub-angulares	Lenta	0,023
<b>Chaguarpamba 5</b>	7,08	24,28	33,26	42,46	5	Arcilla	Bloques sub-angulares	Lenta	0,024
<b>Chaguarpamba 6</b>	4,13	6,28	29,26	64,46	4	Arcilla Pesada	Bloques sub-angulares	Lenta	0,022
<b>Chaguarpamba 7</b>	9,04	22,28	25,26	52,46	5	Arcilla	Bloques sub-angulares	Lenta	0,018
<b>Chaguarpamba 8</b>	1,95	58,78	16,00	25,22	7	Franco arcillo-arenoso	Granular y Bloques sub-angulares	Lenta	0,020
<b>Chaguarpamba 9</b>	9,14	38,28	29,26	32,46	12	Franco Arcilloso	Bloques sub-angulares	Lenta	0,022
<b>Chaguarpamba 10</b>	7,56	17,54	32,00	50,46	23	Arcilla	Bloques sub-angulares	Lenta	0,025
<b>Chaguarpamba 11</b>	8,45	20,28	27,26	52,46	5	Arcilla	Bloques sub-angulares	Lenta	0,019
<b>Chaguarpamba 12</b>	3,31	21,94	24,00	54,06	7	Arcilla	Granular	Lenta	0,016
<b>Chaguarpamba 13</b>	11,79	17,94	24,00	58,06	5	Arcilla	Granular	Lenta	0,007
<b>Chaguarpamba 14</b>	5,37	21,94	24,00	54,06	9	Arcilla	Granular	Lenta	0,014
<b>Chaguarpamba 15</b>	3,84	9,94	26,00	64,06	6	Arcilla Pesada	Bloques sub-angulares	Lenta	0,022
<b>Chaguarpamba 16</b>	4,37	13,94	38,84	47,22	6	Arcilla	Bloques sub-angulares y Angulares	Lenta	0,030
<b>Chaguarpamba 17</b>	0,53	26,78	28,00	45,22	16	Arcilla	Bloques sub-angulares	Lenta	0,038
<b>Chaguarpamba 18</b>	3,59	17,54	23,24	59,22	4	Arcilla	Bloques sub-angulares	Lenta	0,022
<b>Chaguarpamba 19</b>	6,86	29,54	27,24	43,22	6	Arcilla	Bloques sub-angulares	Lenta	0,023
<b>Chaguarpamba 20</b>	3,49	13,54	37,24	49,22	11	Arcilla	Bloques sub-angulares	Lenta	0,032

Continua

**Cuadro 5.** Parámetros del Factor K de Chaguarpamba

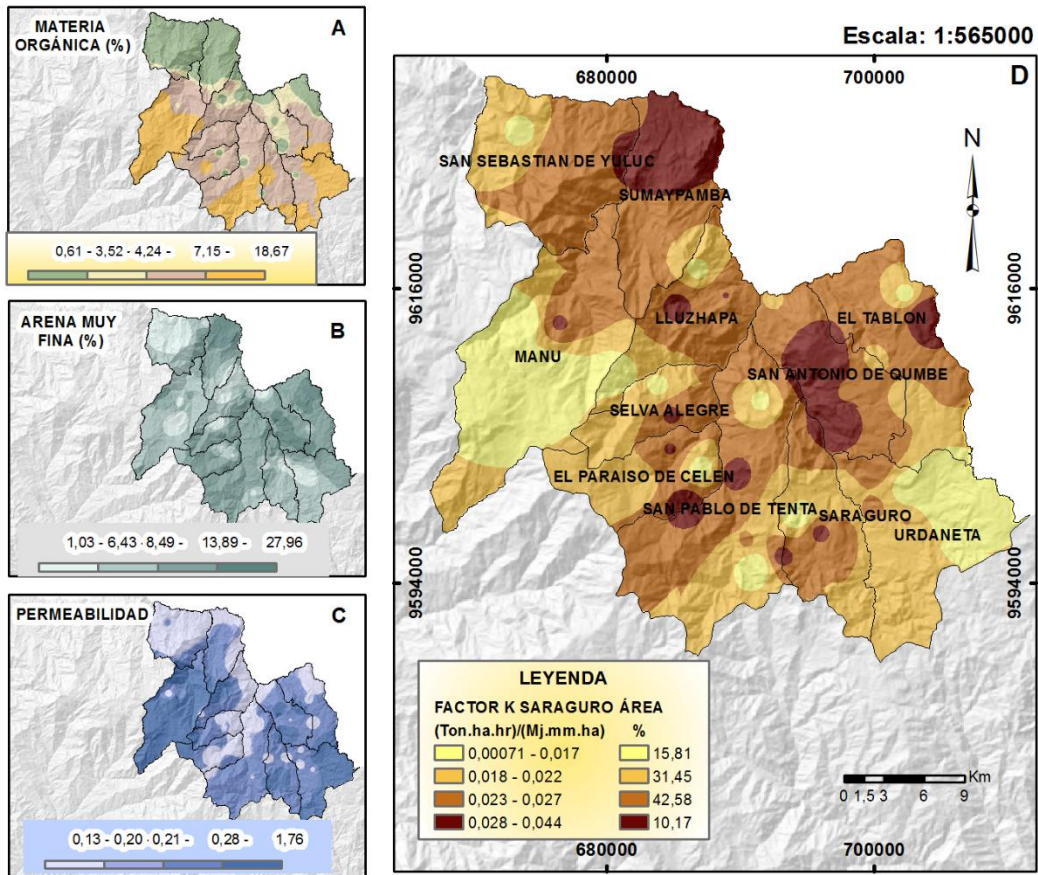
<b>Chaguarpamba 21</b>	2,95	34,78	27,16	38,06	34	Franco Arcilloso	Bloques sub-angulares	Lenta	0,045
<b>Chaguarpamba 22</b>	4,35	44,78	21,16	34,06	5	Franco Arcilloso	Granular	Lenta	0,017
<b>Chaguarpamba 23</b>	5,49	24,78	25,16	50,06	19	Arcilla	Granular	Lenta	0,018
<b>Chaguarpamba 24</b>	2,64	28,78	21,16	50,06	5	Arcilla	Bloques sub-angulares	Lenta	0,024
<b>Chaguarpamba 25</b>	3,80	18,78	37,16	44,06	18	Arcilla	Bloques sub-angulares	Lenta	0,037
<b>Chaguarpamba 26</b>	8,99	42,78	23,16	34,06	3	Franco Arcilloso	Granular	Lenta	0,011
<b>Chaguarpamba 27</b>	3,97	20,28	25,26	54,46	5	Arcilla	Prismática y Bloques sub-angulares	Lenta	0,023
<b>Chaguarpamba 28</b>	3,34	26,28	25,26	48,46	2	Arcilla	Bloques sub-angulares a Granular	Lenta	0,024
<b>Chaguarpamba 29</b>	6,13	16,28	21,26	62,46	7	Arcilla Pesada	Bloques sub-angulares	Lenta	0,020
<b>Chaguarpamba 30</b>	4,15	18,28	23,26	58,46	6	Arcilla	Bloques sub-angulares	Lenta	0,022

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.1.1.2.3. Mapa del Factor K de Saraguro**

El Factor K representa la vulnerabilidad del suelo o material superficial a la erosión, la transportabilidad del sedimento y la cantidad y la tasa de escorrentía dada una entrada de lluvia particular, medida en condiciones estándar (Mahalingam et al., 2015).

En la Figura 7, se puede apreciar que los valores del Factor K varían entre 0,00071 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha a 0,044 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha, en el cantón Saraguro hay valores del Factor k que fluctúan entre 0,00071 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha a 0,017 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha que ofrecen resistencia al desprendimiento de las partículas del suelo y escaso escurrimiento debido a que contienen alto contenido de arcilla (Cuadro 4), materia orgánica de 7,15% - 18,67% (Figura 7A), arena muy fina de 1,03% - 6,43% (Figura 7B) y permeabilidad de 0,13% - 0,20% (Figura 7C), estos suelos ocupan un área de 17 112,78 hectáreas (15,81%) de la superficie total del cantón Saraguro, de la misma manera, los valores del Factor K que están entre 0,017 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha a 0,027 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha son suelos considerados como arenosos con texturas gruesas que se caracterizan por ser fácilmente erodables, poco escurrimiento, materia orgánica de 3,52% - 7,15% (Figura 7A), arena muy fina de 6,43% - 13,89% (Figura 7B) y permeabilidad de 0,13% - 0,28% (Figura 7C), estos suelos ocupan un área de 80 145,09 hectáreas (74,03%) de la superficie total del cantón Saraguro, y por último tenemos los valores del factor K que fluctúan entre 0,027 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha a 0,044 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha, son los suelos que tienden a ser los más erodables por su gran contenido de limo, forman costras, producen altas tasas de escorrentía, materia orgánica de 0,61% - 3,52% (Figura 7A), arena muy fina de 1,03% - 6,43% (Figura 7B) y permeabilidad de 0,28% - 1,76% (Figura 7C), estos suelos ocupan 11 009,88 hectáreas (10,17%) de la superficie total del territorio.



**Figura 7.** Mapa de Erodabilidad del suelo (Factor K) del cantón Saraguro. A) Mapa de Materia Orgánica. B) Mapa de Arena Muy Fina. C) Mapa de Permeabilidad. D) Mapa de Erodabilidad.

**Cuadro 6.** Parámetros del Factor K de Saraguro

MUESTRA N°	MO	Ao (%)	Lo (%)	Ar (%)	Arena muy Fina (%)	Textura	Estructura	Permeabilidad	Factor K
<b>Saraguro 1</b>	5,6	35,94	22,84	41,22	9,5	Arcilla	Bloques sub-angulares a Granular	Lenta	0,025
<b>Saraguro 2</b>	3,11	47,94	24,84	27,22	4,5	Franco arcillo-arenoso	Bloques sub-angulares a Granular	Lenta	0,031
<b>Saraguro 3</b>	1,7	19,94	21,6	58,46	20	Arcilla	Bloques sub-angulares a Granular	Lenta	0,029
<b>Saraguro 4</b>	3,08	33,94	21,6	44,46	3	Arcilla	Bloques sub-angulares a Granular	Lenta	0,024
<b>Saraguro 5</b>	1,02	16,78	20,76	62,46	5	Arcilla Pesada	Granular y Bloques sub-angulares	Lenta	0,014
<b>Saraguro 6</b>	2,74	33,94	12,84	53,22	5,5	Arcilla	Bloques sub-angulares	Lenta	0,021
<b>Saraguro 7</b>	2,48	39,94	16,84	43,22	4	Arcilla	Bloques sub-angulares	Lenta	0,024
<b>Saraguro 8</b>	2,67	34,78	21,16	44,06	9	Arcilla	Bloques sub-angulares	Lenta	0,028
<b>Saraguro 9</b>	5,26	46,78	17,16	36,06	4,5	Arcillo Arenoso	Granular y Bloques sub-angulares	Lenta	0,014
<b>Saraguro 10</b>	9,1	29,94	24	46,06	11	Arcilla	Granular y Bloques sub-angulares	Lenta	0,011
<b>Saraguro 11</b>	0,61	45,94	20	34,06	23	Franco arcillo-arenoso	Bloques sub-angulares	Lenta	0,042
<b>Saraguro 12</b>	1,62	28,78	20	51,22	3,5	Arcilla	Bloques sub-angulares	Lenta	0,024
<b>Saraguro 13</b>	1,26	13,94	18,84	67,22	10,5	Arcilla Pesada	Bloques Angulares	Lenta	0,023
<b>Saraguro 14</b>	0,86	24,78	16	59,22	1,5	Arcilla	Bloques sub-angulares	Lenta	0,021
<b>Saraguro 15</b>	3,74	33,54	28	38,46	5,5	Franco Arcilloso	Bloques sub-angulares	Lenta	0,029
<b>Saraguro 16</b>	6,49	43,54	26	30,46	9	Franco Arcilloso	Bloques sub-angulares	Lenta	0,026

Continua

**Cuadro 7. Parámetros del Factor K de Saraguro**

<b>Saraguro 17</b>	1,81	29,94	26	44,06	15,5	Arcilla	Bloques sub-angulares	Lenta	0,035
<b>Saraguro 18</b>	2,42	26,78	12	61,22	15	Arcilla Pesada	Granular	Lenta	0,014
<b>Saraguro 19</b>	2,99	43,18	23,6	33,22	15,5	Franco Arcilloso	Bloques sub-angulares a Granular	Lenta	0,035
<b>Saraguro 20</b>	6,89	30,32	24,86	44,82	12,5	Arcilla	Granular	Lenta	0,015
<b>Saraguro 21</b>	4,09	32,32	23,62	44,06	1	Arcilla	Granular	Lenta	0,015
<b>Saraguro 22</b>	2,47	27,94	28,84	43,22	11	Arcilla	Bloques sub-angulares	Lenta	0,033
<b>Saraguro 23</b>	8,23	41,18	10,76	48,06	9	Arcilla	Bloques sub-angulares	Lenta	0,018
<b>Saraguro 24</b>	5,53	23,18	18,76	58,06	6	Arcilla	Granular y Bloques sub-angulares	Lenta	0,012
<b>Saraguro 25</b>	8,49	29,18	24	46,82	6,5	Arcilla	Granular	Lenta	0,011
<b>Saraguro 26</b>	5,54	37,18	26	36,82	11,5	Franco Arcilloso	Granular	Lenta	0,019
<b>Saraguro 27</b>	8,33	29,18	20	50,82	4,5	Arcilla	Bloques sub-angulares	Lenta	0,019
<b>Saraguro 28</b>	7,11	45,94	16	38,06	14,5	Arcillo Arenoso	Bloques sub-angulares	Lenta	0,023
<b>Saraguro 29</b>	11,12	37,18	28	34,82	13,5	Franco Arcilloso	Granular	Lenta	0,009
<b>Saraguro 30</b>	2,04	33,18	34	32,82	8,5	Franco Arcilloso	Granular	Lenta	0,031
<b>Saraguro 31</b>	18,78	54,32	12,86	32,82	5,5	Franco arcillo-arenoso	Bloques sub-angulares	Lenta	0,009
<b>Saraguro 32</b>	15,58	59,94	26,84	13,22	3,5	Franco Arenoso	Granular	Media	0,004
<b>Saraguro 33</b>	8,18	25,94	28,84	45,22	12,5	Arcilla	Bloques sub-angulares	Lenta	0,022
<b>Saraguro 34</b>	5,42	23,18	30,76	46,06	17	Arcilla	Bloques sub-angulares	Lenta	0,029

Continua

**Cuadro 8.** Parámetros del Factor K de Saraguro

<b>Saraguro 35</b>	3,02	15,18	32,76	52,06	5	Arcilla	Bloques sub-angulares	Lenta	0,028
<b>Saraguro 36</b>	4,61	48,32	15,62	36,06	3,5	Arcillo Arenoso	Bloques sub-angulares	Lenta	0,022
<b>Saraguro 37</b>	3,24	14,32	46,86	38,82	15	Franco arcillo- limoso	Bloques sub-angulares	Lenta	0,044
<b>Saraguro 38</b>	4,12	16,32	26,86	56,82	15,5	Arcilla	Bloques sub-angulares	Lenta	0,027
<b>Saraguro 39</b>	1,66	47,18	18	34,82	9	Franco arcillo- arenoso	Bloques sub-angulares	Lenta	0,030
<b>Saraguro 40</b>	18,59	66,78	14	19,22	12	Franco Arenoso	Granular	Media	0,001
<b>Saraguro 41</b>	9,43	48,78	20	31,22	6,5	Franco arcillo- arenoso	Granular	Lenta	0,010
<b>Saraguro 42</b>	5,6	38,78	32	29,22	7	Franco Arcilloso	Bloques sub-angulares a Granular	Lenta	0,030
<b>Saraguro 43</b>	6,79	36,78	20	43,22	22,5	Arcilla	Bloques sub-angulares	Lenta	0,026
<b>Saraguro 44</b>	4,77	7,94	17,6	74,46	7	Arcilla Pesada	Bloques sub-angulares a Granular	Lenta	0,018
<b>Saraguro 45</b>	4,42	27,18	10	62,82	2,5	Arcilla Pesada	Bloques sub-angulares	Lenta	0,018
<b>Saraguro 46</b>	2,65	25,94	20,84	53,22	3	Arcilla	Bloques sub-angulares a Granular	Lenta	0,023
<b>Saraguro 47</b>	7,5	33,94	14,84	51,22	6	Arcilla	Bloques sub-angulares a Granular	Lenta	0,019
<b>Saraguro 48</b>	8,6	45,94	20,84	33,22	28	Franco arcillo- arenoso	Bloques sub-angulares a Granular	Lenta	0,025
<b>Saraguro 49</b>	5,21	25,94	26,84	47,22	9,5	Arcilla	Bloques sub-angulares a Granular	Lenta	0,026
<b>Saraguro 50</b>	1,29	59,18	16	24,82	16,5	Franco arcillo- arenoso	Bloques sub-angulares a Granular	Lenta	0,025

Fuente: Elaboración propia.

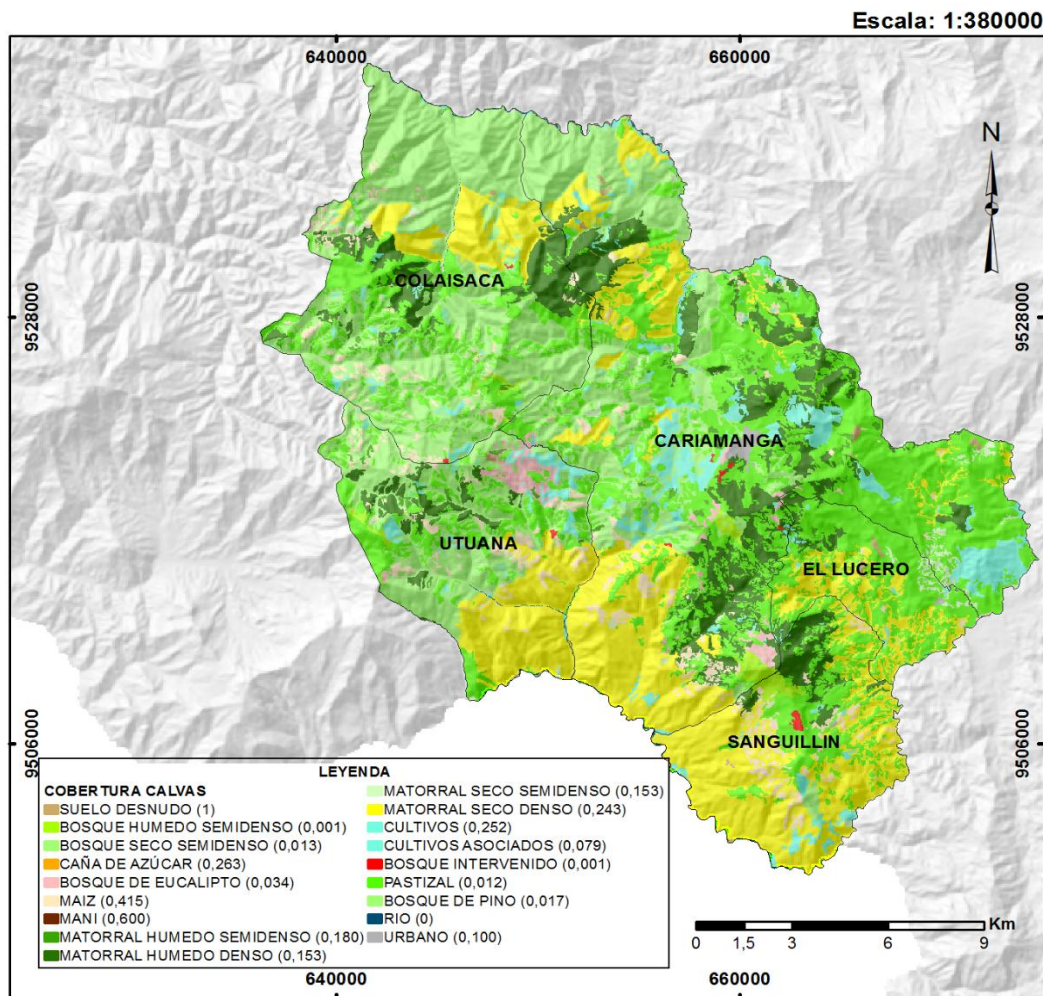
### **4.1.1.3. Resultados del Factor C**

#### **4.1.1.3.1. Mapa del factor C de Calvas**

El Factor C determina la eficacia relativa del suelo y los sistemas de manejo de cultivos en términos de prevención de la pérdida de suelo. Los valores mayores del Factor C indican que el tipo de cubierta de tierra correspondiente resulta en una mayor erosión del suelo que los otros tipos de cobertura terrestre (Mahalingam et al., 2015).

En la Figura 8 y Cuadro 5, se puede apreciar el porcentaje de cada tipo de cobertura identificada así como el valor de ponderación asignado (Factor C). Las coberturas vegetales que predominan en Calvas son: el pastizal (29,77% de la superficie), matorral seco denso (21,65% de la superficie) y bosque seco semidenso (25,31% de la superficie), de tal manera a estas categorías de cobertura se les asignó los valores más bajos de ponderación por su influencia a reducir la erosión del suelo. En la categoría de suelo desnudo el valor asignado fue 1 ya que no ofrece ningún grado de protección.





**Figura 8.** Mapa de uso actual del suelo o Factor C del cantón Calvas.

**Cuadro 9.** Valores del Factor C con su respectiva área de cada una de las unidades diferenciadas de cobertura vegetal

COBERTURA	FACTOR C	ÁREA (ha)	%ÁREA
Suelo desnudo	1,000	232,74	0,28
Bosque húmedo semidenso	0,001	659,07	0,78
Bosque seco semidenso	0,013	21285,27	25,31
Caña de azúcar	0,263	0,36	0,00
Bosque de eucalipto	0,034	817,56	0,97
Maíz	0,415	3076,2	3,66
Maní	0,600	0,09	0,00
Matorral húmedo semidenso	0,180	610,11	0,73
Matorral húmedo denso	0,153	8691,84	10,33
Matorral seco semidenso	0,153	612,54	0,73
Matorral seco denso	0,243	18207,09	21,65

Continua

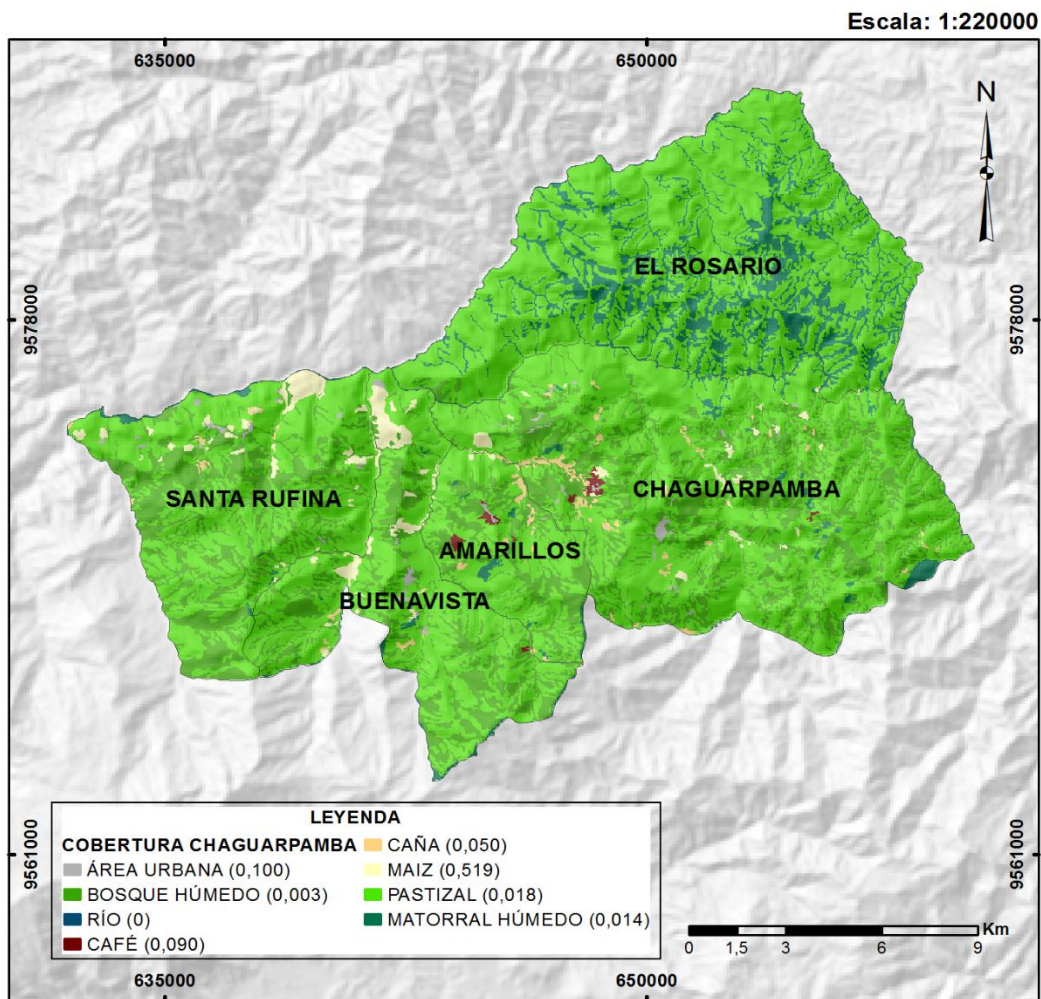
**Cuadro 10.** Valores del Factor C con su respectiva área de cada una de las unidades diferenciadas de cobertura vegetal

<b>Cultivos</b>	0,252	14,58	0,02
<b>Cultivos asociados</b>	0,079	4124,61	4,90
<b>Bosque intervenido</b>	0,001	99,9	0,12
<b>Pastizal</b>	0,012	25042,59	29,77
<b>Bosque de pino</b>	0,017	256,59	0,31
<b>Rio</b>	0,000	171,63	0,20
<b>Urbano</b>	0,100	203,49	0,24

#### **4.1.1.3.2. Mapa del factor C de Chaguarpamba**

El Factor C determina la eficacia relativa del suelo y los sistemas de manejo de cultivos en términos de prevención de la pérdida de suelo. Los valores mayores del factor C indican que el tipo de cubierta de tierra correspondiente resulta en una mayor erosión del suelo que los otros tipos de cobertura terrestre (Mahalingam et al., 2015).

En la Figura 9 y Cuadro 6, se puede apreciar el porcentaje de cada tipo de cobertura identificada así como el valor de ponderación asignado (Factor C). Las coberturas vegetales que predominan en Chaguarpamba son: el pastizal (67,17% de la superficie) y bosque húmedo (21,36% de la superficie), de tal manera a estas categorías de cobertura se les asignó los valores más bajos de ponderación por su influencia a reducir la erosión del suelo.



*Figura 9.* Mapa de uso actual del suelo o factor C del cantón Chaguarpamba.

**Cuadro 11.** Valores del Factor C con su respectiva área de cada una de las unidades diferenciadas de cobertura vegetal

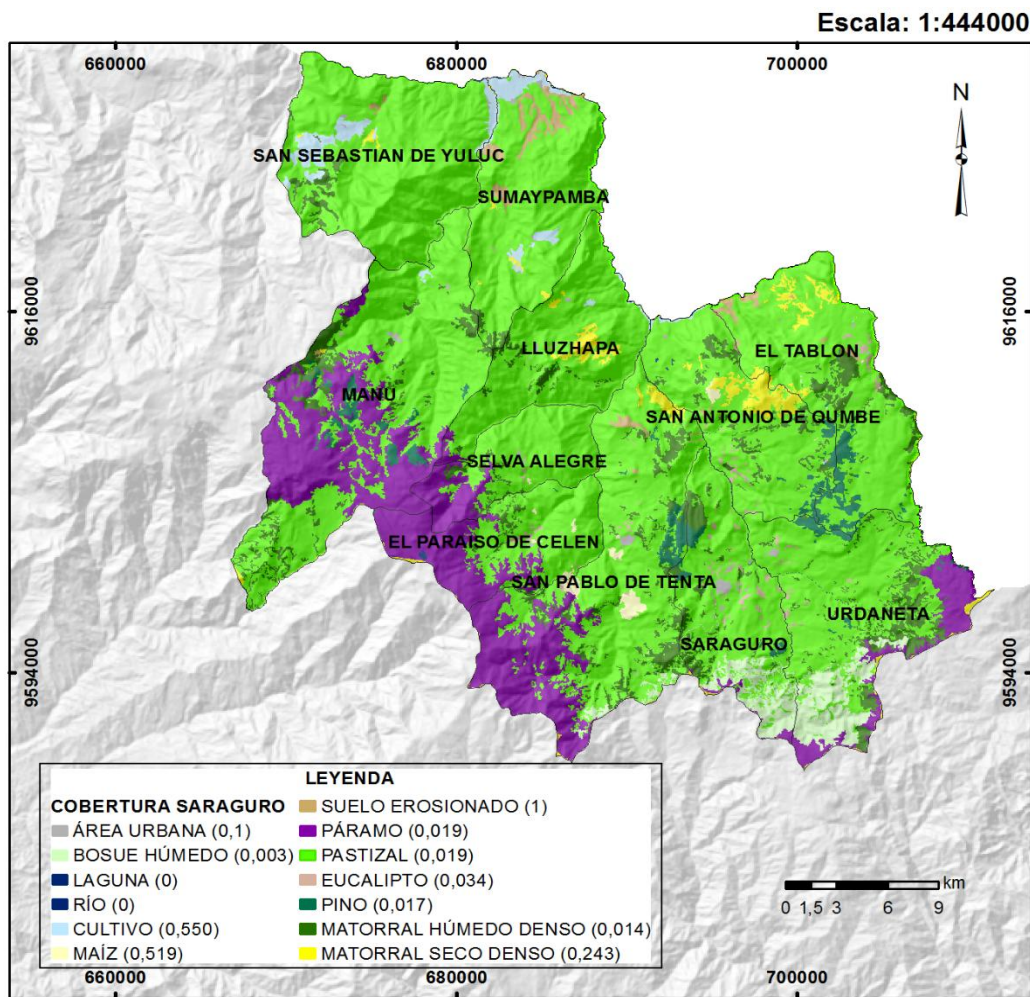
COBERTURA	FACTOR C	ÁREA (ha)	%ÁREA
Área urbana	0,100	140,22	0,45
Bosque húmedo	0,003	6685,47	21,36
Río	0,000	66,51	0,21
Café	0,090	66,87	0,21
Caña	0,050	247,86	0,79
Maíz	0,519	604,26	1,93
Pastizal	0,018	21024,18	67,17
Matorral húmedo	0,014	2463,93	7,87

#### **4.1.1.3.3. *Mapa del factor C de Saraguro***

El Factor C determina la eficacia relativa del suelo y los sistemas de manejo de cultivos en términos de prevención de la pérdida de suelo. Los valores mayores del factor C indican que el tipo de cubierta de tierra correspondiente resulta en una mayor erosión del suelo que los otros tipos de cobertura terrestre (Mahalingam et al., 2015).

En la Figura 10 y Cuadro 7, se puede apreciar el porcentaje de cada tipo de cobertura identificada así como el valor de ponderación asignado (Factor C). Las coberturas vegetales que predominan en Saraguro son: el pastizal (69,93% de la superficie) y páramo (13,15% de la superficie), de tal manera a estas categorías de cobertura se les asignó los valores más bajos de ponderación por su influencia a reducir la erosión del suelo. En la categoría de suelo erosionado el valor asignado fue 1 ya que no ofrece ningún grado de protección.





*Figura 10.* Mapa de uso actual del suelo o factor C del cantón Saraguro.

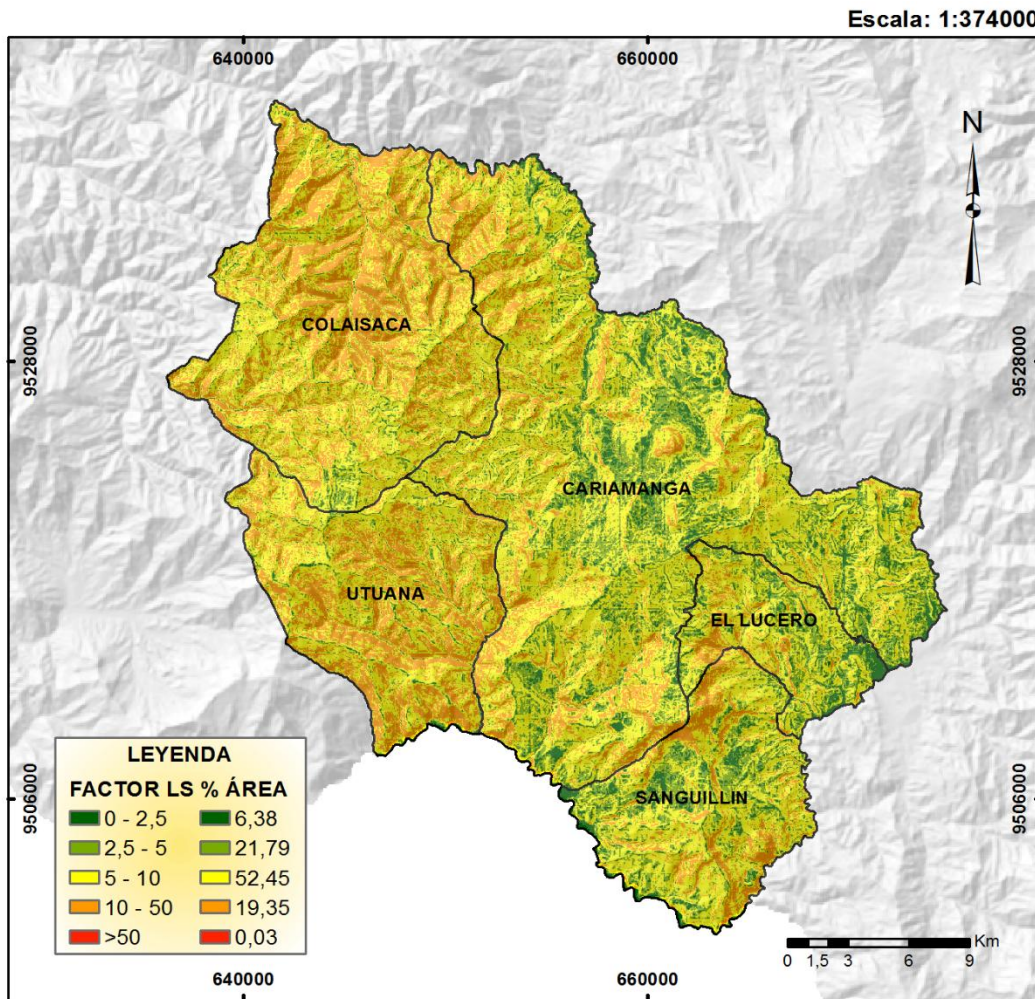
**Cuadro 12.** Valores del Factor C con su respectiva área de cada una de las unidades diferenciadas de cobertura vegetal

COBERTURA	FACTOR C	ÁREA (ha)	%ÁREA
Área urbana	0,100	332,82	0,31
Bosque húmedo	0,003	2853,45	2,64
Laguna	0,000	27,45	0,03
Río	0,000	104,31	0,10
Cultivos	0,550	1481,04	1,37
Maíz	0,519	441,09	0,41
Suelo erosionado	1,000	1071,72	0,99
Páramo	0,019	14234,22	13,15
Pastizal	0,019	75700,8	69,93
Eucalipto	0,034	531,63	0,49
Pino	0,017	2161,89	2,00
Matorral húmedo denso	0,014	7194,96	6,65
Matorral seco denso	0,243	2116,08	1,95

#### **4.1.1.4. Resultados del Factor LS**

##### **4.1.1.4.1. Mapa del factor LS de Calvas**

El Factor LS expresa el efecto del relieve sobre la pérdida de suelos, representando el efecto del largo y grado de la pendiente, la relación entre erosión y Factor LS es directamente proporcional (Castro, 2013; Ramírez, 2010), es así que, en la Figura 11, se puede apreciar la variabilidad espacial del Factor LS, donde la media general es 7,596. De tal manera las categorías que tienen mayor influencia en Calvas son: la de 5 – 10 (52,45% de la superficie) con pendientes medias teniendo influencia en la erosión del suelo, la de 2,5 – 5 (21,79% de la superficie) con pendientes suaves las cuales tienen un efecto mínimo en la erosión del suelo y la de 10 – 50 (19,35% de la superficie) con pendientes moderadamente altas las cuales presentan una gran significancia en lo que es la erosión hídrica.

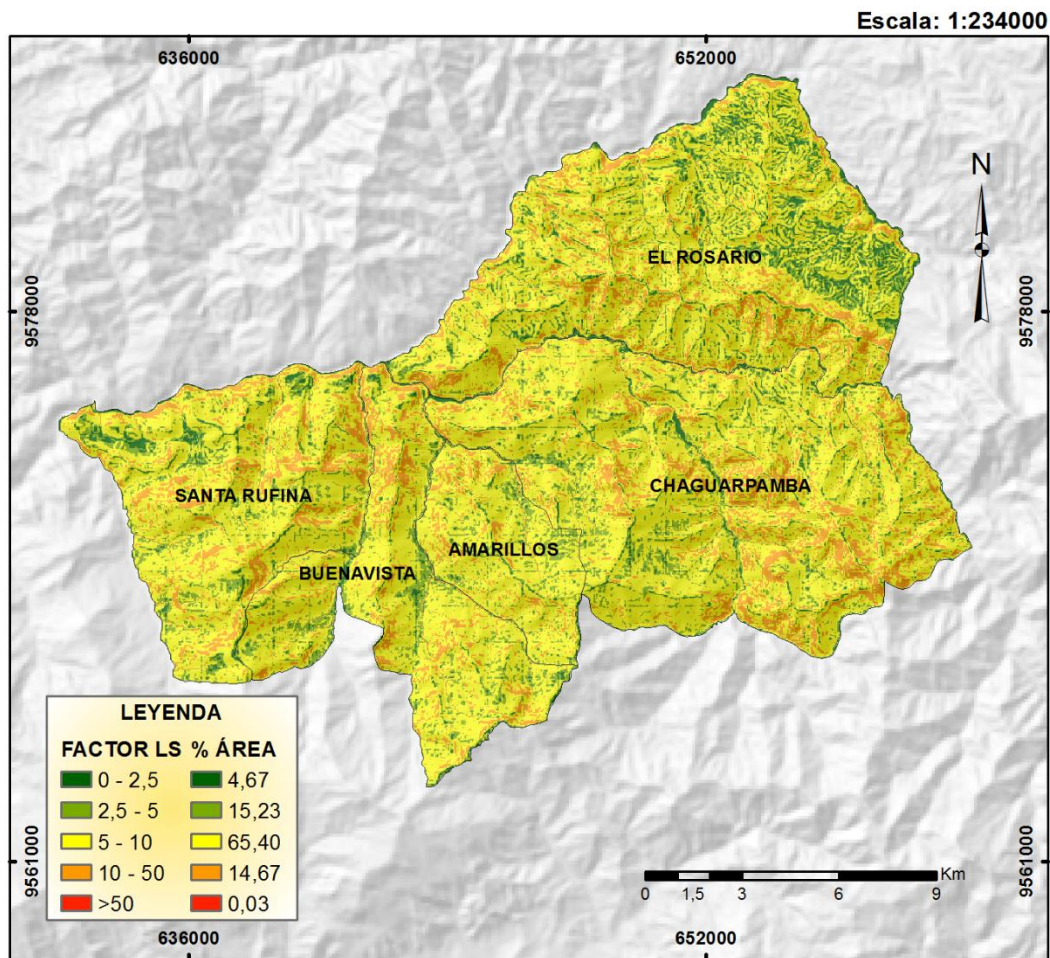


*Figura 11.* Mapa de la topografía del terreno o factor LS del cantón Calvas.

#### 4.1.1.4.2. *Mapa del factor LS de Chaguarpamba*

El Factor LS expresa el efecto del relieve sobre la pérdida de suelos, representando el efecto del largo y grado de la pendiente, la relación entre erosión y Factor LS es directamente proporcional (Castro, 2013; Ramírez, 2010), es así que, en la Figura 12, se puede apreciar la variabilidad espacial del Factor LS, donde la media general es 7,298. De tal manera las categorías que tienen mayor influencia en Chaguarpamba son: la de 5 – 10 (65,4% de la superficie) con pendientes medias teniendo influencia en la erosión del suelo, la de 2,5 – 5 (15,23% de la superficie) con pendientes suaves las cuales tienen un efecto mínimo en la erosión del suelo y la de 10 – 50 (14,67% de la superficie) con pendientes moderadamente altas las cuales presentan una gran significancia en lo que es la erosión hídrica.



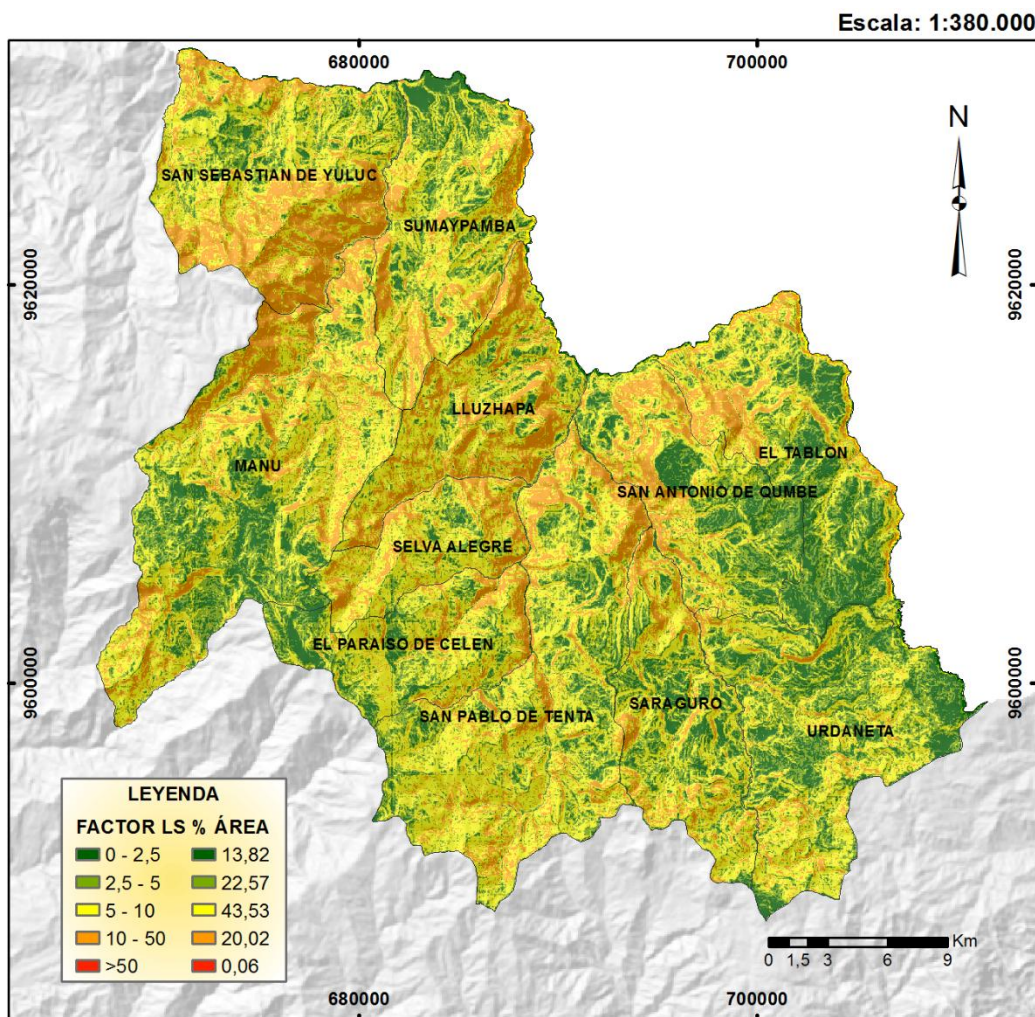


**Figura 12.** Mapa de la topografía del terreno o factor LS del cantón Chaguarpamba.

#### 4.1.1.4.3. *Mapa del factor LS de Saraguro*

El Factor LS expresa el efecto del relieve sobre la pérdida de suelos, representando el efecto del largo y grado de la pendiente, la relación entre erosión y Factor LS es directamente proporcional (Castro, 2013; Ramírez, 2010), es así que, en la Figura 13, se puede apreciar la variabilidad espacial del Factor LS, donde la media general es 6,80. De tal manera las categorías que tienen mayor influencia en Saraguro son: la de 5 – 10 (43,53% de la superficie) con pendientes medias teniendo influencia en la erosión del suelo, la de 2,5 – 5 (22,57% de la superficie) con pendientes suaves las cuales tienen un efecto mínimo en la erosión del suelo y la de 10 – 50 (20,02% de la superficie) con pendientes moderadamente altas las cuales presentan una gran significancia en lo que es la erosión hídrica.



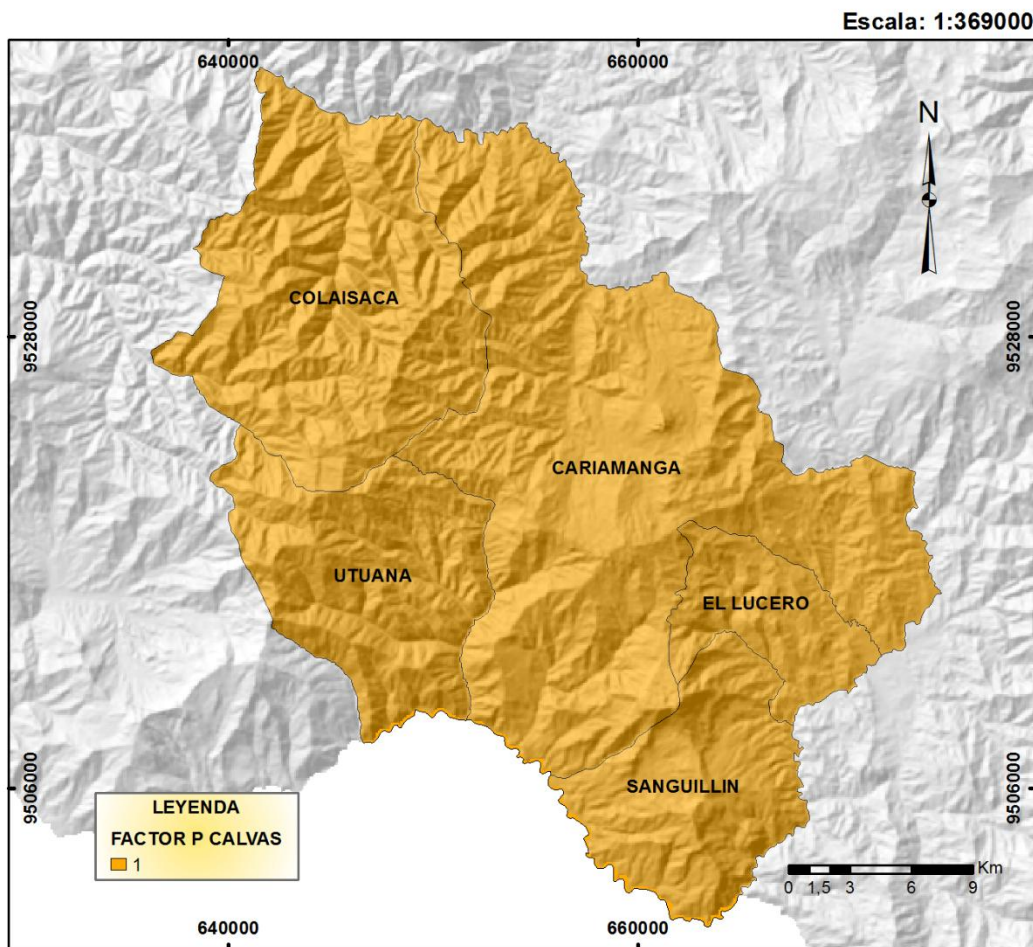


**Figura 13.** Mapa de la topografía del terreno o factor LS del cantón Saraguro.

#### **4.1.1.5. Resultados del Factor P**

##### **4.1.1.5.1. Mapa del factor P de Calvas**

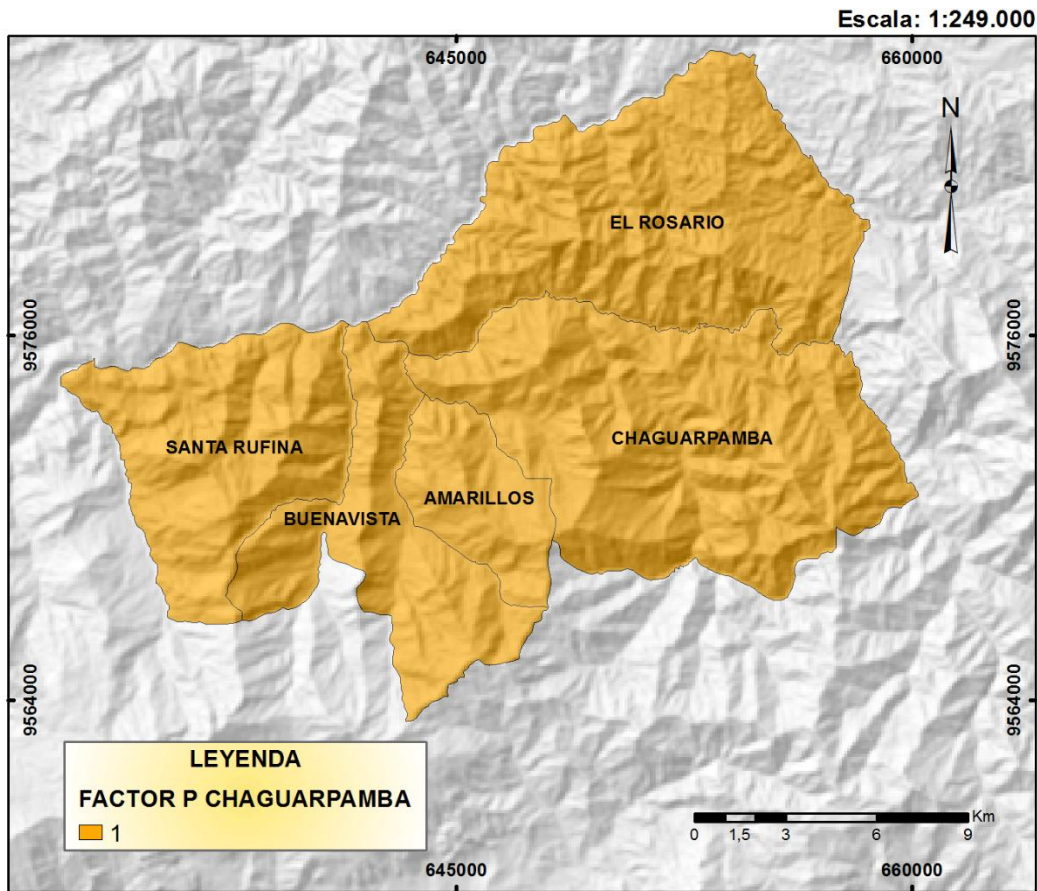
El factor de apoyo a la práctica de conservación (P) refleja los efectos de prácticas que reducirán la cantidad y la tasa de escorrentía del agua y así reducirán la cantidad de erosión. El valor de P oscila entre 0 y 1, donde 0 representa la resistencia a la erosión artificial muy buena y 1 no representa resistencia a la erosión artificial. Debido a la falta de buenas prácticas agropecuarias o de conservación de suelos en el cantón Calvas, el factor P se ha establecido como 1.



**Figura 14.** Mapa de prácticas agrícolas o factor P del cantón Calvas.

#### **4.1.1.5.2. Mapa del factor P de Chaguarpamba**

El factor de apoyo a la práctica de conservación (P) refleja los efectos de prácticas que reducirán la cantidad y la tasa de escorrentía del agua y así reducirán la cantidad de erosión. El valor de P oscila entre 0 y 1, donde 0 representa la resistencia a la erosión artificial muy buena y 1 no representa resistencia a la erosión artificial. Debido a la falta de buenas prácticas agropecuarias o de conservación de suelos en el cantón Chaguarpamba, el factor P se ha establecido como 1.

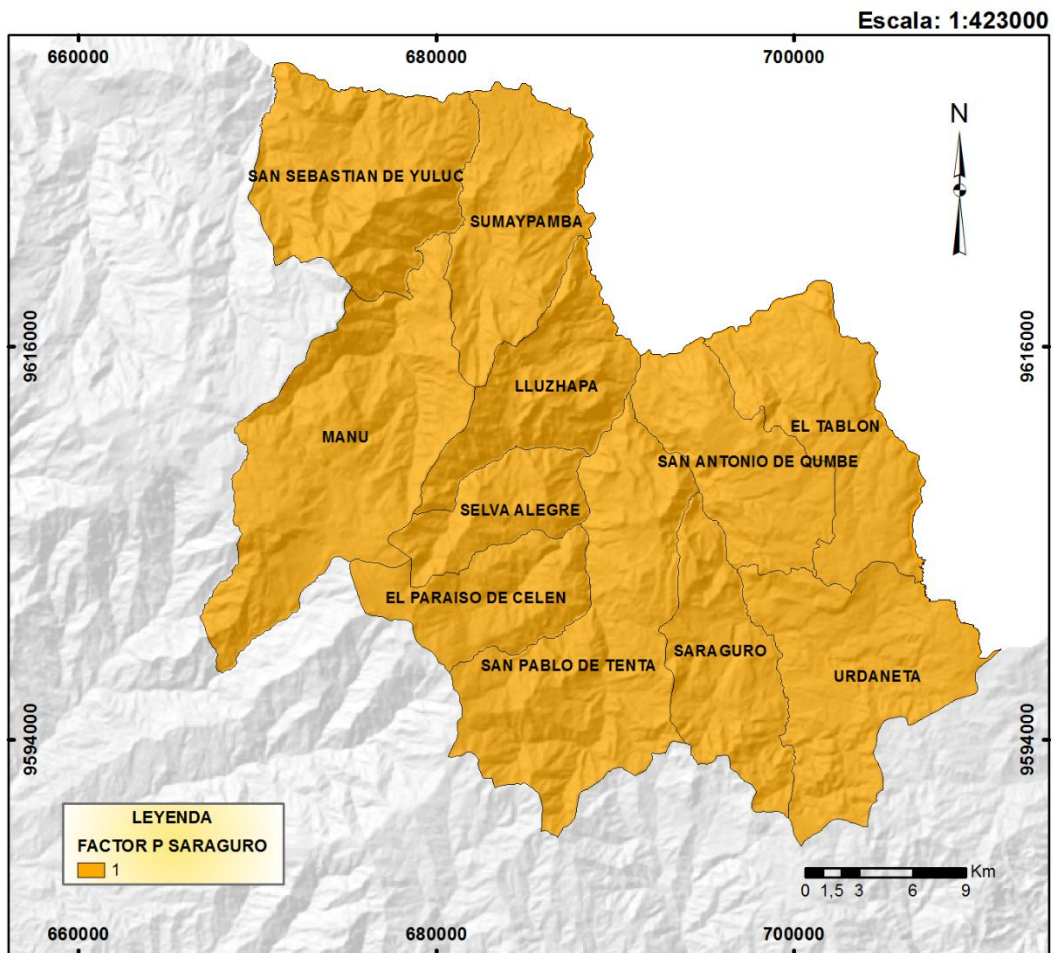


*Figura 15.* Mapa de prácticas agrícolas o factor P del cantón Chaguarpamba.

#### 4.1.1.5.3. *Mapa del factor P de Saraguro*

El factor de apoyo a la práctica de conservación (P) refleja los efectos de prácticas que reducirán la cantidad y la tasa de escorrentía del agua y así reducirán la cantidad de erosión. El valor de P oscila entre 0 y 1, donde 0 representa la resistencia a la erosión artificial muy buena y 1 no representa resistencia a la erosión artificial. Debido a la falta de buenas prácticas agropecuarias o de conservación de suelos en el cantón Saraguro, el factor P se ha establecido como 1.





*Figura 16.* Mapa de prácticas agrícolas o factor P del cantón Saraguro.

#### 4.1.1.6. *Tasas de Erosión o Erosión Hídrica Actual de Calvas*

Como se puede observar en la Figura 17 y Cuadro 8, que la distribución de la erosión en el cantón Calvas  $< 10 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión ligera) ocupa la mayor superficie del cantón correspondiente a 41 272,11 hectáreas (49,13%), por ende la pérdida de suelo es menor, además, hay diferentes factores que influyen para que la erosión sea menor, uno de ellos es la cobertura vegetal presente en el cantón Calvas como es el Bosque Seco Semidenso, Matorral Húmedo Denso, Matorral Seco Denso y Pastizal, esta cobertura ayuda a neutralizar la erosión hídrica ya que hay valores del factor de precipitación elevados, de la misma manera, el factor topográfico en el cantón Calvas en su mayoría es de pendientes medias no muy pronunciadas ayudando a la conservación del suelo.

En la Figura 17, se indica que la pérdida de suelo  $< 10 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión ligera) ocupa 41 272,11 hectáreas (49,13%) del cantón Calvas (Cuadro 8), es así que este valor de pérdida de suelo, en las parroquias del cantón mencionado se distribuye de la siguiente manera; en la parroquia Cariamanga 49,5%, parroquia Colaisaca 62,6%, parroquia El Lucero 48,1%, parroquia Sanguillin 21,8% y en la Parroquia Utuana 48,7% (Cuadro 9). De la misma manera, la pérdida de suelo entre  $10 - 50 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión moderada) ocupa 12 777,66 hectáreas (15,21%) del cantón Calvas (Cuadro 8), así que el valor de pérdida de suelo descrito en las parroquias del cantón mencionado se distribuye de la siguiente manera, en la parroquia Cariamanga 17,1%, parroquia Colaisaca 14,3%, parroquia El Lucero 16,6%, parroquia Sanguillin 11,7% y en la parroquia Utuana 13,1% (Cuadro 9). Asimismo, la pérdida de suelo entre  $50 - 200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión alta) ocupa 23 823,27 hectáreas (28,36%) del cantón Calvas (Cuadro 8), así que el valor de pérdida de suelo descrito en las parroquias del cantón mencionado se distribuye de la siguiente manera, en la parroquia Cariamanga 29%, parroquia Colaisaca 18,2%, parroquia El Lucero 25%, parroquia Sanguillin 46,7% y en la parroquia Utuana 29,4% (Cuadro 9). Finalmente, la pérdida de suelo  $> 200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión muy alta) ocupa 6 131,97 hectáreas (8,65%) del cantón Calvas (Cuadro 8), así que el valor de pérdida de suelo descrito en las parroquia del cantón mencionado se distribuye de la siguiente manera, en la parroquia Cariamanga 4,4%, parroquia Colaisaca 4,8%, parroquia El Lucero 10,3%, parroquia Sanguillin 19,8% y en la parroquia Utuana 8,8% (Cuadro 9).

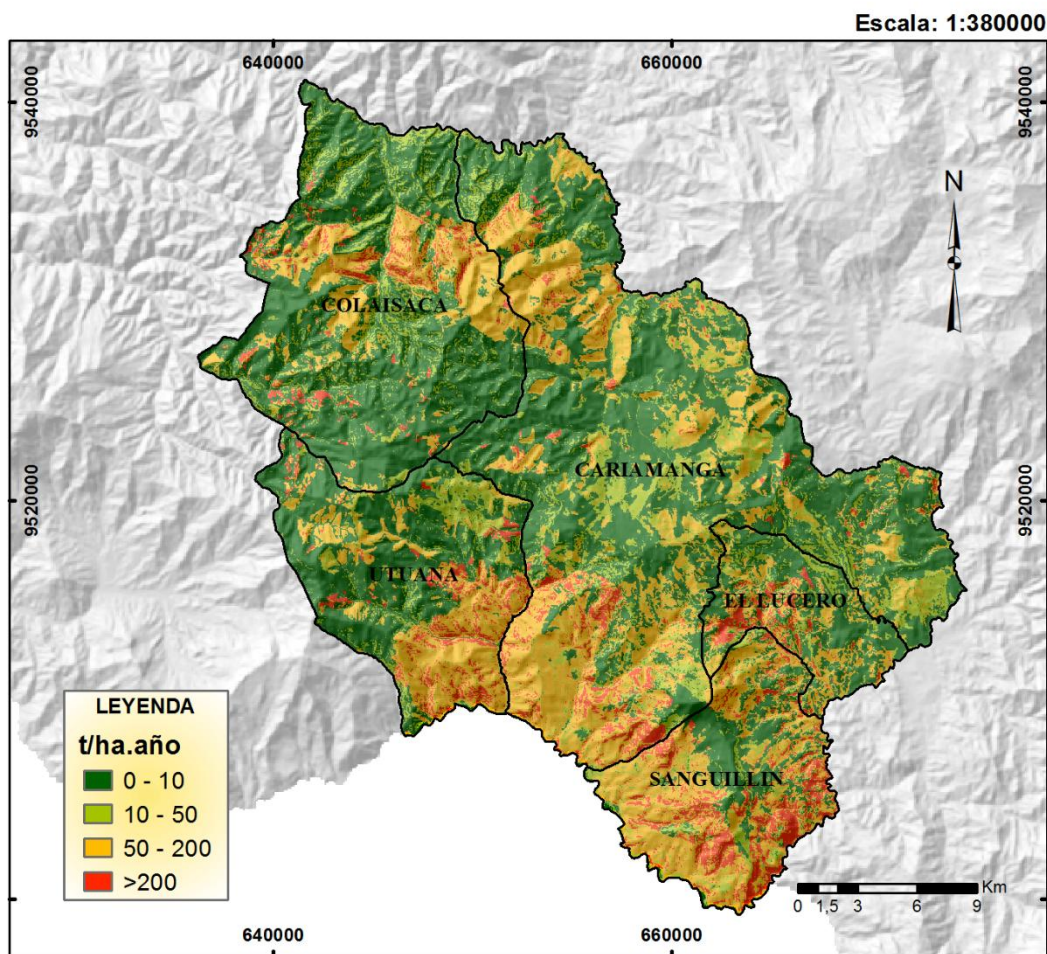


Figura 17. Erosión actual del cantón Calvas de la provincia de Loja.

Cuadro 13. Pérdidas de suelo, grado de erosión y área dentro del cantón Calvas

Pérdidas de suelo ( $t\ ha^{-1}año^{-1}$ )	Área (ha)	Porcentaje (%)
< 10	41272,11	49,13
10 – 50	12777,66	15,21
50 – 200	23823,27	28,36
> 200	6131,97	7,30

Cuadro 14. Pérdidas de suelo, área y porcentaje a nivel parroquial del cantón Calvas

Categoría	Pérdida del Suelo ( $t\ ha^{-1}año^{-1}$ )	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
	<b>P. Cariamanga</b>			<b>P. Colaisaca</b>		<b>P. El Lucero</b>	
Ligera	< 10	18476,5	49,5	12266,6	62,6	2502	48,1
Moderada	10 – 50	6382,8	17,1	2806,0	14,3	860,3	16,6
Alta	50 – 200	10822,5	29,0	3571,7	18,2	1298,9	25,0
Muy Alta	> 200	1655,9	4,4	941,9	4,8	536	10,3
	<b>P. Sanguillin</b>			<b>P. Utuana</b>			
Ligera	< 10	2135,6	21,8	5875,7	48,7		
Moderada	10 – 50	1149,9	11,7	1580,0	13,1		
Alta	50 – 200	4587,0	46,7	3542,1	29,4		
Muy Alta	> 200	1940,9	19,8	1056,8	8,8		

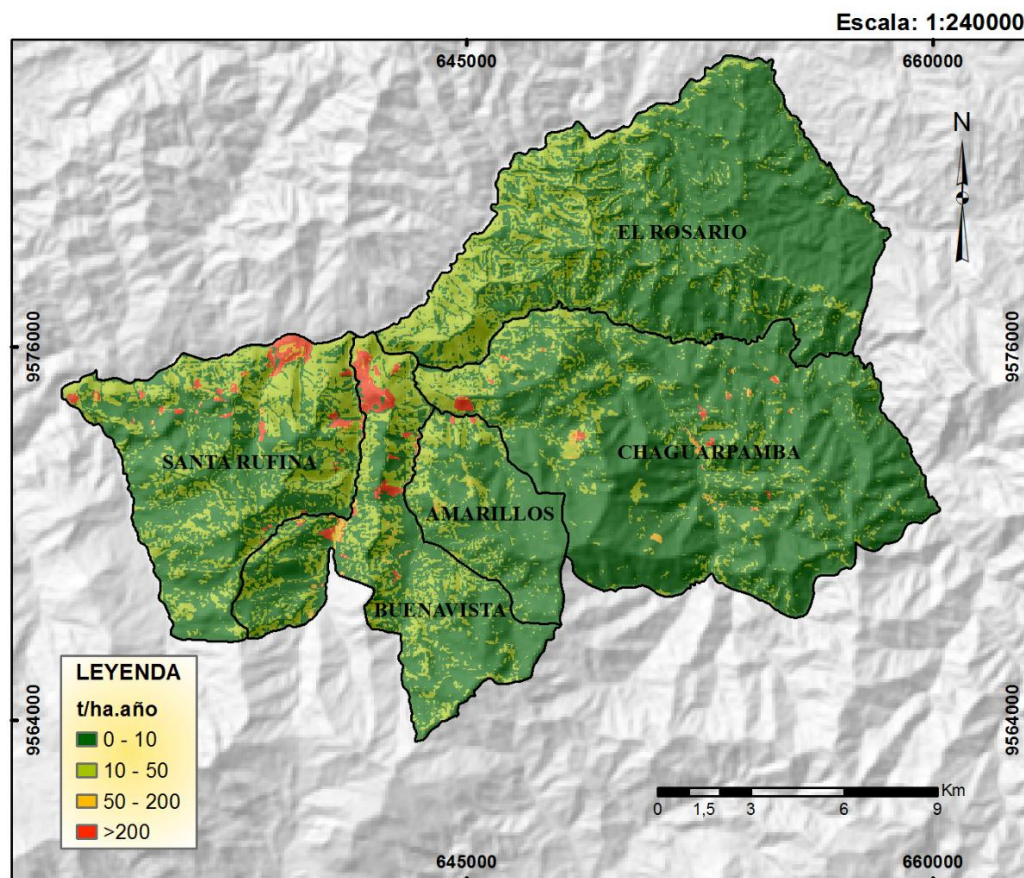
#### **4.1.1.7. Tasas de Erosión o Erosión Hídrica Actual de Chaguarpamba**

Como se puede observar en la Figura 18 y Cuadro 10, que la distribución de la erosión en el cantón Chaguarpamba  $< 10 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión ligera) es de 24 146,4 hectáreas (79,3%) del territorio total, por ende la pérdida de suelo es menor, además, hay diferentes factores que influyen para que la erosión sea menor, uno de ellos es la cobertura vegetal presente en el cantón Chaguarpamba como es el Bosque Húmedo, Matorral Húmedo y Pastizal, esta cobertura ayuda a neutralizar la erosión hídrica ya que hay valores del factor de precipitación elevados, de la misma manera, el factor topográfico en el cantón Chaguarpamba en su mayoría es de pendientes medias no muy pronunciadas ayudando a la conservación del suelo.

En la Figura 18, se indica que la pérdida de suelo  $< 10 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión ligera) ocupa la mayor superficie del cantón Chaguarpamba con 24 146,4 hectáreas (79,3%) (Cuadro 10), es así que este valor de pérdida de suelo, en las parroquias del cantón mencionado se distribuye de la siguiente manera, en la parroquia Amarillos 81,2%, parroquia Buenavista 66,3%, parroquia Chaguarpamba 87,5%, parroquia El Rosario 79,3% y en la parroquia Santa Rufina 62,3% (Cuadro11). De la misma manera, la pérdida de suelo entre  $10 - 50 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión moderada) ocupa 6 454,4 hectáreas (20,7%) del cantón Chaguarpamba (Cuadro 10), así que el valor de pérdida de suelo descrito en las parroquias del cantón mencionado se distribuye de la siguiente manera, en la parroquia Amarillos 17,8%, parroquia Buenavista 27,9%, parroquia Chaguarpamba 11,4%, parroquia El Rosario 20,6% y en la parroquia Santa Rufina 33,4% (Cuadro11). Asimismo, la pérdida de suelo entre  $50 - 200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión alta) ocupa 189,6 hectáreas (0,6%) del cantón Chaguarpamba (Cuadro 10), así que el valor de pérdida de suelo descrito en las parroquias del cantón mencionado se distribuye de la siguiente manera, en la parroquia Amarillos 0,6%, parroquia Buenavista 1,4%, parroquia Chaguarpamba 0,6%, parroquia El Rosario 0,04% y en la parroquia Santa Rufina 0,94% (Cuadro11). Finalmente, la pérdida de suelo  $> 200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión muy alta) ocupa 446 hectáreas (1,4%) del cantón Chaguarpamba (Cuadro 10), así que el valor de pérdida de suelo descrito en las parroquia del cantón mencionado se distribuye de la siguiente manera, en la parroquia Amarillos 0,4%,



parroquia Buenavista 4,4%, parroquia Chaguarpamba 0,6%, parroquia El Rosario 0% y en la parroquia Santa Rufina 3,4% (Cuadro11).



*Figura 18.* Erosión actual del cantón Chaguarpamba de la provincia de Loja.

**Cuadro 15.** Pérdida de suelo, grado de erosión y área dentro del cantón Chaguarpamba

Pérdidas de suelo ( $t\ ha^{-1}año^{-1}$ )	Área (ha)	Porcentaje (%)
< 10	24146,4	77,3
10 – 50	6454,4	20,7
50 – 200	189,6	0,6
> 200	446,0	1,4

**Cuadro 16.** Pérdidas de suelo, área y porcentaje a nivel parroquial del cantón Chaguarpamba

Categoría	Pérdida del Suelo ( $t\ ha^{-1}año^{-1}$ )	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
	<b>P. Amarillos</b>			<b>P. Buenavista</b>		<b>P. Chaguarpamba</b>	
<b>Ligera</b>	< 10	1757,7	81,2	2937,2	66,3	8823,1	87,5

Continua



**Cuadro 17.** Pérdidas de suelo, área y porcentaje a nivel parroquial del cantón Chaguarpamba

<b>Moderada</b>	10 – 50	386,0	17,8	1233,9	27,9	1145,1	11,4
<b>Alta</b>	50 – 200	13,8	0,6	63,0	1,4	59,7	0,6
<b>Muy Alta</b>	> 200	8,3	0,4	194,5	4,4	59,8	0,6
	<b>P. El Rosario</b>						
<b>Ligera</b>	< 10	7244,4	79,3	3370,3	62,3		
<b>Moderada</b>	10 – 50	1885,3	20,6	1803,9	33,4		
<b>Alta</b>	50 – 200	3,4	0,04	51,0	0,94		
<b>Muy Alta</b>	> 200	0	0	183,1	3,4		
	<b>P. Santa Rufina</b>						

#### 4.1.1.8. *Tasas de Erosión o Erosión Hídrica Actual de Saraguro*

Como se puede observar en la Figura 19 y Cuadro 12, que la distribución de la erosión en el cantón Saraguro < 10 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> (erosión ligera) es de 92 285,6 hectáreas (85,4%) del territorio total, por ende la pérdida de suelo es menor, además, hay diferentes factores que influyen para que la erosión sea menor, uno de ellos es la cobertura vegetal presente en el cantón Saraguro como es el Páramo, Pastizal, Matorral Húmedo Denso y Bosque de Pino, esta cobertura ayuda a neutralizar la erosión hídrica ya que hay valores del factor de precipitación elevados, de la misma manera, el factor topográfico en el cantón Saraguro en su mayoría es de pendientes medias no muy pronunciadas ayudando a la conservación del suelo.

En la Figura 19, se indica que la pérdida de suelo < 10 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> (erosión ligera) ocupa 92 285,6 hectáreas (85,4%) del cantón Saraguro (Cuadro 12), es así que este valor de pérdida de suelo, en las parroquias del cantón mencionado se distribuye de la siguiente manera, en la parroquia El Paraíso de Celen 91,9%, parroquia El Tablon 87,4%, parroquia Lluzhapa 80,8%, parroquia Manu 99%, parroquia Saraguro 96,2%, parroquia San Antonio de Cumbe 77,2%, parroquia San Pablo de Tenta 91,9%, parroquia San Sebastián de Yuluc 63,2%, parroquia Selva Alegre 95,1%, parroquia Sumaypamba 66,2% y en la parroquia Urdaneta 99,1% (Cuadro13). De la misma manera, la pérdida de suelo entre 10 – 50 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> (erosión moderada) ocupa 11 879,6 hectáreas (11%) del cantón Saraguro (Cuadro 12), así que el valor de pérdida de suelo descrito en las parroquias del cantón mencionado se distribuye de la siguiente manera, en la parroquia El Paraíso de Celen 7%, parroquia El Tablon 8%,

parroquia Lluzhapa 14,2%, parroquia Manu 0,9%, parroquia Saraguro 3,5%, parroquia San Antonio de Cumbe 16%, parroquia San Pablo de Tenta 4,2%, parroquia San Sebastián de Yuluc 30,2%, parroquia Selva Alegre 4,7%, parroquia Sumaypamba 22,6% y en la parroquia Urdaneta 0,9% (Cuadro13). Asimismo, la pérdida de suelo entre 50 – 200 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> (erosión alta) ocupa 2 663,4 hectáreas (2,46%) del cantón Saraguro (Cuadro 12), así que el valor de pérdida de suelo descrito en las parroquias del cantón mencionado se distribuye de la siguiente manera, en la parroquia El Paraíso de Celen 0,97%, parroquia El Tablon 2,82%, parroquia Lluzhapa 4,75%, parroquia Manu 0,03%, parroquia Saraguro 0,16%, parroquia San Antonio de Cumbe 6,04%, parroquia San Pablo de Tenta 2,8%, parroquia San Sebastián de Yuluc 4,9%, parroquia Selva Alegre 0,2%, parroquia Sumaypamba 4,7% y en la parroquia Urdaneta 0% (Cuadro13). Finalmente, la pérdida de suelo > 200 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> (erosión muy alta) ocupa 1 229,9 hectáreas (1,1%) del cantón Saraguro (Cuadro 12), así que el valor de pérdida de suelo descrito en las parroquia del cantón mencionado se distribuye de la siguiente manera, en la parroquia El Paraíso de Celen 0,1%, parroquia El Tablon 1,8%, parroquia Lluzhapa 0,2%, parroquia Manu 0,01%, parroquia Saraguro 0,06%, parroquia San Antonio de Cumbe 0,71%, parroquia San Pablo de Tenta 1,08%, parroquia San Sebastián de Yuluc 1,6%, parroquia Selva Alegre 0,04%, parroquia Sumaypamba 6,5% y en la parroquia Urdaneta 0% (Cuadro13).

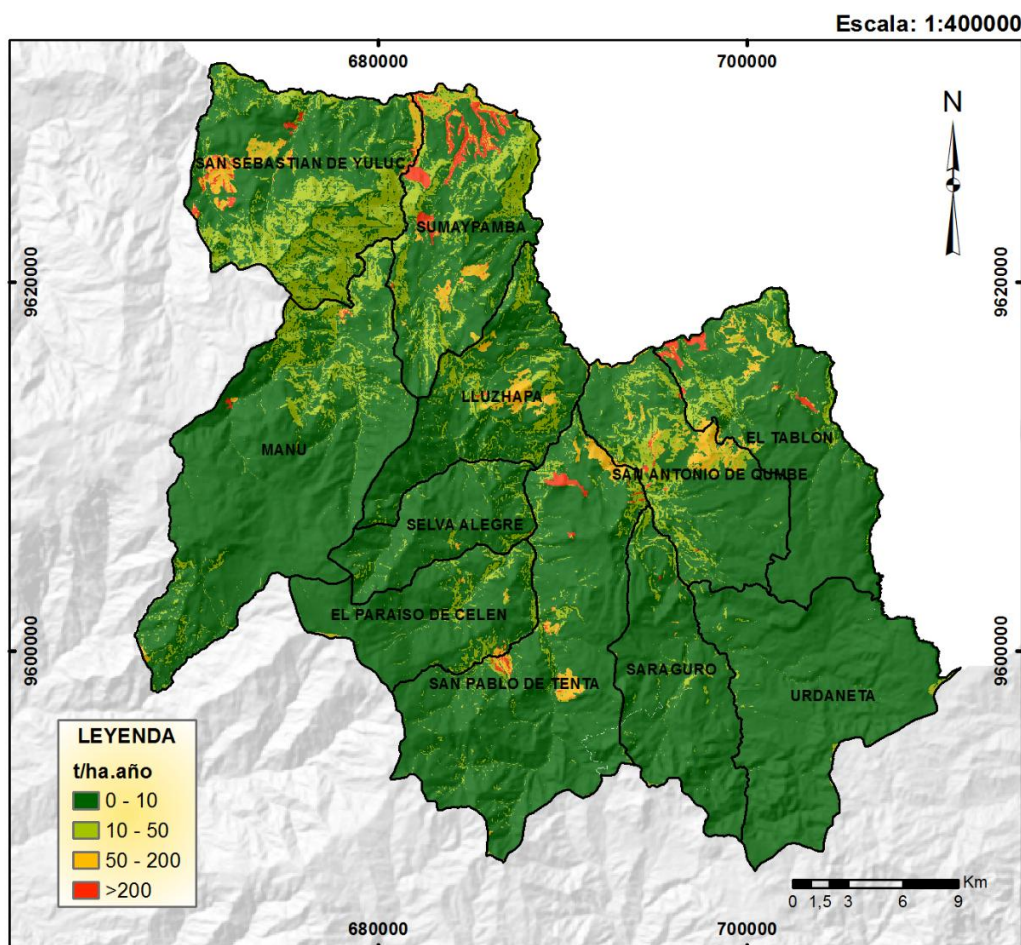


Figura 19. Erosión actual del cantón Saraguro de la provincia de Loja.

**Cuadro 18.** Pérdidas de suelo, grado de erosión y área que ocupa dentro del cantón Saraguro

Pérdidas de suelo ( $t\ ha^{-1}a\ ño^{-1}$ )	Área (ha)	Porcentaje (%)
< 10	92285,6	85,4
10 - 50	11879,6	11,0
50 - 200	2663,4	2,46
> 200	1229,9	1,1

**Cuadro 19.** Pérdidas de suelo, área y porcentaje a nivel parroquial del cantón Saraguro

Categoría	Pérdida del Suelo ( $t\ ha^{-1}a\ ño^{-1}$ )	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
						<b>P. El Paraíso de Celen</b>	<b>P. El Tablon</b>
							<b>P. Lluzhapa</b>
<b>Ligera</b>	< 10	5694,7	91,9	8426,7	87,4	5919,4	80,8
<b>Moderada</b>	10 - 50	431,8	7,0	772,7	8,0	1042,6	14,2
<b>Alta</b>	50 - 200	60,2	0,97	271,9	2,82	348,1	4,75

Continúa

**Cuadro 20.** Pérdidas de suelo, área y porcentaje a nivel parroquial del cantón Saraguro

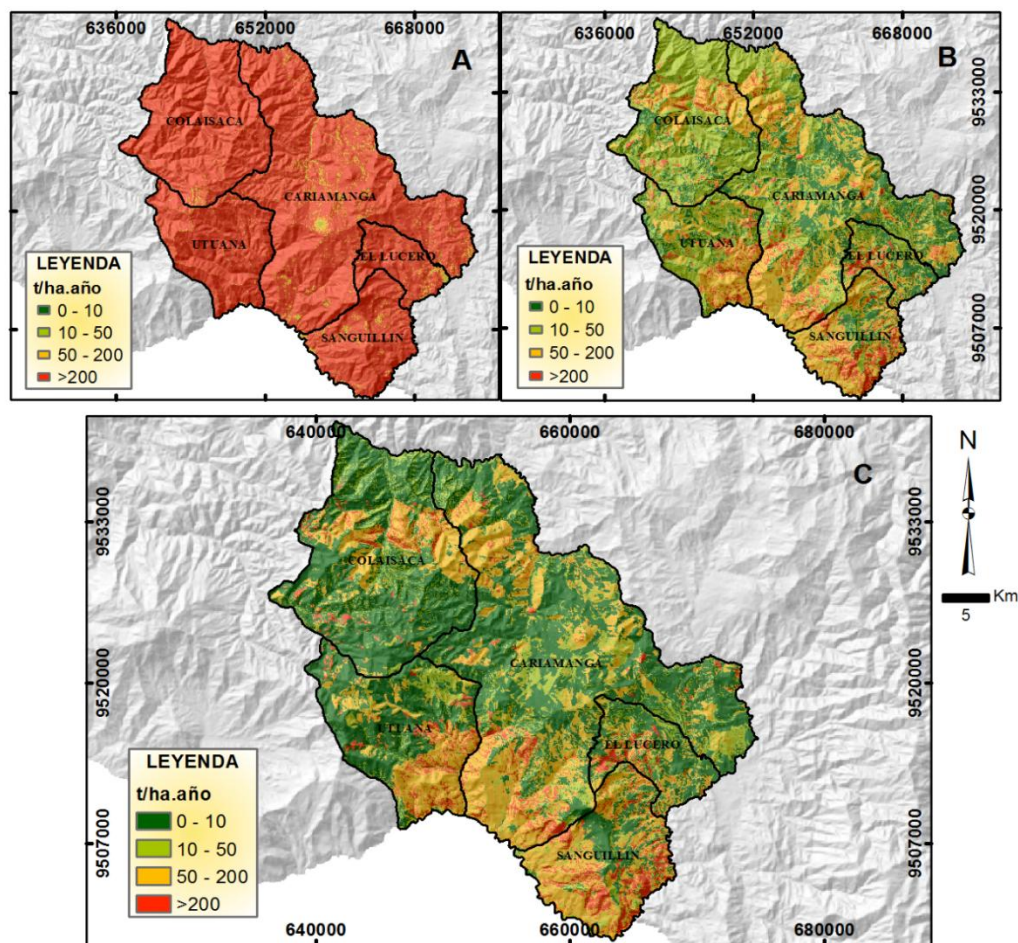
<b>Muy Alta</b>	> 200	7,8	0,1	173,3	1,8	16,1	0,2
	<b>P. Manu</b>			<b>P. Saraguro</b>		<b>P. San Antonio de Cumbe</b>	
<b>Ligera</b>	< 10	172813,0	99,0	7119,6	96,2	6039,2	77,2
<b>Moderada</b>	10 – 50	1598,8	0,9	261,5	3,5	1254,5	16,0
<b>Alta</b>	50 – 200	54,6	0,03	12,0	0,16	472,4	6,04
<b>Muy Alta</b>	> 200	23,7	0,01	4,8	0,06	55,2	0,71
	<b>P. San Pablo de Tenta</b>			<b>P. San Sebastián de Yuluc</b>		<b>P. Selva Alegre</b>	
<b>Ligera</b>	< 10	14327,4	91,9	7302,8	63,2	4287,3	95,1
<b>Moderada</b>	10 – 50	652,6	4,2	3494,3	30,2	213,6	4,7
<b>Alta</b>	50 – 200	435,9	2,80	570,3	4,9	7,0	0,2
<b>Muy Alta</b>	> 200	168,4	1,08	190,3	1,6	1,8	0,04
	<b>P. Sumaypamba</b>			<b>P. Urdaneta</b>			
<b>Ligera</b>	< 10	6039,2	77,2	11594,7	99,1		
<b>Moderada</b>	10 – 50	1254,5	16,0	104,0	0,9		
<b>Alta</b>	50 – 200	472,4	6,04	5,3	0,05		
<b>Muy Alta</b>	> 200	55,2	0,71	0	0		

#### 4.1.2. Erosión Potencial y Escenarios Futuros negativos

##### 4.1.2.1. Erosión potencial y escenarios futuros negativos de calvas

En la Figura 20, se puede observar diferentes escenarios negativos, cuando existe una erosión potencial sin tomar en cuenta el Factor C y P, y un segundo escenario negativo con erosión potencial donde el Factor C toma valores de ponderación cuando la cobertura vegetal está degradada, es así que, en el primer escenario (Figura 20 A y Cuadro 14) se puede apreciar que la pérdida de suelo < 10 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> (erosión ligera) ocupa una superficie de 67,77 hectáreas (0,08%) de Calvas, asimismo, la pérdida de suelo entre 10 – 50 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> (erosión moderada) ocupa una superficie de 516,06 hectáreas (0,61%) de Calvas, de la misma manera, la pérdida de suelo entre 50 – 200 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> (erosión alta) ocupa una superficie de 4 930,92 hectáreas (5,87%) de Calvas y finalmente la pérdida de suelo >200 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> (erosión muy alta) ocupa una superficie de 78 490,26 hectáreas (93,44%) de Calvas. Esto indica que la cobertura vegetal es determinante para conocer la erosión hídrica del lugar de estudio. En el segundo escenario (Figura 20 B y Cuadro 14) se puede observar que la pérdida de suelo < 10 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> (erosión ligera) ocupa una superficie

de 19 738,89 hectáreas (23,50%) de Calvas, asimismo, la pérdida de suelo entre 10 – 50 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (erosión moderada) ocupa una superficie de 31 518,81 hectáreas (37,52%) de Calvas, de la misma manera, la pérdida de suelo entre 50 – 200 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (erosión alta) ocupa una superficie de 25 322,31 hectáreas (30,14%) de Calvas y finalmente la pérdida de suelo >200 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (erosión muy alta) ocupa una superficie de 7 425 hectáreas (8,84%) de Calvas.



**Figura 20.** Erosión potencial y escenarios futuros negativos del Cantón Calvas. A) Mapa de Erosión Potencial. B) Mapa del Escenario Futuro Negativo. C) Mapa de Erosión Actual.

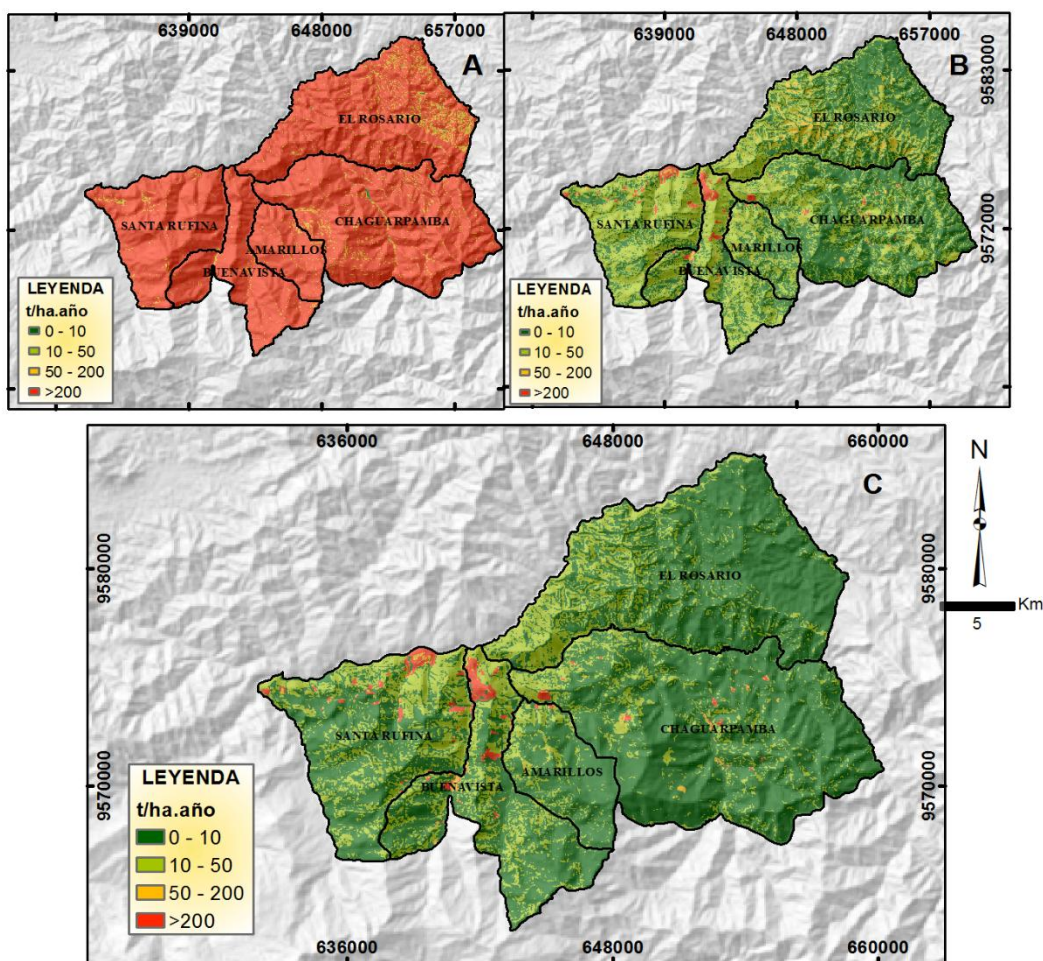
**Cuadro 21.** Erosión potencial y escenario futuro negativo del cantón Calvas

Pérdida del Suelo (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Categoría	Erosión Potencial		Escenario Futuro (-)	
		Área (ha)	Pérdida del Suelo (%)	Área (ha)	Pérdida del Suelo con cobertura degradada (%)
0 - 10	Ligera	67,77	0,08	19738,89	23,50
10 - 50	Moderada	516,06	0,61	31518,81	37,52
50 - 200	Alta	4930,92	5,87	25322,31	30,14
> 200	Muy Alta	78490,26	93,44	7425	8,84

#### 4.1.2.2. *Erosión potencial y escenarios futuros negativos de Chaguarpamba*

En la Figura 21, se puede observar diferentes escenarios negativos, cuando existe una erosión potencial sin tomar en cuenta el Factor C y P, y un segundo escenario negativo con erosión potencial donde el Factor C toma valores de ponderación cuando la cobertura vegetal está degradada, es así que, en el primer escenario (Figura 21 A y Cuadro 15) se puede apreciar que la pérdida de suelo  $< 10 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión ligera) ocupa una superficie de 60,21 hectáreas (0,19%) de Chaguarpamba, asimismo, la pérdida de suelo entre  $10 - 50 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión moderada) ocupa una superficie de 222,12 hectáreas (0,71%) de Chaguarpamba, de la misma manera, la pérdida de suelo entre  $50 - 200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión alta) ocupa una superficie de 2 158,2 hectáreas (6,91%) de Chaguarpamba y finalmente la pérdida de suelo  $> 200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión muy alta) ocupa una superficie de 28 795,77 hectáreas (92,19%) de Chaguarpamba. Esto indica que la cobertura vegetal es determinante para conocer la erosión hídrica del lugar de estudio. En el segundo escenario (Figura 21 B y Cuadro 15) se puede observar que la pérdida de suelo  $< 10 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión ligera) ocupa una superficie de 15 119,73 hectáreas (48,40%) de Chaguarpamba, asimismo, la pérdida de suelo entre  $10 - 50 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión moderada) ocupa una superficie de 14 671,71 hectáreas (46,97%) de Chaguarpamba, de la misma manera, la pérdida de suelo entre  $50 - 200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión alta) ocupa una superficie de 994,95 hectáreas (3,19%) de Chaguarpamba y finalmente la pérdida de suelo  $> 200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión muy alta) ocupa una superficie de 449,91 hectáreas (1,44%) de Chaguarpamba.





**Figura 21.** Erosión potencial y escenarios futuros negativos del Cantón Chaguarpamba. A) Mapa de Erosión Potencial. B) Mapa del Escenario Futuro Negativo. C) Mapa de Erosión Actual.

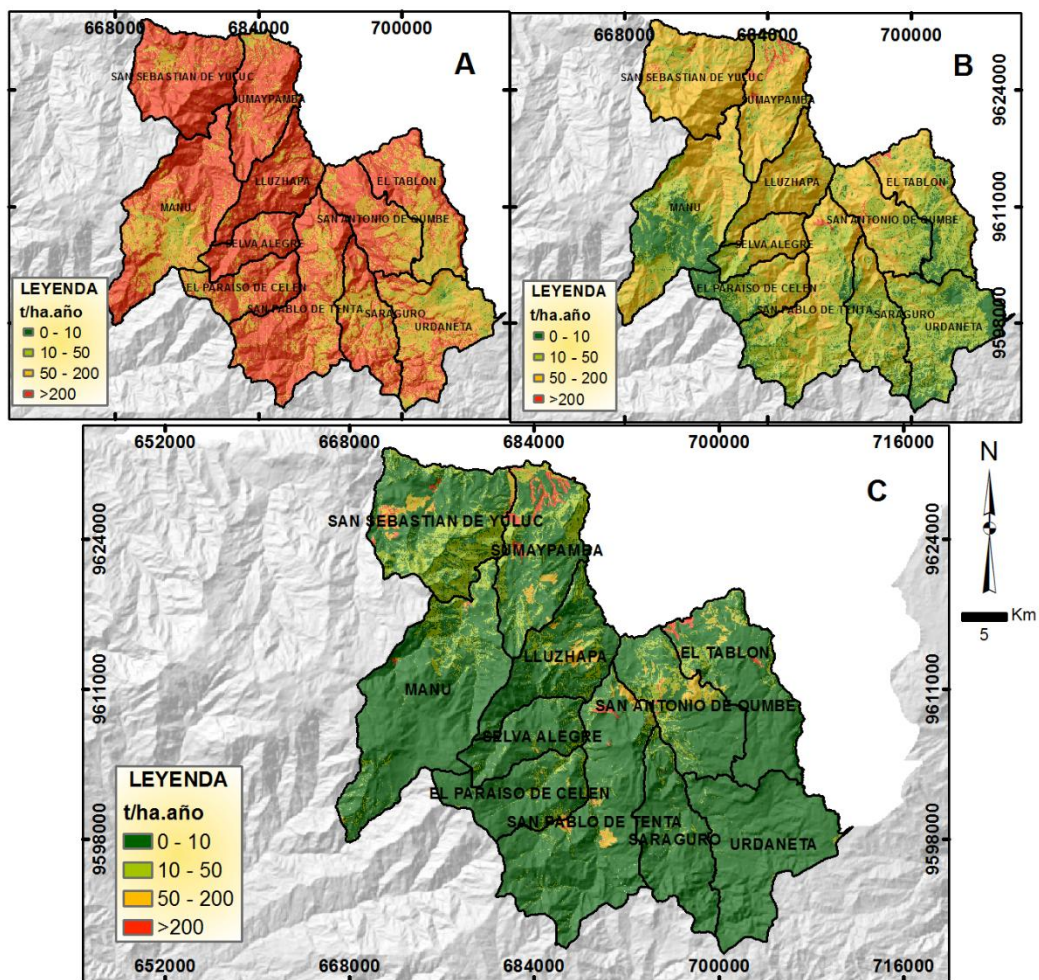
**Cuadro 22.** Erosión potencial y escenario futuro negativo del cantón Chaguarpamba

Pérdida del Suelo (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Categoría	Erosión Potencial		Escenario Futuro (-)	
		Área (ha)	Pérdida del Suelo sin cobertura (%)	Área (ha)	Pérdida del Suelo con cobertura degradada (%)
0 - 10	Ligera	60,21	0,19	15119,73	48,40
10 - 50	Moderada	222,12	0,71	14671,71	46,97
50 - 200	Alta	2158,2	6,91	994,95	3,19
> 200	Muy Alta	28795,77	92,19	449,91	1,44

#### **4.1.2.3. *Erosión potencial y escenarios futuros negativos de Saraguro***

En la Figura 22, se puede observar diferentes escenarios negativos, cuando existe una erosión potencial sin tomar en cuenta el Factor C y P, y un segundo escenario negativo con erosión potencial donde el Factor C toma valores de ponderación cuando la cobertura vegetal está degradada, es así que, en el primer escenario (Figura 22 A y Cuadro 16) se puede apreciar que la pérdida de suelo  $< 10 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión ligera) ocupa una superficie de 548,1 hectáreas (0,51%) de Saraguro, asimismo, la pérdida de suelo entre  $10 - 50 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión moderada) ocupa una superficie de 5 979,24 hectáreas (5,53%) de Saraguro, de la misma manera, la pérdida de suelo entre  $50 - 200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión alta) ocupa una superficie de 32 405,49 hectáreas (29,98%) de Saraguro y finalmente la pérdida de suelo  $> 200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión muy alta) ocupa una superficie de 69 154,92 hectáreas (63,98%) de Saraguro. Esto indica que la cobertura vegetal es determinante para conocer la erosión hídrica del lugar de estudio. En el segundo escenario (Figura 22 B y Cuadro 16) se puede observar que la pérdida de suelo  $< 10 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión ligera) ocupa una superficie de 17 974,8 hectáreas (16,63%) de Saraguro, asimismo, la pérdida de suelo entre  $10 - 50 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión moderada) ocupa una superficie de 42 352,38 hectáreas (39,19%) de Saraguro, de la misma manera, la pérdida de suelo entre  $50 - 200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión alta) ocupa una superficie de 46 059,39 hectáreas (42,62%) de Saraguro y finalmente la pérdida de suelo  $> 200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión muy alta) ocupa una superficie de 1 672,02 hectáreas (1,55%) de Saraguro.





**Figura 22.** Erosión potencial y escenarios futuros negativos del Cantón Saraguro. A) Mapa de Erosión Potencial. B) Mapa del Escenario Futuro Negativo. C) Mapa de Erosión Actual.

**Cuadro 23.** Erosión potencial y escenario futuro negativo del cantón Saraguro

Pérdida del Suelo (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Categoría	Erosión Potencial		Escenario Futuro (-)	
		Área (ha)	Pérdida del Suelo (%)	Área (ha)	Pérdida del Suelo con cobertura degradada (%)
0 - 10	Ligera	548,1	0,51	17974,8	16,63
10 - 50	Moderada	5979,24	5,53	42352,38	39,19
50 - 200	Alta	32405,49	29,98	46059,39	42,62
> 200	Muy Alta	69154,92	63,98	1672,02	1,55

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

Proponer alternativas de conservación del suelo es, reducir la erosión a un nivel en el que el máximo nivel sostenible de producción agrícola, pastoreo o actividad recreativa pueda obtenerse de una zona de tierra sin daños ambientales inaceptables. Dado que la erosión es un proceso natural, no puede evitarse. Pero puede reducirse a un nivel máximo aceptable a la pérdida de suelo. Esto debe considerarse como un criterio de rendimiento que las medidas de control de la erosión se espera lograr. En consecuencia, es fácil entender que la reposición o implantación de coberturas vegetales y prácticas de conservación son un control efectivo de la erosión (Cisneros et al., 2012; Morgan, 2005).

Seguidamente, se deduce que las estrategias para la conservación del suelo deben basarse en: cubrir el suelo para protegerlo del impacto de las gotas de lluvia; Aumentar la capacidad de infiltración del suelo para reducir la escorrentía; Mejorar la estabilidad agregada del suelo; y aumentar la rugosidad de la superficie para reducir la velocidad de la escorrentía y el viento (Morgan, 2005).

Las diferentes técnicas de conservación se pueden describir bajo el título de medidas agronómicas, manejo del suelo y métodos mecánicos. Las medidas agronómicas utilizan el papel de la vegetación para proteger el suelo contra la erosión. La gestión del suelo se refiere a las formas de preparar el suelo para promover el crecimiento de las plantas y mejorar su estructura para que sea más resistente a la erosión. Los métodos mecánicos o físicos, que suelen implicar estructuras de ingeniería, dependen de la manipulación de la topografía superficial por ejemplo, la instalación de terrazas o cortavientos para controlar el flujo de agua y aire (Morgan, 2005).

Siempre se da preferencia a las medidas agronómicas. Estos son menos costosos y se ocupan directamente de reducir el impacto de las gotas de lluvia, aumentando la infiltración, reduciendo el volumen de escorrentía y disminuyendo las velocidades del viento y del agua. Se adaptan más fácilmente a los sistemas agrícolas

existentes y son más pertinentes para mantener o restaurar las comunidades de plantas con biodiversidad. Las medidas mecánicas son en gran medida ineficaces por sí solas porque no pueden impedir el desprendimiento de partículas del suelo. Su función principal es complementar las medidas agronómicas, siendo utilizadas para controlar el flujo de cualquier exceso de agua y viento que puedan surgir (Cisneros et al., 2012; Morgan, 2005).

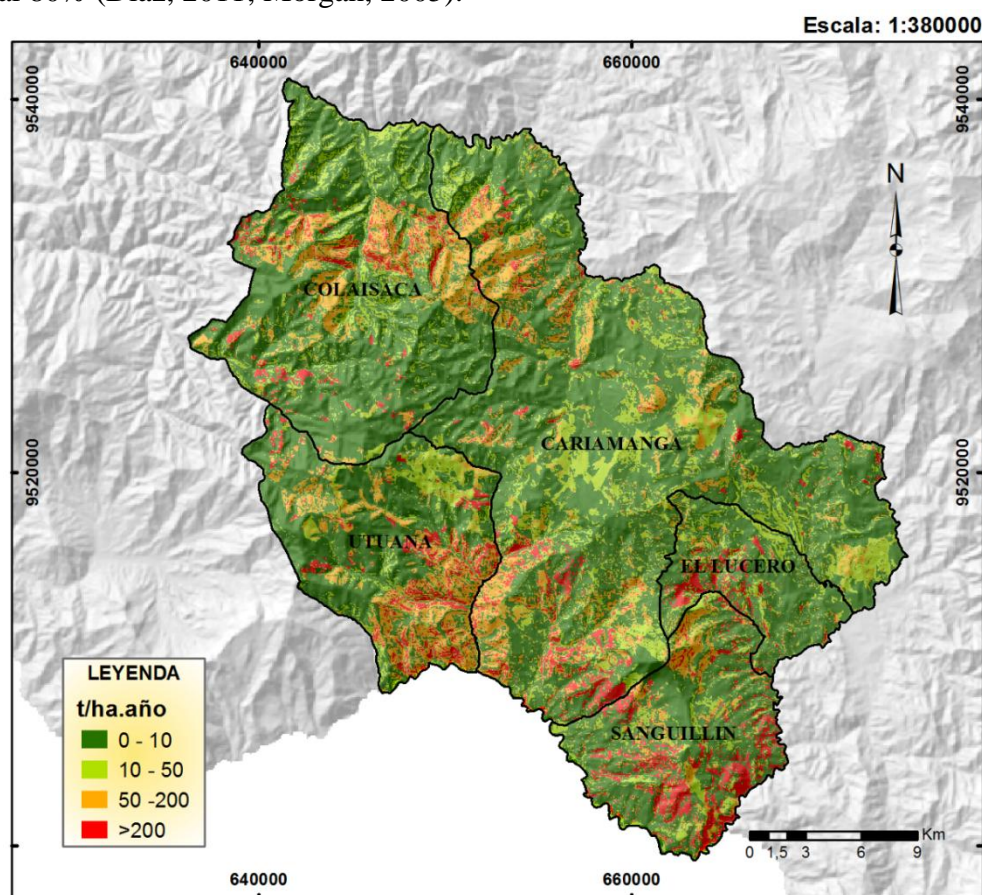
#### **4.2.1. Alternativa en un escenario futuro positivo**

##### **4.2.1.1. Escenario futuro positivo de Calvas**

En la Figura 23, se puede apreciar un escenario futuro positivo de Calvas, se consideró solo áreas donde la erosión cumpla con dos condiciones, es decir, cuando la categoría de la erosión sea alta y muy alta, y la otra condición es, si la pendiente va de 1- 25 % y además tendrá nuevos valores del Factor P (Cuadro 18), por lo tanto, el tipo de cobertura que se encuentre dentro de estas áreas que cumplan las condiciones adoptarán nuevos valores del Factor C (Cuadro 19). En la Figura 23 y Cuadro 17 se puede observar que el factor C y P son de gran significancia para reducir la erosión, de tal forma, la pérdida de suelo  $< 10 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión ligera) que ocupaba una superficie de 41 272,11 hectáreas (49,13%) de Calvas (Cuadro 8), pasa a ocupar una superficie de 53 877,25 hectáreas (59,50%) de Calvas, de la misma manera, la pérdida de suelo entre  $10 - 50 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión moderada) que ocupaba una superficie de 12 777,66 hectáreas (15,21%) de Calvas (Cuadro 8), pasa a ocupar una superficie de 12 441,14 hectáreas (13,74%) del cantón Calvas, asimismo, la pérdida de suelo entre  $50 - 200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión alta) que ocupaba una superficie de 23 823,27 hectáreas (28,36%) de Calvas (Cuadro 8), pasa a ocupar una superficie de 20 090,99 hectáreas (22,19%) del cantón Calvas, y finalmente, la pérdida de suelo  $> 200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión muy alta) que ocupaba una superficie de 6 131,97 hectáreas (7,30%) de Calvas (Cuadro 8), pasa a ocupar una superficie de 4 138,95 hectáreas (4,57%) del cantón Calvas.

Por lo tanto, en el cantón calvas se recomienda adoptar alternativas para reducir la erosión en pendientes menores del 25%, ya que en estas zonas se pueden

implementar prácticas de conservación, por ello se recomienda aumentar la infiltración y reducir la escorrentía, esto se logra mediante la reforestación lo que da un control y estabilización del suelo y así se disminuye la erosión, ya que la vegetación ofrece protección física al suelo frente al impacto de la lluvia y la escorrentía y reduce la velocidad del agua al aumentar la resistencia hidráulica del terreno, por lo tanto, disminuye la capacidad erosiva del agua. Si la velocidad se ha reducido lo suficiente, se sedimenta una parte de los materiales arrastrados y a partir de este momento se empieza a regenerar la vegetación natural. El crecimiento de gramíneas reduce la escorrentía del 50 al 60% y las pérdidas de suelo por erosión del 60 al 80% (Díaz, 2011; Morgan, 2005).



**Figura 23.** Escenario futuro positivo del Cantón Calvas.

**Cuadro 24.** Erosión hídrica con un escenario positivo del cantón Calvas

Pérdida del Suelo ( $t\ ha^{-1}a\ no^{-1}$ )	Categoría	Área (ha)	Pérdida del Suelo (%)
0 – 10	Ligera	53877,25	59,50
10 – 50	Moderada	12441,14	13,74
50 – 200	Alta	20090,99	22,19
> 200	Muy Alta	4138,95	4,57

**Cuadro 25.** Factor P de prácticas de conservación adaptado de Mancilla, (2008)

<b>Pendiente (%)</b>	<b>Cultivo en contorno o curvas de nivel P</b>
0 – 10	0,60
1 – 2	0,50
3 – 5	0,50
6 – 8	0,60
9 – 12	0,70
13 – 16	0,80
17 – 20	0,90

**Cuadro 26.** Valores del factor C en un escenario positivo del cantón Calvas

<b>COBERTURA</b>	<b>FACTOR C</b>
<b>Suelo desnudo</b>	1
<b>Bosque húmedo semidenso</b>	0,001
<b>Bosque seco semidenso</b>	0,001
<b>Bosque de eucalipto</b>	0,034
<b>Maíz</b>	0,519
<b>Maní</b>	0,4
<b>Matorral húmedo semidenso</b>	0,003
<b>Matorral húmedo denso</b>	0,003
<b>Matorral seco semidenso</b>	0,003
<b>Matorral seco denso</b>	0,003
<b>Cultivos</b>	0,01
<b>Cultivos asociados</b>	0,01
<b>Bosque intervenido</b>	0,001
<b>Pastizal</b>	0,003
<b>Bosque de pino</b>	0,001
<b>Rio</b>	0
<b>Urbano</b>	0,1

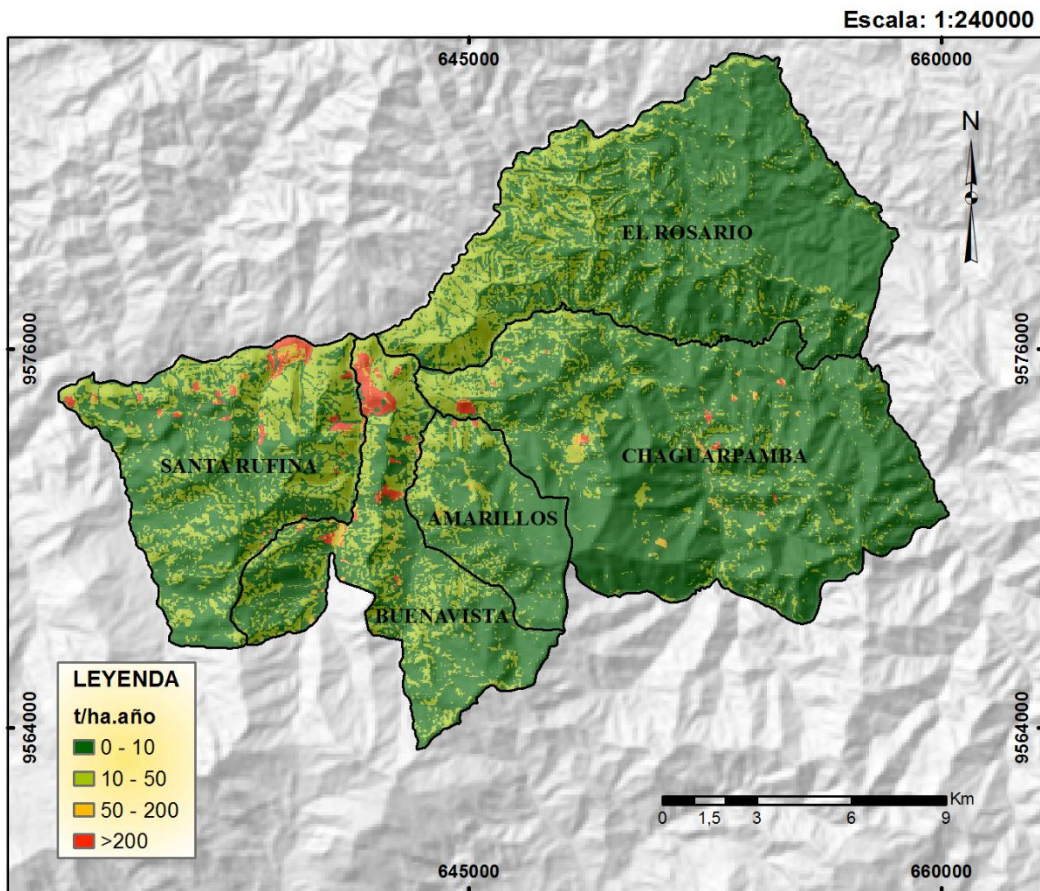
#### **4.2.1.2. Escenario futuro positivo de Chaguarpamba**

En la Figura 24, se puede apreciar un escenario futuro positivo de Chaguarpamba, se consideró solo áreas donde la erosión cumpla con dos condiciones, es decir, cuando la categoría de la erosión sea alta y muy alta, y la otra condición es, si la pendiente va de 1- 25 % y además tendrá nuevos valores del Factor P (Cuadro 21), por lo tanto, el tipo de cobertura que se encuentre dentro de estas áreas que cumplan las condiciones adoptarán nuevos valores del Factor C (Cuadro 22). En la Figura 24 y Cuadro 20 se puede observar que el factor C y P son de gran significancia para reducir la erosión, de tal forma, la pérdida de suelo < 10 t

ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> (erosión ligera) que ocupaba una superficie de 24 146,4 hectáreas (77,3%) de Chaguarpamba (Cuadro 10), pasa a ocupar una superficie de 23 122,26 hectáreas (74,24%) de Chaguarpamba, de la misma manera, la pérdida de suelo entre 10 – 50 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> (erosión moderada) que ocupaba una superficie de 6 454,4 hectáreas (20,7%) de Chaguarpamba (Cuadro 10), pasa a ocupar una superficie de 7 495,83 hectáreas (24,07%) del cantón Chaguarpamba, asimismo, la pérdida de suelo entre 50 – 200 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> (erosión alta) que ocupaba una superficie de 189,6 hectáreas (0,6%) de Chaguarpamba (Cuadro 10), pasa a ocupar una superficie de 179,19 hectáreas (0,58%) del cantón Chaguarpamba, y finalmente, la pérdida de suelo > 200 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> (erosión muy alta) que ocupaba una superficie de 446 hectáreas (1,4%) de Chaguarpamba (Cuadro 10), pasa a ocupar una superficie de 348,75 hectáreas (1,12%) del cantón Chaguarpamba.

Es así que para el cantón Chaguarpamba, la alternativa tiene que favorecer la resistencia del suelo a ser erosionado y reducir la energía del impacto de las gotas de lluvia sobre el terreno, es decir protegen al suelo del proceso erosivo, esto se puede alcanzar mediante el surcado en contorno, lo que consiste en realizar el trazo de los surcos y el laboreo del cultivo en forma perpendicular a la pendiente natural del terreno (Saturnino, Torralba, Cermeño, & Barbero, 2011; Loredó, Beltrán, Sarreón, & Domínguez, 2015)(Saturnino et al., 2011)(Saturnino et al., 2011)).





*Figura 24.* Escenario futuro positivo del Cantón Chaguarpamba.

**Cuadro 27.** Erosión hídrica con un escenario positivo del cantón Chaguarpamba

Pérdida del Suelo ( $t\ ha^{-1}a\ o^{-1}$ )	Categoría	Área (ha)	Pérdida del Suelo (%)
0 - 10	Ligera	23122,26	74,24
10 - 50	Moderada	7495,83	24,07
50 - 200	Alta	179,19	0,58
> 200	Muy Alta	348,75	1,12

**Cuadro 28.** Factor P de prácticas de conservación adaptado de Mancilla, (2008)

Pendiente (%)	Cultivo en contorno o curvas de nivel
	P
0 - 10	0,60
1 - 2	0,50
3 - 5	0,50
6 - 8	0,60
9 - 12	0,70
13 - 16	0,80
17 - 20	0,90

**Cuadro 29.** Valores del factor C en un escenario positivo del cantón Chaguarpamba

<b>COBERTURA</b>	<b>FACTOR C</b>
Área urbana	0,100
Bosque húmedo	0,001
Río	0,000
Café	0,090
Caña	0,050
Maíz	0,519
Pastizal	0,003
Matorral húmedo	0,003

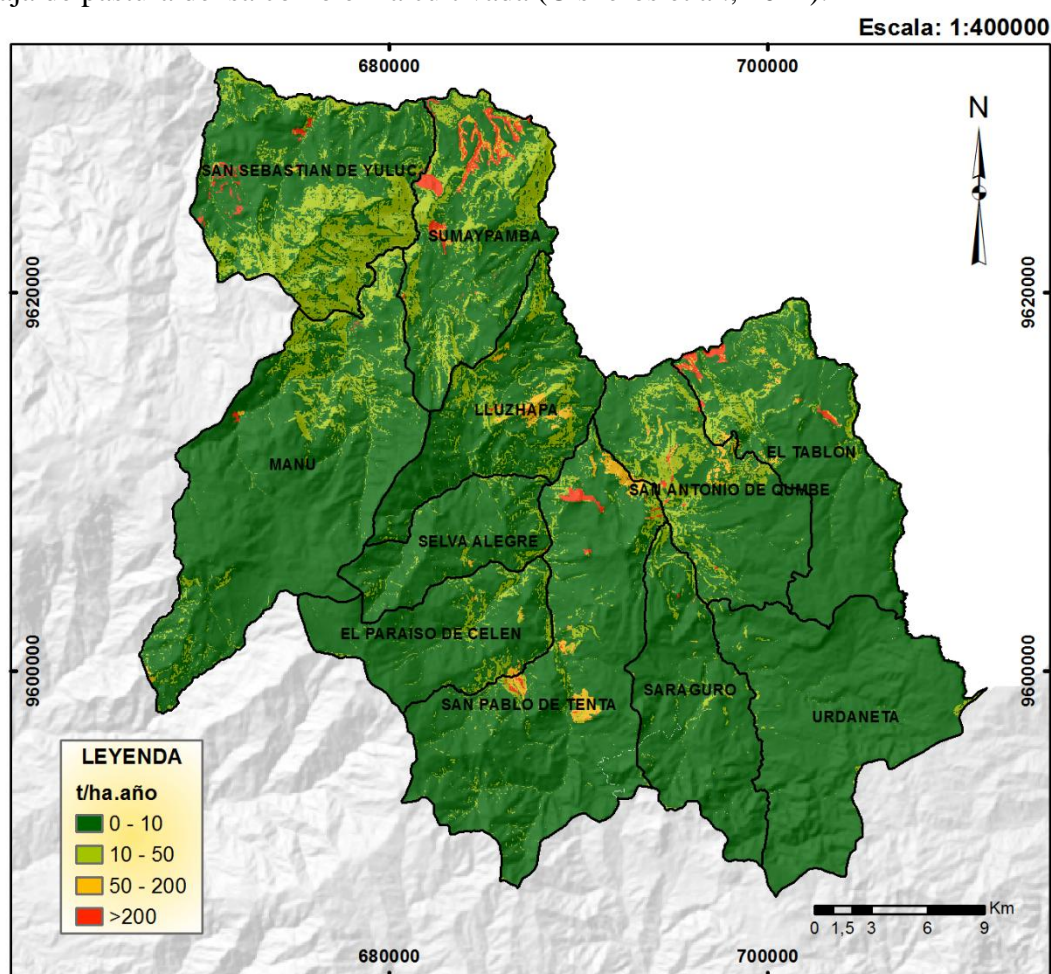
#### **4.2.1.3. Escenario futuro positivo de Saraguro**

En la Figura 25, se puede apreciar un escenario futuro positivo de Saraguro, se consideró solo áreas donde la erosión cumpla con dos condiciones, es decir, cuando la categoría de la erosión sea alta y muy alta, y la otra condición es, si la pendiente va de 1- 25 % y además tendrá nuevos valores del Factor P (Cuadro 24), por lo tanto, el tipo de cobertura que se encuentre dentro de estas áreas que cumplan las condiciones adoptarán nuevos valores del Factor C (Cuadro 25). En la Figura 25 y Cuadro 23 se puede observar que el factor C y P son de gran significancia para reducir la erosión, de tal forma, la pérdida de suelo  $< 10 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión ligera) que ocupaba una superficie de 92 285,6 hectáreas (85,4%) de Saraguro (Cuadro 12), pasa a ocupar una superficie de 91 831, 5 hectáreas (85,05%) de Saraguro, de la misma manera, la pérdida de suelo entre  $10 - 50 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión moderada) que ocupaba una superficie de 11 879,6 hectáreas (11%) de Saraguro (Cuadro 12), pasa a ocupar una superficie de 14 031,09 hectáreas (13%) del cantón Saraguro, asimismo, la pérdida de suelo entre  $50 - 200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión alta) que ocupaba una superficie de 2 663,4 hectáreas (2,46%) de Saraguro (Cuadro 12), pasa a ocupar una superficie de 1 136,16 hectáreas (1,05%) del cantón Saraguro, y finalmente, la pérdida de suelo  $> 200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  (erosión muy alta) que ocupaba una superficie de 1 229,9 hectáreas (1,1%) de Saraguro (Cuadro 12), pasa a ocupar una superficie de 972,63 hectáreas (0,9%) del cantón Saraguro.

Por lo tanto, en Saraguro se propone implementar lo que se denomina cultivos en fajas, consiste en la siembra de fajas o paños alternados de pasturas de



crecimiento denso y cultivos anuales en hileras, perpendicularmente a la dirección de la pendiente o siguiendo curvas de nivel. Una variante de esta técnica consiste en la siembra en fajas de cultivos anuales, de distinto porte y ciclo de crecimiento, en lo que constituye una forma de cultivos intercalados en franjas, lo que permite disminuir velocidad y desorganización del agua de escurrimiento al fluir por la faja de césped denso, además aumenta la velocidad de infiltración del agua, tanto en la faja de pastura densa como en la cultivada (Cisneros et al., 2012).



**Figura 25.** Escenario futuro positivo del Cantón Saraguro.

**Cuadro 30.** Erosión hídrica con un escenario positivo del cantón Saraguro

Pérdida del Suelo ( $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$ )	Categoría	Área (ha)	Pérdida del Suelo (%)
0 - 10	Ligera	91831,50	85,05
10 - 50	Moderada	14031,09	13,00
50 - 200	Alta	1136,16	1,05
> 200	Muy Alta	972,63	0,90

**Cuadro 31.** Factor P de prácticas de conservación adaptado de Mancilla, (2008)

<b>Pendiente (%)</b>	<b>Cultivo en contorno o curvas de nivel P</b>
0 - 10	0,60
1 - 2	0,50
3 - 5	0,50
6 - 8	0,60
9 - 12	0,70
13 - 16	0,80
17 - 20	0,90

**Cuadro 32.** Valores del factor C en un escenario positivo del cantón Saraguro

<b>COBERTURA</b>	<b>FACTOR C</b>
Área urbana	0,100
Bosque húmedo	0,001
Laguna	0,000
Río	0,000
Cultivos	0,01
Maíz	0,519
Suelo erosionado	1,000
Páramo	0,003
Pastizal	0,003
Eucalipto	0,001
Pino	0,001
Matorral húmedo denso	0,003
Matorral seco denso	0,003

## **5. DISCUSIÓN**

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

La generación de una base de datos permitió trabajar de manera ordenada y organizada con datos interrelacionados, los cuales contienen información relevante para abordar el presente estudio, proporcionando una forma de almacenar y recuperar la información de manera que sea tanto práctica como eficiente. Por lo tanto, agilitó la elaboración de la ecuación RUSLE que está conformada por diferentes factores (Lamelas, 2007; Silberschatz, Korth, & Sudarshan, 2002).

En la modelación de erosión hídrica, intervienen diferentes factores que conforman la ecuación RUSLE, por lo que se realizó diferentes bases de datos como son, base de datos del factor de precipitación, base de datos del factor de erodabilidad, base de datos del factor de cobertura, base de datos del factor de longitud y pendiente y base de datos de prácticas agrícolas, que mediante el software ArcMap10.3 se pudo realizar la modelación acorde con los objetivos planteados, de la información levantada de cada uno de los cantones Calvas, Chaguarpamba y Saraguro.

### **5.2. Estimar las tasas de erosión hídrica actual, potencial y las zonas susceptibles a erosión**

Este estudio cartográfico se detalló la variabilidad espacio-temporal del riesgo de erosión hídrica del suelo a una escala cantonal. Claramente se muestra los usos de la tierra que son más susceptibles a la erosión. La ecuación RUSLE permite el cálculo de la pérdida de suelo, mediante algunos factores que la componen, como: el Factor R, Factor K, Factor C, Factor LS y el Factor P, que se obtuvieron de los cantones Calvas, Chaguarpamba y Saraguro de la provincia de Loja.

Se podría mostrar una estrecha relación entre el clima, la altitud y la topografía (Ochoa et al., 2016), donde Calvas, Chaguarpamba y Saraguro, han presentado datos que permiten apreciar resultados aceptables en la predicción de la RUSLE, sin embargo hay diferentes errores por el proceso que se realiza en un

sistemas de información geográfico (SIG) en este caso el ArcGis 10.3 (Flores, Martínez, Oropeza, Mejía, & Carrillo, 2003).

El Factor R es una variable que se encuentra incluido en la RUSLE, el cuál es un índice de erosión para el período de tormenta dado en MJ.mm/(ha.h.año) (Devatha, Deshpande, & Renukprasad, 2015). El factor R se determina por estaciones de medición de lluvia seleccionadas del área de estudio y estos valores se interpolan espacialmente a través del SIG y se genera un mapa de Factores R (Figura 2, 3 y 4). El valor de la erosividad de la lluvia muestra que el valor de R es mayor cuando la intensidad de la lluvia es mayor y viceversa. Es así que, en Calvas el Factor R va de 3 261 a 3 762 (Mj.mm)/(ha.h.año), en Chaguarpamba el Factor R va de 2 600 a 3 393 (Mj.mm)/(ha.h.año) y en Saraguro el Factor R va 1 786 a 2 475 (Mj.mm)/(ha.h.año), en la provincia de Loja hay estudios acerca de erosión hídrica, como en la investigación realizada por Tamayo (2016) en donde el Factor R de Zapotillo y Pindal va desde 2 459 a 5 007 (Mj.mm)/(ha.h.año), también un estudio realizado en Catamayo y Gonzanamá de la provincia de Loja por Vega (2016) el Factor R tiene valores que oscilan entre 1 465 a 3 997 (Mj.mm)/(ha.h.año), otro estudio realizado en Loja por Oñate (2004) el Factor R tiene valores que van desde 3 188 a 5 500 (Mj.mm)/(ha.h.año), con todos estos antecedentes y tomando en cuenta que es una investigación a nivel cantonal, se puede decir que los valores del Factor R del presente estudio están dentro de los parámetros de pérdida de suelo.

El Factor K representa la susceptibilidad del suelo al desprendimiento y al transporte de partículas del suelo bajo una cantidad de escurrimiento para la precipitación específica. Se clasifica principalmente en escala de 0 a 1, donde 0 es para suelos de menor susceptibilidad a la erosión y 1 para suelos de alta susceptibilidad a erosión hídrica (Pancholi, Lodha, Prakash, Khalid, & Songara, 2015). El Factor K (Figura 5, 6 y 7) de los cantones en el presente estudio varían su valor, es decir, en el cantón Calvas el valor de K esta entre 0,00216 a 0,0427 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha, y se puede apreciar que la clasificación predominante en superficie de Calvas es de 0,0188 a 0,0427 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha, asimismo, en Chaguarpamba el factor K tiene valores entre 0,0068 a 0,045 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha y se puede observar que predomina en superficie la clasificación que va de 0,0068 a

0,0212 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha, de la misma forma, en Saraguro el Factor K va de 0,0071 a 0,044 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha y se puede apreciar que predomina en superficie la clasificación que va de 0,023 a 0,027 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha, de la misma manera , en el estudio de Vega (2016) en Catamayo y Gonzanamá de la provincia de Loja el Factor K tiene valores que fluctúan entre 0,013 a 0,055 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha, mientras que en un estudio realizado por Bueno et al., (2016) el Factor K, varió desde 0 a 0,384 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha, lo cual significa que, mientras mayor sea dicho factor, mayor es la susceptibilidad del suelo a ser erosionado, también en el trabajo realizado por Tamayo (2016) en Zapotillo y Pindal de la provincia de Loja el Factor K tiene un valor que oscila entre 0,0164 a 0,0745 Ton.ha.hr/Mj.mm.ha, por lo que en estos diferentes estudios mencionados el valor de K tiene algunos aspectos que influyen al momento de dar un valor de susceptibilidad como la precipitación, la topografía del sector, el tipo de suelo y uso de la tierra a escala cantonal. El método utilizado para el cálculo de este factor fue directo indirecto, puesto que se trabajó en campo y en el laboratorio.

El Factor C es la proporción de la pérdida de suelo de un área con cobertura y manejo especificados a la de un área idéntica en el campo continuo cultivado (Devatha et al., 2015). El Factor C adopta valores de ponderación de 0 a 1 donde las zonas con valores cercanos a 1 son las susceptibles a que exista mayor escurrimiento, como se puede observar en los mapas del Factor C (Figura 8, 9 y 10), y para representar este factor existen diferentes criterios, sin embargo, se ha considerado que los más adecuados para los fines de esta investigación son los presentados por Lianes, Marchamalo, & Roldán (2009); Wischmeier & Smith, (1978) y varios autores mencionados en el Anexo 1.

En el presente estudio existen coberturas predominantes en cada uno de los cantones, como es en Calvas las coberturas con mayor incidencia son el Pastizal con un valor de 0,012 de Factor C, El Bosque Seco Semidenso con un valor de 0,013 de Factor C y El Matorral Seco Denso con un valor de 0,243 de Factor C, de la misma manera en Chaguarpamba hay coberturas predominantes como el Pastizal con valor de 0,018 de Factor C y Bosque Húmedo con valor de 0,003 de Factor C, asimismo, en Saraguro las coberturas predominantes son el Pastizal y el Páramo con un valor de

0,019 de factor C para ambas coberturas, Los valores para el factor C de esta investigación, son valores adaptados a la situación en la que se encuentran el ecosistema dentro del área de estudio, así como en el estudio realizado por Bueno et al., (2016), donde las clasificaciones predominantes del Factor C adoptan valores de 0,14 - 0,25 y 0,19 - 0,14, en otro estudio realizado por Pancholi et al., (2015), menciona que el Factor C indica una disminución en el suelo expuesto, y por lo tanto un aumento potencial de pérdida de suelo.

El Factor LS integra la pendiente media de la ladera su longitud, considera el efecto de la topografía sobre la erosión. La pendiente (S) refleja la influencia de la gradiente de la pendiente en la erosión ya que el potencial de erosión incrementa con la pendiente, la longitud (L) se define como la distancia horizontal entre el punto donde inicia el escurrimiento hasta el punto donde decrece la pendiente al grado de producir la sedimentación o hasta el punto donde el escurrimiento encuentra un curso bien definido (Oñate, 2004). Los valores del factor LS son adimensionales y se ubican entre 0 a 70 en cada uno de los cantones. Dichos resultados fueron obtenidos a partir de las Ecuaciones 5 y 6 utilizadas también en otros estudios como por Castro (2013); Ramos (2016); Tamayo (2016); Vega (2016), es por estos antecedentes que los resultados del factor LS fueron considerados confiables adoptando la misma metodología.

El Factor P expresa el efecto de prácticas de conservación que reducen la cantidad y la tasa de escorrentía, lo que reduce la erosión del suelo (Pancholi et al., 2015). Así también, es la proporción de pérdida de suelo con una práctica de apoyo en cultivos a la pérdida correspondiente con pendiente ascendente y descendente (Renard et al., 1997). Incluye diferentes tipos de prácticas de manejo agrícola tales como: cultivo en franjas, cultivo de contornos, terrazas, entre otros. Debido a que no existe información con respecto al Factor P ya que no hay alguna práctica de conservación en los cantones de estudio, el valor asignado a este Factor en el presente modelo fue de 1 ya que al ser una constante no influye en el cálculo final, metodología similar al estudio realizado por Salazar (2012).

La erosión hídrica actual incluye los Factores antes detallados (Factor R, Factor K, Factor C, Factor LS y Factor P) cuya representación espacial y datos de pérdida de suelo, se pueden observar en las Figuras 17, 18, 19 y Cuadros 11, 13, 15. Por lo tanto, en Calvas el 28,36% de superficie representa una pérdida de suelo entre 20 – 200 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> (erosión alta) y el 7,30% de superficie representa > 200 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> (erosión muy alta), de la misma manera en Chaguarpamba el 0,6% de superficie representa una pérdida de suelo entre 20 – 200 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> (erosión alta) y el 1,4% de superficie representa > 200 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> (erosión muy alta), asimismo, en Saraguro el 2,46% de superficie representa una pérdida de suelo entre 20 – 200 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> (erosión alta) y el 1,1% de superficie representa > 200 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> (erosión muy alta), se ha considerado estos rangos por tener la mayor parte de pérdida de suelo, ya que al conocer estos datos los organismos competentes puedan tomar medidas de conservación en estos sectores, por lo que el proceso erosivo se da cuando existe precipitaciones de 800 a 1000 mm/año, independientemente del tipo de uso que tenga el suelo (Stavi, Barkai, Knoll, & Zaady, 2016).

En un estudio realizado por Pancholi et al., (2015) ha utilizado los mismos parámetros de la RUSLE, indica que una cuenca del río Vishwamitri tiene una pérdida de suelo de 240,27 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> donde se tiene que realizar un tratamiento de control en la cuenca para reducir esta alta tasa de erosión, de la misma manera el estudio realizado por Tamayo, (2016) menciona que en Zapotillo y Pindal de la Provincia de Loja hay pérdidas de suelo que se sitúan entre 50 y 200 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> ocupan 13059,81 hectáreas y se debe a que en estas zonas hay la presencia de cultivos anuales, maíz, arroz y subtropicales, con fuertes pendientes e iguales condiciones de lluvia y textura del suelo, y existe una pérdida de suelo > 200 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> ocupando 17 398,42 hectáreas ya que por estos sectores convergen los principales ríos y quebradas principales del lugar, ya que al momento de producirse precipitaciones el agua tiende a pasar fuertemente por estas zonas y es por ello que la erosión es elevada, para contrarrestar se propone el cultivo en contorno, de la misma forma en un estudio realizado por Prosdocimi, Cerdà, & Tarolli, (2016) indica que valores de 50 a 200 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> sobrepasan la tasa de formación del suelo que normalmente es de 2,2 a 11,2 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>, por lo tanto, investigaciones relacionadas a

erosión hídrica son herramientas útiles y de apoyo para trabajar en bien de las poblaciones asentadas en la parte rural y que mantienen abastecida a la zona urbana para su sobrevivencia.

La erosión hídrica potencial y los escenarios futuros negativos se representan en la Figura 20, 21, 22 y Cuadros 17, 18, 19, para la erosión potencial se utilizaron los factores R, K y LS, mientras que para la realización de los escenarios futuros negativos se consideró valores bajos del factor C ya que representa el nivel de degradación de la cobertura vegetal, en un estudio realizado por Tamayo, (2016) en Zapotillo y Pindal determina que la erosión potencial está directamente relacionado con los Factores R, K y LS mientras más altos estos valores mayor será la erosión, de la misma forma una investigación realizada por Flores et al., (2003) en México, mencionan que la erosión potencial también es un indicador de las áreas donde los factores R, K y LS promueven con mayor intensidad la pérdida de suelo, de la misma manera Elena Lianes et al., (2009) determina que los valores del Factor C muestran que la pérdida potencial de suelo en los cultivos agrícolas varía según su estado de desarrollo y el porcentaje de suelo desnudo expuesto a la acción erosiva.

La obtención de los resultados de las diferentes variables de la RUSLE, son de gran ayuda para la toma de decisiones de las autoridades competentes de cada uno de los cantones, ya que pueden implementar proyectos tomando en consideración los resultados que exponen en el presente estudio.

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

El suelo es un recurso natural finito y no renovable que presta diversos servicios ecosistémicos o ambientales. No obstante, lo más conocido, es que el suelo es el asiento natural para la producción de alimentos y materias primas de los cuales depende la sociedad mundial (Burbano, 2016).

En la presente investigación se plantea como alternativa para evitar y reducir la pérdida del suelo por erosión hídrica como la reforestación que permite aumentar la infiltración y reducir la escorrentía, esto se lo tiene que realizar con especies de



plantas del lugar para no ocasionar efectos adversos en el ecosistema, como también, se propone el surcado en contorno lo que consiste en realizar el trazo de los surcos y el laboreo del cultivo en forma perpendicular a la pendiente natural del terreno lo que favorece la resistencia del suelo a ser erosionado y reduce la energía del impacto de las gotas de lluvia, y finalmente se propone el cultivos en fajas, consiste en la siembra de fajas o paños alternados de pasturas de crecimiento denso y cultivos anuales en hileras, perpendicularmente a la dirección de la pendiente o siguiendo curvas de nivel.

Amparado en lo mencionado, toda institución u organismo competente puede optar por asumir y realizar actividades que más ayuden a la reducción de erosión hídrica del suelo, donde se tiene que considerar todos los aspectos que intervienen y son relevantes para la conservación del medio natural que nos rodea.

## 6. CONCLUSIONES

- La elaboración de una base de datos, permitió representar la variación espacial de la erosión hídrica en Calvas, Chaguarpamba y Saraguro, donde se evidencia zonas de alta precipitación, alta erodabilidad del suelo, estado de la cobertura del suelo degradada y zonas de alta pendiente, estos factores inciden en la erosión hídrica del suelo.
- El cantón Calvas tiene la mayor tasa de erosión hídrica el 28,36% del territorio tiene una pérdida de 50 – 200 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> y el 7,30% del territorio con > 200 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>, esto se debe a las elevadas precipitaciones y alta pendiente, por otro lado Chaguarpamba y Saraguro tienen tasas de erosión hídrica bajas.
- El 93,44% del cantón Calvas muestra serios problemas de erosión potencial debido a que el Factor topográfico, presenta un valor entre 5 -10 (52,45% del cantón Calvas) lo que significa que se las pendientes medias tienen influencia en la erosión, como también hay valores de 10 – 50 (19,35% del cantón Calvas) con pendientes moderadamente altas que favorecen significativamente a la erosión hídrica, y además se considera la exclusión del amortiguamiento de la cobertura vegetal, factor fundamental en la conservación del suelo.
- Al aplicar buenas prácticas de conservación de suelos como la reforestación, en Calvas se puede reducir un 8,9% de pérdida de suelo > 50 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>, con cultivos a curvas de nivel en Chaguarpamba se puede reducir el 0,3% de pérdida de suelo > 50 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>, y con cultivos en fajas en Saraguro se puede reducir el 1,61% de pérdida de suelo > 50 t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>.

## **7. RECOMENDACIONES**

- Con base en el análisis y los resultados del presente estudio, se sugiere que el uso de técnicas de SIG con observación de campo puede reducir el tiempo del período de investigación y poner de manifiesto la precisión del resultado en los estudios de erosión del suelo.
- Para facilitar el manejo, desarrollo y ejecución de la RUSLE, se tiene que considerar el número de píxeles de la capa de cada uno de los Factores, para obtener un resultado confiable al multiplicar cada variable de la RUSLE.
- Se recomienda investigar los fenómenos naturales que han ocurrido en los meses con mayor y menor precipitación, ya que representa una variación considerable al momento de calcular la tasa de erosión hídrica.
- Las zonas con alta y muy alta erosión merecen una atención inmediata por parte de autoridades competentes; donde se debe implementar medidas de control, ya que se pudo observar la vulnerabilidad, la intensidad de la lluvia, la textura del suelo, la topografía y las prácticas agrícolas que se emplean en las localidades.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

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

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

Angulo, M. (2011). Erosividad de la lluvia en la cuenca del Ebro. Universidad de Zaragoza.

Bathrellos, G., Skilodimou, H., & Chousianitis, K. (2010). SOIL EROSION ASSESMENT IN SOUTHERN EVIA ISLAND USING USLE AND GIS. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 43(1), 1572–1581.

Bueno, P., Velásquez, M. A., López, A., Sánchez, I., & González, J. (2016). Implementation of a model to estimate water erosion with distributed parameters applied to watersheds. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, XV(1), 47–54. <http://doi.org/10.5154/r.rchsza.2015.08.012>

Burbano, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria, 33(2), 117–124. <http://doi.org/10.22267/rcia.163302.58>

Campaña, F. (2015). Aplicación Del Modelo Rusle Para El Cálculo De Erosión Hídrica En La Microcuenca Del Río Perlaví. Universidad Central del Ecuador.

Castro, I. (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.

Cisneros, J., Cholaky, C., Cantero, A., González, J., Reynero, M., Diez, A., & Bergesio, L. (2012). *Principios Y Técnicas De Unvestigación (Primera Ed)*.

Córdoba: UniRío. Retrieved from [http://fcasua.contad.unam.mx/apuntes/interiores/docs/2012/contaduria/2/principios\\_y\\_tecnicas.pdf](http://fcasua.contad.unam.mx/apuntes/interiores/docs/2012/contaduria/2/principios_y_tecnicas.pdf)

Clérico, C., & García, F. (2001). APLICACIONES DEL MODELO USLE/RUSLE PARA ESTIMAR PÉRDIDAS DE SUELO POR EROSIÓN EN URUGUAY Y LA REGIÓN SUR DE LA CUENCA DEL RÍO DE LA PLATA. *Agrociencia*, 1, 92–103.

Covert, S. A., Robichaud, P. R., Elliot, W. J., & Link, T. E. (2005). EVALUATION OF RUNOFF PREDICTION FROM WEPP-BASED EROSION MODELS FOR HARVESTED AND BURNED FOREST WATERSHEDS. *Soil & Water Division of ASAE*, 48(3), 1091–1100. <http://doi.org/0001-2351>

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.

Devatha, C., Deshpande, V., & Renukprasad, M. (2015). Estimation of Soil loss Using USLE Model for Kulhan Watershed, Chattisgarh- A Case Study. *Aquatic Procedia*, 4(Icwrcoe), 1429–1436. <http://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.185>

Díaz, C. (2011). Alternatives for erosion control by using conventional coverage, non- conventional coverage and revegetation. *Ingeniería E Investigación*, 31(3), 80–90. Retrieved from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-56092011000300009&lng=en&nrm=iso&tlng=es%5Cnhttp://www.scielo.org.co/pdf/iei/v31n3/v31n3a09.pdf](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092011000300009&lng=en&nrm=iso&tlng=es%5Cnhttp://www.scielo.org.co/pdf/iei/v31n3/v31n3a09.pdf)

Du, P., & Walling, D. E. (2011). Using <sup>137</sup>Cs measurements to investigate the influence of erosion and soil redistribution on soil properties. *Applied Radiation and Isotopes*, 69(5), 717–726. <http://doi.org/10.1016/j.apradiso.2011.01.022>

FAO. (2015). Global soil status, processes and trends. Status of the World's Soil Resources.

Flanagan, D., Gilley, J., & Franti, T. (2007). (wepp): d. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 50(5), 1603–1612. <http://doi.org/0001-2351>

Flores, H., Martínez, M., Oropeza, L., Mejía, E., & Carrillo, R. (2003). Integración De La Eups a Un Sig Para Estimar La Erosión. TERRA Latinoamericana, 21(2), 233–244. <http://doi.org/2395-8030>

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, 37(2), 45–55. <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.3942.5527>

Goodrich, D., Burns, I., Unkrich, C., Semmens, D., Guertin, D., Hernandez, M., ... Levick, L. R. (2012). Kineros2/agwa: m. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 55(4), 1–14. <http://doi.org/2151-0032>

Holz, D. J., Williard, K. W. J., Edwards, P. J., & Schoonover, J. E. (2015). Soil Erosion in Humid Regions: A Review. CONTEMPORARY WATER RESEARCH & EDUCATION, 154(1), 48–59.

Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2012). LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDAS DE SUELO ( USLE ). Universidad Politécnica de Valencia.

Keesstra, S. D., Bouma, J., Wallinga, J., Tittonell, P., Smith, P., Cerdà, A., ... Fresco, L. O. (2016). The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. Soil, 2(2), 111–128. <http://doi.org/10.5194/soil-2-111-2016>

Laflen, J. M., Flanagan, D. C., & Engel, B. A. (2004). SOIL EROSION AND SEDIMENT YIELD PREDICTION ACCURACY USING WEPP 1. THE AMERICAN WATER RESOURCES ASSOCIATION, 40(2), 289–297.

Lamelas, M. (2007). Análisis y Cartografía Mediante SIG de la Susceptibilidad a la Formación de Dolinas en el Entorno de Zaragoza, 52, 79–111.

Lanzanova, M. E., Eltz, F. L. F., Nicoloso, R. da S., Cassol, E. A., Bertol, I., Carneiro, T. J., & Girardello, V. C. (2013). Residual Effect of Soil Tillage on Water Erosion From a Typic Paleudalf Under Long-Term No- Tillage and Cropping Systems. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 37(1), 1689–1698.

Leh, M., Bajwa, S., & Chaubey, I. (2013). IMPACT of land use change on erosion risk: AN integrated remote sensing, geographic information system and modeling methodology. *Land Degradation and Development*, 24(5), 409–421. <http://doi.org/10.1002/ldr.1137>

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. <http://doi.org/0377-9424>

Loredo, C., Beltrán, S., Sarreón, L., & Domínguez, M. (2015). *Prácticas Mecánicas Para El Control*.

Mahalingam, B., Malik, M., & Vinay, M. (2015). Assessment of Soil Erosion Using USLE Technique : A Case Study of Mysore District , Assessment of Soil Erosion Using USLE Technique : A Case Study of Mysore District , Karnataka , India, 6(3), 0–7. [http://doi.org/2321-421X\(print\)](http://doi.org/2321-421X(print))

Mesén, R. (2009). *CONSIDERACIONES Y CONCLUSIONES AL APLICAR EL MODELO DE EROSIÓN RUSLE EN ALGUNAS CUENCAS DE LA FILA COSTEÑA, COSTA RICA*. Universidad de Costa Rica.

Morgan, R. (2005). *Soil Erosion and Conservation. Environmental Modelling: Finding Simplicity in Complexity: Second Edition (Third Edit)*. Blackwell Publishing Ltd. <http://doi.org/10.1002/9781118351475.ch22>

Morgan, R., Quinton, J., Smith, R., Govers, G., Poesen, J., Auerswald, K., ... Styczen, M. (1998). *Modelling Soil Erosion by Water*, (May 2015), 3–6. <http://doi.org/10.1007/978-3-642-58913-3>

Ochoa, P., Fries, A., Mejía, D., Burneo, J., Ruíz, J., & 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. <http://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.

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

Peralta, Á. (2015). APLICACIÓN DEL MODELO RUSLE PARA EL CÁLCULO DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA MICROCUENCA RÍO CUBÍ.

Perez, S. J. (2001). Modelo para evaluar la erosión hídrica en Colombia utilizando Sistemas de Información Geográfica. Universidad Industrial de Santander.

Pérez, U., & López, R. (2000). En Un Inceptisol De Los Andes. *Forest*, 44(2), 11–19.

Pimentel, D., & Burgess, M. (2013). Soil Erosion Threatens Food Production. *Agriculture*, 3(3), 443–463. <http://doi.org/10.3390/agriculture3030443>

Prosdocimi, M., Cerdà, A., & Tarolli, P. (2016). Soil water erosion on Mediterranean vineyards: A review. *CATENA*, 141, 1–21. <http://doi.org/10.1016/j.catena.2016.02.010>

Ramírez, F., Hincapié, E., Sadeghian, S., & Pérez, U. (2007). Central Y Occidental Del Departamento De, 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.

Ramos, A. (2016). “ Determinación de Zonas Susceptibles a Erosión Hídrica en los Cantones de Quilanga y Espindola de la Provincia de Loja , Utilizando Sistemas



de Información Geográfica.” Universidad Nacional 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). Washington.

Salazar, Á. (2012). Riesgo De Erosión Hídrica En La Cuenca Hidrográfica Del Río Mundo.

Saturnino, A., Torralba, M., Cermeño, F., & Barbero, F. (2011). Procesos Erosivos Naturales Y Antrópicos Soil Erosion and Soil Management . Importance of Tillage in the Natural, 13–38. Retrieved from [http://digital.csic.es/bitstream/10261/60833/1/Capitulo13\\_38.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/60833/1/Capitulo13_38.pdf)

Service, N. R. C. (2007). 2007 National Resources Inventory Land Use Status and Trends.

Sibello, R. (2013). Cuantificación de la erosión de los suelos en zonas de interés económico y ambiental de la provincia de cienfuegos , cuba , utilizando el cesio-137 como radiotrazador. Universidad de Alicante.

Silberschatz, A., Korth, H., & Sudarshan, S. (2002). Clases de aplicaciones de bases de datos. (H. McGraw, Ed.) Fundamentos de bases de datos (Cuarta edi). Aravaca, Madrid: Concepción Fernández Madrid. Retrieved from [http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/37358813/Fundamentos\\_de\\_Bases\\_de\\_Datos.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1467800558&Signature=qdFjQ//R76AKbots8OB0Ua3zEl8=&response-content-disposition=inline; filename=Fundamentos\\_de\\_Bases\\_de\\_D](http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/37358813/Fundamentos_de_Bases_de_Datos.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1467800558&Signature=qdFjQ//R76AKbots8OB0Ua3zEl8=&response-content-disposition=inline; filename=Fundamentos_de_Bases_de_D)

Stavi, I., Barkai, D., Knoll, Y. M., & Zaady, E. (2016). Livestock grazing impact on soil wettability and erosion risk in post-fire agricultural lands. Science of The Total Environment, 573, 1203–1208. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.126>

Tamayo, M. (2016). “DETERMINACIÓN DE ZONAS SUSCEPTIBLES A

EROSIÓN HÍDRICA EN LOS CANTONES DE ZAPOTILLO Y PINDAL DE LA PROVINCIA DE LOJA, UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN.” Universidad Nacional de Loja.

Vega, L. (2008). Evaluación de la erosión hídrica superficial por parcelas experimentales en suelos desnudos de la región de coquimbo, 138.

Vega, M., & Febles, J. (2005). DE DIAGNÓSTICO Investigation in eroded soils : methods and diagnosis indexes, 21(2), 14. <http://doi.org/0258-5979>

Wantzen, K., & Mol, J. (2013). Soil Erosion from Agriculture and Mining: A Threat to Tropical Stream Ecosystems. *Agriculture*, 3(4), 660–683. <http://doi.org/10.3390/agriculture3040660>

Wischmeier, W., & Smith, D. (1978). PREDICTING RAINFALL EROSION LOSSES (Agricultur). Washington.

Wright, T. A. (2014). LAW ENFORCEMENT AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS (p. 6). Louisville, Kentucky.

## 9. ANEXOS

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

<b>Factor vegetación (Factor C) de coberturas arbóreas, de matorral y pastos</b>						
	<b>Mora, 1987</b>	<b>FAO 1989</b>	<b>ICE 1999</b>	<b>Saborio 2002 Gómes 2002 CATIE 2003</b>	<b>March amalo 2004, 2007</b>	<b>Lianes 2009</b>
<b>BOSQUE</b>						
Bosque primario	0.0001					
Bosque natural		0.003	0,001- 0,003			0.003
Selva virgen		0.001				
Bosque denso				0,003- 0,010		
Bosque claro, substrato herbáceo denso				0,003- 0,010		
Bosque claro, substrato herbáceo degradado				0,010- 0,100		
Bosque					0.003	
Bosque secundario		0.007				
Charral, pasto	0.018					
Charral					0.012	
Bosque degradado						0.037
<b>MATORRAL/PASTOS</b>						
Matorral denso				0,003- 0,030		
Matorral claro, substrato herbáceo denso				0,003- 0,030		
Matorral claro, substrato herbáceo degradado				0,030- 0,100		
Páramo				0,003- 0,040		
Pasto		0.009	0,001- 0,015		0.013	
Pasto (natural o mejorado)		0.008				
Vegetación natural baja (altura: 50cm)		0.012				
Pastizal natural completo				0,030- 0,010		
Pastizal natural pastoreado				0,040- 0,200		
Pastizal cultivado (manejado)				0,003- 0,040		
Pasto de corta						0.012

Potrero						0.013
Potrero carga normal						0.002
Potrero degradado						0.002
Potrero muy degradado						0.016
<b>CULTIVOS PERMANENTES</b>						
Café, café con macadamia o pejibaye	0.3					
Cultivos perennes		0.079	0.086			
Café		0.09			0.08	
Banano		0.062				
Cacao		0.05				
Cultivos permanentes asociados (densos)				0,010-0,300		
Cultivos permanentes no densos				0,100-0,450		
Huertos de subsistencia				0,300-0,900		
árboles frutales						0.003
<b>CULTIVOS MANUALES</b>						
Caña, caña brava	0.050					
Cultivos anuales		0.495	0.340			
Papa-zanahoria o papa-cebolla		0.615				
Maíz		0.519				
Tomate/chile dulce		0.502				
Caña		0.263			0.050	
Cultivos anuales de ciclo corto (1-6 meses)				0,300-0,800		
Cultivos anuales de ciclo largo (6 meses)				0,400-0,900		
Cultivos (cobertura baja)					0.650	
Cultivos (cobertura media)					0.500	
Cultivos (cobertura alta)					0.400	
Papa-brócoli						0.260
Papa-zanahoria						0.300
Papa-zanahoria-papa						0.390
Papa-papa-brócoli						0.390
Papa-zanahoria-brócoli						0.360

Fuente: Lianes et al., (2009).

**Anexo 2.** Matriz de la fase de campo aplicada para Calvas, Chaguarpamba y Saraguro

CALVAS								
Perfil N°	X	Y	Z	M O	Cobertura	% Cobertura	Estado de Crecimiento	Observación
CL7-P056	667437	9516356	1512	1,45	Pasto cultivado			
CL7-P058	669574	9513400	1267	2,32	Pasto cultivado con presencia de arboles			
CL7-P059	671940	9512857	527	3,54	Pasto cultivado			
CL7-P063	661807	9529213	1424	1,53	Pasto cultivado			
CO8-P001	660410	9524111	1904	3,38	Asentamiento humano			
CO8-P003	665797	9517519	1619	1,67	Pasto cultivado			
CO8-P005	667720	9514779	1482	7,43	Pasto cultivado			
CO8-P007	661873	9515536	1967	3,62	Matorral humedo poco alterado			
CO8-P011	641658	9532748	1970	2,75	Maiz			
CO8-P014	643397	9527118	2201	4,81	Pasto cultivado			
CO8-P015	646713	9526431	2267	5,44	Asentamiento humano			
CO8-P020	656007	9518553	2015	3,46	Bosque seco poco alterado			
CO8-P022	653464	9511129	1541	3,23	Matorral seco poco alterado			
CO8-P023	653595	9513434	1763	3,58	Pasto cultivado			
CO8-P024	656949	9515403	2060	3,35	Matorral seco poco alterado			
CO8-P026	660003	9529573	1263	1,08	Asentamiento humano			
CO8-P027	660154	9527421	1472	5,02	Pasto cultivado			
CO8-P035	656601	9526163	1167	2,39	Asentamiento humano			
CO8-P036	655556	9524961	1370	1,07	Asentamiento humano			
CO8-P039	657338	9524829	1275	1,08	Matorral húmedo medianamente alterado			
CO8-P040	657977	9523265	1509	4,86	Asentamiento humano			
CO8-P042	648522	9522565	2292	2,77	Bosque húmedo muy alterado			

CO8-P044	656248	9522034	1505	2,84	Asentamiento humano			
CO9-P001	661721	9522104	2117	3,67	Misceláneo indiferenciado			
CO9-P007	644436	9520159	2565	11,21	Asentamiento humano			
CO9-P011	657962	9518507	2111	12,67	Pasto cultivado			
CO9-P012	663897	9523308	2057	6,23	Pasto cultivado			
CO9-P014	662912	9519244	2303	4,42	Eucalipto			
CO9-P015	661015	9518197	2320	2,21	Matorral húmedo poco alterado			
CO9-P016	660324	9519429	2160	6,50	Pasto cultivado			
CO9-P019	664665	9504352	1584	1,41	Matorral seco poco alterado			
CO9-P020	665763	9505816	1651	4,13	Pasto cultivado			
CO9-P021	662995	9507430	1905	7,26	Misceláneo forestal			
CO9-P023	665661	9507616	1420	4,75	Matorral seco poco alterado			
CO9-P024	660418	9509170	1926	4,45	Bosque húmedo muy alterado			
CO9-P025	661234	9513414	1959	3,26	Pasto cultivado			
<b>CHAGUARPAMBA</b>								
<b>Perfil N°</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>M O</b>	<b>Cobertura</b>	<b>% Cobertura</b>	<b>Estado de Crecimiento</b>	<b>Observaciones</b>
CSp-NVI_E4-83-0064	650307	9569174	1524,30	3,31	Bosque nativo			
CSp-NVI_E4-94-0057	652434	9571978	844,10	4,35	Pastizal			
CSp-NVI_E4-92-0056	653605	9572322	1141,79	3,59	Bosque nativo			
CSp-NVI_E4-92-0057	652832	9573127	976,20	6,86	Bosque nativo			
CSp-NVI_E4-92-0054	656012	9572191	1446,57	5,97	Pastizal			
CSp-NVI_E4-92-0055	654355	9571412	1294,77	6,83	Bosque nativo			
CSp-NVI_E4-94-0056	653803	9570601	1058,98	6,73	Pastizal			
CSp-NVI_E4-94-0055	654720	9568919	1498,77	5,07	Pastizal			
CSp-NVI_E4-94-0058	650320	9574504	920,20	5,10	Bosque nativo			
CSp-NVI_E4-94-0063	649768	9572793	1256,84	8,99	Pastizal			

CSp-NVI_E4-83-0068	648659	9573877	1245,90	4,37	Pastizal			
CSp-NVI_E4-83-0067	648653	9572964	1155,14	3,84	Pastizal			
CSp-NVI_E4-83-0066	648257	9572157	1063,37	5,37	Bosque nativo			
CSp-NVI_E4-83-0065	647036	9572224	1171,97	11,79	Pastizal			
CSp-NVI_E4-95-0058	647007	9571029	1274,53	4,15	Pastizal			
CSp-NVI_E4-95-0057	645941	9570971	1252,78	6,13	Cultivo			
CSp-NVI_E2-83-0042	652109	9578107	1100,06	5,30	Pastizal			
CSp-NVI_E2-83-0044	652669	9578270	1069,22	3,45	Vegetación arbustiva			
CSp-NVI_E2-83-0045	652949	9578449	1090,88	3,75	Pastizal			
CSp-NVI_E2-83-0046	653614	9579287	995,71	3,35	Vegetación arbustiva			
CSp-NVI_E2-94-0062	649110	9577100	633,96	3,52	Vegetación arbustiva			
CSp-NVI_E4-94-0061	644143	9574312	808,39	3,80	Pastizal			
CSp-NVI_E4-94-0060	645388	9573727	686,77	2,64	Pastizal			
CSp-NVI_E4-94-0059	644367	9573719	714,41	5,49	Pastizal			
CSp-NVI_E4-92-0061	643155	9574424	733,63	1,34	Bosque Nativo			
CSp-NVI_E4-92-0060	642882	9572736	880,16	3,49	Pastizal			
CSp-NVI_E4-92-0058	642451	9572162	1023,16	3,85	Bosque Nativo			
CSp-NVI_E4-92-0059	642579	9571840	823,24	4,85	Pastizal			
CSp-NVI_E4-95-0055	643497	9568498	1131,25	3,97	Pastizal			
CSp-NVI_E4-95-0056	644526	9569254	1007,52	3,34	Bosque Nativo			
<b>SARAGURO</b>								
<b>Perfil N°</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>M O</b>	<b>Cobertura</b>	<b>% Cobertura</b>	<b>Estado de Crecimiento</b>	<b>Observación</b>
CSp-NVI_D3-98-0006	691117	9595245	2905	18,78	Pastizal			
CSp-NVI_D3-87-0055	693100	9595966	3005	2,04	Vegetación arbustiva			
CSp-NVI_D4-89-0019	695946	9597758	2596	5,60	Pastizal			
CSp-NVI_D4-91-0025	697182	9600878	2319	4,42	Área poblada			

CSp-NVI_D4-93-0005	700045	9599623	2446	2,65	Vegetación arbustiva			
CSp-NVI_D4-85-0001	702438	9598614	2637	4,61	Vegetación herbácea			
CSp-NVI_D4-85-0004	703285	9599933	2659	3,56	Pastizal			
CSp-NVI_D4-89-0005	702454	9601019	2579	9,43	Vegetación herbácea			
CSp-NVI_D4-89-0003	704759	9601042	2739	18,59	Pastizal			
CSp-NVI_D4-93-0020	700091	9602520	2716	5,21	Vegetación herbácea			
CSp-NVI_D4-93-0018	701162	9603898	2938	8,60	Plantación forestal			
CSp-NVI_D4-93-0017	702337	9607802	2941	7,50	Plantación forestal			
CSp-NVI_D4-85-0020	704068	9612896	2596	1,66	Vegetación herbácea			
CSp-NVI_D2-82-0023	703673	9614076	2464	1,81	Plantación forestal			
CSp-NVI_D2-99-0024	702375	9615525	2319	2,42	Pastizal			
CSp-NVI_D4-91-0011	701434	9612209	2799	6,79	Pastizal			
CSp-NVI_D4-91-0015	700150	9610894	3035	4,77	Vegetación arbustiva			
CSp-NVI_D4-93-0021	697372	9605433	2523	1,29	Erial			
CSp-NVI_D4-85-0012	697939	9608375	2716	4,12	Pastizal			
CSp-NVI_D4-85-0007	695780	9610360	2676	3,24	Vegetación arbustiva			
CSp-NVI_D1-99-0020	692429	9615081	1316	0,86	Vegetación herbácea			
CSp-NVI_D1-81-0012	691553	9613091	1419	5,60	Vegetación herbácea			
CSp-NVI_D3-82-0012	691513	9607627	2441	6,89	Vegetación herbácea			
CSp-NVI_D3-99-0013	689938	9605062	2364	2,41	Pastizal			
CSp-NVI_D3-86-0001	689572	9602113	2517	2,47	Pastizal			
CSp-NVI_D3-87-0002	693692	9600439	2769	8,33	Vegetación herbácea			
CSp-NVI_D3-87-0047	694318	9599078	2673	11,12	Vegetación arbustiva			
CSp-NVI_D3-81-0003	692059	9597577	2988	16,40	Vegetación herbácea			
CSp-NVI_D3-99-0003	690496	9597040	2715	8,18	Pastizal			
CSp-NVI_D3-81-0009	685939	9599836	2674	2,99	Pastizal			



CSp-NVI_D3-86-0010	687071	9602504	2819	5,53	Pastizal			
CSp-NVI_D3-81-0007	682860	9599887	3262	14,66	Paramo			
CSp-NVI_D3-86-0006	682442	9601406	2888	8,23	Pastizal			
CSp-NVI_D3-99-0009	684756	9603986	2693	3,02	Pastizal			
CSp-NVI_D3-99-0005	684830	9606592	2690	5,42	Pastizal			
CSp-NVI_D3-86-0021	680679	9606615	2826	5,54	Pastizal			
CSp-NVI_D3-82-0018	683911	9608599	2373	4,09	Pastizal			
CSp-NVI_D3-87-0011	689318	9611113	1457	7,11	Pastizal			
CSp-NVI_D1-86-0028	688902	9615466	1683	2,67	Pastizal			
CSp-NVI_D1-81-0021	685330	9614610	2268	3,11	Pastizal			
CSp-NVI_D1-86-0030	686847	9617454	2016	5,26	Vegetación herbácea			
CSp-NVI_D1-82-0037	687265	9619338	2040	2,74	Vegetación herbácea			
CSp-NVI_D1-82-0039	685206	9620007	1999	3,58	Vegetación herbácea			
CSp-NVI_D1-98-0048	682076	9620090	1696	1,26	Pastizal			
CSp-NVI_D1-87-0054	683913	9626403	1350	0,61	Vegetación herbácea			
CSp-NVI_D1-81-0049	683583	9628297	1149	1,70	Vegetación herbácea			
CSp-NVI_D1-81-0051	682103	9628792	999	3,08	Cultivo			
CSp-NVI_D3-86-0019	680325	9609520	3040	8,49	Pastizal			
CSp-NVI_D3-86-0017	680434	9612463	2662	7,34	Pastizal			

**Anexo 3.** Toma de muestras de suelo y validación de cobertura.



**Anexo 4.** Tipo de coberturas de los cantones de Calvas, Chaguarpamba y Saraguro.



**Anexo 5. Calitas previamente realizadas por el IEE y SIGTIERRAS**

