



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS
NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y
CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE



TEMA:

**EFFECTOS DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO Y SU
PROYECCIÓN FUTURA EN LA EROSIÓN HÍDRICA
EN LOS CANTONES ZAPOTILLO Y PINDAL,
PROVINCIA DE LOJA**

Tesis de grado previa a la obtención del
título de: Ingeniera en manejo y
conservación del medio ambiente.

AUTOR: Mayra Janeth Morocho Lalvay

DIRECTOR: Ing. Pablo Alvarez Figueroa. Mg. Sc

LOJA – ECUADOR

2019



CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR



**UNIVERSIDAD
NACIONAL DE LOJA**

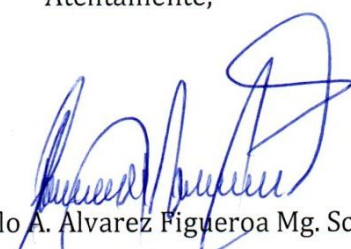
Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

CERTIFICACIÓN:

En calidad de director de la tesis titulada **EFFECTOS DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO Y SU PROYECCIÓN FUTURA EN LA EROSIÓN HÍDRICA EN LOS CANTONES ZAPOTILLO Y PINDAL, PROVINCIA DE LOJA**, de autoría de la señorita **Mayra Janeth Morocho Lalvay** egresada de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, certifico que la investigación ha sido dirigida, revisada y desarrollada dentro del cronograma aprobado, por tal razón autorizo se continúe con los trámites correspondientes.

Loja, 22 de marzo del 2019

Atentamente,



Ing. Pablo A. Alvarez Figueroa Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL


En calidad de Tribunal Calificador de la tesis titulada **EFFECTOS DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO Y SU PROYECCIÓN FUTURA EN LA EROSIÓN HÍDRICA EN LOS CANTONES ZAPOTILLO Y PINDAL, PROVINCIA DE LOJA**, de autoría de la señorita **Mayra Janeth Morocho Lalvay** egresada de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, certificamos que se han incorporado al trabajo final todas las sugerencias efectuadas por sus miembros.

Por lo tanto, autorizamos a la señorita egresada su publicación y difusión de tesis.

Loja, 12 de Julio del 2019


Atentamente,

Ing. Aníbal Eduardo González González, Mg.Sc,
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



.....

Ing. Oscar Rodrigo Ordoñez Gutiérrez, Mg.Sc,
VOCAL



.....

Ing. Erasmo Vinicio Alvarado Jaramillo, Mg.Sc,
VOCAL



.....

AUTORÍA

Yo, Mayra Janeth Morocho Lalvay, declaro ser autor de la presente tesis titulada **EFFECTOS DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO Y SU PROYECCIÓN FUTURA EN LA EROSIÓN HÍDRICA EN LOS CANTONES ZAPOTILLO Y PINDAL, PROVINCIA DE LOJA** 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.

Autora: Mayra Janeth Morocho Lalvay

Firma:



Cédula: 1900713684

Fecha: Loja, 12 de julio del 2019

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

Yo, **Mayra Janeth Morocho Lalvay**, declaro ser autor de la tesis titulada: **EFFECTOS DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO Y SU PROYECCIÓN FUTURA EN LA EROSIÓN HÍDRICA EN LOS CANTONES ZAPOTILLO Y PINDAL, PROVINCIA DE LOJA**, como requisito para optar el grado de: Ingeniera 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 el 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 12 días del mes de julio del dos mil diecinueve, firma el autor.

Firma:



Autora: Mayra Janeth Morocho Lalvay

Numero de cedula: 1900713684

Dirección: Loja, Miguel Riofrío y José María Peña

Correo electrónico: mayrita.janeth23@gmail.com

Celular: 0994350692

DATOS COMPLEMENTARIOS

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

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

Ing. Oscar Rodrigo Ordoñez Gutiérrez, Mg. Sc,

Ing. Erasmo Vinicio Alvarado Jaramillo, Mg. Sc,

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, doy infinitamente gracias a Dios, por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxitos mis metas propuestas.

Agradezco también de manera sincera a la Universidad Nacional de Loja, a la Facultad Agropecuaria de los Recursos Naturales Renovables y a la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación profesional.

De manera especial expreso mi agradecimiento al Ing. Pablo Alvarez Figueroa Mg. Sc. principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, experiencia, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo de investigación, además de brindarme su confianza y amistad.

Al Ing. Juan Maita Mg. Sc. quien contribuyó sustancialmente en el proceso de esta investigación con su orientación, apoyo y sugerencias.

Asimismo, agradezco al Centro Integrado de Geomática Ambiental (CINFA) por el respaldo brindado y al personal que en el laboran, especialmente al Ing. Fabián Sotomayor y José Merino, por las indicaciones brindadas para aclarar cualquier tipo de inquietud que me surgiera.

Finalmente, a todos mis familiares, amigos y compañeros, que de manera desinteresada me brindaron apoyo emocional e incondicional durante mi vida universitaria.

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por darme la vida y 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 padres Armando Morocho y Yolanda Lalvay, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su cariño, comprensión y apoyo incondicional que me supieron brindar y que gracias a ellos he culminado mi carrera profesional.

A mi querido hijo Mathew Morocho, quien ha sido mi mayor motivación para nunca rendirme en los estudios y poder llegar a ser un ejemplo para él.

A mis hermanos: Jennifer, Verónica y Wilmer, por ayudarme a plasmar mis objetivos como persona y por ser ejemplo a seguir; y, a toda mi familia que de alguna manera aportaron con su granito de arena en este logro alcanzado.

Finalmente, a mis amigos y compañeros, que hicieron de mi vida universitaria una época inolvidable.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág.
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR.....	II
CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL	III
AUTORÍA.....	IV
CARTA DE AUTORIZACIÓN.....	V
AGRADECIMIENTOS.....	VI
DEDICATORIA.....	VII
ÍNDICE GENERAL	VIII
ÍNDICE DE CUADROS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XVI
ACRÓNIMOS	XVII
RESUMEN.....	XIX
ABSTRACT.....	XX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. USOS DEL SUELO	3
2.1.1. Uso de suelo del cantón Zapotillo.	3
2.1.2. Usos del suelo del cantón Pindal.	3

2.2.	CAMBIOS DE USO DEL SUELO	3
2.2.1.	Efectos del cambio de uso de suelo.	4
2.3.	PRECIPITACIÓN	5
2.3.1.	Intensidad de la precipitación.	5
2.3.2.	Erosión Hídrica del suelo.....	6
2.4.	MONITOREO DE CAMBIOS DE USO DEL SUELO	7
2.4.1.	Sensores remotos.	7
2.4.2.	Imagen satelital.....	7
2.4.3.	Ortofotografías o fotografías aéreas.	8
2.5.	SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).....	8
2.5.1.	Modelos de elevación digital (DEM).	8
2.5.2.	Análisis multitemporal.....	9
2.6.	MODELOS PARA ANALIZAR LA PROYECCIÓN FUTURA DEL CAMBIO DE USO DE SUELO	9
2.6.1.	Land Change Modeler.	9
2.7.	MODELOS PARA DETERMINAR LA EROSIÓN	10
2.7.1.	Ecuación universal de pérdida del suelo revisada (RUSLE).	10
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1.	ÁREA DE ESTUDIO	13
3.1.1.	Ubicación y Límites del Cantón Zapotillo.....	13
3.1.2.	Ubicación y límites del Cantón Pindal.	14

3.2.	MATERIALES	15
3.3.	METODOLOGÍA.....	15
3.3.1.	Determinar el cambio de uso del suelo del periodo 1983 y 2012 mediante ortofotografías, y su proyección futura en los cantones Zapotillo y Pindal.	17
3.3.1.1.	Recopilación de información.....	17
3.3.1.2.	Identificación del cambio de uso del suelo.....	17
3.3.1.3.	Corrección de errores de los polígonos digitalizados.....	17
3.3.1.4.	Modelación de los cambios de uso del suelo futuros, en base al Land Change Model (LCM).	17
3.3.1.5.	Proceso de Predicción de Cambios.....	18
3.3.1.6.	Evaluación de cambios.....	20
3.3.1.7.	Calibración y Validación del modelo.....	21
3.3.2.	Estimar la variabilidad espacio - temporal de la erosión hídrica del suelo en función del cambio de uso del suelo y la intensidad de precipitación, en los cantones Zapotillo y Pindal.	21
3.3.2.1.	Determinación del Índice de erosividad (R).....	21
3.3.2.2.	Determinación del Índice de Erodabilidad (K).....	22
3.3.2.3.	Determinación del factor de cobertura vegetal (C).....	23
3.3.2.4.	Determinación de factor de longitud y pendiente (LS).	23
3.3.2.5.	Estimación de la erosión hídrica del suelo.	25
4.	RESULTADOS	26

4.1.	CAMBIOS DE USO DEL SUELO DEL PERIODO 1983-2012, Y SU PROYECCIÓN FUTURA EN LOS CANTONES ZAPOTILLO Y PINDAL.....	26
4.1.1.	Detección de cambios.....	29
4.1.1.1.	Ganancias y pérdidas del uso y cobertura del suelo entre el año 1983 y 2012 para los cantones Zapotillo y Pindal.	29
4.1.1.2.	Cambio neto del uso y cobertura del suelo entre el año 1983 y 2012 en los cantones Zapotillo y Pindal.	30
4.1.2.	Modelación de los cambios de uso del suelo futuros, en base al Land Change Model.	32
4.1.2.1.	Bosque seco denso frente a tierras agropecuarias.....	33
4.1.2.2.	Bosque seco semidenso frente a tierras agropecuarias.....	35
4.1.2.3.	Matorral desértico frente a tierras agropecuarias.....	37
4.1.2.4.	Matorral seco semidenso frente a las tierras agropecuarias.....	39
4.2.	EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO EN FUNCIÓN DEL CAMBIO DE USO Y LA INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN.....	41
4.2.1.	Mapa del índice de erosividad (R) del cantón Zapotillo y Pindal.	41
4.2.2.	Mapa del factor de erodabilidad (factor K) del cantón Zapotillo y Pindal	42
4.2.3.	Factor de la cobertura vegetal (factor C)	43
4.2.4.	Longitud y grado de la pendiente (factor LS) del cantón Zapotillo y Pindal	45
4.2.5.	Erosión hídrica del suelo.	46
4.2.5.1.	Mapa de la tasa de erosión hídrica del año 1983 y 2012 de la zona de estudio.	48
4.2.5.2.	Mapa de la tasa de erosión hídrica para el año 2030.	50

5.	DISCUSIÓN	52
5.1.	CAMBIOS DE USO DEL SUELO DEL PERIODO 1983-2012, Y SU PROYECCIÓN FUTURA.....	52
5.2.	EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO EN FUNCIÓN DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO Y LA INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN, EN LOS CANTONES ZAPOTILLO Y PINDAL.....	55
6.	CONCLUSIONES	60
7.	RECOMENDACIONES	61
8.	BIBLIOGRAFÍA	62
9.	ANEXOS.....	70

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Variables explicativas dinámicas y estáticas	18
Cuadro 2. Transiciones de las coberturas vegetales frente a coberturas antrópicas	20

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Procedimiento general para determinar los factores que integra la RUSLE	12
Tabla 2. Superficies y porcentajes de los usos y coberturas del suelo de los cantones Zapotillo y Pindal en los años 1983 y 2012.....	26
Tabla 3. Ponderación de los valores del factor C para cada tipo de cobertura vegetal.....	43
Tabla 4. Descripción de los rangos del Factor LS	45
Tabla 5. Pérdidas del suelo de los cantones Zapotillo y Pindal	47

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuación Universal de Pérdida del suelo revisada.....	10
Ecuación 2. Cálculo del Índice de Fournier Modificado	22
Ecuación 3. Cálculo del Factor R, según Angulo 2012	22
Ecuación 4. Cálculo del Factor K, según Wischmeier y Smith 1978	22
Ecuación 5. Cálculo del Índice de textura.....	22
Ecuación 6. Cálculo del Factor F.....	23
Ecuación 7. Cálculo del Factor L.....	24
Ecuación 8. Cálculo der Factor S.....	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio dentro del contexto Nacional y Provincial.	14
Figura 2. Esquema de los procesos metodológicos empleados en la investigación.	16
Figura 3. Visualización de la interfaz principal del Módulo Land Change Modeler	19
Figura 4. Visualización de la interfaz para realizar predicciones	19
Figura 5. Cambios de uso y coberturas del suelo de los Cantones Zapotillo y Pindal: a) año 1983; b) año 2012	28
Figura 6. Ganancias y pérdidas registradas para cada uno de los usos y coberturas del suelo entre el año 1983 y 2012 de los cantones Zapotillo y Pindal.....	29
Figura 7. Valores de las ganancias registradas para cada uno de los usos y coberturas del suelo.	30
Figura 8. Valores de las pérdidas registradas para cada uno de los usos y coberturas del suelo.	30
Figura 9. Cambio neto del uso y cobertura del suelo entre el año 1983 y 2012 en de los cantones Zapotillo y Pindal.....	31
Figura 10. Principal cambio neto del uso y cobertura del suelo para los cantones Zapotillo y Pindal.	31
Figura 11. Cambios entre las coberturas 2012 al modelo proyectado a 2030 para los cantones Zapotillo y Pindal.....	32
Figura 12. Mapa de probabilidad de cambio proyectado al 2030 para la cobertura Bosque seco denso.	33

Figura 13. Probabilidad de cambio del bosque seco denso al 2030 por cantones y parroquias.	34
Figura 14. Mapa de probabilidad de cambio proyectado al 2030 para la cobertura Bosque seco semidenso.....	35
Figura 15. Probabilidad de cambio del bosque seco semidenso al 2030 por cantones y parroquias.....	36
Figura 16. Mapa de probabilidad de cambio proyectado al 2030 para la cobertura Matorral desértico	37
Figura 17. Probabilidad de cambio del matorral desértico al 2030 por cantones y parroquias.	38
Figura 18. Mapa de probabilidad de cambio proyectado al 2030 para la cobertura Matorral seco semidenso.....	39
Figura 19. Probabilidad de cambio del matorral seco semidenso al 2030 por cantones y parroquias.....	40
Figura 20. Mapa de erosividad (Factor R).....	41
Figura 21. Mapa de erodabilidad del suelo (Factor K)	42
Figura 22. Mapa de topografía del terreno o factor LS	46
Figura 23. Erosión hídrica del año 1983 y 2012 en los cantones Zapotillo y Pindal	48
Figura 24. Proyección de Erosión hídrica para el año 2030 en los cantones Zapotillo y Pindal	50

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Leyenda temática de coberturas y usos del suelo MAE 2016.....	70
Anexo 2. Categorías de clasificación para la probabilidad de cambio	70
Anexo 3. Valores máximos y mínimos del factor R.....	71
Anexo 4. Puntos de muestreo para determinar los valores del factor K.....	71
Anexo 5. Valores del Factor C, determinados por varios autores.	71

ACRÓNIMOS

CIT Centro de Investigaciones Territoriales

CITIAB Centro de Investigaciones Tropicales del Ambiente y la Biodiversidad

FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

FLACSO Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales Sede Ecuador

IMF Índice modificado de Fournier

INAMHI Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador

INEFAN Instituto Ecuatoriano de Áreas Naturales y Vida Silvestre.

INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática

IGM Instituto Geográfico Militar

LCM Land Change Modeler

DEM Modelo de Elevación Digital

PNUMA Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

RUSLE Ecuación Universal de Pérdida del Suelo Revisada

SENPLADES Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo

SRTM Shuttle Radar Topography Mission

SNI Sistema Nacional de Información

SIG Sistema de Información Geográfica

USDA Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

UNESCO Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura

TEMA:

**EFFECTOS DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO Y SU PROYECCIÓN
FUTURA EN LA EROSIÓN HÍDRICA EN LOS CANTONES
ZAPOTILLO Y PINDAL, PROVINCIA DE LOJA**

RESUMEN

La presente investigación se realizó en los cantones Zapotillo y Pindal de la provincia de Loja, donde se aplicó la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo Revisada (RUSLE) mediante la utilización del software ArcGis y TerrSet, con el propósito de determinar los efectos del cambio de uso del suelo del periodo 1983 al 2012 y su proyección futura en la erosión hídrica. Se determinó los cambios de uso del suelo con información cartográfica generada por el CIT y CITIAB. Además, se generó escenarios futuros de los cambios de uso del suelo mediante la herramienta Land Change Modeler del software TerrSet. Posteriormente, se estimó las zonas susceptibles a erosión hídrica empleando información de erosividad de la lluvia; erodabilidad del suelo; longitud y gradiente de la pendiente (DEM con resolución de 30 m) y cobertura vegetal. Desde el año 1983 al 2012 la categoría tierras agropecuarias incrementó 10 758 ha; mientras que la cobertura bosque seco denso disminuyó 10 375 ha. Las probabilidades de cambio para el año 2030 pronostican que, el 31.65 % de la cobertura bosque seco denso presentarán una probabilidad alta; seguido del bosque seco semidenso, donde el 32.5 % presentarán una probabilidad muy alta, mientras que, las coberturas matorral desértico y matorral seco semidenso presentarán una probabilidad de cambios muy baja. Los resultados de erosión muestran valores que varían de 0 a 200 t/ha/año, predominando las tasas de erosión de 0 a 10 t/ha/año (Muy baja), misma que para el año 1983 abarca el 71.76% (101 629 ha) del área de estudio; mientras que en el año 2012 poseen un 64.53% (91 390 ha). Finalmente, para el año 2030, se pronostica que abarque el 59.65% (84 480 ha) del área total. Lo que indica que el área de estudio presenta una susceptibilidad a la erosión hídrica muy baja, debido a la presencia de zonas de conservación; sin embargo, se observa una disminución en las tasas de erosión con categoría muy baja, lo que se debe al incremento de las actividades agrícolas.

Palabras clave: cambios de uso del suelo, escenarios futuros. erosión hídrica, RUSLE

ABSTRACT

This research was developed in the cantons “Zapotillo and Pindal” of Loja province, where the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) was applied through ArcGIS and the TerrSet software in order to determinate the effects of land use change from the period 1983 to 2012 and its future projection of water erosion. The land use changes were determined with cartographic information generated by CINFA and CITIAB. Additionally, future scenarios of land use changes were generated using the Land Change Modeler tool of the TerrSet software. Subsequently, susceptibility areas to water erosion were estimated using erosivity information of rain; soil erodibility, slope length and steepness (DEM with 30 m resolution); and vegetation cover. The agricultural land category increased 10 758 ha while the dense dry forest cover decreased 10 375 ha from 1983 to 2012. For the year 2030, the probabilities of change predict that 31.65% of the dense dry forest will represent a high probability; followed by the semi-dense dry forest where 32.5% will represent a very high probability as while as the desert scrub and the semi-dense dry scrub will have a very low probability of change. The results of erosion show values ranging from 0 to 200 t/ha/year, predominantly erosion rates from 0 to 10 t/ha/year (Very low), which covers 71.76% (101 629 ha) for 1983 of the study area; compared to 64.53% (91 390 ha) in 2012. Finally, 59.65% (84 480 ha) of total area presents losses of 0–10 in the year 2030. This indicates that the study area has a very low susceptibility to water erosion due to the presence of conservation areas; however, it is evident a decrease in erosion rates with a very low category due to the increase of agricultural activities.

Keywords: land use change, future scenarios, water erosion, RUSLE

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural fundamental para el desarrollo económico y social a nivel mundial (FAO, 2015), el cual se encuentra sometido a una creciente presión ambiental, principalmente por la actividad antrópica ligada a usos urbanos, agrícolas, forestales o mineros; ocasionando cambios en el uso del suelo y por ende la degradación del mismo, lo cual a su vez genera procesos de erosión hídrica que conlleva a uno de los más graves problemas ambientales (Balocchi et al., 2009). En este sentido, medir los cambios de uso del suelo es de vital importancia, puesto que es uno de los factores más importantes para estimar la erosión hídrica (Aguirre, Alvarez, Muñoz, y Veliz, 2015).

La erosión hídrica es la causa principal de la erosión de tierras (Santacruz, 2011). En América del Sur el 50,61 % de la superficie presentan suelos erosionables (Rojas, 2017), mientras que en Ecuador, aproximadamente el 47,9 % del área total presenta suelos susceptibles a erosión en distinta intensidad (FLACSO, MAE, y PNUMA, 2008). Por otra parte, el Sur del país presenta un mayor problema de degradación, específicamente en la frontera con Perú, en las “áreas secas semidesérticas” del litoral, y en los valles secos interandinos existentes en las provincias de Loja, Pichincha, Imbabura y Carchi (Alvarado, Colmenero, y Valderrábano, 2007). En la provincia de Loja el 42 % de la superficie demuestra señales de una erosión hídrica muy severa de origen principalmente antrópico (Aguirre y Geada, 2017).

Así mismo los cantones Zapotillo y Pindal presentan un grado de degradación y pérdida de suelo, generada por actividades antrópicas como la deforestación para implementar sistemas agrícolas. En el cantón Zapotillo, la mayoría de los suelos son susceptibles a ser erosionados (Senplades, 2015). Mientras que en el cantón Pindal, los suelos están fuertemente

erosionados, debido a la agresiva intervención humana, sobre todo aquellos destinados a sembríos de monocultivos en especial del maíz (Senplades, 2014).

Para la evaluación de la erosión hídrica se han generado diversos métodos, pero sin duda alguna, la Ecuación Universal de Perdida del Suelo (USLE), ha sido la más utilizada (Flores, González, González, Murray, y Serrano, 2016). Aun así, la USLE ha sufrido modificaciones con el fin de obtener resultados diferentes para los que fue diseñada, dando como consecuencia la RUSLE, que aumenta la exactitud de la predicción. Tal como se aplicó en el proyecto realizado por Tamayo (2016), “Determinación de zonas susceptibles a erosión hídrica en los cantones de Zapotillo y Pindal de la provincia de Loja”, siendo el objetivo principal estimar las pérdidas del suelo por erosión hídrica, en base a la RUSLE que fue desarrollada por (Foster, McCool, Renard, Weesies, y Yoder, (1997). Este método ayudó a la determinación de las tasas de erosión, permitiendo plantear obras de conservación de suelo y definir prioridades para futuras investigaciones. Por otra parte, tuvo resultados significativos que fueron muy favorables para que los Gobiernos Autónomos del cantón Zapotillo y Pindal (Tamayo, 2016).

Es por ello, que en la presente investigación se aplicó el modelo RUSLE, mediante la utilización del software ArcGis y TerrSet, como herramientas para la manipulación de la base de datos, con la finalidad de analizar los cambios de uso del suelo y su proyección futura en la variabilidad espacio-temporal de la erosión hídrica, utilizando ortofotos en los cantones Zapotillo y Pindal de la provincia de Loja. Bajo este contexto, se han planteado los siguientes objetivos específicos:

- Determinar los cambios de uso del suelo del periodo 1983-2012 mediante ortofotos, y su proyección futura en los cantones Zapotillo y Pindal.
- Estimar la variabilidad espacio-temporal de la erosión hídrica del suelo en función del cambio de uso del suelo, en los cantones Zapotillo y Pindal.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

Este capítulo hace referencia a los conceptos generales y teorías básicas utilizadas en la investigación, lo cual permite tener argumentos con un sustento teórico científico.

2.1. USOS DEL SUELO

El uso del suelo ha sido definido como el propósito para el cual los humanos explotan la cobertura terrestre. Incluye la manera en que las características biofísicas de la tierra son manipuladas, así como, el propósito para el cual el suelo es usado (Semarnat, 2012).

2.1.1. Uso de suelo del cantón Zapotillo.

El cantón Zapotillo posee una superficie de 121 200,49 hectáreas, con 10 unidades vegetales como: bosque seco denso, bosque seco ralo, bosque seco semidenso, cultivo de arroz, cultivo de maíz, cultivos asociados subtropicales, infraestructura, matorral seco bajo, ríos y otros usos. Cabe mencionar que la mayor extensión del bosque seco se encuentra en buenas condiciones, cubriendo 84 370 ha (70,30 %) de la superficie total y el matorral seco cubre 21 482 ha (17,90 %) (Cueva y Chalán, 2010).

2.1.2. Usos del suelo del cantón Pindal.

Este cantón cuenta con una superficie total de 20 252,89 hectáreas con 11 unidades vegetales como: banco de arena, cultivo de maíz, cultivo de café, pasto cultivado, matorral seco, matorral húmedo, vegetación herbácea, bosques húmedos, bosque seco, ríos y centros poblados. (Cueva y Chalán, 2010).

2.2. CAMBIOS DE USO DEL SUELO

El cambio de uso del suelo se va configurando por la difusión de nuevos esquemas de consumo y hábitos de vida, donde el crecimiento de los sistemas urbanos, los avances en las comunicaciones y el aumento en la movilidad de la población han modificado totalmente el

patrón de organización del territorio, teniendo también sus claras repercusiones en los espacios rurales que ya no se encuentran apartados de esta nueva dinámica (Balderas, Chavez, Gutierrez, López, y Perez, 2014).

El cambio de uso del suelo, consisten en el reemplazo de un tipo de cobertura por otro (Defries, Fisher, Moran y Mustard, 2012) y es medida por una transición de una categoría de cubierta de suelo a otra, como es el caso de la expansión agrícola, la deforestación, o el cambio en la extensión urbana; cualquier sea el cambio en la cobertura del suelo, lo que conlleva a cambios en la diversidad biológica, la productividad, calidad de los suelos, escorrentía y tasas de sedimentación, así como otros atributos de la superficie terrestre (Defries, Hansen, Turner, Reid y Liu, 2007).

Los cambios en la cobertura y uso del suelo contemporáneos son generados principalmente por la actividad humana, dirigida a la manipulación de la superficie terrestre para satisfacer alguna necesidad o requerimiento individual o de la sociedad, como la agricultura (Britos y Barchuk, 2008).

2.2.1. Efectos del cambio de uso de suelo.

La eliminación de la cobertura y los patrones de uso del suelo ejercen un efecto importante sobre la biodiversidad y sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, potenciando los procesos de erosión que generan deterioro de la fertilidad del suelo, de la calidad del agua y la pérdida del hábitat, que, en consecuencia, afectan la provisión de bienes y servicios ambientales, además de traer consigo una pérdida de conectividad hidrológica, lo que modifica el transporte de materia, energía y de organismos dentro o entre los elementos del ciclo hidrológico (Escalona, Peña, Pincheira, y Rebolledo, 2011).

Por otro lado, Acevedo y Delibes (2013) mencionan que los cambios de uso y cobertura del suelo tienen diferentes efectos sobre el medio ambiente tales como:

- Intensiva reducción de espacios con vegetación natural incluyendo terrenos de cultivo, áreas naturales y humedales.
- Pérdida de la biodiversidad, reducción y desaparecimiento de hábitats, corredores ecológicos y parches de vida silvestre.
- Transformación del paisaje provocando el aumento de la fragmentación y disminuyendo la conectividad entre ecosistemas.
- Cambios en el ciclo hidrológico.
- Degradación del suelo por procesos erosivos

2.3. PRECIPITACIÓN

Almoza, Alonso, Medina, Ruiz, y Schiettecatte, (2008) definen a la precipitación, como la liberación de agua de la atmósfera para llegar a la superficie de la tierra, y ser el principal aporte de agua a una zona de captación del río. Este término cubre todas las formas de agua que están siendo liberadas por el ambiente, incluyendo la nieve, granizo, llovizna y lluvia (Flores, Pizarro, y Ramirez, 2003), necesitando como tal una evaluación cuidadosa en cualquier estudio hidrológico.

La lluvia es uno de los principales impulsores de la erosión del suelo. La fuerza erosiva de la lluvia se expresa como la erosión hídrica. La erosividad de la precipitación considera la cantidad e intensidad de la lluvia (Panagos *et al.*, 2015). Por tal razón, la precipitación se considera un factor de vital importancia para determinar la tasa de erosión hídrica del suelo.

2.3.1. Intensidad de la precipitación.

La Intensidad de las precipitaciones varía de un lugar a otro, aunque no se encuentren a mucha distancia. Las causas que influyen en la distribución de precipitaciones en el planeta son: la proximidad al mar, incremento de la humedad del aire, y las corrientes ascendentes de

aire, como las que obligan a realizar las cordilleras, sobre las cuales las precipitaciones son más numerosas e intensas en la ladera enfrentada a los vientos más frecuentes, o barlovento (Chávez, 2013).

Los episodios de intensas lluvias y la persistencia de notables volúmenes de precipitación durante varios días consecutivos, han recibido creciente atención debido a su aplicabilidad en la estimación de desastres naturales, como lo es la erosión hídrica (Wang y Zhao, 2018).

2.3.2. Erosión Hídrica del suelo.

La erosión hídrica es el proceso de separación y transporte de las partículas del suelo por acción del agua de lluvia. Es un proceso que destruye los suelos, ya que hace desaparecer el suelo superficial, a veces hasta dejar al descubierto la roca madre. Cabe mencionar, que las principales formas de erosión hídrica son laminar, en surcos, en cárcavas y por salpicadura (Cruz, López, Pérez, y Ramírez, 2014).

Cruz *et al.*, (2014), menciona algunas formas de erosión hídrica que se detallan a continuación:

- Saltación pluvial, el impacto de las gotas de lluvia en el suelo desprovisto de vegetación y expuesto, ocasiona el desalojo y arrastre del suelo fino. Lo que compacta el suelo disminuyendo la permeabilidad e incrementando la escorrentía.
- Esguerrimiento superficial difuso, comprende la erosión laminar sobre laderas desprovistas de vegetación y afectadas por la saltación pluvial, que estimulan el esguerrimiento del agua arrastrando finos.
- Esguerrimiento superficial concentrado, produce dos formas, los surcos de erosión (canales bien definidos y pequeños), y las cárcavas, que son canales o zanjones de mayor magnitud.

La erosión hídrica afecta la calidad del suelo y la productividad al reducir las tasas de infiltración, la capacidad de retención de agua, los nutrientes, la materia orgánica, la biota del suelo y la profundidad del suelo. También tiene un impacto en los servicios de los ecosistemas, como la calidad y cantidad del agua, la biodiversidad, la productividad agrícola y las actividades recreativas (Panagos *et al.*, 2015).

2.4. MONITOREO DE CAMBIOS DE USO DEL SUELO

Cabe mencionar, que el monitoreo de cambios en la cubierta del suelo puede ser visible por sensores remotos que presentan imágenes de satélite y ortofotografías, a partir de las cuales se generan mapas de uso de suelo en sucesivos períodos. El cual en este estudio se basó en ortofotografías con una resolución 05 x 05 de cada pixel.

2.4.1. Sensores remotos.

Son sistemas de adquisición de información de la superficie terrestre, soportados sobre diferentes tipos de plataformas. Los productos que se obtienen al emplear estas herramientas son diversos y de diferentes especificaciones, entre ellos los más conocidos son las fotografías aéreas y las imágenes de satélite. Los datos obtenidos se emplean como herramientas para la planificación territorial, ambiental, social, entre otros. Estos sensores adquieren la información de tres formas: reflexión, emisión y emisión reflexión. Donde la reflexión es la más importante ya que la principal fuente de energía es el sol (Reis, 2008).

2.4.2. Imagen satelital.

Las imágenes satelitales están confeccionadas por matrices, en las que cada celda representa un píxel, las dimensiones de este píxel dependerá de la resolución espacial del sensor. Los sensores registran la radiación electromagnética que proviene de las distintas coberturas y las almacena en cada píxel, de acuerdo a los intervalos de longitudes de onda (Sánchez, 2012).

2.4.3. Ortofotografías o fotografías aéreas.

Una ortofotografía (ortofoto), es una fotografía aérea en la que han sido corregidos, mediante procesos fotogramétricos, los desplazamientos que se presentan en la imagen como consecuencia del relieve del terreno, curvatura terrestre y la inclinación del eje de la cámara. Además, tienen la ventaja de conservar las características de la fotografía aérea y la precisión métrica de la carta a línea; por su método de producción se clasifican en: analógicas (generadas en sistemas óptico-mecánicos impresas en película o papel) y digitales (generadas en estaciones fotogramétricas digitales) (INEGI, 2003).

2.5. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Estos sistemas permiten capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar datos vectoriales y ráster, en todas sus formas. La información se encuentra geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión. Además, es un elemento que permite analizar, presentar e interpretar hechos relativos a la superficie terrestre. En otras palabras, un SIG es un conjunto de software y hardware diseñado específicamente para la adquisición, mantenimiento y uso de datos cartográficos (Olaya, 2014).

2.5.1. Modelos de elevación digital (DEM).

Los DEM son productos geomáticos esenciales en el estudio, manejo y administración del terreno mediante una representación digital de la altitud como variable continua sobre una superficie bidimensional a través de una red regular de valores Z referenciados a un datum común. Los más comunes son los de estructura tipo ráster, que consisten en una malla o matriz de celdas cuadradas con la información de elevación en cada celda o pixel (Frau, Hernández, Pino, y Rojas, 2011).

2.5.2. Análisis multitemporal.

Consiste en evaluar comparativamente dos o más imágenes de la misma zona, pero de fechas diferentes. La observación cíclica o periódica permite el seguimiento de los diferentes procesos que influyen en una cobertura de bosque como: deforestación, regeneración, cambios de usos del suelo, áreas cultivadas, incendios, plantaciones, etc. La información que se obtiene de un análisis multitemporal permite evaluar la magnitud de los cambios, encontrar los actores principales en los procesos de cambios y suministrar información para corregir los problemas oportunamente, en caso de ser posible (Chuvieco, 1995).

2.6. MODELOS PARA ANALIZAR LA PROYECCIÓN FUTURA DEL CAMBIO DE USO DE SUELO

Estos modelos son una representación de un componente o proceso de la realidad, los cuales son considerados como modelos dinámicos capaces de pronosticar posibles comportamientos futuros. Además, indican la magnitud de los cambios, su localización a futuro y sus patrones espaciales. Estos modelos utilizan ciertas variables explicativas para las simulaciones, donde incluyen la extensión de las actuales áreas urbanas, las principales vías de transporte, la distancia a los mercados, bienes e insumos, las condiciones topográficas, la existencia de tierras en situación especial (Azócar, Aguayo, y Henríquez, 2006).

2.6.1. Land Change Modeler.

El Land Change Modeler (LCM) del software TerrSet es un modelo de análisis del cambio en la cobertura y uso del suelo y también de predicción. Este modelo proporciona un completo análisis de los cambios en el suelo mediante la creación de mapas y gráficos del cambio del suelo, transiciones y tendencias de los tipos de suelo (Eastman, 2016).

En cuanto al módulo de predicción, este modelo es capaz de crear escenarios futuros de cambios de uso del suelo con la integración de los factores biofísicos y socioeconómicos

que influyen en este cambio. Por lo general, los factores biofísicos integrados en el modelo son: tipo de uso del suelo, altitud, pendiente (derivada de los modelos digitales de elevación DEM), y características hidrológicas (distancia a los ríos y lagos). En cuanto a los factores socioeconómicos, el modelo podría utilizar la infraestructura (carreteras) y la demografía (Bosque y Oñate, 2010).

2.7. MODELOS PARA DETERMINAR LA EROSIÓN

Los modelos para la determinar la erosión hídrica del suelo son herramientas de estimación cruciales a nivel regional, nacional y europeo. La alta heterogeneidad de los factores causales de la erosión del suelo, combinada con una disponibilidad de datos a menudo deficiente, es un obstáculo para la aplicación de modelos complejos de erosión del suelo (Panagos *et al.*, 2015).

2.7.1. Ecuación universal de pérdida del suelo revisada (RUSLE).

Foster *et al.*, (1997), afirman que el modelo RUSLE predice la pérdida anual promedio de suelo resultante de salpicaduras de lluvia y escorrentía desde laderas de campo, la cual todavía se usa con mayor frecuencia a grandes escalas espaciales. En este modelo, la pérdida de suelo puede estimarse multiplicando el factor de erosividad de la lluvia (factor R) por otros cinco factores, tal como se muestra en la fórmula siguiente:

$$A = R \times K \times C \times LS \quad (1)$$

Dónde:

A= es la cantidad de material erodado calculado o medido expresado en toneladas por hectárea para una duración de lluvia específica. Además, se define como la pérdida de suelos calculada por unidad de superficie, expresada en las unidades seleccionadas para K y el período seleccionado para R, generalmente toneladas (t) hectárea (ha)⁻¹ año⁻¹

R= es el factor de erosividad de lluvia que expresa la capacidad de la precipitación para erosionar el suelo, además, se define como la suma de producto de energía total de la precipitación por su máxima intensidad en treinta minutos para todos los eventos importantes de precipitación en un área durante un año promedio (Wischmeier y Smith, 1978), expresado de la siguiente manera $M_j \cdot mm/ha \cdot h \cdot año$. Donde:

- **Mj** mili julios es el número de eventos erosivos de un año dado.
- **mm** intensidad de la lluvia en milímetros
- **ha** hectáreas que cubre la lluvia

K= es el factor de erodabilidad del suelo, es decir, muestra su vulnerabilidad a la acción del agua; es una característica inherente a los suelos (Wischmeier y Smith, 1978), expresado de la siguiente manera $ton \cdot ha \cdot h/ha \cdot MJ \cdot mm$. Que significa erosión estándar en tonelada por hectárea por unidad de erosividad R, para un suelo específico.

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

Entre los factores usados dentro de RUSLE, la erosividad de la lluvia es de gran importancia ya que la precipitación es la fuerza impulsora de la erosión y tiene un impacto

directo en el desprendimiento de partículas de suelo, la descomposición de agregados y el transporte de partículas erosionadas a través de la escorrentía. La erosividad de la lluvia es la energía cinética del impacto de la gota de agua y la tasa de escorrentía asociada (González, 1991).

Tabla 1. Procedimiento general para determinar los factores que integra la RUSLE

Factor R	Factor K	Factor C	Factor LS
Base de datos de las estaciones meteorológicas Los datos han sido proporcionados por el INAMHI ↓ ArcGis Herramienta de interpolación Kriging = Ráster del factor R	Base de datos de los valores del factor K y de las propiedades físicas y químicas del suelo ↓ ArcGis Herramienta de interpolación IDW = Raster del factor K En	Ortofotos del año 1983 y 2012 de 0.5 x 0.5 de tamaño de pixel, de los cantones Zapotillo y Pindal ↓ Digitalización de las coberturas analizadas según la leyenda temática del MAE 2016 Corrección de polígonos con ↓ ArcGis Herramienta Topology = Ráster del factor de cobertura para el año 1983 y 2012	L DEM 30 M ↓ ArcGis ↓ Herramienta "Fill" ↓ Mapa de pendientes (Slope) ↓ Flow direccction Flow acumulation ↓ Ráster calculator (usar ecuaciones que se detallan más adelante) S Aplicar la condicional Multiplicar Factor L* Factor S = Ráster factor LS
Formula para estimar la erosión hídrica del suelo A= R*K*C*LS			
Donde: A = pérdida del suelo (t/ha/año) R = erosividad de la lluvia (Mj.mm/ha.h.año) K = erodabilidad del suelo (t.ha.año/Mj.mm.ha) C = Cobertura Vegetal (Adimensional) LS = longitud y gradiente de la pendiente (Adimensional)			

Información tomada de Wischmeier y Smith, (1978).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se realiza una caracterización de los sitios de estudio y se detallan cada uno de los métodos utilizados en la presente investigación.

3.1. ÁREA DE ESTUDIO

La presente investigación, se realizó en los cantones de Zapotillo y Pindal, ubicados al Oeste de la provincia de Loja con una extensión territorial total de 141 626 ha.

Zapotillo tiene una extensión de 121 300 ha, con una variación altitudinal que va desde 182 hasta los 835 msnm y está integrado por seis parroquias que son: Zapotillo, Mangahurco, Bolaspamba, Paletillas, Limones y Garzareal (INEC, 2010). Parte del cantón se encuentra dentro de la cuenca Catamayo-Chira, en las subcuencas río Catamayo y río Alamor; y, la otra parte está dentro de la cuenca del río Puyango (Alvarado y Chuquirima, 2015).

Pindal tiene un área de 20 326 ha, con altitudes que van de 400 hasta 1400 msnm y está integrado por tres parroquias que son: Pindal, 12 de Diciembre y Chaquinal (INEC, 2010). Además, pertenece a las cuencas del río Alamor y del río Puyango y posee una microcuenca importante llamada Palango que forma parte de la cuenca Catamayo y a la subcuenca del río Alamor (Alvarado y Chuquirima, 2015).

3.1.1. Ubicación y Límites del Cantón Zapotillo.

El cantón Zapotillo se encuentra ubicado en la parte sur occidental de la provincia de Loja, siendo sus límites: al norte la provincia de El Oro y el cantón Puyango, al sur con la República del Perú, al este con los cantones Puyango, Pindal, Celica y Macará y al oeste con la República del Perú (Senplades, 2015). Dentro de las coordenadas geográficas siguientes:

Latitud - 04° 15' 43" y 04° 29' 50" S

Longitud - 80° 22' 15" y 80° 23' 36" W

3.1.2. Ubicación y límites del Cantón Pindal.

El cantón Pindal se encuentra ubicado en la parte occidental de la provincia de Loja, siendo sus límites: al norte la parroquia Amor del cantón Puyango, al sur con la parroquia Sabanilla del cantón Celica, al este con la parroquia Mercadillo de cantón Puyango y al oeste con la parroquia Paletillas del cantón zapotillo (Senplades, 2014). Además, se encuentra ubicado dentro de las siguientes coordenadas geográficas.

Latitud – 04° 05' 55" y 04° 06' 57" S,

Longitud - 79° 56' 36" y 80° 06' 27" W

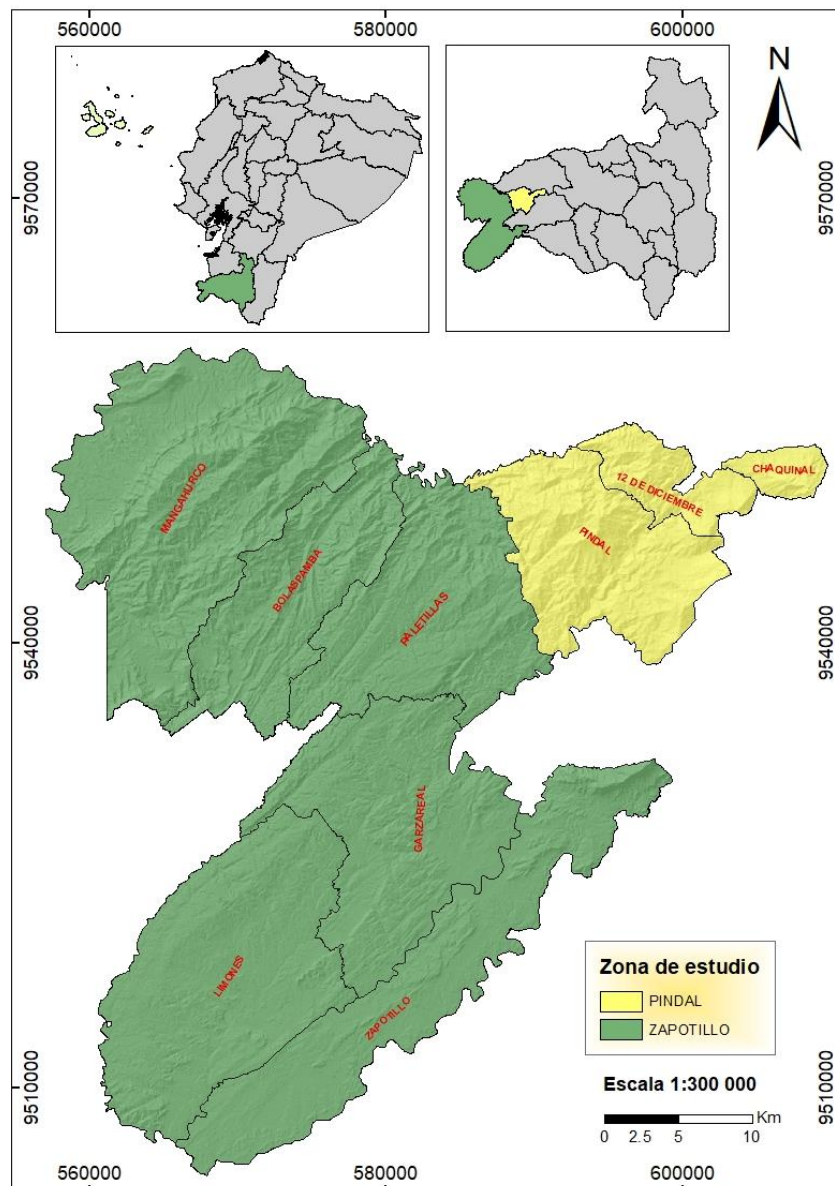


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio dentro del contexto Nacional y Provincial. Fuente. Elaboración propia con Información Espacial del Ecuador del 2010 (PROMSA)

3.2. MATERIALES

Los materiales que se utilizaron en la investigación son los siguientes:

- Información secundaria citada
- Ortofotografías de los cantones Zapotillo y Pindal del año 1983 y 2012
- Shape a nivel cantonal y provincial
- Datos de precipitación mensual del año de un periodo de 16 años (2000 al 2016).
- Datos de textura, estructura, materia orgánica, arena, arcilla y limo
- Modelo de elevación digital SRTM 30m
- Computador laptop
- Internet
- Software ArcGis 10.3
- Software TerrSet de IDIRISI

3.3. METODOLOGÍA

El proceso metodológico establece las fases que se llevaron a cabo para cumplir con los objetivos planteados. Para lo cual se usó información biofísica secundaria que permitió el uso de la base de datos a partir de los requerimientos necesarios para la aplicación del modelo RUSLE. En la figura 2 se presenta un esquema del proceso de ejecución de la investigación.

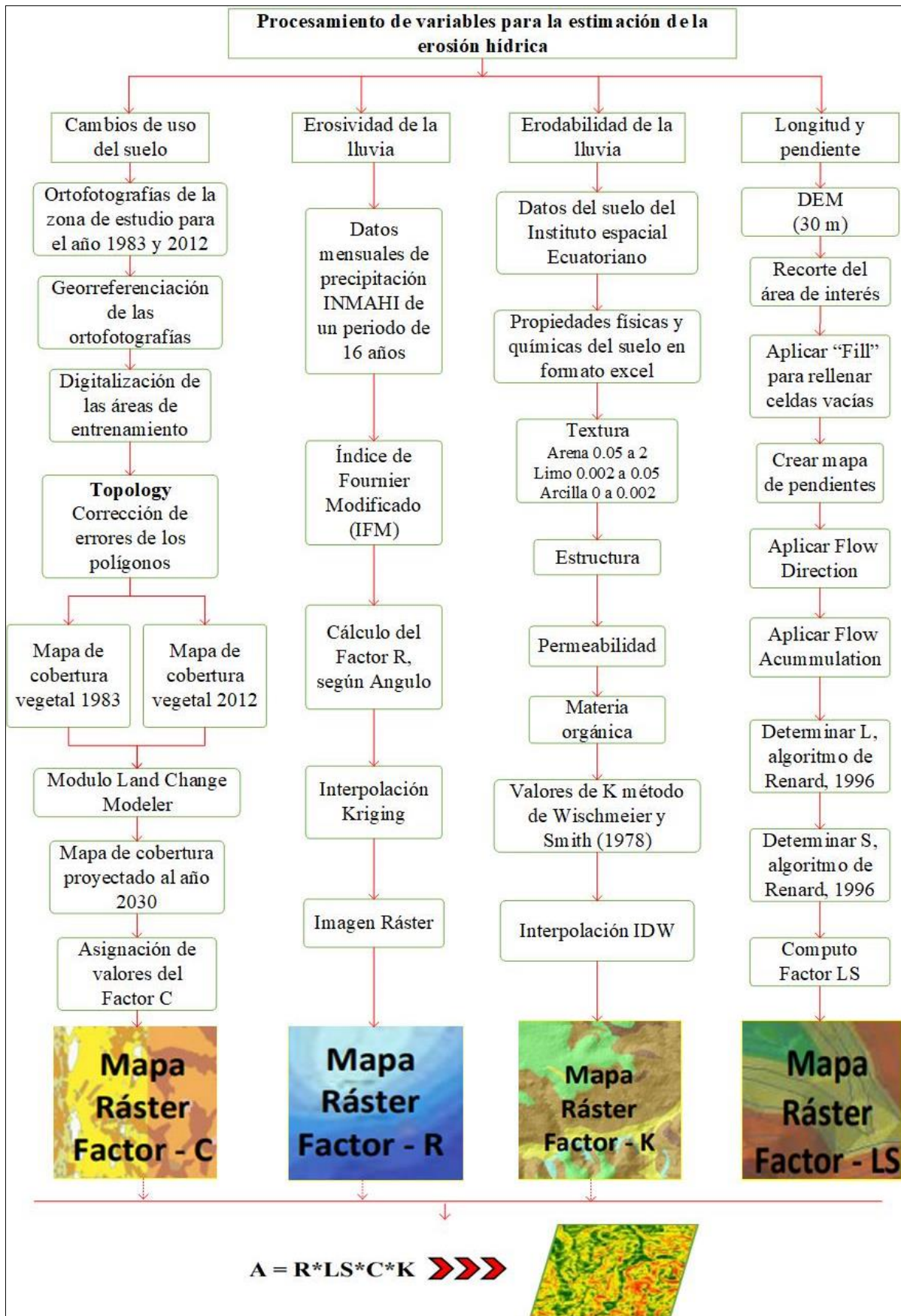


Figura 2. Esquema de los procesos metodológicos empleados en la investigación.

3.3.1. Determinar el cambio de uso del suelo del periodo 1983 y 2012 mediante ortofotografías, y su proyección futura en los cantones Zapotillo y Pindal.

3.3.1.1. Recopilación de información.

Para determinar los cambios de uso del suelo, se tomó en consideración el Nivel I, II y III de la leyenda temática de coberturas y usos del suelo del Ministerio del Ambiente (Anexo 1). Además, se usaron ortofotos de los años 1983 y 2012 de una resolución de 0.5 x 0.5 en el tamaño de pixel, esta información se recopiló del CIT y del CITIAB de la Universidad Nacional de Loja.

3.3.1.2. Identificación del cambio de uso del suelo.

A partir de las ortofotos y las categorías de uso del suelo antes mencionadas, se realizó la digitalización de los polígonos para cada una de las unidades de cobertura vegetal presentes en los cantones de Zapotillo y Pindal, mediante la utilización del software ArcGis, con esto se generó una base de datos en la cual se especificó el cambio neto entre coberturas; dando como resultado un mapa con los cambios que han sucedido entre el año 1983 y 2012.

3.3.1.3. Corrección de errores de los polígonos digitalizados.

Para verificar los errores entre los polígonos digitalizados se utilizó la herramienta Topology del software ArcGis. Posterior a ello, se procedió a corregir los errores identificados mediante la extensión merge, clip y cut. Con los datos obtenidos se generó los mapas de cobertura vegetal para el año 1983 y 2012.

3.3.1.4. Modelación de los cambios de uso del suelo futuros, en base al Land Change Model (LCM).

Para modelar escenarios futuros de los cambios de uso del suelo se aplicó un procedimiento que implica el análisis de variables explicativas y la construcción de un modelo que utilice estas variables.

Cabe mencionar que las variables explicativas ayudan a simular donde ocurrirán los cambios dentro del modelo, asumen la distribución espacial de los factores biofísicos y socioeconómicos jugando un importante rol para obtener los sitios que serán afectados. Para la zona de estudio se usaron las variables siguientes:

Cuadro 1. Variables explicativas dinámicas y estáticas

Variables explicativas			
N°	Dinámicas	N°	Estáticas
1	Tierras agropecuarias	10	Modelo de elevación digital
2	Deforestación	11	Minería
3	Programa de manejo forestal	12	Ríos
4	Zona antrópica	13	Densidad poblacional
5	SNAP	14	Pendiente
6	Poblados		
7	Focos activos		
8	Urbano		
9	Vías		

3.3.1.5. Proceso de Predicción de Cambios.

En esta parte se realizó todo el proceso integrado en el software Terrset con la ayuda de la herramienta LCM, que consiste en obtener los datos de cambios ocurridos en dos fechas de estudio en este caso 1983 y 2012. Se obtuvieron los cambios de uso del suelo, y la tendencia del cambio. Además, se generó los potenciales de transición que ocurren entre las fechas y se agregaron variables que ayudaron a describir los procesos de cambios (figura 3).

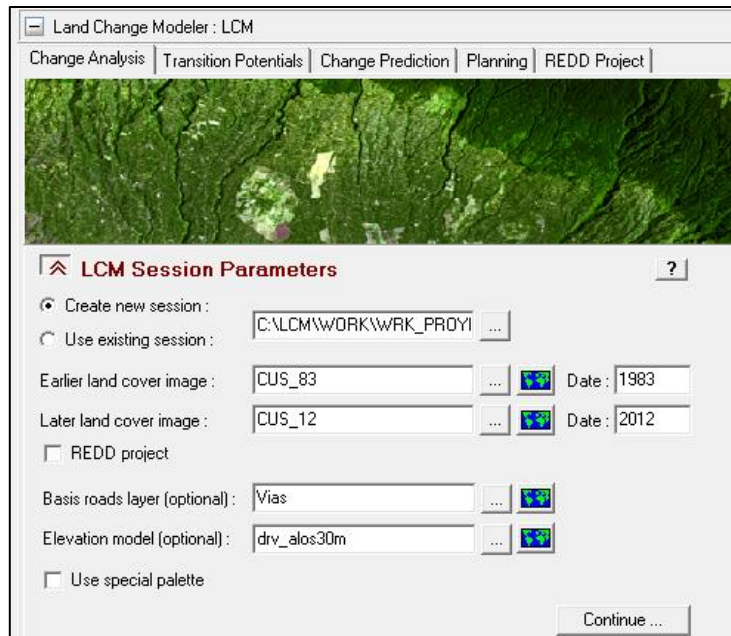


Figura 3. Visualización de la interfaz principal del Módulo Land Change Modeler

Finalmente se realizó la predicción de cambios de uso del suelo con la finalidad de modelar el escenario futuro para el año 2030 (figura 4).

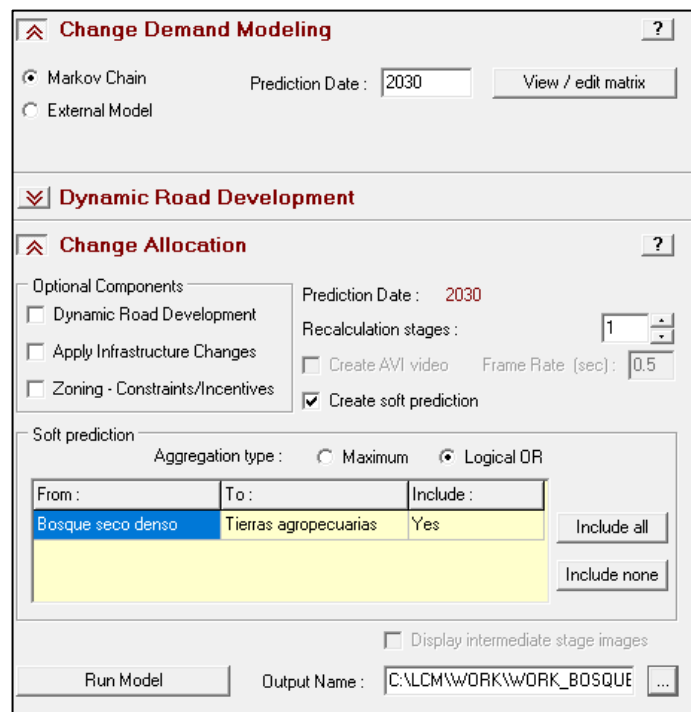


Figura 4. Visualización de la interfaz para realizar predicciones

El proceso constó de tres pasos:

- Análisis de cambios

- Modelador del potencial de transición
- Predicción de cambios

La predicción se basó en los cambios históricos de los mapas de superficie terrestre, para proyectar a futuros escenarios (Eastman, 2016). En donde se diseñó un escenario de cambios futuros entre el periodo 1983 y 2012; se evaluó los cambios de estos dos años y a partir de esto se creó un mapa de uso de suelo estimada al año 2030.

3.3.1.6. Evaluación de cambios.

En este proceso se realizó la evaluación del cambio entre las categorías de los mapas del periodo en estudio, donde se obtuvo las ganancias, pérdidas, cambio neto y mapeo de transiciones específicas entre las clases de cobertura vegetal, se obtuvieron mapas de probabilidades que explican espacialmente los cambios en el territorio para el periodo estudiado.

Dentro de este proceso se pasó por varias etapas, la primera fue analizar los cambios de uso del suelo del año 1983 y 2012; en la segunda fase se modeló las cuatro transiciones más importantes que se detallan en el cuadro 2. En la tercera fase se especificó la fecha final de predicción de cambios, eligiendo el modelo de predicción suave, el cual da como resultado un mapa de probabilidad de cambios para el conjunto de transiciones seleccionadas, este se generó tomando en consideración una clasificación de 5 categorías (Anexo 2).

Cuadro 2. Transiciones de las coberturas vegetales frente a coberturas antrópicas

Clases de coberturas naturales	Coberturas antrópicas
Bosque seco denso	
Bosque seco semidenso	
Matorral desértico	Tierras agropecuarias
Matorral seco semidenso	

3.3.1.7. Calibración y Validación del modelo.

El proceso de validación es esencial en el modelo predictivo cuantitativo. La cual se realizó utilizando la herramienta ROC y Validate del módulo LCM; donde la estadística determina cuando una superficie predice de manera correcta los lugares dados. Obteniéndose el porcentaje de aceptación del modelo generado con las variables utilizadas.

3.3.2. Estimar la variabilidad espacio - temporal de la erosión hídrica del suelo en función del cambio de uso del suelo y la intensidad de precipitación, en los cantones Zapotillo y Pindal.

Para el desarrollo de este objetivo, se aplicó la ecuación RUSLE, la cual permitió estimar la pérdida del suelo multiplicando el factor de erosividad (factor R) por otros factores: erodabilidad del suelo (factor K); longitud y pendiente (factor LS), cobertura y uso de suelo (factor C). A continuación se explica el procedimiento de la ecuación RUSLE descrito por (Panagos *et al.*, 2015).

3.3.2.1. Determinación del Índice de erosividad (R).

Para determinar el Factor R se procedió a tomar información de la base de datos realizada por Márquez (2018), la cual partió de los datos de precipitación de alta resolución temporal del INAMHI, operado por la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL). Dicha información contiene la precipitación mensual de un periodo de 16 años de 65 estaciones meteorológicas ubicadas en la Región Sur del Ecuador y 6 estaciones meteorológicas ubicadas en el Perú. Cabe mencionar que los datos de precipitación se descargaron en una resolución temporal de 30 min, para el periodo 2000 – 2016 (Anexo 3).

Para el cálculo de este factor se realizó el siguiente procedimiento:

- Cálculo del Índice de Fournier Modificado (IFM)

Con la base de datos generada se procedió a calcular el Índice Modificado de Fournier (IMF) propuesto por Arnoldus en 1980, el cual se constituye un requisito básico para la elaboración del mapa del factor R, cuya fórmula es la siguiente:

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

Dónde: *IFM* índice de Fournier modificado en mm, *pi* precipitación del mes *i* en mm y *P* precipitación total anual, en mm.

- Cálculo del Factor R, según (Angulo, 2012):

Luego del cálculo del IFM, se procedió a calcular el Factor R aplicando la Ec.3:

$$R = 21.56IFM^{0.927} \quad (3)$$

3.3.2.2. Determinación del Índice de Erodabilidad (K).

Para analizar las características del suelo se descargaron datos del Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE). Posteriormente, con información levantada en campo por el Ing. Pablo Alvarez en el año 2018, se generó una base de datos especificando textura, estructura, permeabilidad y materia orgánica de la zona de estudio (Anexo 4). Las muestras recolectadas en campo fueron etiquetadas y transportadas al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Loja para su respectivo análisis.

Para obtener los valores del factor K se siguió la metodología aplicada por Tamayo (2016), en donde se utilizó la fórmula de Wischmeier y Smith en 1978, multiplicada por un factor de correlación de 0.13.

$$K = 1.29 [2.1 \times 10^{-6} x M_{1.14} (12 - MO) + 0.0325 (s - 2) + 0.025 (p - 3)] \quad (4)$$

$$M = (\%Limo + \%Arena\ mas\ fina) X (100 - \%Arcilla) \quad (5)$$

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.

Finalmente, con los datos necesarios para la determinación del factor K, se utilizó la herramienta “IDW” (Distancia inversa ponderada) que interpola la superficie a partir de puntos, esto se logró al cargar los puntos en el Software ArcGis; esta herramienta determina los valores de celda utilizando una combinación ponderada lineal del conjunto de puntos, al finalizar el proceso se obtuvo una imagen ráster.

3.3.2.3. Determinación del factor de cobertura vegetal (C)

Para la elaboración de la base de datos del factor C se procedió a asignar valores de ponderación según el tipo de cobertura presente en el lugar (tabla 2), estos valores fueron obtenidos de otras investigaciones que utilizan la misma metodología para determinar la erosión (Anexo 5). Finalmente, con la base de datos vectorial, se procedió a obtener el mapa en formato ráster del Factor C de los cantones Zapotillo y Pindal.

3.3.2.4. Determinación de factor de longitud y pendiente (LS).

Para elaborar el Factor topográfico se aplicó la metodología utilizada por (Puglla, 2017). Donde para el cálculo del factor L, fue necesario aplicar un relleno al DEM para evitar espacios vacíos en el ráster, esto se elaboró mediante la herramienta “Fill” del software ArcGis, con la imagen resultante se creó un ráster de pendientes (Slope) el mismo que fue utilizado para crear el factor F empleando en la siguiente ecuación:

$$F = \frac{\sin\beta/0,0896}{3(\sin\beta)^{0,8}+0,56} \quad (6)$$

Dónde:

- β : Es el ángulo de la pendiente con una constante de 0.01745
- **0.0896 y 0.56**: son valores constantes propuestos por (Wischmeier y Smith, 1978)

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

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

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

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

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

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

Donde

- ✓ $L_{(i,j)}$: factor de longitud
- ✓ $A_{(i,j)}$: Es el área aportadora unitaria a la entrada de un pixel (celda)
- ✓ D : Es el tamaño del pixel
- ✓ m : constante que depende de la inclinación de la pendiente
- ✓ x : longitud de la ladera

Formula en ArcGis:

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

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

$$S_{(i,j)} = \begin{cases} 10.8 \sin \beta_{(i,j)} + 0.03 & \tan \beta_{(i,j)} < 0.09 \\ 16.8 \sin \beta_{(i,j)} - 0.5 & \tan \beta_{(i,j)} \geq 0.09 \end{cases} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde

$S_{(i,j)}$: inclinación de la pendiente

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

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

Factor LS = "Factor_L" * "Factor_S"

Si el resultado obtenido presenta valores >70 se debe aplicar una Evaluación Condicional, lo que permitirá controlar nuestro valor de salida. Para lo cual se aplicará la siguiente Fórmula:

Cambiar valores LS = Con("Extract_Fact3",70,"Extract_Fact3","VALUE > 70")

Finalmente, se realizará un Reclasify, para establecer las cinco categorías que son: 0.03-2.5; 2.5-5; 5-10; 10-50;50-70.

3.3.2.5. Estimación de la erosión hídrica del suelo.

Para obtener la tasa de erosión hídrica actual, se usó la Ecuación general de RUSLE propuesta por Wischmeier y Smith en (1978). Todos los factores que se obtuvieron anteriormente entre ellos Factor R, Factor K, Factor C y Factor LS se generaron en formato ráster para poder procesarlos con la herramienta "Rastercalculator" del Software ArcGis. Para lo cual se aplica la ecuación 1:

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

Finalmente, se generó un mapa que representa los valores de erosión hídrica tanto del año 1983 y 2012 así como el mapa proyectado al año 2030, el cual se puede observar en las figuras 21 y 22.

4. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados del análisis de los cambios de uso del suelo y su proyección futura. Además, se describen los factores R, K, C, LS como insumos para la estimación de la erosión hídrica del suelo.

4.1. CAMBIOS DE USO DEL SUELO DEL PERIODO 1983-2012, Y SU PROYECCIÓN FUTURA EN LOS CANTONES ZAPOTILLO Y PINDAL

En el año 1983 la cobertura natural analizada fue de 121 906 ha, que corresponden al 86.06% del área total de estudio, mientras que para el año 2012 disminuyó 7.73% ocupando una superficie de 110 968 ha, lo cual representa el 78.35% de la superficie total.

La evolución de los usos del suelo para el año 1983 y 2012 del área de estudio queda indicada en la tabla 2. En este se detallan la cantidad de hectáreas y su porcentaje para cada una de las categorías y también el cambio de la superficie.

Tabla 2. Superficies y porcentajes de los usos y coberturas del suelo de los cantones Zapotillo y Pindal en los años 1983 y 2012.

N	Uso de suelo	Año 1983		Año 2012		Cambio de la superficie	
		ha	%	ha	%	ha	%
1	Bosque seco denso (BSD)	56206	39.69	45831	32.36	-10375	-7.33
2	Bosque seco semidenso (BSS)	54712	38.63	53409	37.71	-1303	-0.92
3	Bosque siempre verde piemontano (BSVPM)	1305	0.92	515	0.36	-790	-0.56
4	Cuerpos de agua (CA)	694	0.49	578	0.41	-116	-0.08
5	Matorral desértico (MD)	1701	1.20	2162	1.53	461	0.33
6	Matorral seco semidenso (MSS)	7288	5.15	8473	5.98	1185	0.84

N	Uso de suelo	Año 1983		Año 2012		Cambio de la superficie	
		ha	%	ha	%	ha	%
7	Suelo desnudo (SD)	70	0.05	189	0.13	119	0.08
8	Tierras agropecuarias (TA)	19555	13.81	30313	21.40	10758	7.60
9	Zona urbana (ZU)	95	0.07	156	0.11	61	0.04
TOTAL		141626	100	141626	100		

Fuente. Elaboración propia

Los tipos de cobertura que se han afectado y disminuido en los cantones Zapotillo y Pindal son el bosque seco denso, el cual en el año 2012 tuvo una superficie de 45 831 ha, disminuyendo -7.33% con respecto al año 1983, observándose la misma tendencia en el Bosque seco semidenso con el -0.92 % (53409 ha) y el Bosque siempre verde piemontano con un porcentaje de -0.56 % (515 ha). De la misma manera sucede con los cuerpos de agua donde se reduce el -0.08 % (578 ha) con respecto al año 1983.

Por el contrario, el matorral desértico, matorral seco semidenso y suelo desnudo incrementaron su superficie ganando 2 162 ha (0.33%), 8 473 ha (0.84 %) y 189 ha (0.08 %), observándose la misma tendencia en las tierras agropecuarias con un porcentaje de (7.60%) 30 313 ha. Asimismo, la zona urbana incrementa el 0.04 % (165 ha) con respecto al año 1983.

A nivel Cantonal los principales cambios de uso del suelo son de origen antrópico y se han dado por la expansión de las actividades agropecuarias, principalmente en el cantón Pindal y en la parte central del cantón Zapotillo durante el tiempo analizado. En la figura 5 (a y b) se presenta los mapas de cambios de usos y coberturas del suelo.

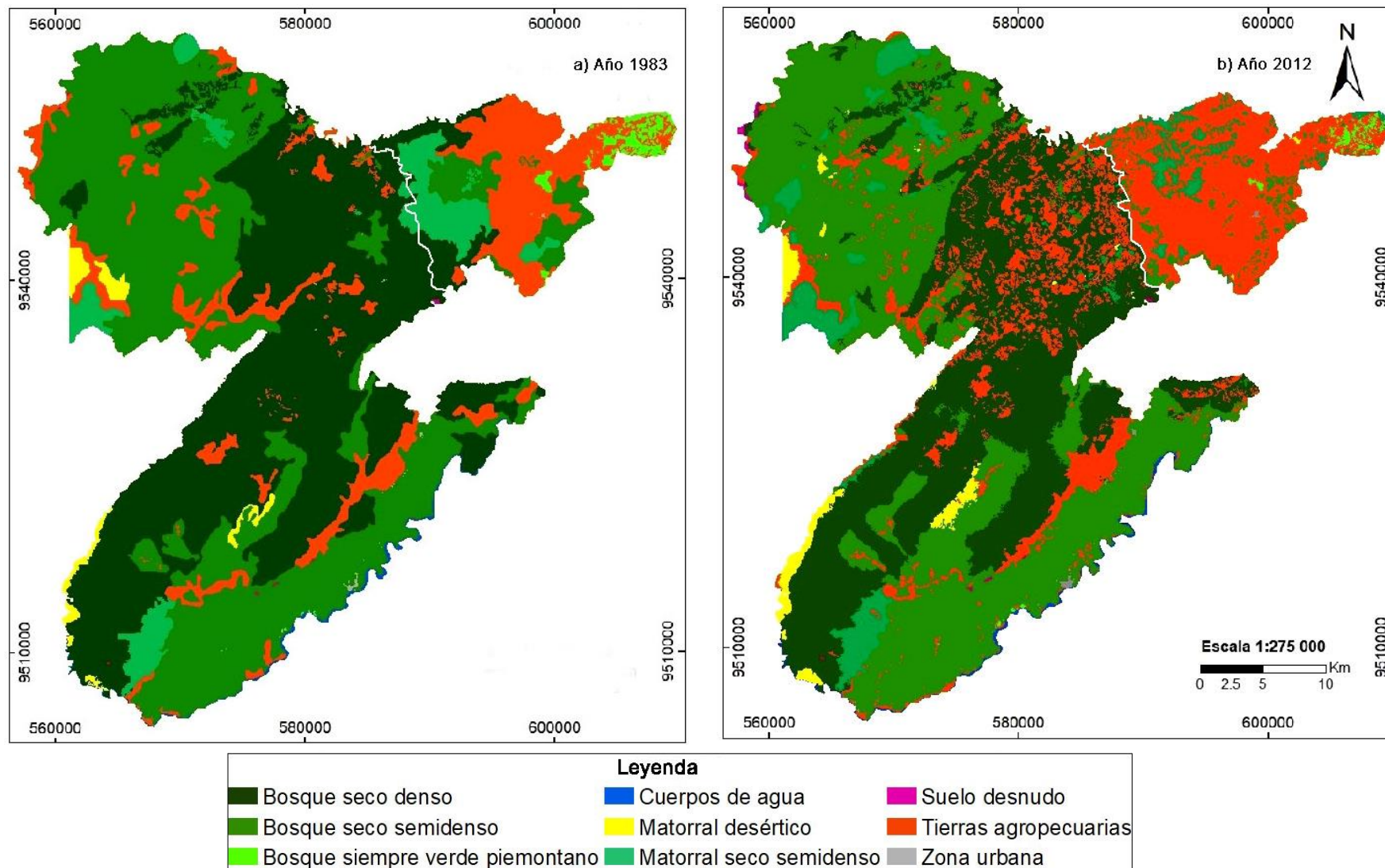


Figura 5. Cambios de uso y coberturas del suelo de los Cantones Zapotillo y Pindal: a) año 1983; b) año 2012

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el CIT y CITIAB

4.1.1. Detección de cambios.

Esta metodología ha sido estandarizada a partir del módulo Land Change Modeler, la cual se ocupa del estudio de los problemas de conversión acelerada de los usos del suelo (Eastman, 2016). Además, proyecta valores de las ganancias y pérdidas y el cambio neto que experimenta cada una de las categorías en un tiempo establecido.

En este contexto, las ganancias y pérdidas, y el cambio neto de las coberturas vegetales de los cantones Zapotillo y Pindal para el año 1983 y 2012, se detallan en la figura 6 y 9.

4.1.1.1. *Ganancias y pérdidas del uso y cobertura del suelo entre el año 1983 y 2012 para los cantones Zapotillo y Pindal.*

En la Figura 6, se pueden observar las hectáreas ganadas y perdidas en forma general por cada uno de los usos y coberturas del suelo en los períodos de tiempo analizados. Además, se puede visualizar que las categorías de cobertura natural son las que mayores transformaciones presentan hacia otros usos.

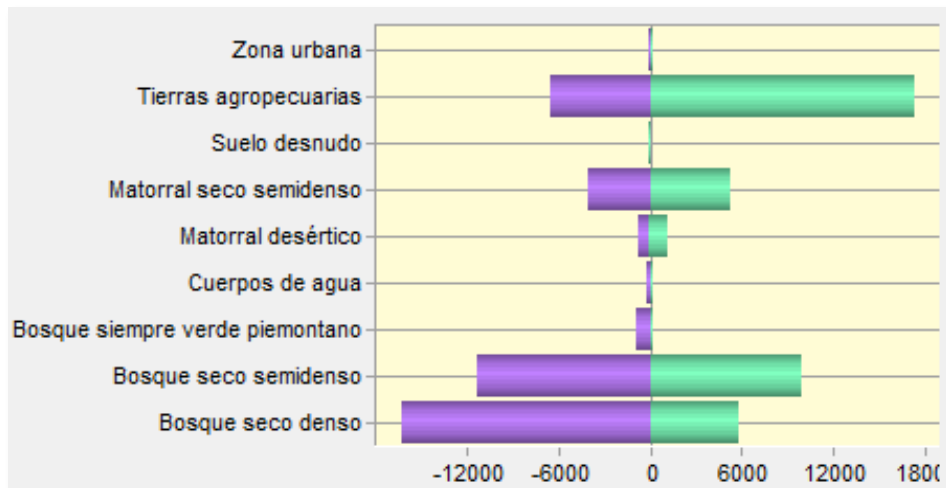


Figura 6. Ganancias y pérdidas registradas para cada uno de los usos y coberturas del suelo entre el año 1983 y 2012 de los cantones Zapotillo y Pindal.

En los siguientes gráficos se observan los valores de las ganancias y pérdidas de los usos y coberturas del suelo entre el año 1983 y 2012 para los cantones Zapotillo y Pindal.

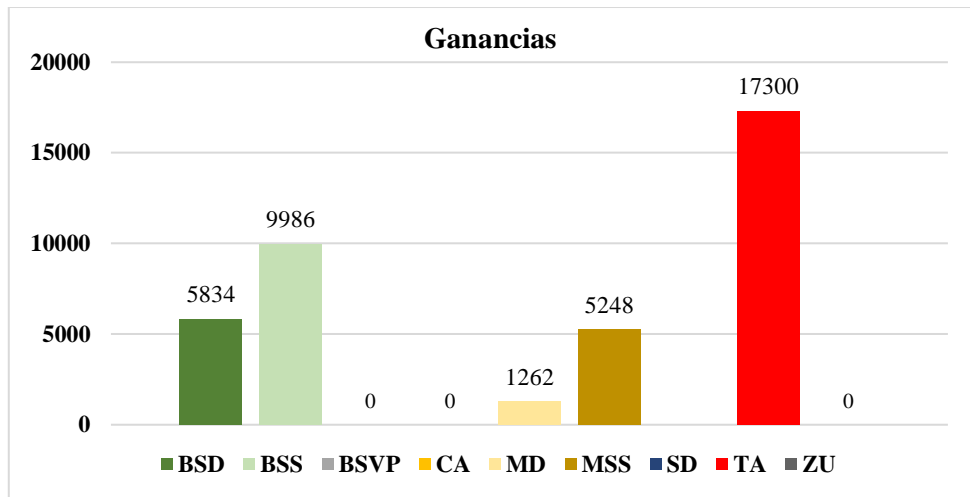


Figura 7. Valores de las ganancias registradas para cada uno de los usos y coberturas del suelo.

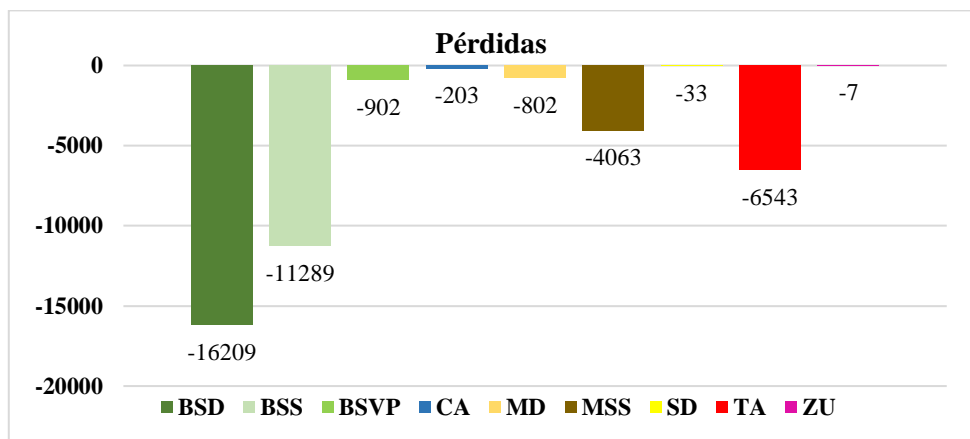


Figura 8. Valores de las pérdidas registradas para cada uno de los usos y coberturas del suelo.

El primero y segundo gráfico indica que las coberturas naturales bosque seco denso, bosque seco semidenso, matorral desértico y matorral seco semidenso presentan considerables ganancias y pérdidas. Por otro lado, se encuentra la categoría tierras agropecuarias, la cual ha ganado mayores superficies en valores absolutos. Estos valores nos permitieron conocer las coberturas naturales y antrópicas que fueron empleadas en las transiciones para generar escenarios futuros de cambios.

4.1.1.2. Cambio neto del uso y cobertura del suelo entre el año 1983 y 2012 en los cantones Zapotillo y Pindal.

La diferencia entre las ganancias y pérdidas, da como resultado el cambio neto de cada categoría. En la figura 9, se observa el cambio neto para cada uno de los usos y coberturas del suelo.

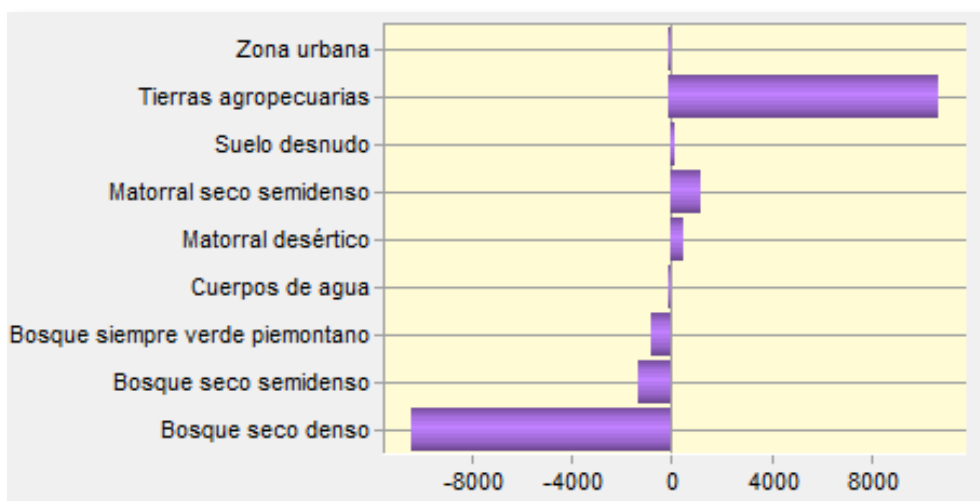


Figura 9. Cambio neto del uso y cobertura del suelo entre el año 1983 y 2012 en de los cantones Zapotillo y Pindal.

Fuente. Elaboración propia

En el siguiente gráfico se representan los principales cambios netos para el año 1983 y 2012 en los cantones Zapotillo y Pindal.

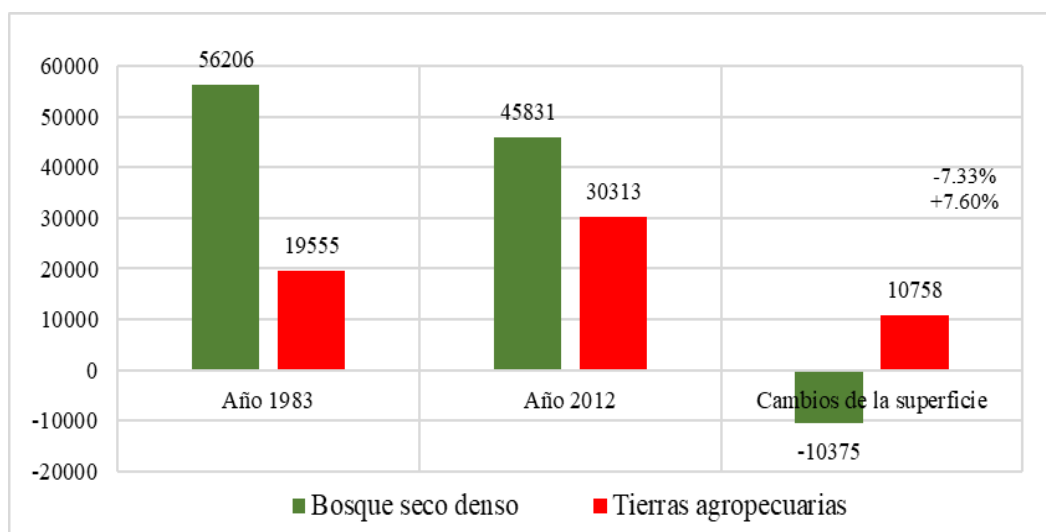


Figura 10. Principal cambio neto del uso y cobertura del suelo para los cantones Zapotillo y Pindal.

Los cambios netos positivos más significativos se dan en la cobertura Tierras agropecuarias, las cuales han incrementado en un 7.60 % (10 758 ha) del área total. Por otro lado, se presentan cambios netos negativos en la cobertura Bosque seco denso (-10 375 ha), que representa el -7.33 % del área total de la superficie. Las mismas han experimentado una mayor proporción de pérdidas con respecto a las ganancias que obtuvieron en el periodo analizado.

4.1.2. Modelación de los cambios de uso del suelo futuros, en base al Land Change Model.

Se realizó la predicción para el periodo 2030, tomando como base la interacción de los mapas de cambios de uso y cobertura del suelo de los años 1983 y 2012, es decir, 18 años a partir del periodo de referencia (2012). De esta manera se obtuvo la probabilidad de cambio de cuatro grandes grupos de coberturas naturales (bosque seco denso, bosque seco semidenso, matorral desértico y matorral seco semidenso) frente a las tierras agropecuarias.

A continuación, se presenta un gráfico de barras que describe la cantidad de área que en base al LCM se espera que cambie de 2012 a 2030 en las clases de coberturas antes mencionadas. Las coberturas bosque siempre verde piemontano, cuerpos de agua, suelo desnudo y zona urbana no fueron consideradas porque el modelo no predijo cambio considerable (Figura 11).

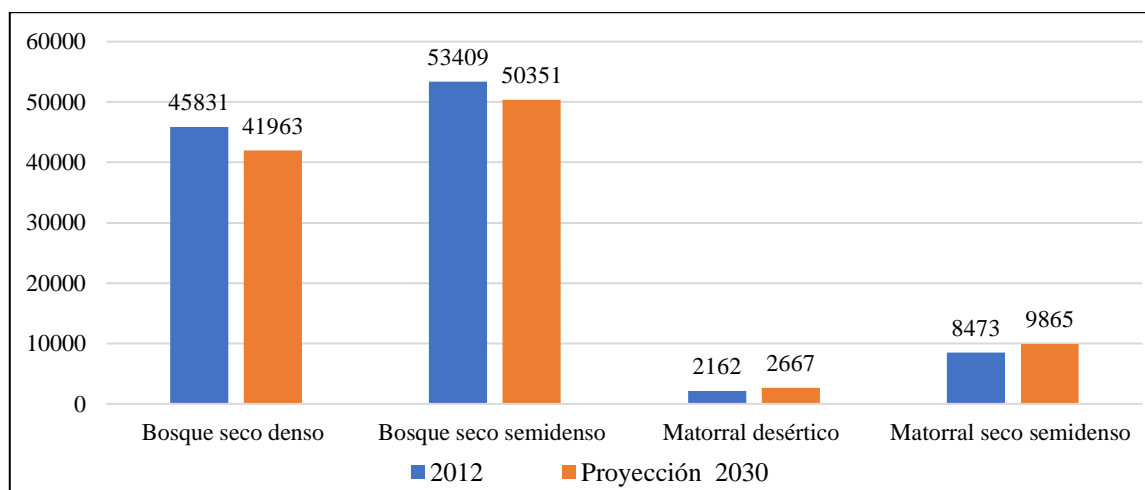


Figura 11. Cambios entre las coberturas 2012 al modelo proyectado a 2030 para los cantones Zapotillo y Pindal. Fuente. Elaboración propia

Según los datos arrojados por el modelo LCM para el año 2030 se pronostica que el área de bosque seco denso disminuye 3 868 ha que representa el 1.69 % en relación al año 2012; seguido del bosque seco semidenso con una disminución de 3 058 ha que representa el 0.59 % de la superficie total. Sin embargo, el matorral desértico presentará incrementos de 505

ha que representa el 0.58 %, así como la cobertura matorral seco semidenso incrementarán 1 392 ha que en términos porcentuales representa el 1.70 % de la superficie total.

4.1.2.1. *Bosque seco denso frente a tierras agropecuarias.*

En la figura 12, para el año 2030 la interacción bosque seco denso frente a tierras agropecuarias indican que el 31.6 % del total de la cobertura analizada presentarán una probabilidad de cambios muy baja; el 12 % una probabilidad baja; el 21.7 % una probabilidad media; el 31.9 % una probabilidad alta; y finalmente el 2.8 % presentará una probabilidad de cambios muy alta.

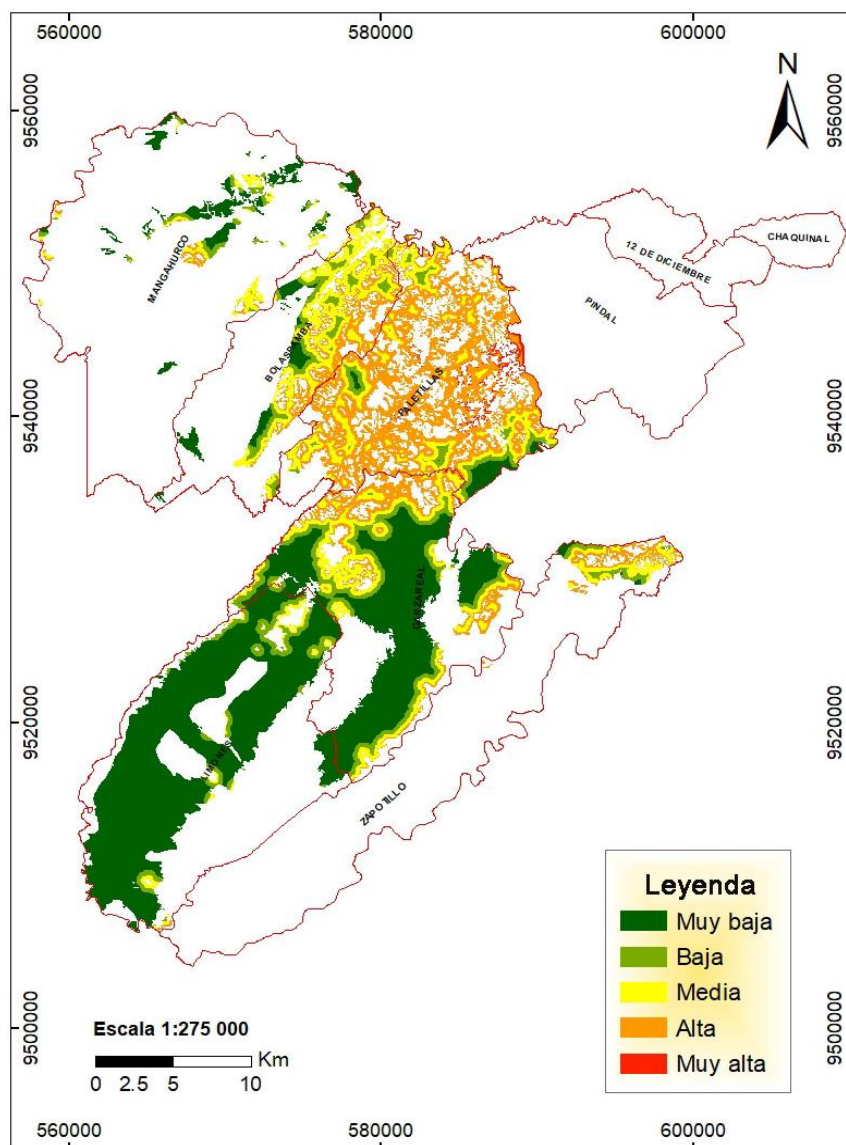


Figura 12. Mapa de probabilidad de cambio proyectado al 2030 para la cobertura Bosque seco denso. Fuente. Elaboración propia

En la figura 13 se observa que el 3.42 % (368 ha) de la parroquia Palletillas y el 16% (6 ha) de la parroquia Pindal presentarán una probabilidad de cambio muy alta, mientras que el 88.30 % (10 602 ha) de la parroquia Limones y el 60.23 % (6 525 ha) de la parroquia Garzareal presentarán una probabilidad de cambios muy baja; lo que significa que tanto en el cantón Zapotillo y Pindal se presentarán cambios en la cobertura analizada para el año 2030.

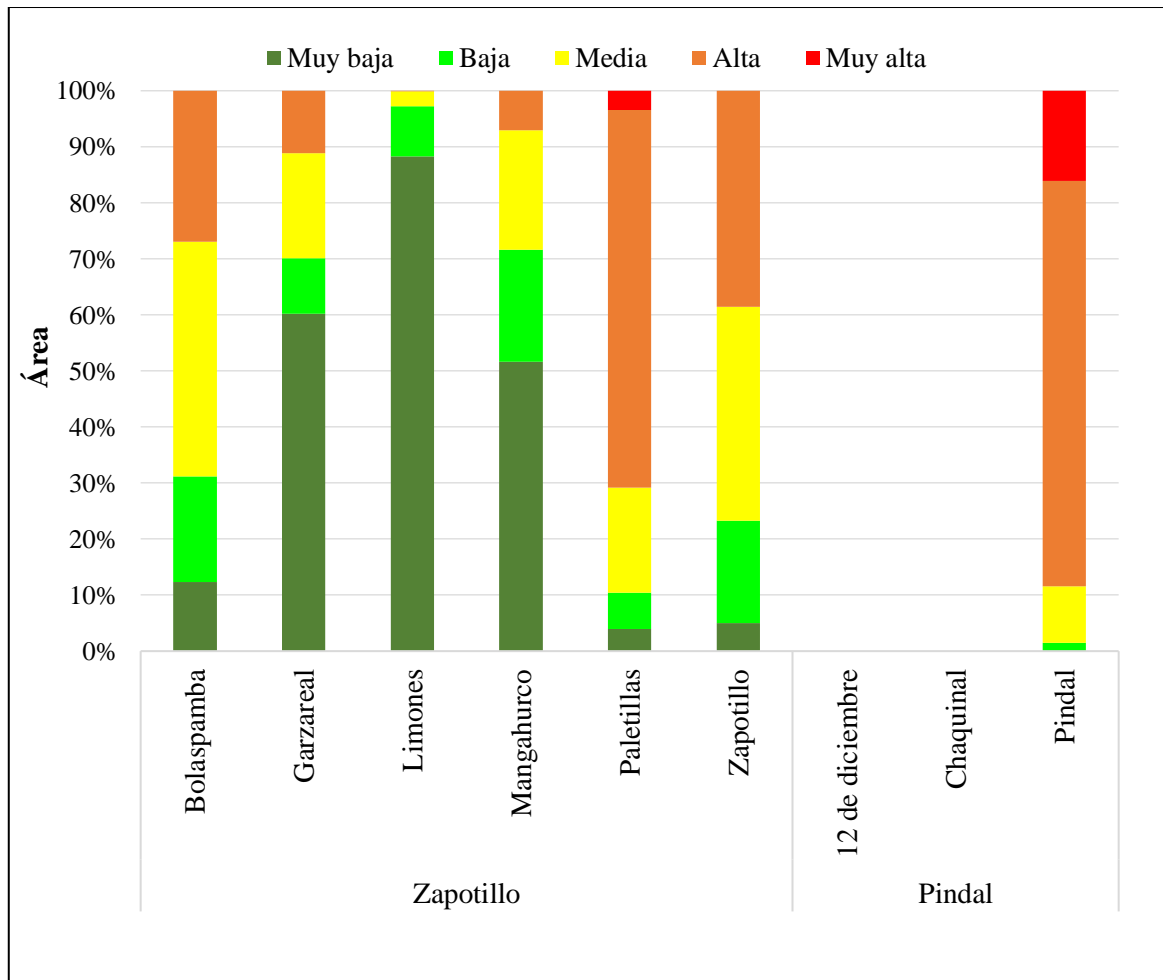


Figura 13. Probabilidad de cambio del bosque seco denso al 2030 por cantones y parroquias.
Fuente. Elaboración propia.

4.1.2.2. Bosque seco semidenso frente a tierras agropecuarias.

En la figura 14 se observa que la interacción bosque seco semidenso frente a tierras agropecuarias indican que el 30.3 % del total de la cobertura analizada presentarán una probabilidad de cambios muy baja; el 13.3 % una probabilidad baja; el 11.7 % una probabilidad media; el 12.2 % una probabilidad alta y por último el 32.5% presentarán una probabilidad de cambios muy alta.

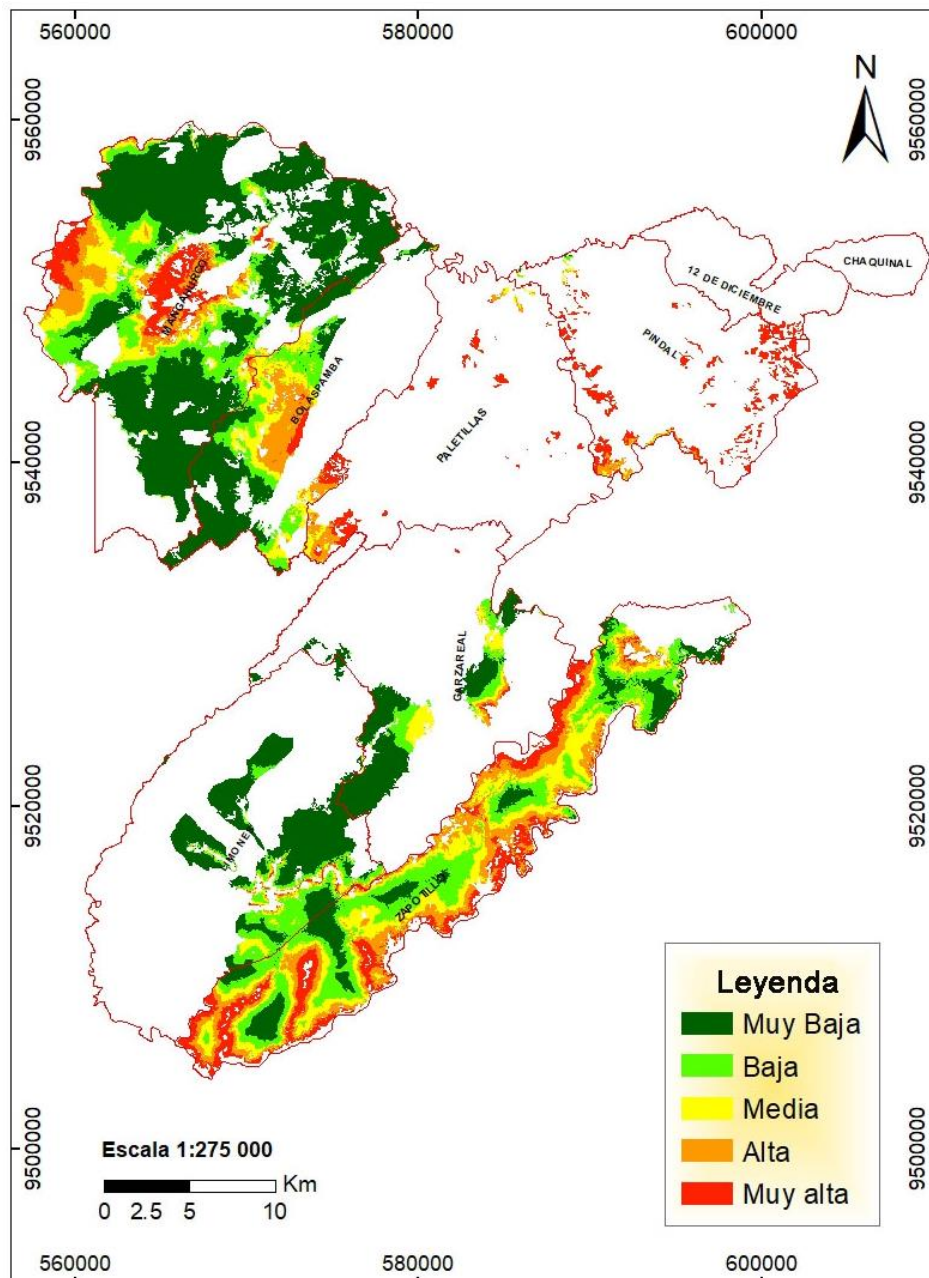


Figura 14. Mapa de probabilidad de cambio proyectado al 2030 para la cobertura Bosque seco semidenso
Fuente. Elaboración propia.

En la figura 15 se observa que el 100 % (95 ha) en la parroquia 12 de Diciembre; el 3.7 % (215 ha) en Bolaspamba; el 1.2 % (38 ha) en Garzareal; el 1.22 % (67 ha) en Limones; el 6.95 % (1 231 ha) en Mangahurco; el 50.63 % (837 ha) en Paletillas; el 15.96 % (2 509 ha) en Zapotillo y por último el 81 % (1 104 ha) en la parroquia Pindal presentarán una probabilidad de cambios muy alta, mientras que el 66 % (3 607 ha) de la parroquia Limones; el 64.40 % (2 5098 ha) de la parroquia Garzareal y por último el 58.68 % (10 401) de la parroquia Mangahurco presentarán una probabilidad de cambios muy baja. Por lo que se puede decir que tanto en el cantón Zapotillo y Pindal presentarán cambios para el año 2030.

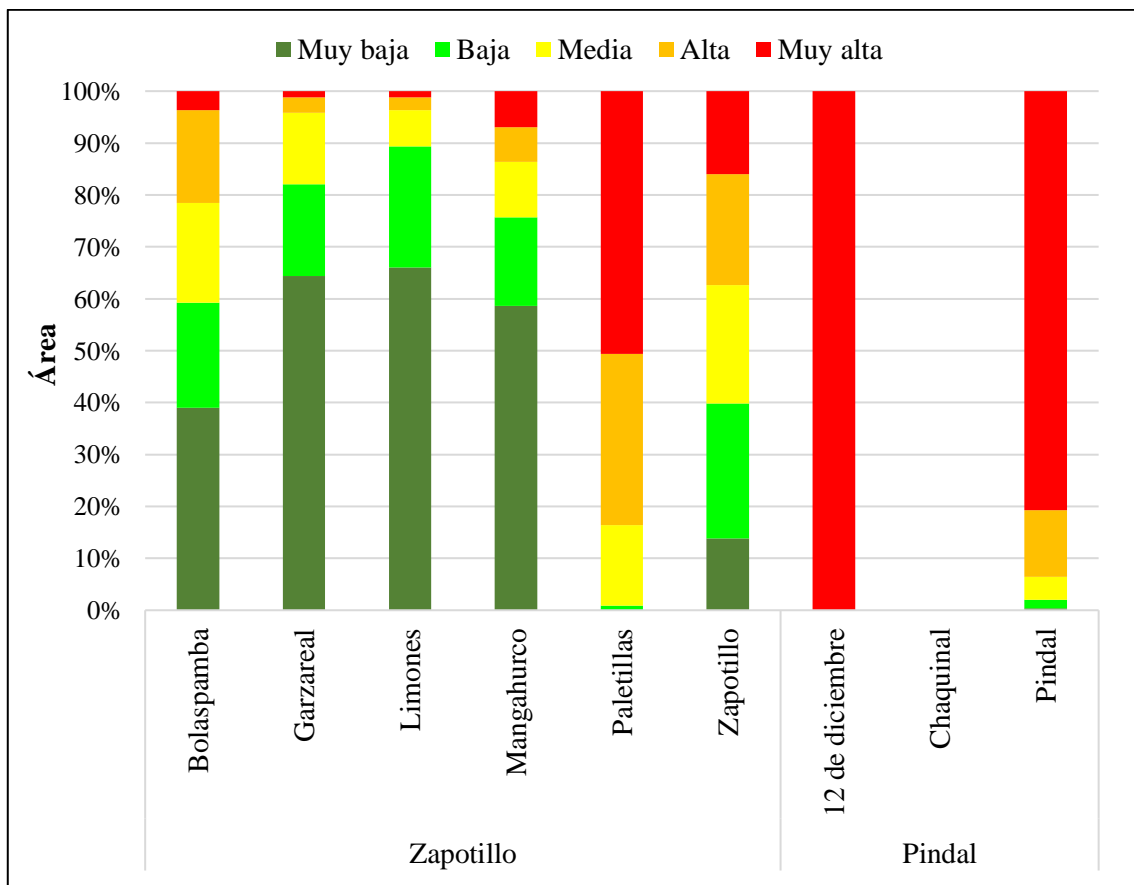


Figura 15. Probabilidad de cambio del bosque seco semidenso al 2030 por cantones y parroquias.
Fuente. Elaboración propia.

4.1.2.3. Matorral desértico frente a tierras agropecuarias.

En la figura 16, la transición matorral desértico frente a tierras agropecuarias indican que el 83.70 % del total de la cobertura analizada presentarán una probabilidad de cambios muy baja; el 1.78 % una probabilidad baja; el 4.72 % una probabilidad media; el 2.62 % una probabilidad alta y finalmente el 7.19 % presentará una probabilidad de cambios muy alta.

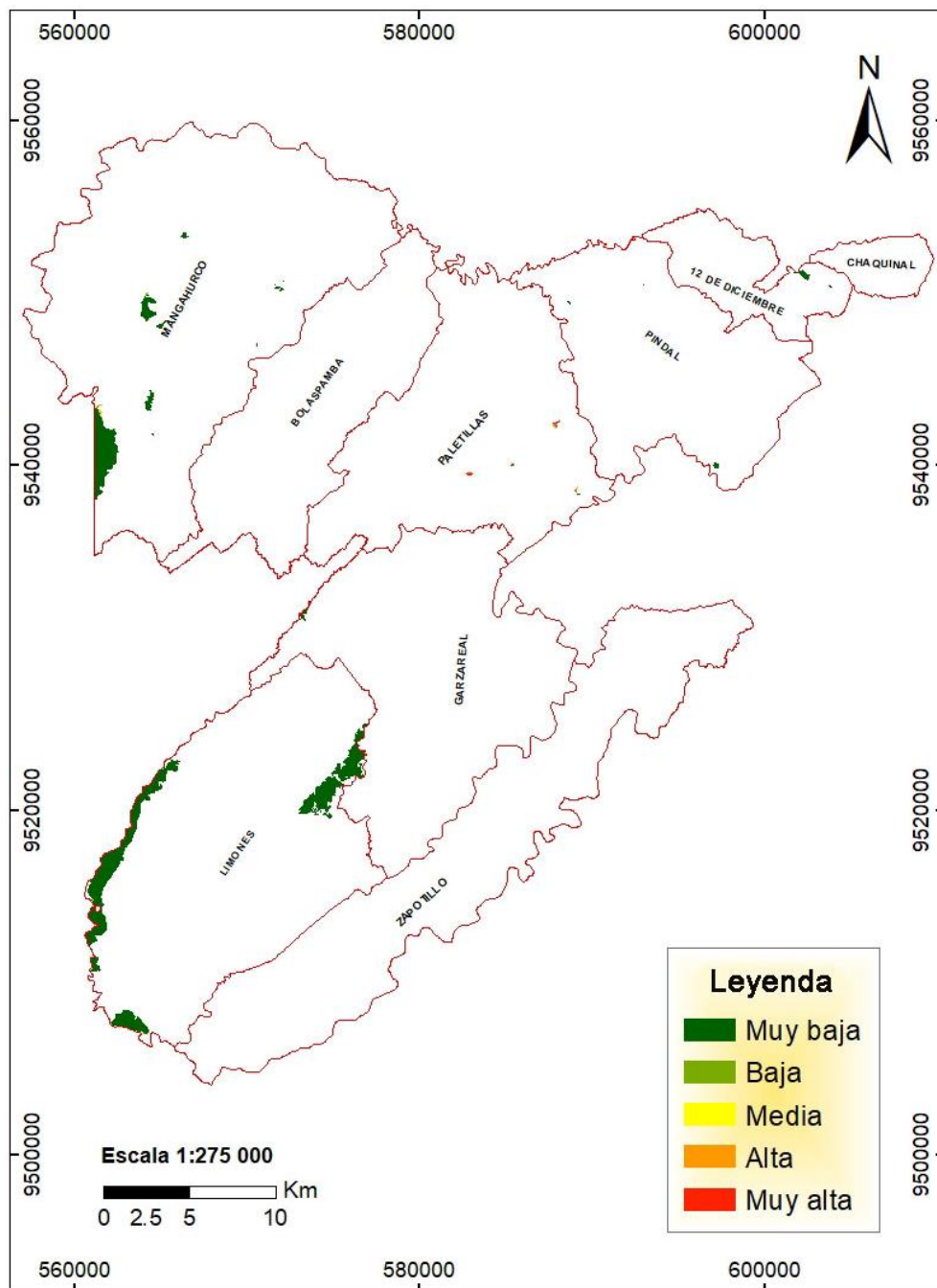


Figura 16. Mapa de probabilidad de cambio proyectado al 2030 para la cobertura Matorral desértico. Fuente. Elaboración propia.

En el gráfico de la figura 17 se puede observar que el 50 % (28 ha) de la parroquia Paletillas y el 0.34 % (3 ha) de la parroquia Mangahurco presentarán una probabilidad de cambios muy alta, mientras que las parroquias restantes no presentarán cambios exagerados en esta cobertura.

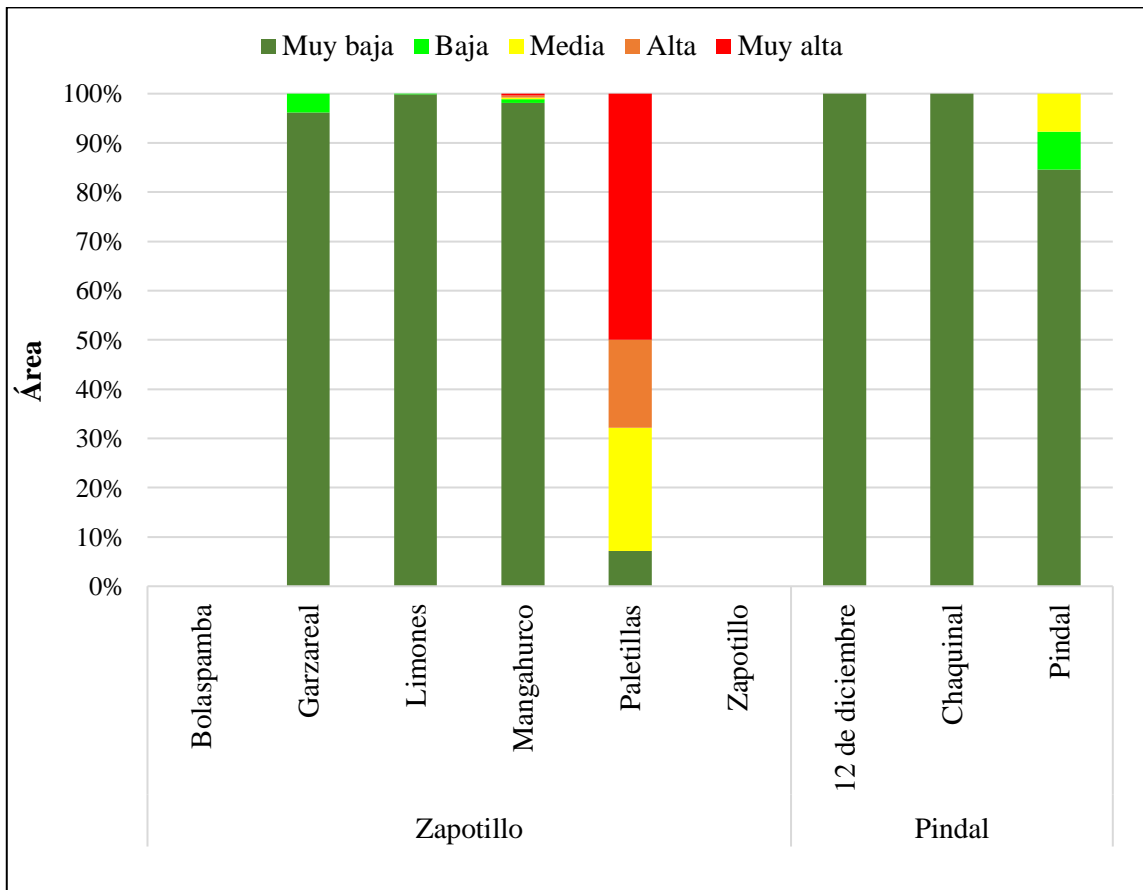


Figura 17. Probabilidad de cambio del matorral desértico al 2030 por cantones y parroquias.
Fuente. Elaboración propia

4.1.2.4. Matorral seco semidenso frente a las tierras agropecuarias.

La interacción matorral seco semidenso frente a tierras agropecuarias indican que el 60.69 % del total de la cobertura analizada presentarán una probabilidad de cambios muy baja; el 0.77 % una probabilidad baja; el 1 % una probabilidad media; el 1.72 % una probabilidad alta y finalmente el 35.82 % presentarán una probabilidad de cambios muy alta (figura 18).

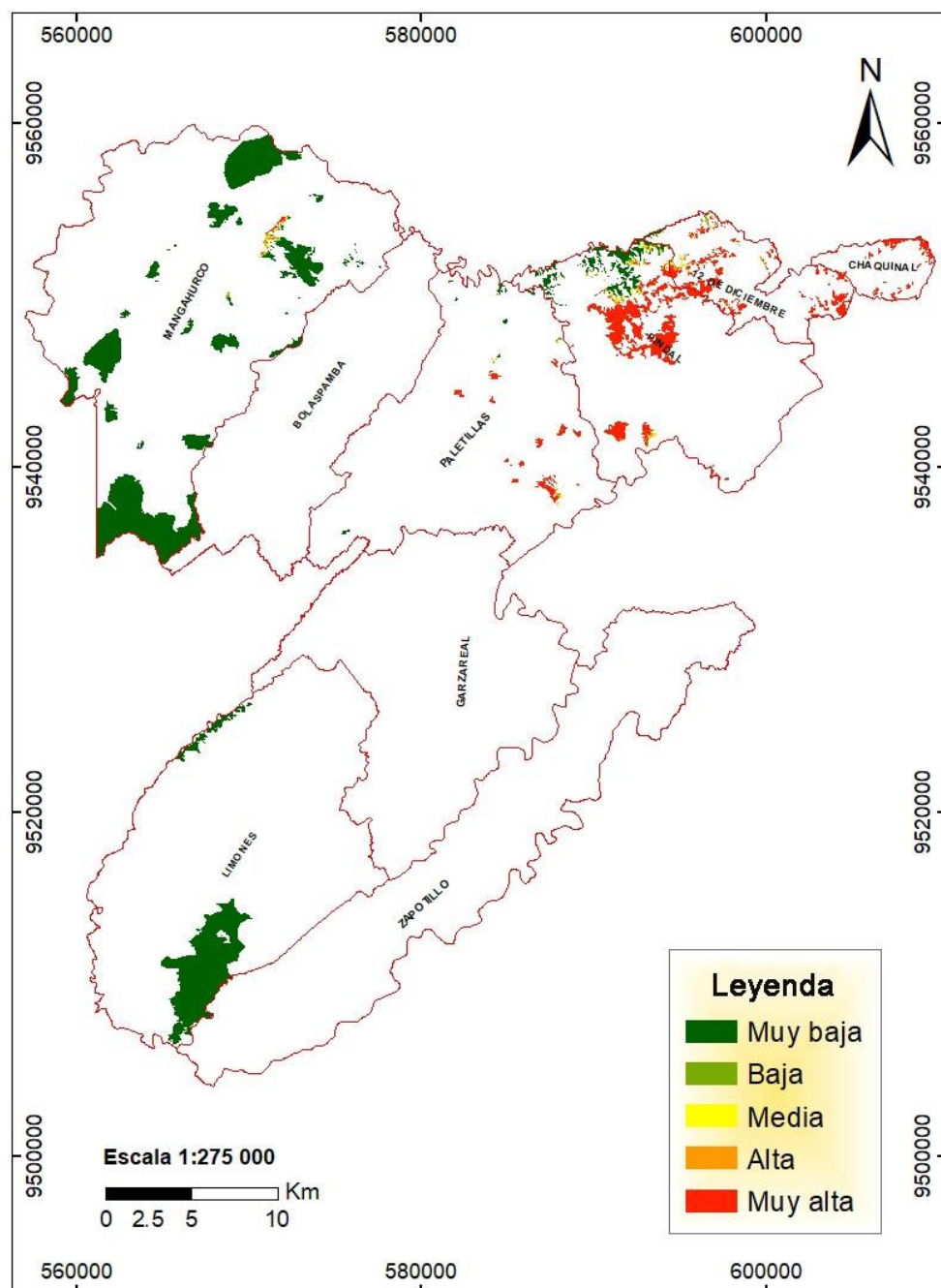


Figura 18. Mapa de probabilidad de cambio proyectado al 2030 para la cobertura Matorral seco semidenso
Fuente. Elaboración propia.

En la figura 19 la proyección resultante indica que el 67.65 % (1 357 ha) en la parroquia Pindal; el 72.69 % (189 ha) en Paletillas; el 100 % (151 ha) en Chaquinal; el 0.39 % (19 ha) en Mangahurco y por ultimo el 82 % (472 ha) de la parroquia 12 de Diciembre presentarán una probabilidad de cambios muy alta, mientras que las parroquias Bolaspamba, Garzareal, Limones y por ultimo Zapotillo presentarán pobabilidades de cambio muy baja.

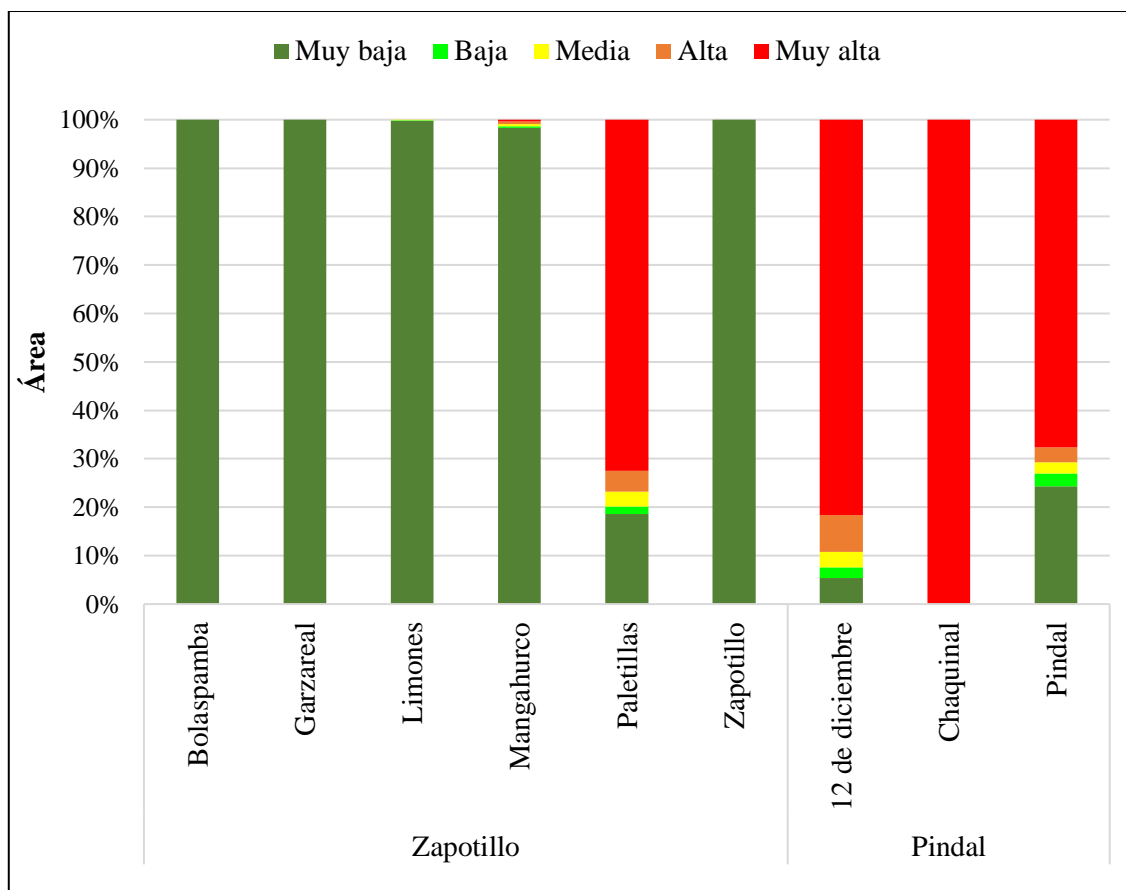


Figura 19. Probabilidad de cambio del matorral seco semidenso al 2030 por cantones y parroquias.
Fuente. Elaboración propia.

4.2. EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO EN FUNCIÓN DEL CAMBIO DE USO Y LA INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN

A continuación, se detallan cada uno de los mapas de las diferentes variables que conforman la Ecuación de la RUSLE, entre ellas el cambio de uso del suelo y la intensidad de precipitación.

4.2.1. Mapa del índice de erosividad (R) del cantón Zapotillo y Pindal.

Como se observa en la figura 20, los valores obtenidos del factor R se encuentran entre 2825 y 4749 Mj.mm/ha.h.año, dentro de la zona de estudio.

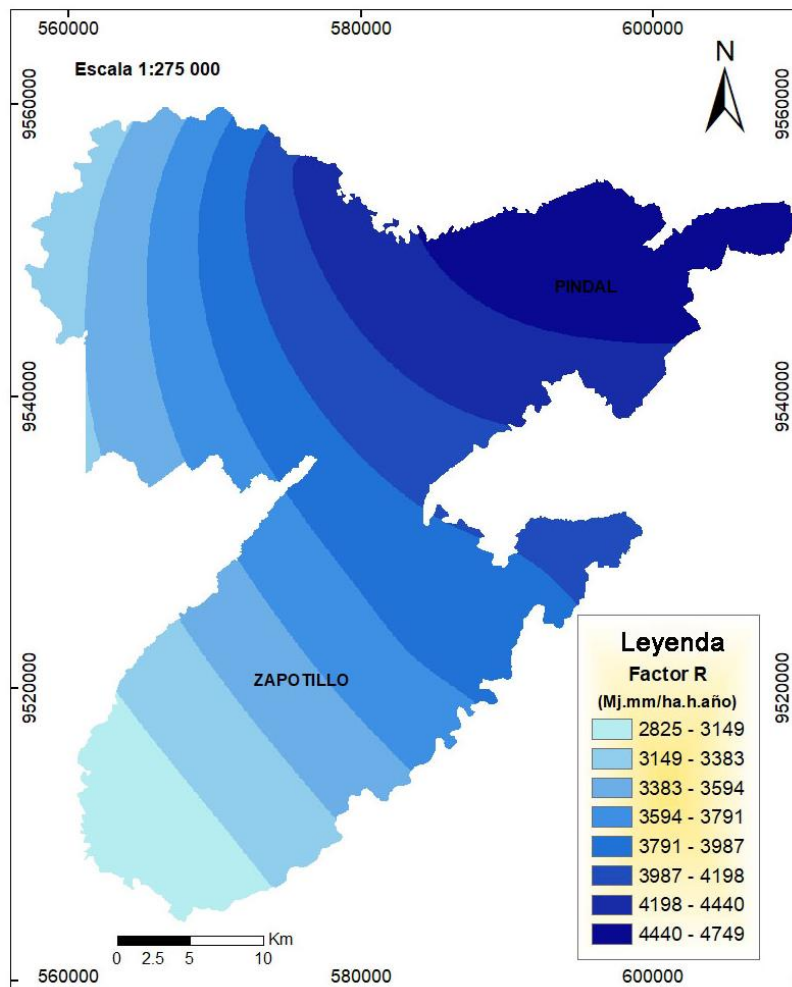


Figura 20. Mapa de erosividad (Factor R)

Fuente. Elaboración propia con datos proporcionados por el INAMHI

En base a los resultados que se muestran en la figura 20, se determina que el cantón Pindal tiene valores altos de R que oscilan de 3987 a 4749 Mj.mm/ha.h.año. A partir de este

tipo de información, se puede decir que, el suelo de este cantón es propenso al proceso erosivo de la precipitación que se inicia por el efecto de la salpicadura de las gotas de lluvia, debido al índice de erosividad elevado presente en esta zona.

Mientras que, en la parte sur del cantón Zapotillo existen valores bajos que van de 2825 a 3986 Mj.mm/ha.h.año. Por lo que el índice de erosividad tiende a disminuir a medida que se va dirigiendo hacia la zona fronteriza con la Republica del Perú, pudiendo decir que estos sectores son menos propensos a sufrir procesos erosivos por precipitación.

Tomando en consideración los antes mencionado, se afirma que el cantón Pindal es más susceptible a erosión hídrica.

4.2.2. Mapa del factor de erodabilidad (factor K) del cantón Zapotillo y Pindal

A continuación, se detalla la erosión en relación al tipo de suelo que poseen los cantones Zapotillo y Pindal de la provincia de Loja.

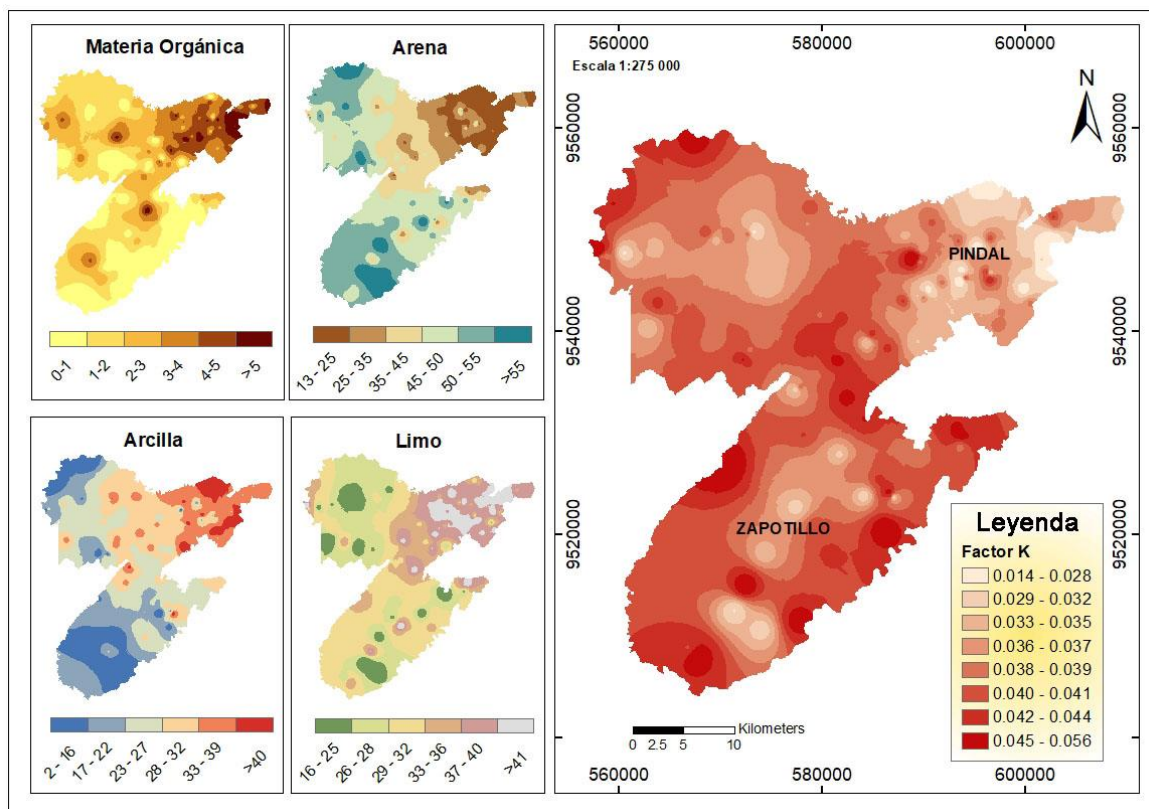


Figura 21. Mapa de erodabilidad del suelo (Factor K)
Fuente. Elaboración propia con datos descargados del IEE

Como podemos observar la figura 21, representa el mapa de erodabilidad del suelo (factor K). El factor K expresa la susceptibilidad del suelo a ser erosionado. Encontrándose los valores más altos al norte, sur y parte céntrica del cantón Zapotillo. Mientras que los valores más bajos se extienden por todo el cantón Pindal y unas pequeñas áreas en el cantón Zapotillo. Cabe mencionar que los valores de K oscilan entre 0.014 a 0.056 ton.ha.h/Mj.mm.ha.

Tanto en el cantón Zapotillo y Pindal, los suelos con alto contenido de arcilla y materia orgánica tienen bajos valores de K, que oscilan de 0.014 a 0.035 ton.ha.h/Mj.mm.ha, por su persistencia al desprendimiento de partículas del suelo. A continuación, tenemos los suelos con texturas gruesas, como los suelos arenosos, los cuales tienen valores moderados de K, que van de 0.036 a 0.041 ton.ha.hr/Mj.mm.ha, estos son moderadamente susceptibles a erosión.

Finalmente tenemos los suelos con alto contenido de limo que son los más erodables debido a su baja permeabilidad, sus valores oscilan entre 0.042 a 0.056 ton.ha.hr/Mj.mm.ha.

4.2.3. Factor de la cobertura vegetal (factor C)

En tabla 3 se presenta los valores correspondientes al factor C para cada cobertura del año 1983 y 2012 encontradas dentro de la zona de estudio.

Tabla 3. Ponderación de los valores del factor C para cada tipo de cobertura vegetal

	Coberturas	1983 ha	2012 ha	Factor C
1	Bosque seco	56206	45831	0.003
2	Bosque seco semidenso	54712	53409	0.013
3	Bosque siempre verde piemontano	1305	515	0.001
4	Cuerpos de agua	694	578	0
5	Matorral desértico	1701	2162	0.176
6	Matorral seco semidenso	7288	8473	0.153
7	Suelo desnudo	70	189	1
8	Tierras agropecuarias	19555	30313	0.202
9	Zona urbana	95	156	0.1

Fuente. Elaboración propia

El factor C es un índice del grado de cobertura y protección que presenta la vegetación, representada en los mapas de cobertura vegetal. La estimación del factor C es de suma importancia, ya que, es el más variable y sujeto a cambios.

En la tabla 3 y figura 5, se puede evidenciar que el bosque seco semidenso cubre 53 409 ha en toda la zona de estudio, extendiéndose por la parte norte y sur del cantón Zapotillo y unas pequeñas áreas en la parte sur oeste del cantón Pindal, adquiriendo un valor de ponderación según Lianes *et al.*, (2009) de 0.013, siendo muy importante al momento de impedir la erosión hídrica. A continuación, tenemos el bosque seco denso, cuya ponderación para el factor C es de 0.003 siendo un valor muy bajo por lo que impide la erosión al momento de precipitaciones considerables. Este tipo de cobertura se extiende desde noreste a la parte suroeste del cantón Zapotillo abarcando 45 831 ha. Finalmente encontramos el bosque siempre verde pie montano, cuyo valor de C es de 0.001 siendo este el valor más bajo y el que mayormente impide la erosión.

Seguidamente tenemos las tierras agropecuarias que abarcan (cultivos de maíz, cultivos anuales, cultivos asociados tropicales y pastizales) mismas que se extienden por todo el territorio del cantón Pindal y unas pequeñas áreas en el cantón Zapotillo, ocupando 30 313 ha en total del territorio. El valor de ponderación para este tipo de cobertura vegetal es el más alto del grupo con un valor de 0.202 y es el que menos contribuye a la conservación de los suelos.

En la zona de estudio se logró determinar en varias localidades suelos desnudos o descubiertos totalmente de cobertura vegetal, cubriendo 189 ha del total del terreno. Para este tipo de casos el valor de ponderación es de 1, ya que, están más propensos al desprendimiento del suelo en el momento de las precipitaciones.

Estos valores fueron recopilados de varias investigaciones realizadas con la utilización de la ecuación RUSLE, sin embargo, se ha considerado que los más adecuados en esta investigación son los presentados por Wischmeier y Smith (1978); Haan *et al.*, (1982) citado por Flores *et al.*, (2003); Lianes *et al.*, (2009) y varios autores mencionados en el Anexo 5.

4.2.4. Longitud y grado de la pendiente (factor LS) del cantón Zapotillo y Pindal

A continuación, se muestra que los resultados en los diferentes tipos de relieve del área de estudio se agruparon en cinco categorías (García, González, Núñez, Serrano, y Vilchez, 2016), cuyo resultado se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Descripción de los rangos del Factor LS

Rango LS	Superficie (ha)	Superficie (%)	Clases
0.003 - 2.5	62663	44.24	Muy suave
2.5 - 5	41698	29.44	Suave
5 - 10	34135	24.1	Moderada
10 - 50	2964	1.9	Fuerte
50 - 70	23	0.016	Muy fuerte
Total	141 626	100	

Fuente. Elaboración propia con datos proporcionados por el SNI

En la tabla 4 y figura 22, se puede observar los valores de longitud y gradiente de la pendiente. Encontrándose que el 44.24 % del área total presenta una topografía muy suave con valores que van desde 0.03 a 2.5, ubicándose en los valles tanto del cantón Zapotillo y Pindal; el 29.4 % del territorio presenta una condición suave, con valores que van desde 2.5 a 5, ubicándose principalmente en el cantón Zapotillo y el 24.1% corresponden a una condición moderada, con valores que van de 5 a 10. En cambio, las condiciones de pendiente fuerte corresponden a las laderas del cantón Zapotillo y Pindal con valores que van desde 10 a 50 y representan el 1.9 % del total del territorio. Finalmente se encuentra en un 0.016 % una

topografía muy fuerte con valores que van desde 50 a 70, extendiéndose especialmente por donde se dirigen los cauces.

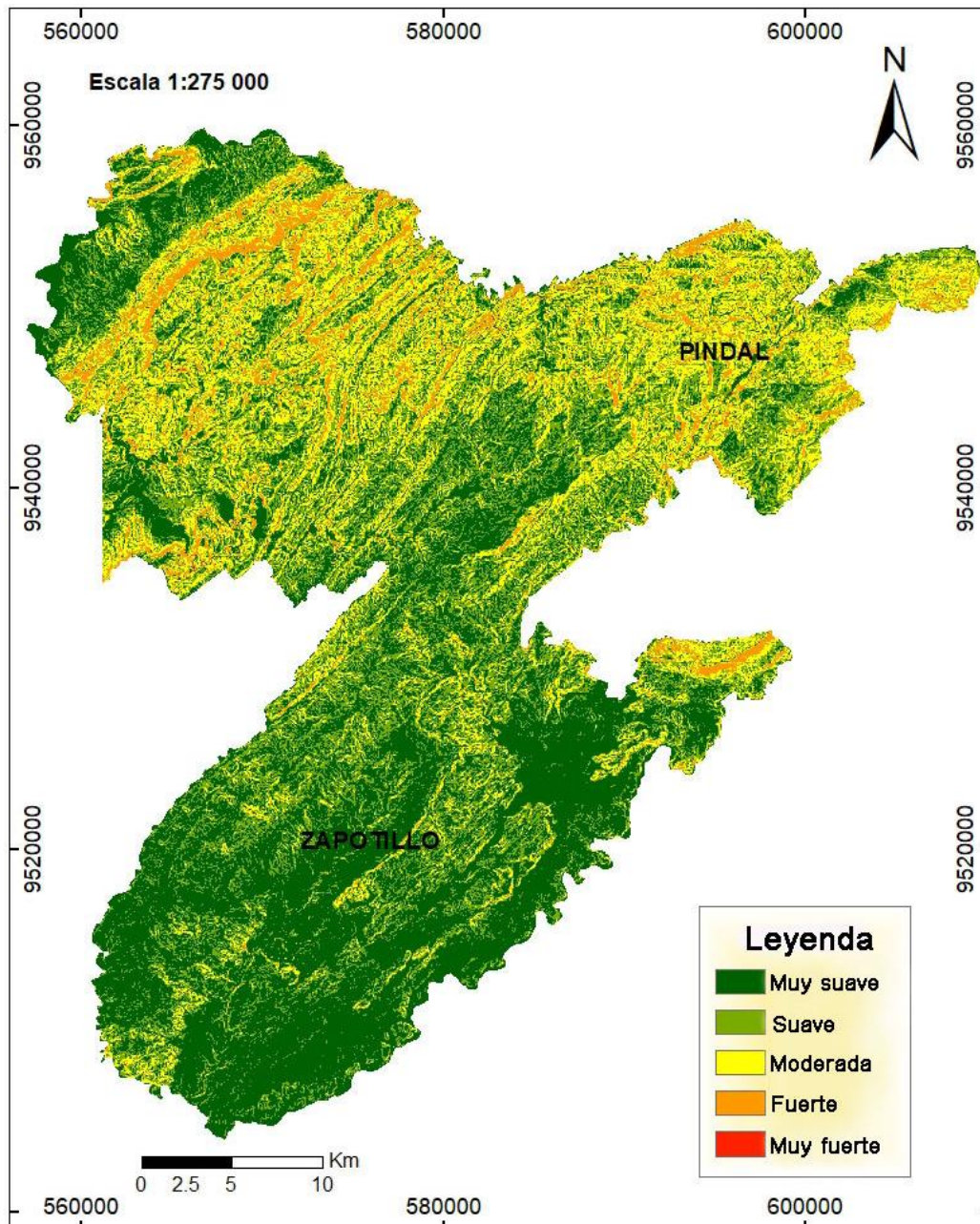


Figura 22. Mapa de topografía del terreno o factor LS
Fuente. Elaboración propia con datos proporcionados por SIN

4.2.5. Erosión hídrica del suelo.

A continuación, se presentan las tasas de erosión hídrica de los cantones Zapotillo y Pindal (Figuras 23 y 24).

En la tabla 5, se observa la pérdida de suelo del cantón Zapotillo y Pindal, susceptibilidad a la erosión hídrica, la superficie en hectáreas y porcentajes que representan tanto para el año 1983, 2012 y su proyección para el año 2030.

Tabla 5. Pérdidas del suelo de los cantones Zapotillo y Pindal

Pérdida del suelo Ton/ha/año	Susceptibilidad a la erosión hídrica	Superficie 1983 (ha)	Área (%)	Superficie 2012 (ha)	Área (%)	Superficie 2030 (ha)	Área (%)
0 - 10	Muy baja	101629	71.76	91390	64.53	84480	59.65
10 - 25	Ligera	16496	11.65	15293	10.80	15440	10.90
25 - 50	Baja	4061	2.87	5310	3.75	6275	4.43
50 - 100	Moderada	6411	4.53	8899	6.28	10540	7.44
100 - 200	Alta	9599	6.78	15050	10.63	17655	12.47
>200	Muy alta	3425	2.42	5679	4.01	7231	5.11
		141621	100	141621	100	141621	100

Fuente: Elaboración propia

Para lograr dichos resultados se agrupo los valores de erosión en seis categorías, empleado la clasificación provisional para la evaluación de la degradación de los suelos confeccionada por la FAO, PNUMA y UNESCO, según (Florentino, Gauardo, García, y Rodríguez, 2004).

4.2.5.1. *Mapa de la tasa de erosión hídrica del año 1983 y 2012 de la zona de estudio.*

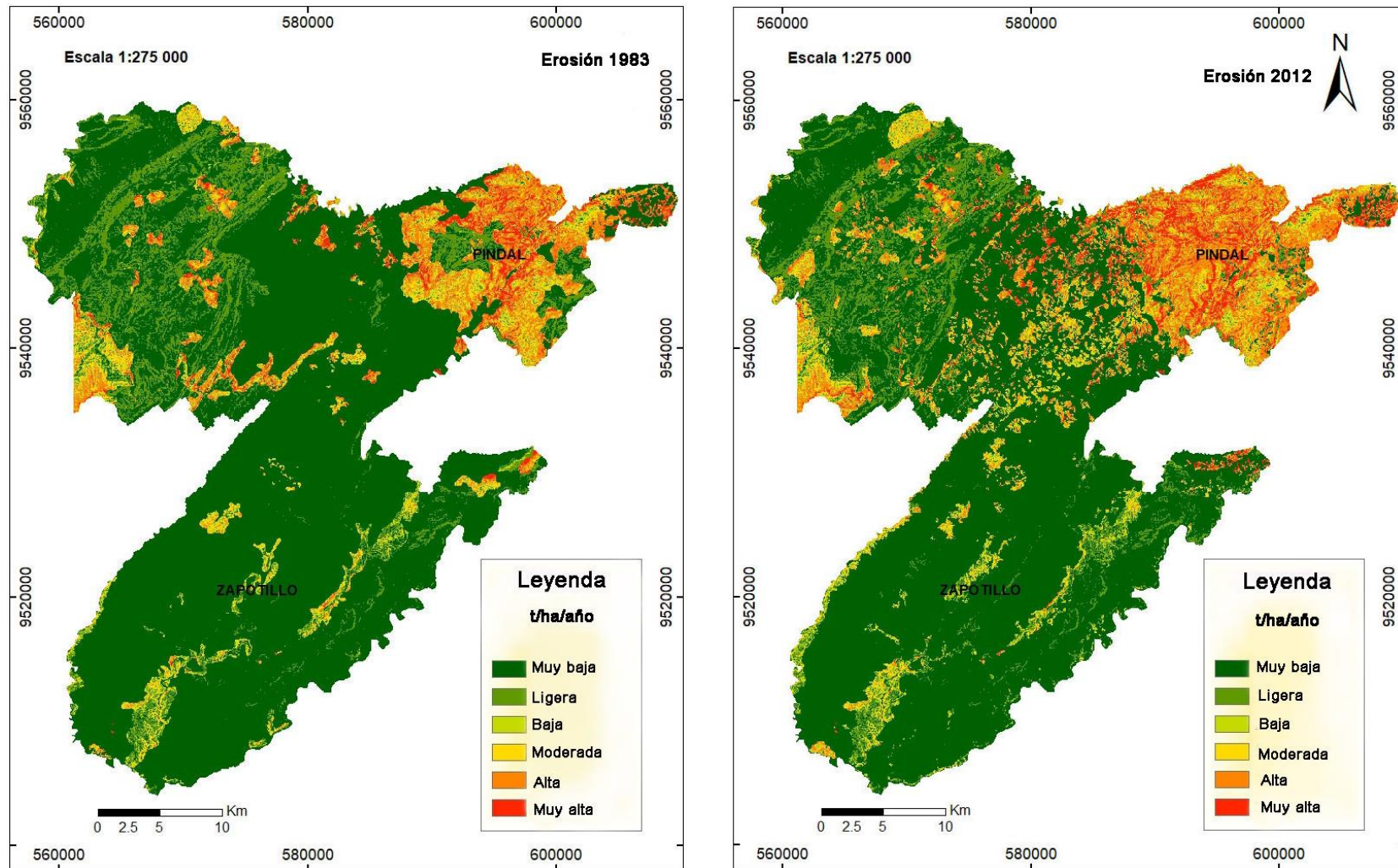


Figura 23. Erosión hídrica del año 1983 y 2012 en los cantones Zapotillo y Pindal
Fuente. Elaboración propia

Según el modelo analizado, en la tabla 5 y figura 23, se puede observar que la erosión que predomina va de 0 a 10 t/ha/año, donde para el año 1983 las pérdidas de suelo ocupan una extensión 101 629 ha que representan el 71.76 % del total del territorio. Mientras que para el año 2012 la pérdida del suelo abarca una superficie de 91 390 ha que representan el 64.53 %, estas se ubican especialmente en el cantón Zapotillo y unas pequeñas áreas en el cantón Pindal. Este tipo de erosión se debe especialmente a que gran parte del territorio del cantón Zapotillo está cubierto por bosque seco denso y semidenso además de presentar lugares donde la pendiente del terreno es ligera, las precipitaciones en el periodo lluvioso son bajas y la textura de los suelos es arcillosa. Estos factores influyen en la determinación del grado de erosión de un área dada y es por ello que las pérdidas de suelo son bajas en estas condiciones.

Seguidamente tenemos las pérdidas de suelo con valores que van de 10 a 25 t/ha/año, la cual para el año 1983 ocupa una extensión de 16 496 ha, aproximadamente el 11.65 % del territorio. De la misma manera para el año 2012 la pérdida del suelo posee una extensión de 15 293 ha que representan el 11.65 % del total del territorio, ubicándose mayormente en el cantón Zapotillo y pequeñas áreas en el cantón Pindal, donde la vegetación es semidensa o la pendiente del terreno es elevada, con iguales condiciones de lluvia y suelo a las anteriores.

A continuación, se observa de forma general que para el año 1983 el 2.87 % del área de estudio se encuentra en la categoría de susceptibilidad a la erosión hídrica baja (25 a 50 t/ha/año), mientras que para el año 2012 el 3.75 % pertenece a la categoría antes mencionada; seguidamente se encuentra la categoría moderada con valores que oscilan de 50 a 100 t/ha/año, representando valores bajos en proporción al área de estudio, esto significa que se pierde gran cantidad de suelo.

La pérdida del suelo que va desde 100 a 200 t/ha/año para el año 1983 cubre una extensión de 9 599 ha que representa el 6.78 % del territorio. Mientras que para el año 2012 ocupa una extensión de 15 050 ha, es decir el 10.63 %, ubicándose mayormente en el cantón Pindal, lo que representa una susceptibilidad a erosión hídrica alta, Finalmente, la pérdida de suelo para el año 1983 ocupa 3 425 ha, es decir, un 2.42 % del terreno. Mientras que para el año 2012 cubre una extensión de 5 679 ha lo que representa un 4.01 % del total del territorio.

4.2.5.2. Mapa de la tasa de erosión hídrica para el año 2030.

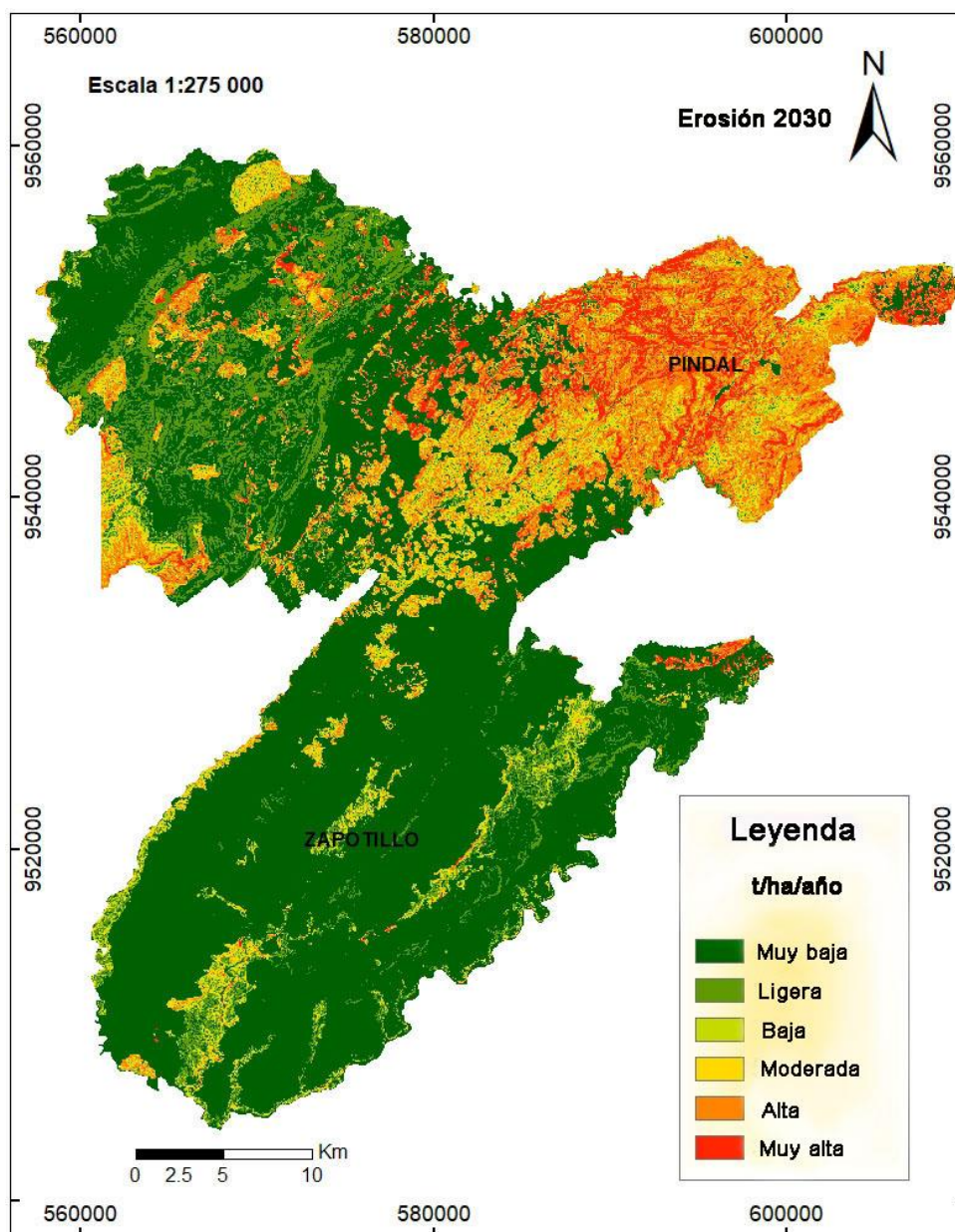


Figura 24. Proyección de Erosión hídrica para el año 2030 en los cantones Zapotillo y Pindal
Fuente. Elaboración propia

En la figura 24, según el modelo aplicado se puede observar de forma general que el 59.65 % (84 480 ha) del área de estudio se encontrará en la categoría muy baja, con una tasa de erosión hídrica de 0 – 10 t/ha/año, ubicándose mayormente en el cantón Zapotillo, seguido de la categoría ligera que cubre el 10.90% (15 440 ha) del área total, con una tasa de erosión de 10 – 25 t/ha/año. Le sigue la pérdida de suelo que va desde 25 a 50 t/ha/año con una susceptibilidad a la erosión hídrica baja que cubre el 4.43 % (6 275 ha) del área de estudio ubicado mayormente en la parte norte y sur del cantón Zapotillo. A continuación, está la categoría moderada que cubre el 7.44 % (10 540 ha) de la superficie total, con una tasa de erosión hídrica de 50 a 100 t/ha/año. La erosión con valores que van desde 100 a 200 t/ha/año cubren el 12.57 % (17 655 ha) del área total de estudio, específicamente en el cantón Pindal. Finalmente, el 5.11 % (7 231 ha) del área de estudio se encontrará en la categoría muy alta, con una tasa de erosión mayor a 200 t/ha/año, ubicándose en mayor proporción en el cantón Pindal.

5. DISCUSIÓN

A partir del análisis de los resultados, se puede entender el comportamiento progresivo de los cambios del uso del suelo, frente a procesos erosivos en un periodo de 29 años (1983 - 2012) en los cantones Zapotillo y Pindal.

5.1. CAMBIOS DE USO DEL SUELO DEL PERIODO 1983-2012, Y SU PROYECCIÓN FUTURA

En los cambios de uso del suelo algunas partes del terreno son modificadas intensamente al ser utilizadas con fines agropecuarios, actividades socioeconómicas o como asentamientos humanos (Semarnat, 2012). Asimismo el cambio de uso de suelo se puede concebir como la suma de las transiciones físicas del uso del suelo asociado a las acciones humanas a través del tiempo (Bocco, López, y Mendoza, 2001).

Estudios realizados indican que en la provincia de Loja se encuentra la mayor superficie de bosque seco del país, albergando una diversidad única de flora y fauna con un alto nivel de endemismo; por lo que se convierte en una de las regiones más importantes para la conservación (Aguirre Geada, 2017).

Los cantones Zapotillo y Pindal en el año 1983, presentaron siete usos y coberturas del suelo, siendo más representativos los bosques secos, con una extensión de 104 510 ha, lo cual representa el 74.6 % de la superficie total (INEFAN, 1999). En esta investigación se identificó nueve usos y coberturas del suelo, siendo los más relevantes los bosques secos con una extensión 110 918 ha, que representan el 77.32 %. Mientras que para el año 2012, el Senplades, (2015) en su actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, reportó una superficie de bosque seco de 98 966.2 ha. En esta investigación para el mismo año (2012) la cobertura vegetal de bosque seco presenta un área de 99 755 ha, que corresponden al 70.43 % de la superficie total.

Los cambios más significativos a lo largo de los 29 años que comprende este estudio, se dan en el bosque seco denso, el cual ha disminuido de 56 206 ha en el año 1983 a 45 831 ha para el año 2012, que representa el -7.33 %. Observándose la misma tendencia en el bosque seco semidenso y bosque siempre verde. Esta disminución se debe a la agresiva intervención humana por el incremento de las actividades agropecuarias, principalmente en el cantón Pindal y en la parte central del cantón Zapotillo (Naranjo, 2015).

Por el contrario, el resto de remanentes de vegetación natural: matorral desértico y matorral seco semidenso, incrementaron su superficie, debido a la ampliación de la frontera agrícola y agropecuaria, la cual ha provocado evidentes cambios en el paisaje como la formación de zonas desérticas o en proceso de desertificación, amenazando los remanentes boscosos (Armijos *et al.*, 2016)

En el año 1983 las tierras agropecuarias ocuparon una extensión de 19 555 ha, mientras que para el año 2012 la superficie fue de 30 313 ha, lo que representa un incremento del 7.60 %, reemplazando posiblemente importantes remanentes de cobertura vegetal natural. Los sectores que presentan un mayor incremento de la superficie agrícola fueron: el cantón Pindal y las parroquias Paletillas, Zapotillo, Garzareal y Limones del cantón Zapotillo, debido principalmente por el sistema de riego, el cual abastece el 27.62 % de las áreas cultivadas (Senplades, 2015). La construcción del sistema de riego inició en el año 1998, con la finalidad de mejorar la producción agrícola y los ingresos económicos de los habitantes dedicados a esta actividad (Senplades, 2015). Sin embargo, esto ha generado notables cambios en el uso y cobertura del suelo, tal como se analiza en la presente investigación.

Asimismo, las zonas urbanas para el año 2012, presentaron un incremento de 61 ha en relación al año 1983, lo que representa el 0.04 % debido principalmente al crecimiento poblacional.

En los cuerpos de agua, se observó una disminución de 116 ha que representan el (0.08%) del área total, esto se debe principalmente a la realización de una fotointerpretación incierta lo que no permitió la digitalización de todos los cauces tanto principales como secundarios existentes en la zona de estudio. Otra razón es que la vegetación ribereña influenciada por las condiciones de humedad del suelo, presenta un constante crecimiento del follaje cubriendo la superficie ocupada por este factor (Felisa e Ibarlucea, 2003).

Los suelos desnudos, muestran un incremento de 0.08 % lo que significa 119 ha más en relación al año 1983. Esta pérdida de la cubierta vegetal probablemente sea provocada por las actividades antrópicas como la deforestación para implementar sistemas agrícolas y agropecuarios (Cueva y Chalán, 2010). En el cantón Pindal se han talado 12 607 ha de bosque para ser destinadas a la agricultura especialmente para el cultivo de maíz, esto representa el 62.5 % de su extensión total (Senplades, 2014). Mientras que, para el cantón Zapotillo se ha destruido 14 105 ha de bosque natural, que representa el 11.7 % de la superficie total del cantón para la implementación de cultivos (Senplades, 2015).

En la información antes mencionada, los cambios no tienen una tendencia definida, sino que se observa aumentos y disminuciones de las coberturas lo largo del tiempo.

Finalmente, para la modelación de la dinámica de cambios de uso y cobertura del suelo se realizó una interacción de la categoría tierras agropecuarias con cuatro grandes grupos de coberturas naturales (bosque seco denso, bosque seco semidenso, matorral desértico y matorral seco semidenso). El modelamiento de escenarios futuros constituye herramientas útiles para el monitoreo y predicción de los cambios de uso del suelo y cobertura vegetal, sin embargo, llevan grandes retos en aspectos como la disponibilidad de información, escala, resolución espacial, poder computacional, selección de variables y algoritmos de

modelamiento (Bocco et al., 2001). En este sentido, se evidenció que realizar varias corridas previas del submodelo, con diferente ordenes de posición de las variables, pueden mejorar la selección de estas, debido a que se consideran cambios en la dinámica espacial de las mismas (Camacho, Moler, y Paegelow, 2010).

5.2. EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO EN FUNCIÓN DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO Y LA INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN, EN LOS CANTONES ZAPOTILLO Y PINDAL

La ecuación RUSLE considera en su análisis que el proceso erosivo de un área es el resultado de la interacción de factores naturales (pendiente del terreno, cantidad e intensidad de la precipitación, propiedades del suelo y la densidad de la vegetación) y del impacto de factores influenciados por el hombre directamente (Caicedo, 2016). La fuente de error más grande en la predicción de la RUSLE es la superficialidad en la selección de los valores que componen cada factor, por lo que se debe precisar las condiciones a ser evaluadas y que estén de acuerdo con las características del área de estudio, de no ser así, los errores se acentúan más al aplicarlos en un sistema de información geográfico (Tamayo, 2016).

Los factores R, K, C y LS que integran la RUSLE y que se obtuvieron para los cantones Zapotillo y Pindal de la provincia de Loja se muestran en las figuras 5, 20, 21, y 22. Estos parámetros fueron estimados a partir de información primaria y secundaria. La importancia de estos datos radica en que la calidad de los resultados es función directa de ellos (Vega, 2016).

Los valores del factor R obtenidos para la zona de estudio oscilan entre 2 825 a 4 749 Mj.mm/ha.h.año, por lo que están dentro de los rangos estimados en la investigación realizada por Tamayo, (2016) en el cual los valores se encuentran entre 2 459 a 5007 Mj.mm/ha.h.año. Así mismo, un estudio realizado en la cuenca del río Catamayo por Álvarez y Bustamante,

(2011), muestra valores que van de 2 030 a 5 207 Mj.mm/ha.h.año. Con estos antecedentes, se puede decir, que los datos de precipitación analizados en esta investigación son confiables, pues corresponden a 65 estaciones meteorológicas que se encuentran ubicadas en la región sur del Ecuador y 6 estaciones ubicadas en el Perú, por lo que se encuentra ubicadas dentro y alrededor de la zona de estudio. Lo que es muy importante para lograr resultados reales (Panagos et al., 2015). Cabe mencionar, que para determinar el factor de erosividad de la lluvia se usaron datos secundarios y las Ecuaciones del cálculo del índice de Fournier Modificado y el cálculo del factor R, según Angulo 2012, las cuales han sido aplicadas en varios estudios de área.

Los valores del factor K oscilan entre 0.014 a 0.056 Ton.ha.h/Mj.mm.ha, encontrándose valores más altos al norte, sur y parte céntrica del cantón Zapotillo como se muestra en la figura 18, lo que hace que sea un zona susceptible al desprendimiento de las partículas del suelo (Oñate, 2004). Estos valores se deben a que los suelos presentan bajos contenidos de arcilla y materia orgánica, en este sentido, estos valores son ligeramente inferiores a los obtenidos en investigaciones realizadas en condiciones similares dentro de la provincia de Loja como lo es el trabajo de Álvarez y Bustamante, (2011) cuyos valores van desde 0.032 a 0.063 Ton.ha.h/Mj.mm.ha dentro de la cuenca alta del río Catamayo. Mientras que, al comparar este estudio con el trabajo realizado por Tamayo, (2016) se evidencia que existe similitud en los datos cuyos valores están entre 0.013 a 0.055 Ton.ha.h/Mj.mm.ha.

La cobertura vegetal o factor C es uno de los factores más importantes para estimar la erosión hídrica del suelo (Palacios, 2016), además, hace referencia a condiciones puntuales de cobertura, por lo que se considera una fuente de error potencial para el cálculo de pérdida del suelo (Wischmeier & Smith, 1978) citado por (Balocchi et al., 2009). En esta investigación se usaron los mapas de cobertura y uso del suelo del año 1983 y 2012 a una escala 1: 275 000. Existen varios criterios para representar este factor, sin embargo, se tomó en consideración los

valores de ponderación presentados en el Anexo 5, citado por Lianes *et al.*, (2009), puesto que estos son los más adecuados para los fines de esta investigación. Los valores asignados a cada unidad de cobertura vegetal fueron adaptados a la situación en la que se encuentran los ecosistemas dentro del área de estudio Puglla, (2017), los cuales se presentan la tabla 3.

El factor C que predomina en el cantón Zapotillo es 0.003 (figura 5) que corresponde al bosque seco denso. Seguido por el 0.013 bosque seco semidenso. Mientras que, en el cantón Pindal el factor de cobertura vegetal que predomina es 0.202 que corresponde a las tierras agropecuarias. La cobertura vegetal proporciona una adecuada protección del suelo, disminuyendo su pérdida bajo diferentes situaciones desfavorables que se presenten, además reducen la energía cinética que poseen las gotas de lluvia para que no incidan directamente sobre el suelo (Semarnat, 2012).

El factor topográfico o factor LS hace referencia al efecto combinado de la longitud y el ángulo de la pendiente, cuyos efectos no son imposibles de individualizar. Además, sus valores son muy importantes para estimar las pérdidas del suelo (Ibáñez, Gisbert, y Moreno, 2012). Un estudio realizado por García, González, Núñez, Serrano, y Vilchez, (2016) agrupan los diferentes tipos de relieve en cinco categorías con valores que van de 0-70; que son: muy suave (0.003-2.5); suave (2.5-5); moderada (5-10); fuerte (10-50); y muy fuerte (50 -70). En este sentido, en la presente investigación se aplicó una Evaluación condicional para colocar los valores obtenidos en el rango mencionado por García *et al.*, (2016). Los valores obtenidos de este factor son adimensionales y se ubican entre 0.003 a 70 en toda la superficie. Encontrándose que el 44.24 % presenta terrenos con inclinación muy suave, mientras que el 0.016 presenta una inclinación muy fuerte. Estos valores fueron obtenidos a partir de las Ecuaciones 6, 7 y 8 aplicadas en estudios similares realizados por Puglla, (2017); Tamayo, (2016); y Vega, (2016).

Cabe mencionar que, para elaborar este factor se utilizó el Modelo de Elevación Digital con una resolución de 30 m, que permitió determinar la incertidumbre de los resultados al momento de tratarse de pendiente cóncavas, pues las depresiones inducen grandes errores, además del error generado por el cambio de escala (Geler, Penteado, y Perez, 2017).

Una vez determinados los factores R, K, C y LS que conforman la Ecuación RUSLE, se estima la erosión hídrica para el año 1983, 2012 y su proyección para el año 2030. En la figura 20, y tabla 4, se puede observar que para el año 1983 el 83.41 % (118 125 ha) de la superficie total posee una tasa de erosión hídrica muy baja y ligera; y el 2.42 % del área presenta pérdidas de suelo mayores a 200 t/ha/año. Mientras que, para el año 2012 el 75.33 % del total presenta una susceptibilidad a la erosión hídrica muy baja y ligera; y el 4.01 % presenta pérdidas de suelo mayores a 200 t/ha/año. En este sentido, las pérdidas de suelo mayores a 200 t/ha/año son inferiores a los obtenidos en la investigación realizada por Tamayo, (2016), el mismo indica que el 12.43 % del área total presenta pérdidas de suelo muy altas, esto se debe al crecimiento de las actividades agrícolas por la implementación del sistema de riego. En este caso los resultados se agruparon en nueve categorías con el fin de involucrar cada uno de los valores obtenidos (Florentino, Gauardo, García, y Rodríguez, 2004).

Finalmente, en la figura 21, para el año 2030 se pronostica que la susceptibilidad a erosión hídrica muy baja y ligera ocupa el 70.55 % (99 920 ha) del área, ubicándose mayormente en el cantón Zapotillo, estos valores se deben a que se encuentran diversas Reservas Naturales de Conservación, lo cual protegen al suelo del impacto directo de las gotas de lluvia. (Aguirre y Geadá, 2017). Mientras que, el 5.11% del área total de estudio presenta pérdidas de suelo mayores a 200 ton/ha/año, encontrándose principalmente en el cantón Pindal, esto se debe a que en los últimos años han incrementado las actividades agrícolas especialmente el cultivo de maíz (Senplades, 2014).

Con el desarrollo de esta investigación se aportará con información que permita a los gobiernos autónomos descentralizados de los Cantones Zapotillo y Pindal, realizar los planes de ordenamiento territorial, implementando medidas de conservación tanto de la cobertura vegetal como en cualquier cultivo, es decir, en aquellas zonas que presentan mayor susceptibilidad a erosión hídrica para lograr de esta manera disminuir estos procesos.

6. CONCLUSIONES

Del presente proceso investigativo se concluye lo siguiente:

- A lo largo de 29 años que comprendió el estudio, se encontró cambios positivos y negativos en la cobertura de la tierra. Donde la categoría tierras agropecuarias incrementó un 7.60 % su superficie, mientras que el bosque seco disminuyó un 8.25% del área total. Estos valores demuestran que durante el periodo analizado la agricultura ha sido la principal actividad económica que ha ocasionado los principales cambios en las coberturas.
- La técnica empleada para la proyección futura arrojó resultados satisfactorios que han sido validados con el módulo ROC y VALIDATE del software Terrset. Estos procedimientos de validación califican con rangos de 0 a 1; donde los valores aproximados a 1 son confiables, mientras que los valores cercanos a 0 no son confiables; en este caso se produjeron valores aproximados a 1, lo que significa que los datos en esta investigación son confiables.
- La presencia de áreas de conservación en los bosques secos influye de manera positiva para que los cantones Zapotillo y Pindal presenten una susceptibilidad a la erosión hídrica muy baja y ligera, la cual para el año 1983 ocupa el 83.41 % de la superficie total; mientras que, para el año 2012 cubre el 75.33 % del total. Lo que indica que el área de estudio presenta una tasa de erosión menor a 25 t/ha/año.
- Para el año 2030 se pronostica que el 70.55% del área de estudio presentará tasas de erosión menores a 25 t/ha/año, al comparar con los resultados obtenidos del año 1983 y 2012 se evidencia una disminución en la categoría de erosión hídrica muy baja y ligera. Esto se debe al alto potencial agrícola que presentan los cantones, el cual va incrementando logrando remplazar algunos usos y coberturas del suelo.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda definir alternativas de conservación en los planes de desarrollo y ordenamiento territorial de los cantones Zapotillo y Pindal, para evitar problemas de tenencia de tierras y expansión descontrolada de las tierras agropecuarias.
- Es importante realizar trabajo de campo para la calibración y validación de los resultados arrojados por el modelo.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, P., & Delibes, M. (2013). Efectos de los cambios en los usos del suelo en las especies cinegéticas en el sur de España: repercusiones para la gestión. *Ecosistemas*, 22(2), 33–39. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2013.22-2.06>
- Aguirre, N., Alvarez, P., Muñoz, J., & Veliz, F. (2015). Análisis multi-temporal del cambio de uso del suelo en el cantón Zapotillo, provincia de Loja. *Bosques Latitud Cero.*, 5(2), 33–47. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/301226212>
- Aguirre, Z., & Geada, G. (2017). Estado de conservación de los bosques secos de la provincia de Loja, Ecuador. *Arnaldoa*, 24(241), 207–228. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.241.24107>
- Almoza, Y., Alonso, G., Medina, H., Ruiz, M. E., & Schiettecatte, W. (2008). El uso de datos pluviométricos para la determinación del factor erosividad de las precipitaciones en el modelo RUSLE The use of pluviometric data for the rainfall erosivity factor determination in the RUSLE model. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 17(1), 38–43. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93217108>
- Alvarado, L., & Chuquirima, E. (2015). *Diseño del circuito turístico para la Mancomunidad “Bosque Seco” que recorra los cantones: Celica, Puyango, Pindal, Zapotillo y Macará. Período 2015 – 2025* (Universidad Técnica Particular de Loja). Retrieved from [file:///C:/Users/User/Downloads/Alvarado Roa Lenin Andrés.pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Alvarado%20Roa%20Lenin%20Andr%C3%A9s.pdf)
- Alvarado, M., Colmenero, A., & Valderrábano, M. (2007). La erosión hídrica del suelo en un contexto ambiental, en el estado de Tlaxcala, México. *Ciencia Ergo Sum*, 14(3), 317–326. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10414309>
- Álvarez, J. L., & Bustamante, M. del C. (2011). *Determinación de las zonas vulnerables a erosión hídrica en la cuenca alta del río Ctamayo por medio de sistemas de información*

- geográfica* (Universidad Nacional de Loja). <https://doi.org/10.1017/S0010417500000463>
- Angulo, M. (2012). *El factor climático en la erosión del suelo: erosividad de la lluvia en la cuenca del Ebro* (Universidad Zaragoza). Retrieved from <https://zaguan.unizar.es/record/9576/files/TESIS-2012-094.pdf>
- Armijos, D., Cisneros, R., Esponosa, C., Jara, A., Ordoñez, L., & Tomás, G. (2016). Nuevos aportes al conocimiento de avifauna en la región Tumbesina; implicaciones para la conservación de la Reserva de Biosfera del Bosque Seco, Zapotillo, Ecuador. *Ecosistemas*, 25(2), 13–23. Retrieved from <http://www.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2017/06/06PPP2015-POLITICA02-1.pdf>
- Azócar, G., Aguayo, M., & Henríquez, C. (2006). Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial- aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles. *Revista de Geografía Norte Grande*, 36(36), 61–74. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022006000200004>
- Balderas, M., Chavez, M., Gutierrez, J., López, J., & Perez, V. (2014). Cambio de uso de suelo e implicaciones socioeconómicas en un área mazahua del altiplano mexicano. *Dialnet*, 22(2), 9.
- Balocchi, F., Morales, C., Olivares, C. Y., Pizarro, R., Valdés, R., & Vega, L. (2009). *Propuesta de un modelo de estimación de erosión hídrica para la región de Coquimbo, Chile*. Retrieved from <http://www.cienciasforestales.cl>
- Bocco, G., López, E., & Mendoza, M. (2001). Predicción del cambio de cobertura y uso de suelo. Estudio de caso de la Ciudad de Morelia. *Investigaciones Geográficas*, 28(45), 134. Retrieved from <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02029a&AN=tes.TES01000666406&lang=es&site=eds-live>

- Bosque, S., & Oñate, F. (2010). Application of GIS and remote sensing techniques in generation of land use scenarios for hydrological modeling. *Sensors*, 24(4), 12–17. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Britos, A., & Barchuk, A. (2008). Cambios en la cobertura y en el uso de la tierra en dos sitios del Chaco Árido del noroeste de Córdoba, Argentina. *Agriscientia*, 25(2), 97–110. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Cambios+en+la+cobertura+y+en+el+uso+de+la+tierra+en+dos+sitios+del+Chaco+?rido+del+noroeste+de#0>
- Caicedo, R. (2016). *Determinación de zonas de erosión hídrica a partir de la ecuación universal de la pérdida del suelo (R.U.S.L.E), Sistemas De Información Geográfica y técnicas de teledetección en la ciudad de Bogotá D.C Para el año 2013* (Universidad Distrital Francisco José de Caldas). Retrieved from <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3042/1/LizarazoSalcedoIvanAlberto2016.pdf>
- Camacho, M., Moler, E., & Paegelow, M. (2010). Modelos geomáticos aplicados a la simulación de cambios de usos del suelo. evaluación del potencial de cambio. *Tecnologías de La Información Geográfica*, 12(4), 658–678.
- Chávez, S. (2013). *Caracterización de Tormentas en el Valle del Mantaro mediante Sensoramiento Remoto*. Univeridad Católica del Perú, Perú.
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos De Teledetección Espacial* (Debate). España.
- Cruz, K., López, C., Pérez, M., & Ramírez, E. (2014). Evaluación de la erosión hídrica del suelo en la finca “ Santos García ” ubicada en el cerro Las Mesas , Matagalpa , mediante el uso del radionucleido ambiental 137 Cesio. *Aqua-LAC*, 58(99), 57–69.
- Cueva, J., & Chalán, L. (2010). *Cobertura vegetal y uso de suelo de la Provincia de Loja*.

Informe técnico. Loja-Ecuador.

DeFries, R., Hansen, A., Turner, B. L., Reid, R., & Liu, J. (2007). Land use change around protected areas: Management to balance human needs and ecological function. *Ecological Applications*, 17(4), 1031–1038. <https://doi.org/10.1890/05-1111>

Defries, R. S., Fisher, T., Moran, E., & Mustard, J. F. (2012). Land-Use and Land-Cover Change Pathways and Impacts. *Ecological Applications*, 26(7), 411–429. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2562-4_24

Eastman, R. (2016). *Manual TerrSet “Geospatial Monitoring and Modeling System.”*

Escalona, M., Peña, F., Pincheira, J., & Rebolledo, G. (2011). Cambio de uso del suelo en los geosistemas de la cuenca costera del río Boroa (Chile) entre 1994 y 2004. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo VO - 43*, 43(2), 1. Retrieved from <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edssci&AN=edssci.S1853.86652011000200001&lang=es&site=eds-live>

FAO. (2015). *Estado mundial del recurso suelo*. Retrieved from <http://www.crc.gov.co/index.php/ambiental/recursos/recurso-suelo>

Felisa, N., & Ibarlucea, S. (2003). Estudio de la vegetación macrófita y de factores físico-químicos del agua en las Lagunas Marginales del Canal de Castilla (Palencia). Tesis. *Ecosistemas*, 1(3), 1–3.

FLACSO, MAE, & PNUMA. (2008). *Estado del medio ambiente*. Retrieved from <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/41444.pdf>

Florentino, A., Gauardo, J., García, D. A., & Rodríguez, M. F. (2004). Sistemas de información geográfica en la evaluación de la erosión hídrica en Badajoz-España aplicando la metodología usle. *Agronomía Tropical*, 54(4), 391–409.

- Flores, F., González, A., González, O., Murray, R., & Serrano, J. (2016). Riesgos de erosión hídrica y estimación de pérdida de suelo en paisajes geomorfológicos volcánicos en México. *Cultivos Tropicales*, 37(2), 45–55. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3942.5527>
- Flores, J., Pizarro, R., & Ramirez, C. (2003). Análisis comparativo de cinco métodos para la estimación de precipitaciones areales anuales en períodos extremos. *Bosque*, 24(3), 31–38.
- Foster, G., McCool, D., Renard, K., Weesies, G., & Yoder, D. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Agricultural Handbook*, p. 404. <https://doi.org/DC0-16-048938-5> 65–100.
- Frau, C., Hernández, Y., Pino, L., & Rojas, Y. (2011). Generalización de modelo digital de elevación condicionada por puntos críticos de terreno. *Boletim de Ciencias Geodesicas*, 17(3), 439–457. <https://doi.org/10.1590/S1982-21702011000300007>
- García, A., González, O., Núñez, R., Serrano, J., & Vilchez, F. (2016). RIESGO DE EROSIÓN HÍDRICA Y ESTIMACIÓN VOLCÁNICOS EN MÉXICO Water erosion risk and soil loss estimation in volcanic geomorphological landscapes of Mexico. *Cultivos Tropicales*, 37(2), 45–55. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3942.5527>
- Geler, T., Penteado, A., & Perez, A. (2017). LS-Factor analysis in different prediction models of water soil erosion. *Observatorio Geográfico America Latina*, 5(3), 226–233. Retrieved from <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal15/Nuevastecnologias/Sig/18.pdf>
- González, M. (1991). La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo. Pasado, presente y futuro. *Ecología*, 3(5), 13–50.
- Ibáñez, S., Gisbert, J. M., & Moreno, H. (2012). *El factor LS de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE)* (Vol. 1). Retrieved from

<https://riunet.upv.es/handle/10251/16568>

INEC. (2010a). *Ficha de cifras generales de Zapotillo*. Retrieved from <http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal> SNI 2014/FICHAS F/1113_ZAPOTILLO_LOJA.pdf

INEC. (2010b). *Ficha de cifras generales del canton Pindal*. Retrieved from <http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal> SNI 2014/FICHAS F/0507_SIGCHOS_COTOPAXI.pdf

INEFAN. (1999). *Diagnóstico Socio -Ambiental e Institucional de los cinco cantones suroccidentales de Loja*. Loja.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. (2003). *Manual de procedimientos de Ortofotografías*. Retrieved from http://dialnet.unirioja.es/servlet/dfichero_articulo?codigo=2875596&orden=0

Naranjo, M. (2015). *La política agropecuaria ecuatoriana*. Retrieved from <http://www.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2017/06/06PPP2015-POLITICA02-1.pdf>

Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica* (Vol. 91). Retrieved from <http://volaya.es/writing.%0ALos>

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. *REDLACH*, 1(4), 27–32. Retrieved from <http://www.siagua.org/documentos/metodologia-evaluacion-riesgo-erosion-hidrica-zonas-aridas-aplicacion-manejo-proteccion-proyectos-hidraulicos>

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

- Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rousseva, S., ... Alewell, C. (2015). Rainfall erosivity in Europe. *Science of the Total Environment*, 511, 801–814. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.008>
- Puglla, W. (2017). *Modelación de erosión hídrica en los cantones de Loja y Olmedo mediante sistemas de información geográfica*. Universidad Nacional de Loja, Loja.
- Reis, S. (2008). Analyzing land use/land cover changes using remote sensing and GIS in Rize, North-East Turkey. *Sensors*, 8(10), 6188–6202. <https://doi.org/10.3390/s8106188>
- Rojas, I. (2017). *Erosión hídrica bajo tres estadios de sucesión de bosque dentro del parque nacional Palo Verde, Costa Rica (tesis de pregrado)*. Insitituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- Sánchez, P. (2012). *La teledetección enfocada a la obtención de mapas digitales*. Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Santacruz, G. (2011). Estimación de la erosión hídrica y su relación con el Uso del Suelo en la Cuenca del Río Cahoacán, Chiapas, México. *Aqua-LAC*, 3(1), 45–54. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000200010>
- Semarnat. (2012). *Informe de cobertura vegetal y uso actual del suelo*. México.
- Senplades. (2014). *PROCESOS DE ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN PINDAL DIAGNÓSTICO*.
- Senplades. (2015). *Actualización del Plan Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Del Cantón Zapotillo*.
- 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, Loja.

- Vega, J. (2016). *Determinación de zonas susceptibles a erosión hídrica en los cantones de Catamayo y Gonzanamá de la provincia de Loja, utilizando sistemas de información geográfica y teledetección*. (Universidad Nacional de Loja). Retrieved from <https://www.universidades.com.ec/universidad-nacional-de-loja>
- Wang, J., & Zhao, W. (2018). The influence of rainfall and land use patterns on soil erosion in multi-scale watersheds : A case study in the hilly and gully area on the. *Geographical Sciences*, 28(10), 1415–1426. <https://doi.org/10.1007/s11442-018-1553-2>
- Wischmeier, W., & Smith, D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. *Agricultural Handbook*, 2(537), 58.

9. ANEXOS

Anexo 1. Leyenda temática de coberturas y usos del suelo MAE 2016.

Nivel I	Nivel II	Nivel III
Bosque	Bosque nativo	Bosque seco
		Bosque seco semidenso
		Bosque siempre verde piemontano
Áreas agropecuarias	Cultivos asociados tropicales	
	Cultivos anuales	
	Cultivos de maíz	
	Pastizal	
Vegetación arbustiva y herbácea	Matorral desértico	
	Matorral seco semidenso	
Cuerpos de agua		
Zona antrópica	Zona urbana	
Otras áreas	Suelo desnudo	

Fuente. MAE, 2016

Anexo 2. Categorías de clasificación para la probabilidad de cambio

Rango	Probabilidad de cambio
0 -0.2	Muy baja
0.2 - 0.4	Baja
0.4 - 0.6	Media
0.6 - 0.8	Alta
0.8 - 1	Muy alta

Fuente. Maita, 2018

Anexo 3. Valores máximos y mínimos del factor R

Valores	R (Mj.mm/ha.h.año) ²
Mínimo	2827
Máximo	4749
Media	3. 82

² Energía cinética de la lluvia en mili julios por milímetro de lluvia caída en una hectárea por un tiempo determinado

Fuente. Márquez, 2018

Anexo 4. Puntos de muestreo para determinar los valores del factor K

Lugar	Coordenadas		Facto K
	N	E	
Pp1	601639	9546987	0.031
Pp2	601677	9546801	0.014
Pp3	600426	9546728	0.035
Pp4	593778	9546058	0.026
Pp5	590412	9544030	0.022
Pp6	589420	9543527	0.032
Zp1	587057	9541533	0.036
Zp2	584412	9538882	0.032
Zp3	577421	9534253	0.031
Zp4	579289	9520846	0.040
Zp5	580809	9518210	0.042
Zp6	587021	9523692	0.029
Zp7	522656	9528835	0.056

Pp = Pindal Punto; Zp = Zapotillo Punto

Fuente. Alvarez, 2018

Anexo 5. Valores del Factor C, determinados por varios autores.

Factor vegetación (factor C) de coberturas arbóreas, de matorral y pastos						
	Mora	FAO	ICE	Saborio	Marchamalo	Lianes
	1987	1989	1999	2002 Gómez 2002 CATIE 2003	2004, 2007	2009
BOSQUE						
Bosque primario	0.0001					
Bosque natural		0.003	0.001 - 0.003			0.003

Factor vegetación (factor C) de coberturas arbóreas, de matorral y pastos

	Mora 1987	FAO 1989	ICE 1999	Saborio 2002 Gómez 2002 CATIE 2003	Marchamalo 2004, 2007	Lianes 2009
Selva virgen		0.001				
Bosque denso				0.003-0.010		
Bosque claro, subestrato herbáceo denso				0.003-0.010		
Bosque claro, subestrato herbáceo degradado				0.010-0.100		
Bosque					0.003	
Bosque secundario		0.007				
Charral, pasto		0.018				
Charral					0.013	
Bosque degradado						0.037
MATORRAL/PASTOS						
Matorral denso				0.003-0.030		
Matorral húmedo semidenso				0.003-0.030		0.153
Matorral claro degradado				0.003-0.030		0.176
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

Factor vegetación (factor C) de coberturas arbóreas, de matorral y pastos

	Mora 1987	FAO 1989	ICE 1999	Saborio 2002 Gómez 2002 CATIE 2003	Marchamalo 2004, 2007	Lianes 2009
Potrero degradado						0.002
Potrero muy degradado						0.016
CULTIVOS PERMANENTES						
Café, café con macadamia o pejibaye	0.3					
Cultivos perennes		0.079	0.086			
Café		0.09			0.08	
Banano		0.062				
Cacao		0.05				
Cultivos permanentes asociados				0.010-0.300		
Cultivos permanentes no densos				0.100-0.450		
Huertos de subsistencia				0.300-0.900		
Árboles frutales						0.003
CULTIVOS MANUALES						
Caña, caña brava	0.05					
Cultivos anuales		0.495	0.34			
Papa-zanahoria o papa-cebolla		0.615				
Maíz		0.519				
Tomate/chile dulce		0.502				
Caña		0.263			0.05	
Cultivos anuales de ciclo corto (1-6 meses)				0.3		

Factor vegetación (factor C) de coberturas arbóreas, de matorral y pastos

	Mora 1987	FAO 1989	ICE 1999	Saborio 2002 Gómez 2002 CATIE 2003	Marchamalo 2004, 2007	Lianes 2009
Cultivos anuales de ciclo largo (6 meses)				0.400-0.900		
Cultivos (cobertura baja)					0.65	
Cultivos (cobertura media)					0.5	
Cultivos (cobertura alta)					0.415	
Papa-brócoli						0.26
Papa-zanahoria						0.3
Papa-zanahoria- papa						0.39
Papa- papa- brócoli						0.39
Papa-zanahoria- brócoli						0.36
Zona urbana						0.1
Cuerpos de agua						0
Suelo desnudo						1

Fuente: Lianes *et al.*, (2009).