



Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS

NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y

CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

**“MODELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA
INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN EN LA REGIÓN SUR DEL
ECUADOR”**

TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MANEJO Y
CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

Autor:

Jorge Alexander Marquez Arrobo

Director:

Ing. Pablo Álvarez Figueroa, Mg. Sc.

Loja - Ecuador

2019



Universidad
Nacional
de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE



CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR



Universidad
Nacional
de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE



CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL



Universidad
Nacional
de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE



AUTORÍA

Yo, Jorge Alexander Marquez Arrobo, declaro ser autor de la presente tesis titulada **“MODELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR”**, 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.

.....

Jorge Alexander Marquez Arrobo

C.I.: 1723778302

Loja, 15 de julio de 2019



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

Yo, Jorge Alexander Marquez Arrobo, declaro ser autor de la presente tesis titulada “**MODELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR**”, como requisito para optar al grado de: Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad. A través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional (RDI).

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

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

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los quince días del mes de julio de dos mil diecinueve, firma el autor.

Firma:

Autor: Jorge Alexander Marquez Arrobo

Número de Cédula: 1723778302

Dirección: Loja, Ciudadela Esteban Godoy, Calle Héroes del Cenepa y Pasteur

Correo electrónico: alexanderjm1995@gmail.com

Teléfono: 0990650678

DATOS COMPLEMENTARIOS

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

Tribunal de Grado: Ing. Juan Armando Maita Chamba Mg. Sc

Ing. Carlos Guillermo Chunchu Morocho Mg. Sc

Biol. Xavier Alejandro Rojas Ruilova Mg. Sc



Universidad
Nacional
de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE



AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios, quien supo guiarme por el buen camino, quien me dio las fuerzas necesarias para no declinar ante los obstáculos que se presentaban y a mis padres por su apoyo incondicional durante esta etapa de mi vida.

Pero de manera especial agradezco al Ing. Pablo Álvarez Figueroa director del presente trabajo de investigación, por su constante orientación y apoyo durante el proceso.

A la Universidad Nacional de Loja; al Centro de Investigaciones Tropicales del Ambiente y la Biodiversidad – CITIAB por el respaldo brindado; al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI por brindarme la información necesaria para la investigación.

Con inmensa gratitud agradezco a los docentes de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, que con sus sabias enseñanzas supieron sembrar en mi mente los conocimientos durante estos años de formación profesional, a mis familiares, amigos y compañeros que han estado durante el tiempo de mi formación académica.

Jorge Alexander Marquez Arrobo



unl

Universidad
Nacional
de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE



DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación va dedicado con profundo amor a Dios, por haberme guiado espiritualmente por el camino del bien y permitirme vivir cada una de las etapas que hasta hoy he pasado en mi vida.

A mis padres Jorge Marquez y Yessenia Arrobo quienes a pesar de las adversidades siempre estuvieron a mi lado apoyándome en cada paso hacia la culminación de mis estudios, son unos padres ejemplares que siempre me han guiado de manera correcta; me enseñaron el camino de la superación en base a esfuerzo, sacrificio y dedicación. Gracias a ustedes por el sacrificio sobrehumano que a diario hicieron para sacarme adelante. A mi hermana y confidente Kerly, quien con su apoyo incondicional me ayudó a levantar cabeza en los momentos más difíciles en esta etapa de mi vida.

A todos mis amigos y compañeros de aula de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente por brindarme su confianza y ayuda incondicional. A todos de corazón, GRACIAS.

Jorge Alexander Marquez Arrobo



Índice General

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR.....	II
CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL	III
AUTORÍA	IV
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR.....	V
DEDICATORIA	VII
Índice de Figuras	XII
Índice de Tablas.....	XVIII
ACRÓNIMOS	XXIII
RESUMEN	XXIV
ABSTRACT	XXVI
1. INTRODUCCIÓN.....	28
2. REVISIÓN DE LITERATURA	31
2.1. Precipitación.....	31
2.2. Intensidad de precipitación máxima en 30 minutos (I_{30}).	31
2.3. Método de triangulación Kriging.	32
2.4. Erosión.....	32
2.5. Erosión Hídrica.....	32
2.6. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, (RUSLE).	33
2.6.1. Factor K.....	34
2.6.2. Factor LS.	35
2.6.3. Factor C.	35
2.6.4. Factor P.....	35
2.6.5. Factor R.	36
2.6.5.1. Factor R por el método del Índice de Fournier Modificado (IFM).	36
2.6.5.2. Herramienta de resumen de intensidad de lluvia (RIST).	37
2.7. Densidad Erosiva (DE).....	37
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	38
3.1. Área de estudio.....	38
3.2. Materiales y Métodos.	40
3.2.1. Materiales.	40
3.2.2. Métodos.....	40



3.2.2.1. Interpolación de la información	41
3.2.2.2. Cálculo de precipitación media	41
3.2.2.3. Cálculo del Factor R.....	41
3.2.2.4. Cálculo de la Densidad Erosiva.....	44
3.2.3. Cálculo del Factor K.....	44
3.2.4. Cálculo del Factor C.....	44
3.2.5. Cálculo del Factor LS.....	45
3.2.6. Análisis estadístico.....	46
4. RESULTADOS.....	47
4.1. Determinar la variabilidad espacial de la intensidad de precipitación mediante el índice I_{30} utilizando información de alta resolución temporal e información mensual en la RSE.....	47
4.1.1. Análisis regional de precipitación periodo 2000-2016 con información mensual.	47
4.1.2. Análisis de precipitación del cantón Loja periodo 2000-2016 con información mensual.....	48
4.1.3. Análisis de precipitación del cantón Loja del periodo 2015-2016 con información de alta resolución temporal inferior a 1 hora.	49
4.1.4. Análisis regional de erosión hídrica del periodo 2000-2016 con información mensual.....	51
4.1.5. Análisis de erosión hídrica del cantón Loja del periodo 2000-2016 con información mensual.	54
4.1.6. Análisis de erosión hídrica del cantón Loja del periodo 2015-2016 con información de alta resolución temporal inferior a 1 hora.	57
4.1.7. Análisis regional de densidad erosiva del periodo 2000-2016 con información mensual.....	60
4.1.8. Análisis de densidad erosiva del cantón Loja del periodo 2000-2016 con información mensual.	62
4.1.9. Análisis densidad erosiva del cantón Loja del periodo 2015-2016 con información de alta resolución temporal inferior a 1 hora.	63
4.1.10. Factor K.....	65
4.1.10.1. Factor K RSE.....	65
4.1.10.2. Factor K del cantón Loja.	67
4.1.11. Factor C.....	68
4.1.11.1. Factor C de la RSE.	68



4.1.11.2.Factor C del cantón Loja.	73
4.1.12. Factor LS.	76
4.1.12.1.Factor LS de la RSE.	76
4.1.12.2.Factor LS del cantón Loja.	77
4.1.13. Análisis Estadístico.	79
4.1.13.1.Correlaciones con la ecuación de Renard y Freimund y la Precipitación, con información mensual.	79
4.1.13.2.Correlaciones con la ecuación de Marta Angulo y la Precipitación, con información mensual.	80
4.1.13.3.Correlaciones con los resultados del IFM y el Factor R de Renard y Freimund, con información mensual.	82
4.1.13.4.Correlaciones con los resultados del IFM y el Factor R de Marta Angulo, con información mensual.	83
4.1.13.5.Correlaciones con los resultados del Factor R del RIST (EI ₃₀) y la Precipitación, con información de resolución temporal inferior a 1 hora.	85
4.1.13.6.Correlaciones con los resultados del Factor R del RIST (EI ₃₀) y el IFM, con información de resolución temporal inferior a 1 hora.	86
4.1.13.7.Correlaciones con los resultados del Factor R de Renard y Freimund y la Precipitación, con información de resolución temporal inferior a 1 hora.	88
4.1.13.8.Correlaciones con los resultados del Factor R de Marta Angulo y la Precipitación, con información de resolución temporal inferior a 1 hora.	89
4.1.13.9.Correlaciones con los resultados del Factor R de Renard y Freimund y el IFM, con información de resolución temporal inferior a 1 hora.	91
4.1.13.10.Correlaciones con los resultados del Factor R de Marta Angulo y el IFM, con información de resolución temporal inferior a 1 hora.	92
4.1.14. Propuesta de cálculo del Factor R para la RSE.	94
4.1.14.1.Ecuación propuesta para el cálculo del Factor R empleando la precipitación.	94
4.1.14.2.Ecuación propuesta para el cálculo del Factor R calculando el IFM.	98
4.2. Modelar el riesgo de erosión hídrica del suelo en función de la intensidad de precipitación en la RSE.	102
4.2.1. Análisis de Pérdida de Suelo de la RSE año 2000, 2016 y 2030, con información mensual.	102
4.2.2. Análisis de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030, resolución mensual.	110
4.2.3. Análisis de Pérdida de Suelo del cantón Loja del año 2000, 2016 y 2030, con información temporal inferior a 1 hora.	112



4.2.4.	Análisis de Pérdida de Suelo de la RSE del año 2000, 2016 y 2030, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación para determinar erosión hídrica con información mensual.	113
4.2.5.	Análisis de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación para determinar erosión hídrica con información mensual.	117
4.2.6.	Análisis de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación para determinar erosión hídrica con información temporal inferior a 1 hora.	118
4.2.7.	Análisis de Pérdida de Suelo de la RSE del año 2000, 2016 y 2030, al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM para determinar erosión hídrica con información mensual.	120
4.2.8.	Análisis de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030, al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM para determinar erosión hídrica con información mensual.	124
4.2.9.	Análisis de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030, al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM para determinar erosión hídrica con información temporal inferior a 1 hora.	125
5.	DISCUSIÓN.....	127
5.1.	Determinar la variabilidad espacial de la intensidad de precipitación mediante el índice I_{30} utilizando información de alta resolución temporal e información mensual en la RSE.....	127
5.2.	Modelar el riesgo de erosión hídrica del suelo en función de la intensidad de precipitación.	130
6.	CONCLUSIONES.....	134
7.	RECOMENDACIONES.....	135
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	136
9.	ANEXOS.....	142
9.1.	Mapa político administrativo de la RSE.....	142
9.2.	Mapa político administrativo del cantón Loja.....	143



Índice de Figuras

Figura 1: Mapa de Ubicación del Área de Estudio.....	40
Figura 2: Mapa de Precipitación de la RSE.....	48
Figura 3: Mapa de Precipitación mensual del cantón Loja.	49
Figura 4: Mapa de Precipitación por meses del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.	50
Figura 5: Mapa de Precipitación del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.	51
Figura 6: Mapa de Factor R de la RSE, al aplicar la ecuación de Renard y Freimund, resolución mensual.....	52
Figura 7: Mapa de Factor R de la RSE, al aplicar la ecuación de Marta Angulo, resolución mensual.....	54
Figura 8: Mapa de Factor R del cantón Loja, al aplicar la ecuación de Renard y Freimund, resolución mensual.....	55
Figura 9: Mapa de Factor R del cantón Loja, al aplicar la ecuación de Marta Angulo, resolución mensual.....	56
Figura 10: Mapa de Factor R por meses del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.....	58
Figura 11: Mapa de Factor R del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora. ...	59
Figura 12: Mapa de Densidad Erosiva de la RSE, al aplicar la ecuación de Renard y Freimund, resolución mensual.	60
Figura 13: Mapa de Densidad Erosiva de la R, según Marta Angulo, resolución mensual.	61



Figura 14: Mapa de Densidad Erosiva del cantón Loja, al aplicar la ecuación de Renard y Freimund, resolución mensual.	62
Figura 15: Mapa de Densidad Erosiva del cantón Loja, al aplicar la ecuación Marta Angulo, resolución mensual.	63
Figura 16: Mapa de Densidad Erosiva por meses del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.	64
Figura 17: Mapa de Densidad Erosiva del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.	65
Figura 18: Mapa del Factor K de la RSE.	66
Figura 19: Mapa del Factor K del cantón Loja.	67
Figura 20: Mapa del Factor C de la RSE, cobertura del año 2000.	69
Figura 21: Mapa del Factor C de la RSE, cobertura del año 2016.	70
Figura 22: Mapa del Factor C de la RSE, cobertura del año 2030.	72
Figura 23: Mapa del Factor C del cantón Loja, cobertura del año 2000.	73
Figura 24: Mapa del Factor C del cantón Loja, cobertura del año 2016.	74
Figura 25: Mapa del Factor C del cantón Loja, cobertura del año 2030.	75
Figura 26: Mapa del Factor LS de la RSE.	77
Figura 27: Mapa del Factor LS del cantón Loja.	78
Figura 28: Mapa de relación entre el Factor R de Renard y Freimund y la Precipitación del cantón Loja, resolución mensual.	79
Figura 29: Correlación entre el Factor R de Renard y Freimund y la Precipitación del cantón Loja, resolución mensual.	80
Figura 30: Mapa de relación entre el Factor R de Marta Angulo y la Precipitación del cantón Loja, resolución mensual.	81



Figura 31: Correlación entre el Factor R de Marta Angulo y la Precipitación del cantón Loja, resolución mensual.....	81
Figura 32: Mapa de relación entre el IFM y el Factor R de Renard y Freimund del cantón Loja, resolución mensual.....	82
Figura 33: Correlación entre el IFM y el Factor R de Renard y Freimund del cantón Loja, resolución mensual.....	83
Figura 34: Mapa de relación entre el IFM y el Factor R de Marta Angulo del cantón Loja, resolución mensual.	84
Figura 35: Correlación entre el IFM y el Factor R de Renard y Freimund del cantón Loja, resolución mensual.	84
Figura 36: Mapa de relación entre el Factor R de RIST (EI30) y la Precipitación del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.....	85
Figura 37: Correlación entre el Factor R de RIST (EI30) y la Precipitación del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.....	86
Figura 38: Mapa de relación entre el Factor R de RIST (EI30) y el IFM del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.	87
Figura 39: Correlación entre el Factor R de RIST (EI30) y el IFM del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.	87
Figura 40: Mapa de relación entre el Factor R de Renard y Freimund y la Precipitación del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.	88
Figura 41: Correlación entre el Factor R de Renard y Freimund y la Precipitación del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.	89
Figura 42: Mapa de relación entre el Factor R de Marta Angulo y la Precipitación del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.	90



Figura 43: Correlación entre el Factor R de Marta Angulo y la Precipitación del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.....	90
Figura 44: Mapa de relación entre el Factor R de Renard y Freimund y el IFM del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.....	91
Figura 45: Correlación entre el Factor R de Renard y Freimund y el IFM del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.	92
Figura 46: Mapa de relación entre el Factor R de Marta Angulo y el IFM del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.	93
Figura 47: Correlación entre el Factor R de Marta Angulo y el IFM del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.	93
Figura 48: Mapa del Factor R de la RSE, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación, resolución mensual.	95
Figura 49: Mapa del Factor R del cantón Loja, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación, resolución mensual.	96
Figura 50: Mapa del Factor R del cantón Loja, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación, resolución temporal inferior a 1 hora.....	97
Figura 51: Mapa del Factor R en función del IFM de la RSE, al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM, resolución mensual.	99
Figura 52: Mapa del Factor R del cantón Loja, al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM, resolución mensual.	100
Figura 53: Mapa del Factor R del cantón Loja, al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM, resolución temporal inferior a 1 hora.	101
Figura 54: Mapas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2000; al aplicar la ecuación de Renard y Freimund para el cálculo del Factor R, resolución mensual.....	103



Figura 55: Mapas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2016; al aplicar la ecuación de Renard y Freimund para el cálculo del Factor R, resolución mensual.....	104
Figura 56: Mapas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2030, al aplicar la ecuación de Renard y Freimund para el cálculo del Factor R, resolución mensual.....	105
Figura 57: Mapas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2000, al aplicar la ecuación de Marta Angulo para el cálculo del Factor R, resolución mensual.....	106
Figura 58: Mapas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2016, al aplicar la ecuación de Marta Angulo para el cálculo del Factor R, resolución mensual.....	108
Figura 59: Mapas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2030, al aplicar la ecuación de Marta Angulo para el cálculo del Factor R, resolución mensual.....	109
Figura 60: Mapas de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030; al aplicar la ecuación de Renard y Freimund para el cálculo del Factor R, resolución mensual.	110
Figura 61: Mapas de Pérdida de Suelo, al aplicar la ecuación de Marta Angulo para el cálculo del Factor R, resolución mensual.....	111
Figura 62: Mapas de Pérdida de Suelo, usando el software RIST para el cálculo del Factor R, resolución temporal inferior a 1 hora.	112
Figura 63: Mapas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2000, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación para el cálculo del Factor R, resolución mensual.....	114
Figura 64: Mapas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2016, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación para el cálculo del Factor R, resolución mensual.....	115



Figura 65: Mapas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2030, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación para el cálculo del Factor R, resolución mensual..... 116

Figura 66: Mapas de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030; al aplicar la ecuación propuesta de precipitación para el cálculo del Factor R, resolución mensual..... 118

Figura 67: Mapas de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación para el cálculo del Factor R, resolución temporal inferior a 1 hora. 119

Figura 68: Mapa de Pérdida de Suelo de la RSE año 2000, al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM para el cálculo del Factor R, resolución mensual..... 120

Figura 69: Mapa de Pérdida de Suelo de la RSE año 2016, al aplicar la ecuación propuesta de IFM para el cálculo del Factor R, resolución mensual..... 122

Figura 70: Mapa de Pérdida de Suelo de la RSE año 2030, al aplicar la ecuación propuesta de IFM para el cálculo del Factor R, resolución mensual..... 123

Figura 71: Mapa de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030; al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM para el cálculo del Factor R, resolución mensual..... 125

Figura 72: Mapa de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030; al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM para el cálculo del Factor R, resolución temporal inferior a 1 hora..... 126



Índice de Tablas

Tabla 1: Proceso de Erosión hídrica.	33
Tabla 2: Clasificación del Índice de Fournier Modificado (IFM).	37
Tabla 3: Áreas del Factor R de la RSE, al aplicar la ecuación de Renard y Freimund. .	53
Tabla 4: Áreas del Factor R de la RSE del Ecuador, al aplicar la ecuación de Marta Angulo.	54
Tabla 5: Áreas del Factor R del cantón Loja, al aplicar la ecuación de Renard y Freimund.	55
Tabla 6: Áreas del Factor R del cantón Loja, usando la ecuación de Marta Angulo.	57
Tabla 7: Áreas del Factor R del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.	59
Tabla 8: Áreas del Factor K de la RSE.	67
Tabla 9: Áreas del Factor K del cantón Loja.	68
Tabla 10: Cobertura vegetal de la RSE año 2000.	69
Tabla 11: Cobertura vegetal de la RSE año 2016.	71
Tabla 12: Cobertura vegetal de la RSE del año 2030.	72
Tabla 13: Cobertura vegetal del cantón Loja año 2000.	74
Tabla 14: Cobertura vegetal del cantón Loja año 2016.	75
Tabla 15: Cobertura vegetal del cantón Loja año 2016.	76
Tabla 16: Áreas del Factor LS de la RSE.	77
Tabla 17: Áreas del Factor LS en el cantón Loja.	78
Tabla 18: Áreas del Factor R de la RSE, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación, resolución mensual.	95
Tabla 19: Áreas del Factor R del cantón Loja, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación, resolución mensual.	96



Tabla 20: Áreas del Factor R del cantón Loja, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación, resolución temporal inferior a 1 hora.....	97
Tabla 21: Áreas del Factor R de la RSE, al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM, resolución mensual.....	99
Tabla 22: Áreas del Factor R del cantón Loja, usando la ecuación propuesta en función del IFM, resolución mensual.....	100
Tabla 23: Áreas del Factor R del cantón Loja, usando la ecuación propuesta en función del IFM, resolución temporal inferior a 1 hora.	102
Tabla 24: Áreas de Pérdida de la RSE año 2000, al aplicar la ecuación del cálculo del Factor R de Renard y Freimund, resolución mensual.	103
Tabla 25: Áreas de Pérdida de la RSE año 2016, al aplicar la ecuación del cálculo del Factor R de Renard y Freimund, resolución mensual.	104
Tabla 26: Áreas de Pérdida de la RSE año 2030, al aplicar la ecuación del cálculo del Factor R de Renard y Freimund, resolución mensual.	106
Tabla 27: Áreas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2000, al aplicar la ecuación del cálculo del Factor R de Marta Angulo, resolución mensual.....	107
Tabla 28: Áreas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2016, al aplicar la ecuación del cálculo del Factor R de Marta Angulo, resolución mensual.....	108
Tabla 29: Áreas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2030, al aplicar la ecuación del cálculo del Factor R de Marta Angulo, resolución mensual.....	109
Tabla 30: Áreas de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030, al aplicar la ecuación del cálculo del Factor R de Renard y Freimund, resolución mensual....	110
Tabla 31: Áreas de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030, al aplicar la ecuación del cálculo del Factor R de Marta Angulo, resolución mensual.	111



Tabla 32: Áreas de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030, usando el software RIST para el cálculo del Factor R, resolución temporal inferior a 1 hora.	113
Tabla 33: Áreas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2000, al aplicar la ecuación propuesta de precipitación para el cálculo del Factor R, resolución mensual.	114
Tabla 34: Áreas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2016, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación para el cálculo del Factor R, resolución mensual.	115
Tabla 35: Áreas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2030, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación para el cálculo del Factor R, resolución mensual.	117
Tabla 36: Áreas de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030, al aplicar la ecuación propuesta de precipitación para el cálculo del Factor R, resolución mensual.	118
Tabla 37: Áreas de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación para el cálculo del Factor R, resolución temporal inferior a 1 hora.	119
Tabla 38: Áreas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2000, al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM para el cálculo del Factor R, resolución mensual.	121
Tabla 39: Áreas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2016, al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM para el cálculo del Factor R, resolución mensual.	122
Tabla 40: Áreas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2030, al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM para el cálculo del Factor R, resolución mensual.	124
Tabla 41: Áreas de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030, al aplicar la ecuación propuesta de IFM para el cálculo del Factor R, resolución mensual.	125



Universidad
Nacional
de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE



Tabla 42: Áreas de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030, al aplicar la ecuación propuesta de IFM para el cálculo del Factor R, resolución temporal inferior a 1 hora. 126



unl

Universidad
Nacional
de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE



“MODELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL
DE LA INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN EN LA REGIÓN
SUR DEL ECUADOR”



unl

Universidad
Nacional
de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE



ACRÓNIMOS

DEM	Modelo de elevación digital
DE	Densidad erosiva MJ/(ha hr)
FACTOR R	Erosión hídrica (MJ mm)/(ha h yr)
FACTOR K	Erodabilidad de suelo (T ha hr)/(MJ mm ha)
FACTOR LS	Longitud y pendiente de cuesta
FACTOR C	Conservación (cobertura vegetal)
FACTOR P	Prácticas de manejo del suelo
IFM	Índice de Fournier Modificado
RUSLE	Ecuación Universal de Pérdida de Suelo versión revisada
RSE	Región Sur del Ecuador
USLE	Ecuación Universal de Pérdida de Suelo



unl

Universidad
Nacional
de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE



RESUMEN

La pérdida de suelo por erosión hídrica está deteriorando severamente el entorno natural. Uno de los factores más determinantes para estimar la pérdida de suelo es la intensidad de precipitación, sin embargo, las metodologías para su estimación dependen del patrón espacio-temporal de la precipitación y de la disponibilidad de información climática, por lo tanto, las metodologías para su cálculo no pueden ser generalizadas. En la presente investigación se determinó el riesgo de erosión hídrica en la Región Sur del Ecuador (RSE), en función de diferentes resoluciones temporales de precipitación. El modelo de erosión utilizado fue la RUSLE, mientras que la intensidad de precipitación se calculó en función de la resolución temporal de los datos. Esto es, cuando la resolución de los datos existentes fue entre 5-60 minutos se determinó mediante EI_{30} utilizando el software RIST desarrollado por la USDA, mientras que con información de precipitación mensual se utilizó la metodología propuesta por Renard y Freimund (1994) y Angulo (2012) cuyas ecuaciones se basan en el IFM. El efecto de la cobertura vegetal en los años 2000, 2016 y su proyección al 2030 también fue modelada. La intensidad de precipitación con la ecuación de Renard y Freimund está en el rango de 1270 a 73400 $Mj.mm/ha.h.yr$; mientras que con la ecuación de Angulo fue de 1370 a 5550 $Mj.mm/ha.h.yr$. Los valores de erosión estimados en la provincia de Loja para el año 2000, 2016 y en la proyección al 2030, indican que el 50% de la superficie presenta una pérdida de suelo superior a 200 $t/ha/yr$, lo cual estaría sobredimensionando los resultados. Sin embargo, con la ecuación de Angulo los valores de erosión altos solo se observan en el 14% de la superficie, y son más cercanos a la realidad. Mediante un análisis de regresión simple se propone ecuaciones polinómicas de segundo grado para calcular intensidad de precipitación basándose en información con una resolución inferior a 1 hora, que pueden ser utilizadas



unl

Universidad
Nacional
de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE



directamente con datos de precipitación o indirectamente con el IFM. La ecuación propuesta en función de la precipitación (Ec. 11) presenta un r^2 de 0.8532, con un umbral comprendido entre 429 a 5360 mm; mientras que la ecuación propuesta en función del IFM (Ec. 12) presenta un r^2 de 0.975, con un umbral comprendido entre 68 a 429. La información generada permite estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica, basándose en patrones locales de la precipitación.



ABSTRACT

Soil loss due to water erosion is severely deteriorating the natural environment. One of the most decisive factors for estimating soil loss is precipitation intensity, however, the methodologies for its estimation depend on the space-time pattern of precipitation and the availability of climate information, therefore, the results can not be generalized. In the present investigation, the risk of water erosion in the Southern Region of Ecuador, based on different temporary precipitation resolutions. The erosion model used was RUSLE, while precipitation intensity was calculated based on the temporal resolution of the data. That is, when the resolution of the existing data was between 5-60 minutes was determined by EI_{30} using the RIST software developed by the USDA, while with monthly precipitation information the methodology proposed by Renard and Freimund (1994) and Angulo (2012) whose equations are based on the IFM. The effect of plant cover in 2000, 2016 and its projection to 2030 was also modeled. The intensity of precipitation with the Renard and Freimund equation is in the range of 1270 to 73400 $Mj.mm/ha.h.yr$; whereas with the equation of Angulo it was from 1370 to 5550 $Mj.mm/ha.h.yr$; in addition, the loss of soil was determined with the information obtained by these researchers, where the highest values were found in the province of Loja, in the year 2000, 2016 and in the projection to 2030, 50% of the province has a loss of higher soil 200 $t/ha/yr$, this when using water erosion information calculated with the Renard and Freimund equation; although, with the Equation of Angulo the most representative values of the same way are found in the province of Loja, the difference is in the percentage of surface area, which in the year 2000, 2016 and in the projection to 2030 about 14% of the surface of the province will present a loss of soil. Through a simple regression analysis, second-degree polynomial equations are proposed to calculate



Universidad
Nacional
de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE



precipitation intensity based on information with a resolution of less than 1 hour, which can be used directly with rainfall data or indirectly with the IFM. The proposed precipitation equation (Ec. 11) presents an r^2 of 0.8532, with a threshold of between 429 and 5360 mm; while the proposed equation based on the IFM (Ec. 12) presents an r^2 of 0.975, with a threshold between 68 and 429. The information generated allows to estimate the loss of soil by water erosion, based on local precipitation patterns.

1. INTRODUCCIÓN

Los factores climáticos que producen la erosión del suelo son: precipitación y viento, no obstante no solo es importante la cantidad de precipitación si no también su distribución temporal (Conti, 2003). Estudiar la intensidad de precipitación y sus efectos sobre el suelo de la Región Sur del Ecuador (RSE), contribuye a mitigar la lucha contra la erosión en beneficio de las futuras generaciones (Custode, E; Viennot, 1986), dado que el suelo es la base para el desarrollo de la vida (Pedraza, 2015).

Según Sone, Sobrinho, Tarso, y Oliveira (2018), la intensidad de precipitación medida en un periodo determinado es considerada como la energía cinética producida por la lluvia al caer. Kenneth G. Renard y Freimund (1994) y Brown & Foster (1987), mencionan que la suma de esta energía cinética producto de la intensidad de precipitación medida en un periodo determinado determina la erosión hídrica del suelo.

La erosividad producto de la precipitación es uno de los factores menos estudiados en Climatología y Meteorología; según Bizzarri (2000); Montico y Di Leo (2015) y González, Serrano, Vilchez, Núñez, y García-sancho (2016), de su conocimiento depende el futuro, puesto que, determina la productividad del suelo en función de las técnicas de manejo. La importancia de determinar la dimensión de erosividad de un área implica conocer su presente o futuro (geográfico y climático). Los estudios en el Ecuador relacionados a la precipitación y erosión se han desarrollado en base a métodos de reconocimiento, estudios en parcelas, simuladores de lluvias y estimaciones a partir de modelos (Hudson, 1997).

Según Suquilanda (2015), en el Ecuador se estima que la pérdida de suelo varía entre 30 a 50 T/ha/yr en áreas con pendientes superiores a 25%. En zonas con pendientes

que varían entre 12 y 25 %, la erosión está comprometida entre 10 y 30 T/ha/yr y en suelos con pendientes menores al 12% la erosión se sitúa entre <5 y 10 T/ha/yr.

El impacto de las actividades antrópicas se ve reflejado en la erosión del suelo, la deforestación es aquella que tienen mayor impacto (Rojas y Ibarra, 2012). A nivel económico, la deforestación aporta el 1.4% al producto interno bruto, a pesar de que esta actividad se considera negativa para los ecosistemas existen zonas aprobadas para su realización. En lo referente a lo ecológico estas actividades provocan alteraciones en los ecosistemas produciendo la pérdida de biodiversidad, recordemos que el Ecuador es una de los países con mayor biodiversidad, en su conjunto posee el 70% de las especies animales y vegetales del planeta (Xavier y Doris, 2007).

Panagos, Ballabio, Borrelli, y Meusburger (2016), investigó sobre el análisis espacio-temporal de la erosividad de las precipitaciones y la densidad de la erosividad en Grecia, usando el modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) y su versión revisada RUSLE. Angulo Martínez (2012), realizó una investigación acerca del factor climático en la erosión del suelo: erosividad de la lluvia en la Cuenca del Ebro, en donde se contextualiza la erosión del suelo como un problema medio ambiental de primer orden. Ochoa, Fries, Mejía, Burneo, Ruíz, y Cerdá (2016), realizaron investigaciones relacionadas a los efectos del clima, la cubierta terrestre y la topografía sobre el riesgo de erosión del suelo en una cuenca semiárida de los Andes, en donde utilizó el Índice de Fournier (IFM) para determinar la erosión hídrica.

La erosión del suelo afecta a los países en desarrollo, por la falta de metodologías para evaluar los riesgos y tecnologías para reducirla (Fenta et al., 2017), siendo la RSE la más afectada a razón de las características meteorológicas presentes. Según Orstom (1994) y Winters, Espinosa, y Crissman (1998), por la problemática ambiental expuesta se debe

realizar procesos de recuperación de cobertura vegetal del suelo e implementar medidas de control y mitigación, con el uso de mecanismos naturales que no induzcan nuevos impactos ambientales.

Bajo este contexto se desarrolló la investigación denominada **“Modelación de la distribución espacial de la intensidad de precipitación en la región sur del Ecuador”**; la cual busca generar información sobre las zonas susceptibles a erosión hídrica mediante la elaboración de bases de datos y mapas temáticos.

Para dar cumplimiento a la investigación que se encuentra en el marco del proyecto “Bases ecológicas para la restauración de la biodiversidad y funcionalidad de ecosistemas degradados en la RSE, ante potenciales cambios ambientales globales”; el mismo que se viene ejecutando por el programa de Investigación Biodiversidad, Bosques y Servicios Ecosistémicos de la Dirección de investigación de la Universidad Nacional de Loja, se plantea objetivos específicos que permiten cumplir la presente investigación:

- Determinar la variabilidad espacial de la intensidad de precipitación mediante el índice I_{30} utilizando información de alta resolución temporal e información mensual en la RSE.
- Modelar el riesgo de erosión hídrica del suelo en función de la intensidad de precipitación.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Precipitación.

La precipitación se define como el agua aportada al terreno en forma de líquido, sólido (nieve, granizo) y vapor. Las nubes están formadas por corpúsculos o gotitas de agua con un diámetro medio de 0.02 mm. Pueden distinguirse varios tipos llovizna (0.1-0.5mm D), lluvia ($D > 0.5$ mm), escarcha, nieve, granizo (Dyla, 2015). La precipitación es el origen de todas las corrientes superficiales y profundas, por lo cual su cuantificación y el conocimiento de su distribución, en el tiempo y en el espacio, se constituyen en problemas básicos para la hidrología (Segerer y Villodas, 2006).

2.2. Intensidad de precipitación máxima en 30 minutos (I_{30}).

A menudo se habla de precipitación intensa refiriéndose a la acumulación en una hora o en pocos segundos, incluso realizando comparaciones lineales entre ambas. Sin embargo, el comportamiento natural de la precipitación hace que sea necesario hablar de una relación no lineal para referirse a cómo cambia la intensidad de la precipitación con el intervalo de tiempo medido. En ese sentido, se aproxima a la descripción del índice I_{30} , que caracteriza la intensidad media máxima (IMM), según su comportamiento convectivo (acumulando un máximo de precipitación en poco tiempo) o advectivo (acumulando la precipitación regularmente), dando como resultado el cálculo de la intensidad de la precipitación en un promedio de 30 minutos. El análisis matemático de las precipitaciones máximas mundiales desprende que éstas presentan una máxima eficiencia entre el origen convectivo y advectivo (n igual a 0,5) (Agut, 2012).

2.3. Método de triangulación Kriging.

Kriging es un método de estimación que da la mejor estimación lineal insesgada de los valores de los puntos, esto es, elegir el promedio ponderado de los valores de las muestras la cual tenga la mínima varianza. Hay diferentes variaciones del método kriging, entre ellas están: Kriging Simple (SK); Kriging Ordinario (OK) y Kriging Universal (UK).

La precisión de los métodos depende de varios factores.

- El número de muestras y la calidad de los datos en cada punto.
- La posición de las muestras en el depósito.
- La distancia entre las muestras y el punto a ser estimado.

La continuidad espacial bajo consideración (Zavaleta, 2010).

2.4. Erosión.

La erosión del suelo es la separación del material superficial por acción del viento o del agua. Este proceso puede ser ocasionado por el agua en dos formas: por precipitaciones o escorrentía, que en contacto con el suelo (las primeras con impacto y las segundas con fuerzas tractivas), vencen la resistencia de las partículas (fricción o cohesión) del suelo produciéndose el proceso de erosión (Duque y Escobar, 2002).

2.5. Erosión Hídrica.

Es la erosión por agua lluvia y abarca la erosión provocada por el impacto de las gotas sobre el suelo desnudo, como también la acción hidráulica que arranca y transporta las partículas de suelo por el escurrimiento en laderas y taludes. En la Tabla 1, se observa los procesos de la erosión hídrica.

Se deben considerar los siguientes aspectos relacionados a la erosión hídrica:

- Las geoformas denudativas creadas por la erosión.

- Los fenómenos dinámicos asociados al transporte de masas.
- La sedimentación y la colmatación de las vaguadas de los cauces (Duque y Escobar, 2002).

Tabla 1: Proceso de Erosión hídrica.

TIPO	ACCIÓN	EFFECTOS
<p>EROSIÓN POR LLUVIA: La acción de las aguas producto de las precipitaciones, con la contribución de otros agentes climáticos, sobre la superficie del interfluvio.</p> <p>NOTA: Las crestas del interfluvio son laderas (naturales) y taludes (construidos).</p>	<p><i>Saltación pluvial:</i> Expulsión y dispersión por gotas de lluvia.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto de la gota de agua. • Disminución de la capa de infiltración. • Pérdida de los poros y de las fisuras del suelo expuesto.
ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL DIFUSO		
	<p><i>Erosión laminar:</i> Traslado uniforme de capas de suelo a poca distancia.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Esgurrimiento de suelos limosos y arenosos. • Es fuente importante de sedimentos
ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL CONCENTRADO		
	<p><i>Surcos de erosión:</i> El escurrimiento concentrado forma pequeños canales paralelos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de taludes y laderas. • Alta contribución de sedimentos. • Los canales se borran con perfilado y labranza.
	<p><i>Cárcavas:</i> Son zanjones profundos y de gran tamaño, por lo tanto, son difíciles de controlar.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Acentuar el relieve promoviendo otras • formas de inestabilidad. • Fuente importante de sedimentos. • Corrección de alto costo.

Obtenida de: (Escobar, Escobar, Gonzalo, y Enrique, 2016)

2.6. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, (RUSLE).

En la actualidad se emplea el modelo RUSLE, una versión revisada del modelo original USLE (Renard et al., 1994). Esta actualización está sustentado en el análisis estadístico de datos de 10 000 campo-año (Wischmeier y Smith, 1978). Es conveniente usar RUSLE para determinar la erosión media anual de una pendiente. Se utiliza para calcular la pérdida de suelo por erosión laminar y erosión en surcos (no para erosión en

cárcavas)(K. Renard, Foster, Weesies, McCool, y Yoder, 1997). Usa un método de análisis de factores para estimar la erosión del suelo, estos representan la erosividad de las precipitaciones, la vegetación, la erodabilidad del suelo, y la topografía del paisaje descrito por la longitud de la pendiente, ángulo y forma (K. G. Renard y Foster, 1994):

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

Donde A es la media de la pérdida de suelo anual en, t/ha/yr, K es la erodabilidad del suelo en, t ha h/ha MJ mm, L es el factor de longitud de cuesta, S es el factor de pendiente de cuesta, R es el factor de erosividad de la lluvia en, MJ mm/ha h, C es el factor vegetación y P es el factor de prácticas de apoyo o manejo del suelo (Wischmeier y Smith, 1978).

2.6.1. Factor K.

Según Gaitán, Navarro, Tenti, y Pizarro (2017) y K G Renard, Foster, Weesies, Mccool, y Yoder (2000) el factor K representa la susceptibilidad del suelo y reconoce que sus propiedades físicas están estrechamente relacionadas a las tasas de erosión, relacionando la escorrentía con la infiltración en la pérdida de suelo. Los suelos con alto contenido de arcilla tienen bajos valores de K, de cerca de 0.05 a 0.15. Suelos con texturas gruesas, como los suelos arenosos, tienen bajos valores de K cerca de 0.05 a 0.2, estos suelos son fácilmente erodables. Suelos con texturas medias como los francos, tienen un valor moderado de K, de cerca de 0.25 a 0.4 ya que son moderadamente erodables. Suelos que contienen un alto contenido de limo son los más erodables, los valores de K de estos suelos tienden a ser mayores que 0.4 (Velásquez, 2008).

2.6.2. Factor LS.

El factor conjunto LS es la combinación de la longitud y el ángulo de inclinación de la ladera sobre la que se están estimando las pérdidas de suelo (Ibáñez, Ramón, Blanquer, y Manuel, 2015). Es el factor topográfico (adimensional) y establece la influencia del relieve en la erosión hídrica. Está conformado por el factor de largo de la pendiente (L) y el factor de gradiente de la pendiente (S). El factor L es la proporción de pérdida de suelos en el largo de la pendiente específica con respecto a un largo de pendiente estándar (22,13 m). El factor S es la proporción de pérdida de suelos de una superficie con una pendiente específica con respecto a aquella en la pendiente estándar de 9%, con todos los otros factores idénticos (Gaitán et al., 2017).

2.6.3. Factor C.

El factor C indica cómo el plan de conservación afectará la pérdida promedio anual y cómo la pérdida potencial de suelo será distribuida en el tiempo durante las actividades de construcción, rotaciones de cultivo u otros esquemas de manejo (Velásquez, 2008). Es el factor de cobertura y manejo (adimensional), es la proporción de pérdida de suelo en una superficie con cubierta y manejo específico con respecto a una superficie idéntica en barbecho, con labranza continua (Gaitán et al., 2017).

2.6.4. Factor P.

Según K. G. Renard et al. (2000) y Wischmeier y Smith (1978) el factor P es la relación entre la pérdida de suelo con una práctica de apoyo específica a la pérdida correspondiente con la labranza ascendente y descendente. Estas prácticas afectan la erosión al modificar el patrón de flujo, el grado o la dirección de la escorrentía de la superficie y al reducir la cantidad y la velocidad de desunión.

2.6.5. Factor R.

El factor R determinar la erosión del suelo producto de las precipitaciones, estas precipitaciones son caracterizadas por la cantidad de las mismas y medidas en función de la intensidad en un período determinado (30 minutos). Para hacer el análisis anual, se escogen aquellas tormentas que estén separadas más de 6 horas entre una y otra, para considerarlas independientes (Velásquez, 2008). K G Renard et al. (2000) y Wischmeier y Smith (1978), mencionan que el factor R para un solo evento de precipitación (E) se estima como el producto de la energía cinética total de la lluvia con su intensidad máxima de 30 min I_{30} (mm/h).

2.6.5.1. Factor R por el método del Índice de Fournier Modificado (IFM).

Arnold (1980), luego de obtener bajas correlaciones entre el índice EI_{30} y el (IFM), propuso el IMF, fundamentado en el hecho que no sólo el mes de mayor precipitación produce erosión superficial, sino que hay meses con menores cantidades de precipitación que también producen erosión. Se propuso una corrección del IF en que se consideran no sólo la precipitación mensual del mes más húmedo, sino también la del resto de los meses. Este IFM caracteriza la agresividad de la precipitación y se calcula de la siguiente forma:

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

donde: IFM índice de Fournier modificado en mm, p_i precipitación del mes i en mm y P precipitación total anual, en mm. El cálculo de IFM se hace para cada año y luego se calcula el promedio, cuya clasificación se presenta en la Tabla 2, (PHI, 2006).

Tabla 2: Clasificación del Índice de Fournier Modificado (IFM).

IFM	Clasificación
0-60	Muy bajo
60-90	Bajo
90-120	Moderado
120-160	Alto
> 160	Muy alto

Obtenida de: (PHI, 2006)

2.6.5.2. Herramienta de resumen de intensidad de lluvia (RIST).

Los eventos de lluvia se dividieron automáticamente en erosivos y no erosivos, mediante el uso de RIST, para el cálculo de la energía cinética (KE) de la lluvia y la intensidad máxima en 30 minutos. Los eventos erosivos son aquellos en los que la cantidad de lluvia es superior a 10 mm o superior a 6 mm en 15 minutos; las precipitaciones que se producen en un intervalo de hasta 6 horas se consideran como un solo evento. No es necesario separar manualmente los eventos erosivos, ya que puede configurar el programa para que considere automáticamente los eventos erosivos mientras estima el EI_{30} . Además, puede elegir la ecuación de energía cinética que representa su área de estudio (Sone et al., 2018).

2.7. Densidad Erosiva (DE).

La DE se utiliza para una evaluación posterior de los patrones de erosividad de la lluvia y el tipo de precipitación involucrada en eventos erosivos. es la relación entre la erosividad media anual y la precipitación anual media (Kinnell, 2010). Mide la erosividad por unidad de precipitación (mm) y se expresa como MJ/(ha hr).

$$ED = \frac{R}{P} \quad \text{Ec.3.}$$

Donde R es el promedio anual de erosividad de precipitación(MJ mm)/(ha h yr) y P es el promedio anual de lluvia (mm/yr)(Hijmans, Cameron, Parra, Jones, y Jarvis, 2005).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio.

El área de estudio se encuentra en la RSE en las provincias de El Oro, Loja y Zamora. La RSE presenta de manera general tres tipos de climas.

El clima megatérmico seco a semihúmedo es característico de la parte occidental del Litoral y la parte sur occidental de la zona Andina (Zapotillo, Macará, parte baja de Puyango, Pindal). Presenta una estación seca y una estación húmeda bien definidas, con temperaturas anuales promedio superior a los 22 °C y los niveles de precipitación generalmente entre 500 – 1000 mm. El periodo de lluvias en condiciones normales, concentra entre el 70 – 90% del total de las precipitaciones anuales; con excepciones ligadas a los periodos de “Súper Niño” p.ej. 1983, 1997/98. Así mismo, se ha identificado que durante estos eventos, la estación de lluvias inicia más temprano de lo normal y su duración puede extenderse uno o dos meses adicionales, generando impactos como: inundaciones y deslizamientos, afectando el funcionamiento de los ecosistemas áridos y semiáridos, que se ubican en las llanuras costeras y flancos occidentales de la cordillera (Samaniego, Eguiguren, Maita, y Aguirre, 2015).

El clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo a húmedo predomina en gran parte de la zona Andina. Este tipo de clima se caracteriza por presentar inviernos relativamente secos, debido a la pérdida de humedad que sufren las masas de aire al chocar en los flancos de la cordillera, las precipitaciones anuales promedio varían de 600 a 2000 mm no obstante en las partes más altas de la cordillera se han registrado valores de hasta 6700 mm, las temperaturas fluctúan entre los 12 – 22 °C y los niveles de humedad relativa varían entre 65 – 85%, estas diferencias están en función de la topografía local: exposición y altura. Además es común encontrar grandes diferencias climáticas asociadas al fuerte gradiente



unl

Universidad
Nacional
de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE



altitudinal; por ejemplo, las partes altas de la cordillera, como Cajanuma, Cerro Toledo, son extremadamente húmedos durante todo el año, esta condición está asociada a la alta frecuencia de nubosidad (superior al 80%) así como a los fuertes vientos que inciden sobre las tasas de condensación, principalmente durante la época de junio – agosto, aquí el gradiente térmico está en razón de 0,5 °C/100 m; mientras que, para los valles comprendidos entre Catamayo y Cariamanga los niveles de nubosidad y lluvia disminuyen considerablemente, y en donde típicamente la tasa de cambio de temperatura es de 0,71 °C/100 m (Samaniego et al., 2015).

El clima tropical megatérmico muy húmedo corresponde a la provincia de Zamora Chinchipe; esta zona mantiene un intercambio de masas de biodiversidad del páramo influenciado por los vientos alisios. Las precipitaciones son abundantes, frecuentes e intensas, pues sobre las llanuras amazónicas se conforman masas de aire caliente con una notable humedad, procedente de la evaporación de la densa cobertura boscosa, estas masas producen importantes precipitaciones tanto en las planicies amazónicas como a lo largo de toda la ladera oriental de la Cordillera Real, las mismas que en ocasiones invaden la zona interandina. Este clima, se caracteriza por presentar temperaturas sobre los 22 °C, la humedad y precipitaciones son elementos que se mantienen relativamente constantes durante todo el año sin gran diferenciación entre estación seca y lluviosa, pero con un relativo aumento de lluvias en abril. En los flancos orientales, las precipitaciones se concentran en los meses de mayo a septiembre y existe una estación relativamente seca entre noviembre y febrero. Los promedios anuales varían entre 3000 mm en las regiones próximas a la cordillera y entre 2500 – 3000 en las zonas más orientales. No obstante, pese a estas características, se han detectado eventos de disminuciones drásticas en las precipitaciones (Samaniego et al., 2015).

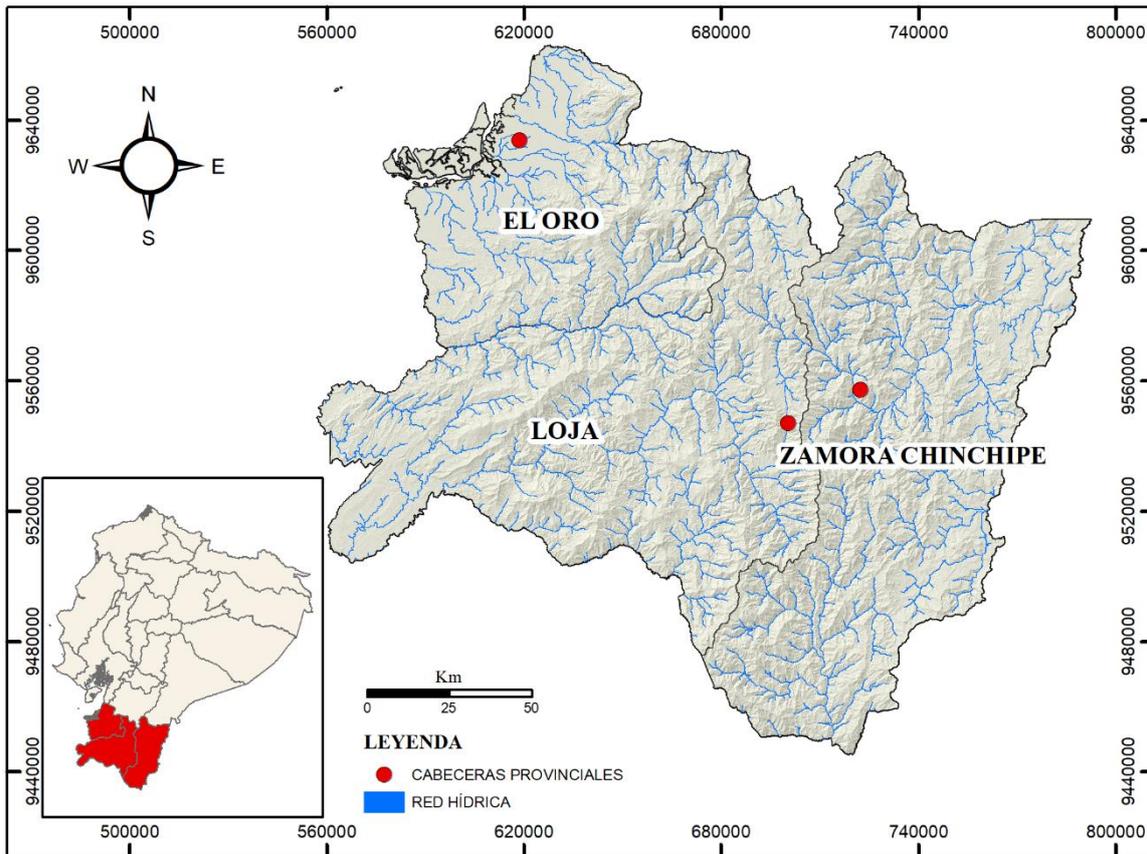


Figura 1: Mapa de Ubicación del Área de Estudio.

3.2. Materiales y Métodos.

3.2.1. Materiales.

Dentro de los materiales que se utilizaron durante la realización del trabajo investigativo están:

- Material de oficina (Papel, marcadores, esferográficos, libretas, etc.)
- Hardware u ordenador computacional
- Software Surfer 13.0
- Rainfall Intensity Summarization Tool (RIST).
- Información base: INAMHI (estaciones convencionales y automáticas).
- Información de los niveles de erosividad en la RSE (shapefiles)

3.2.2. Métodos.

Para dar cumplimiento a los objetivos específicos planteados en la investigación se aplicó las diferentes metodologías:

3.2.2.1. Interpolación de la información

Para realizar el procesamiento de los datos se usó el método de interpolación Kriging Ordinario aplicado a todos los datos recolectados, además para categorizar cada una de los resultados obtenidos en los mapas se utilizó la categoría de intervalos iguales; se usó este método y esta categorización porque es lo recomendado por los autores que se han mencionado durante esta investigación La resolución obtenida luego de este proceso es de 30m x 30m.

3.2.2.2. Cálculo de precipitación media.

Elaboración de base de datos mensual y de resolución temporal inferior a 1 hora.

Para la elaboración de la base de datos de precipitación se empleó la información proporcionada por el INMAHI de 65 estaciones meteorológicas ubicadas en la RSE y 6 estaciones meteorológicas ubicadas en el Perú, y de la Universidad Técnica Particular de Loja de 15 estaciones automáticas ubicadas en la RSE. Dicha información fue sometida a un proceso de cálculo en donde se determinó los valores promedios de precipitación diaria, mensual y anual, con la siguiente ecuación:

$$P_m = \sum_{i=1}^{12} \frac{P}{12} \quad \text{Ec.4.}$$

Donde: P_m es la precipitación media, P es la suma de las precipitaciones mensuales y el número 12 corresponde a los meses que tiene el año.

3.2.2.3. Cálculo del Factor R.

➤ Elaboración de la Base de datos mensual.

Para la estructuración de la base de datos del factor se partió de información primaria proporcionada por el INAMHI. Dicha información contiene la precipitación

media mensual de un periodo de 16 años de 65 estaciones meteorológicas ubicadas en la RSE y 6 estaciones meteorológicas ubicadas en el Perú.

- Cálculo del Índice de Fournier Modificado (IFM).

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

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

Donde: p_i precipitación del mes i en mm; P precipitación total anual, en mm y 12 se refiere al número de meses que tiene el año, se recalca que se calcula el IFM para cada uno de los meses del año y luego se obtiene un promedio anual para el periodo que se está investigando.

- Cálculo del Factor R, según Kenneth G. Renard y Freimund (1994).

Luego del cálculo del IFM, se procedió a calcular el Factor R aplicando la Ec.5. de Kenneth G. Renard y Freimund (1994), aplicada en un estudio de (Ochoa et al., 2016):

$$R = (95.77 - (6.081 * (IFM)) + 0.477 * (IFM^2)) \quad \text{Ec.5.}$$

Donde: R es la erosión hídrica y el IFM es el Índice de Fournier modificado.

- Cálculo del Factor R, según Angulo Martínez (2012).

Luego del cálculo del IFM, se procedió a calcular el Factor R aplicando la Ec.6. de (Angulo Martínez, 2012):

$$R = 21.56IFM^{0.927} \quad \text{Ec.6.}$$

Donde: R es la erosión hídrica y el IFM es el Índice de Fournier modificado.

- Elaboración de la Base de datos con resolución temporal inferior a 1 hora.

Para la estructuración de la base de datos del factor R se partió de información primaria proporcionada por el INAMHI y la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL). Dicha información contiene la precipitación diaria con una resolución temporal inferior a 1 hora de un periodo de 2 años de 15 estaciones automáticas ubicadas en la RSE, cabe recalcar por la cantidad y ubicación de las estaciones automáticas se procedió hacer cálculos más específicos en el cantón Loja.

- Herramienta de resumen de intensidad de lluvia (RIST).

Se calculó el factor R como la suma del producto de la energía cinética y su intensidad máxima de 30 minutos de cada tormenta de lluvia en un año propuestas por Brown y Foster (1986), la energía cinética total de la tormenta E (MJ/ha) se determinó utilizando la ecuación:

$$E = 0.29 (1 - 0.72 \exp(-0.05i)) \quad \text{Ec.7.}$$

Donde, i es la intensidad de la lluvia durante el intervalo de tiempo (mm/h). Si la intensidad de la lluvia es superior a 76 mm por hora, la energía de lluvia unitaria se toma como 0.283 MJ/ha mm según Wischmeier y Smith (1978) y Kenneth G. Renard y Freimund (1994).

- Elaboración en formato SIG.

Dados todos los resultados del apartado anterior se ordenó la base de datos para poderla procesar en el software Surfer Versión 11 de Golden Software y procesarla empleando el método de interpolación Kriging, que es una técnica de interpolación geoestadística que determina el valor de la elevación apoyado en el cálculo del promedio de los valores más próximos.

3.2.2.4. Cálculo de la Densidad Erosiva.

Para el cálculo de la densidad erosiva se usó la siguiente ecuación:

$$ED = \frac{R}{P} \quad \text{Ec.3.}$$

donde R es el promedio anual de erosividad por precipitación (MJ mm)/(ha h yr) y P es el promedio anual de lluvia (mm/yr)(Hijmans et al., 2005).

3.2.3. Cálculo del Factor K.

Para el cálculo del factor K se usó información secundaria perteneciente a la Universidad Nacional de Loja de investigaciones pasadas.

Elaboración del formato SIG.

Se ordenó la base de datos para poderla procesarla en el software Surfer Versión 13 de Golden Software empleando el método de interpolación Kriging, que es una técnica de interpolación geoestadística que determina el valor de la elevación apoyado en el cálculo del promedio de los valores más próximos.

3.2.4. Cálculo del Factor C.

Para la realización de la base de datos del factor C se procedió a determinar los valores de ponderación de acuerdo a otras investigaciones que utilizan la misma metodología, tomando en cuenta todas las características presentes en cada uno de los diferentes tipos de cobertura vegetal del año del 2000 y 2016 proporcionadas por el Ministerio del Ambiente, y de la proyección de la cobertura vegetal del año 2030, proporcionada por Narvaez Sozoranga (2018).

Elaboración en formato SIG.

Finalmente, con la base de datos subida en el programa ArcMap 10.3, se procedió a convertir de formato vector a formato raster, cuyo resultado es la imagen del factor C.

3.2.5. Cálculo del Factor LS.

Elaboración en formato SIG.

Para el cálculo del Factor LS se usó un modelo de elevación digital (DEM) con una resolución de 30m x 30m. A partir de esta información se obtuvo diferentes parámetros que sirvieron para determinar los factores L y S, aplicando la metodología de Díaz (2013). En el cálculo del factor L, fue necesario aplicar un relleno de información al DEM para evitar faltantes de información en los archivos de formato raster. Con la imagen resultante se creó un raster de pendientes el mismo que fue utilizado para crear el factor F empleando la Ecuación 8.

$$F = \frac{\sin\beta/0.0896}{3(\sin\beta)^{0.8}+0.56} \quad \text{Ec.8.}$$

Donde

β = Es el ángulo de la pendiente

En ArcMap con la herramienta Raster Calculator se procede a calcular el Factor F, M, L, como lo indica Díaz (2013) en su metodología.

Posteriormente se obtendrá la dirección y acumulación del flujo, una vez obtenidas estas dos imágenes se obtuvo el Factor L al aplicar la calculadora raster empleando la siguiente Ecuación 9.

$$L_{(i,j)} = \frac{(A_{(i,j)}+D^2)^{m+2} - A_{(i,j)}^{m+1}}{x^m * D^{m+2} * (22.12)^m} \quad \text{Ec.9.}$$

Donde

$A_{(i,j)m}$ = Es el área aportada unitaria a la entrada de un pixel (celda).

D = Es el tamaño del pixel.

x = Es el factor de correlación de forma.

Para el cálculo del Factor S se empleará la siguiente ecuación.

$$S_{(i,j)} = \begin{cases} 10.8 \sin \beta_{(i,j)} + 0.03 & \tan \beta_{(i,j)} < 0.09 \\ 16.8 \sin \beta_{(i,j)} - 0.5 & \tan \beta_{(i,j)} \geq 0.09 \end{cases} \quad \text{Ec.10.}$$

Obtenidos todos los factores anteriores procedió a calcular el factor LS que es objeto de la presente metodología con la herramienta calculadora raster como indica Díaz (2013).

3.2.6. Análisis estadístico.

Se realizó el análisis de los datos por medio de correlaciones, además que gracias a este análisis estadístico se logró proponer dos ecuaciones polinómicas de segundo grado, la primera en función de la precipitación media y la segunda a partir del cálculo del IFM. Se procedió a realizar los diagramas de dispersión de las correlaciones no lineales; mientras la correlación se acerque al valor de 1 la correlación será positiva grande y perfecta, a continuación, se presentan las correlaciones realizadas:

- Entre el factor R al aplicar la ecuación de Renard y Freimund (1994) y la precipitación con una resolución temporal mensual e inferior a 1 hora.
- Entre el factor R al aplicar la ecuación de Marta Angulo (2012) y la precipitación con una resolución temporal mensual e inferior a 1 hora.
- Entre el IFM con una resolución temporal mensual e inferior a 1 hora, y el factor R aplicando la ecuación de Renard y Freimund (1994).
- Entre el factor R al aplicar el software RIST y la precipitación con una resolución temporal inferior a 1 hora.
- Entre el IFM con una resolución inferior a 1 hora, y el factor R al aplicar el software RIST.

4. RESULTADOS

En el presente capítulo se indica los resultados e interpretaciones que se han obtenido para cada uno de los objetivos planteados en esta investigación. La distribución política administrativa de la RSE se encuentra en el ANEXO 9.1 y la distribución político administrativa del cantón Loja se encuentra en el ANEXO 9.2.

4.1. Determinar la variabilidad espacial de la intensidad de precipitación mediante el índice I_{30} utilizando información de alta resolución temporal e información mensual en la RSE.

4.1.1. Análisis regional de precipitación periodo 2000-2016 con información mensual.

Al observar la Figura 2, en la RSE del Ecuador las precipitaciones se encuentran entre los valores de 386 mm a 2260 mm. Los cantones donde existe mayor cantidad de precipitación en la Provincia de Loja son: Puyango, Chaguarpamba, Gonzanamá y Calvas, donde las precipitaciones están entre los 386 mm a 1850 mm, con un promedio de 1056 mm. En la Provincia de El Oro son: Balsas, Portovelo y Zaruma, las precipitaciones presentan valores entre los 412 mm a 2050 mm, con un promedio de 870 mm, con precipitaciones que no son constantes. En la Provincia de Zamora son: Zamora, Centinela del Condor, Paquisha y Nangaritza, las precipitaciones se encuentran entre los 831 mm a 2260 mm, con un promedio de 1562 mm durante el periodo 2000-2016, las precipitaciones son constantes y abundantes.

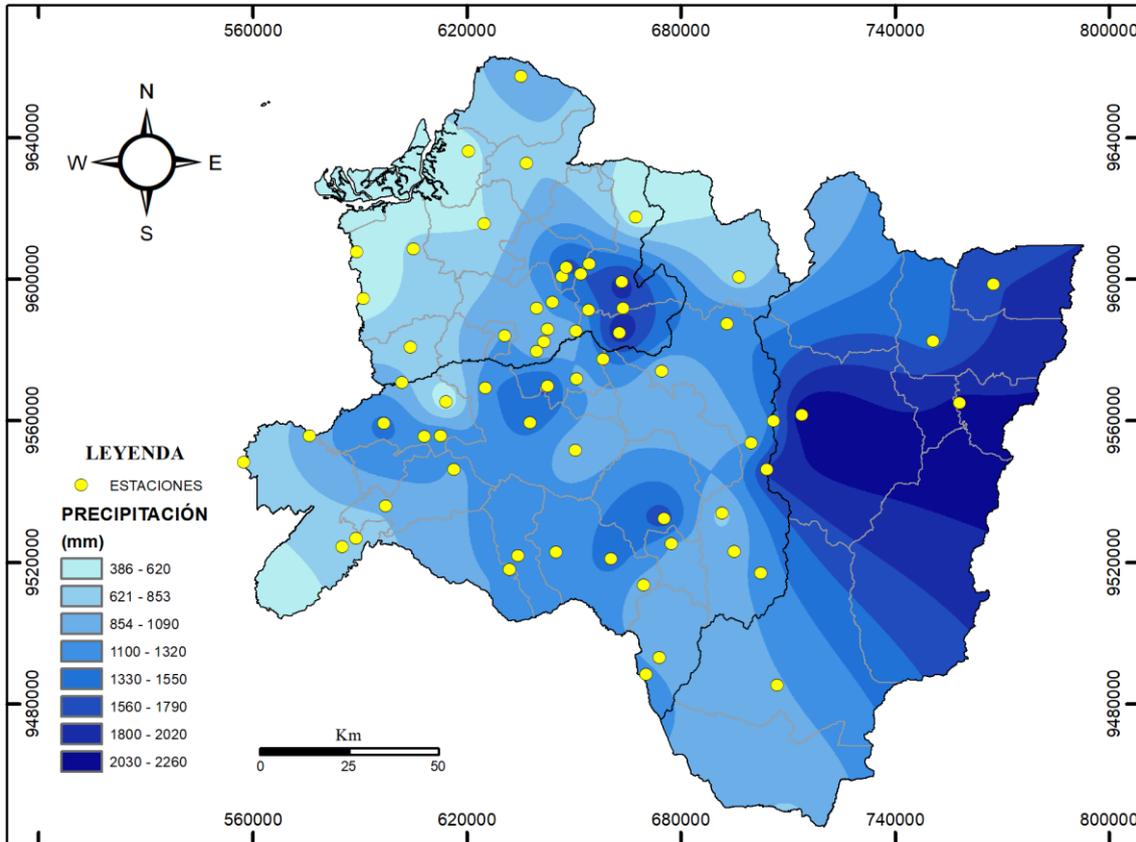


Figura 2: Mapa de Precipitación de la RSE.

4.1.2. Análisis de precipitación del cantón Loja periodo 2000-2016 con información mensual.

En la Figura 3, se puede definir que en el cantón Loja las parroquias donde existe mayor cantidad de precipitación es Loja, Vilcabamba, San Pedro de Vilcabamba, Malacatos y el Cisne, donde las precipitaciones están entre los 760 mm a 1850 mm, con un promedio de 1169 mm.

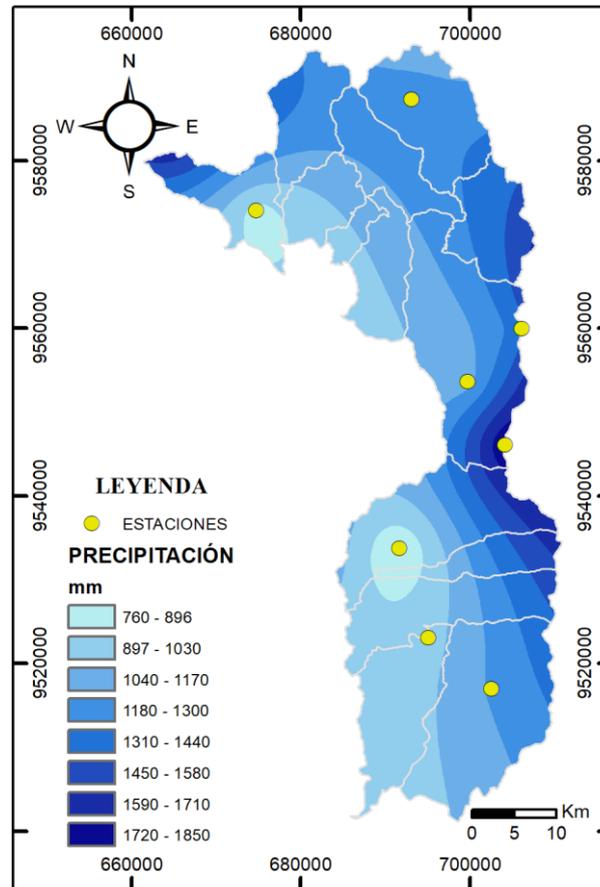


Figura 3: Mapa de Precipitación mensual del cantón Loja.

4.1.3. Análisis de precipitación del cantón Loja del periodo 2015-2016 con información de alta resolución temporal inferior a 1 hora.

En la Figura 4 se observa la precipitación de cada uno de los meses del año del cantón Loja, en donde sobresale la precipitación de los meses de junio y julio, con una precipitación mayor a 500 mm, acentuando los mayores niveles de precipitación en la parroquia de Loja, los valores menores se presentaron en los meses de octubre y noviembre a lo largo del periodo 2015-2016.

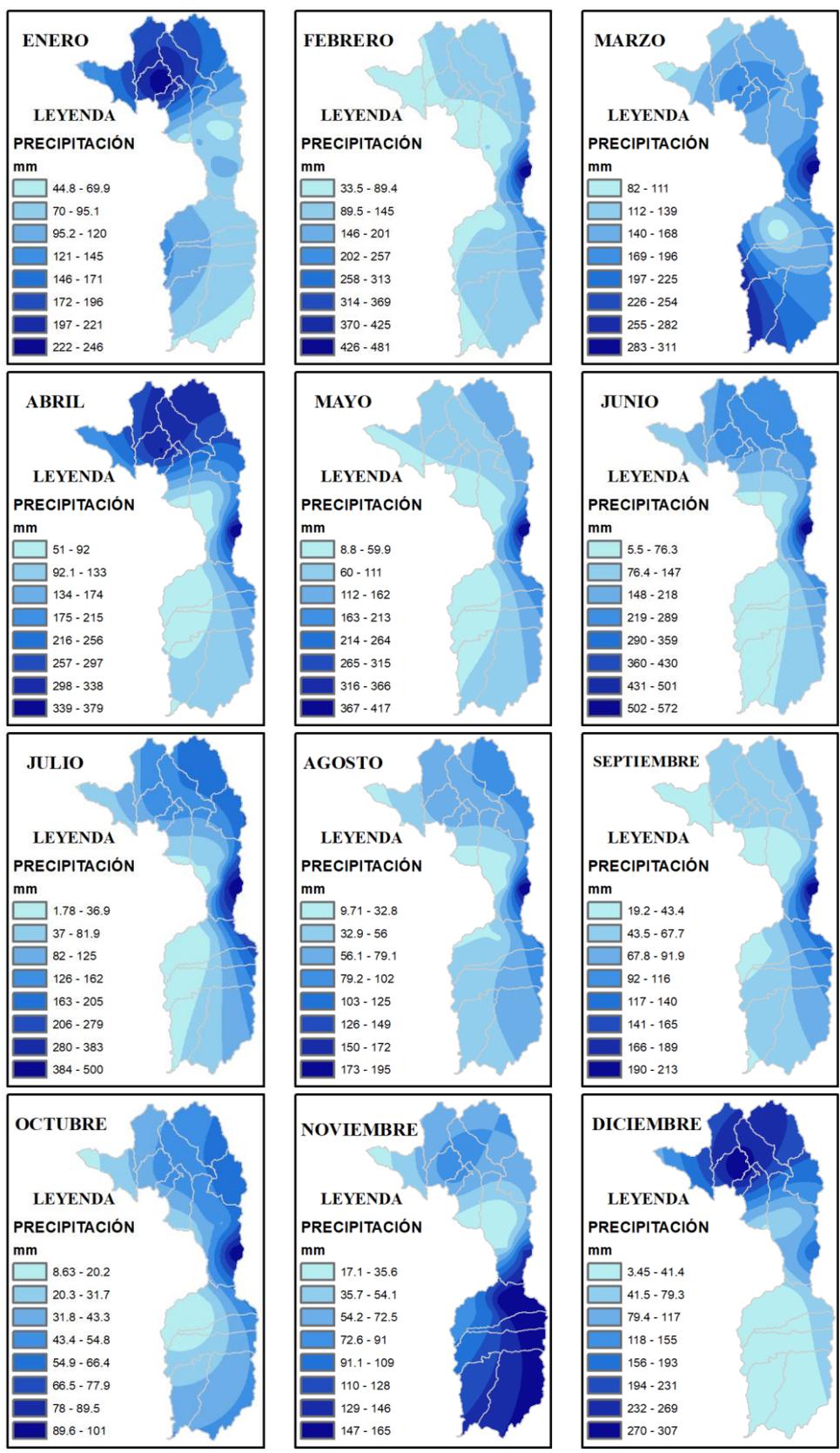


Figura 4: Mapa de Precipitación por meses del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.

En la Figura 5 se observa la precipitación del periodo 2015 – 2016, con una resolución temporal inferior a 1 hora, en donde se destaca la parroquia de Loja, como el sitio donde existe mayor concentración de precipitaciones dentro del cantón Loja, con valores que se encuentran entre 387 a 3590 mm, con una media de 1169 mm.

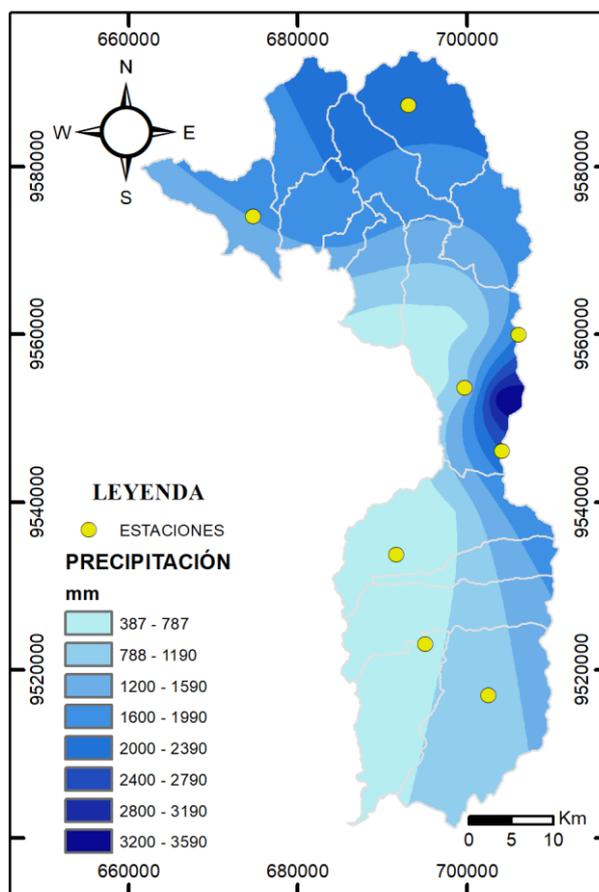


Figura 5: Mapa de Precipitación del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.

4.1.4. Análisis regional de erosión hídrica del periodo 2000-2016 con información mensual.

En la Figura 6 y Tabla 3, al aplicar la ecuación de Renard y Freimund, los valores de R se sitúan entre 1300 a 73 000 Mj.mm/ha.h.yr en la RSE, encontrándose valores altos en la provincia de Loja en los cantones: Chaguarpamba, Puyango, Macará, Sozoranga, Pindal, Gonzanamá y Paltas; y valores bajos en el cantón Loja, estos valores fluctúan entre 1300 y 68 100 Mj.mm/ha.h.yr, con una media de 27 457 Mj.mm/ha.h.yr; en la provincia

el factor R más elevado (59 900 a 68 100 $Mj.mm/ha.h.yr$) se encuentra en el 0.32%, que corresponde a 3574.87 ha. En la provincia de El Oro se encontraron valores altos en los cantones Portovelo, Atahualpa y Zaruma este fenómeno disminuye a medida que se dirige hacia la zona costera y fronteriza con el Perú; los valores de erosividad que presenta oscilan entre 2150 a 73 400 $Mj.mm/ha.h.yr$, con una media 16 465 $Mj.mm/ha.h.yr$; en la provincia el factor R más elevado (64 600 a 73 400 $Mj.mm/ha.h.yr$) se encuentra en el 0.48%, que corresponde a 2771.24 ha. En la provincia de Zamora, en los cantones de Centinela del Condor, Zamora, Yantzaza y Nangaritza se registran los valores más altos de erosión hídrica, que está entre 3180 a 26 600 $Mj.mm/ha.h.yr$, con una media de 16 198 $Mj.mm/ha.h.yr$; en la provincia el factor R más elevado (23 800 a 26 600 $Mj.mm/ha.h.yr$) se encuentra en el 13.91%, que corresponde a 146 996.33 ha.

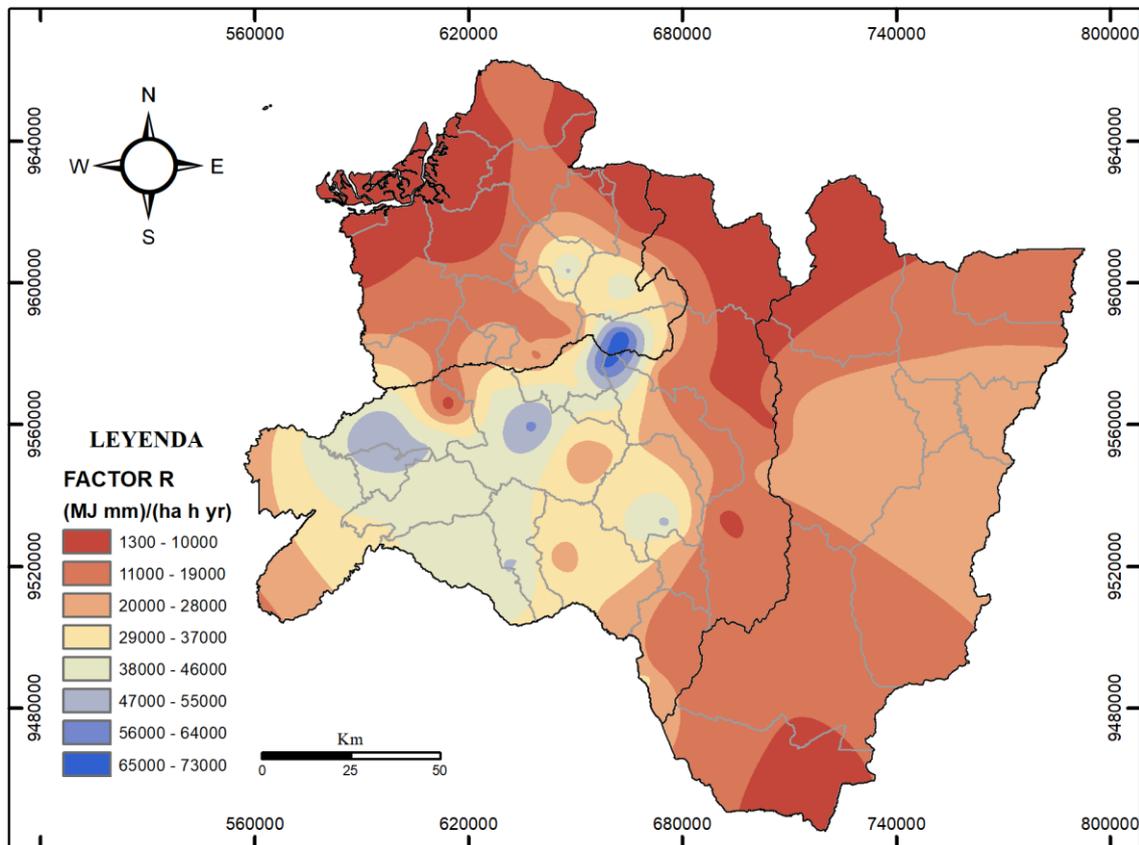


Figura 6: Mapa de Factor R de la RSE, al aplicar la ecuación de Renard y Freimund, resolución mensual.

Tabla 3: Áreas del Factor R de la RSE, al aplicar la ecuación de Renard y Freimund.

Loja			El Oro			Zamora		
Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%
1300-9620	105680.56	9.55	2150-11100	239321.11	41.69	3180-6110	31391.70	2.97
9630-18000	232529.78	21.02	11200-20000	171807.33	29.93	6120-9030	74811.59	7.08
18100-26300	143110.78	12.93	20100-28900	85052.01	14.82	9040-12000	192698.05	18.24
26400-34700	233319.86	21.09	29000-37800	53070.91	9.24	12100-14900	179119.51	16.95
34800-43000	264788.56	23.93	37900-46700	14579.84	2.54	15000-17800	152863.67	14.47
43100-51400	111416.70	10.07	46800-55600	4254.41	0.74	17900-20700	141005.43	13.35
51500-59800	12024.28	1.09	55700-64500	3223.81	0.56	20800-23700	137679.68	13.03
59900-68100	3574.87	0.32	64600-73000	2771.24	0.48	23800-26600	146996.33	13.91

En la Figura 7 y la Tabla 4, al aplicar la ecuación de Angulo, los valores de R se sitúan entre 1370 a 5550 Mj.mm/ha.h.yr en la RSE, se aprecia que los cantones con valores más altos en la provincia de Loja son: Puyango, Pindal, Celica, Chaguarpamba y Paltas, en el este de la provincia los valores tienden a descender, los valores están entre 1370 a 5360 Mj.mm/ha.h.yr con una media de 3363 Mj.mm/ha.h.yr; en la provincia el factor R más elevado (4870 a 5360 Mj.mm/ha.h.yr) se encuentra en el 0.47%, que corresponde a 5149.32 ha. En la provincia de El Oro los valores más altos están en los cantones de Atahualpa, Zaruma y Portovelo, con valores entre 1450 a 5550 Mj.mm/ha.h.yr, con una media de 2264 Mj.mm/ha.h.yr; mientras que al acercarse a la zona costero y fronteriza con el Perú tienden a descender; en la provincia el factor R más elevado (5050 a 5550 Mj.mm/ha.h.yr) se encuentra en el 0.64%, que corresponde a 3690.66 ha. En la provincia de Zamora los valores más representativos se encuentran ubicados en los cantones de Centinela del Condor, Zamora, Nangarirtza, Paquisha y Yantzaza, con valores que se encuentran entre 1560 a 3500 Mj.mm/ha.h.yr, con una media de 2718 Mj.mm/ha.h.yr; en la provincia el factor R más elevado (3270 a 3500 Mj.mm/ha.h.yr) se encuentra en el 16.94%, que corresponde a 178930.85 ha.

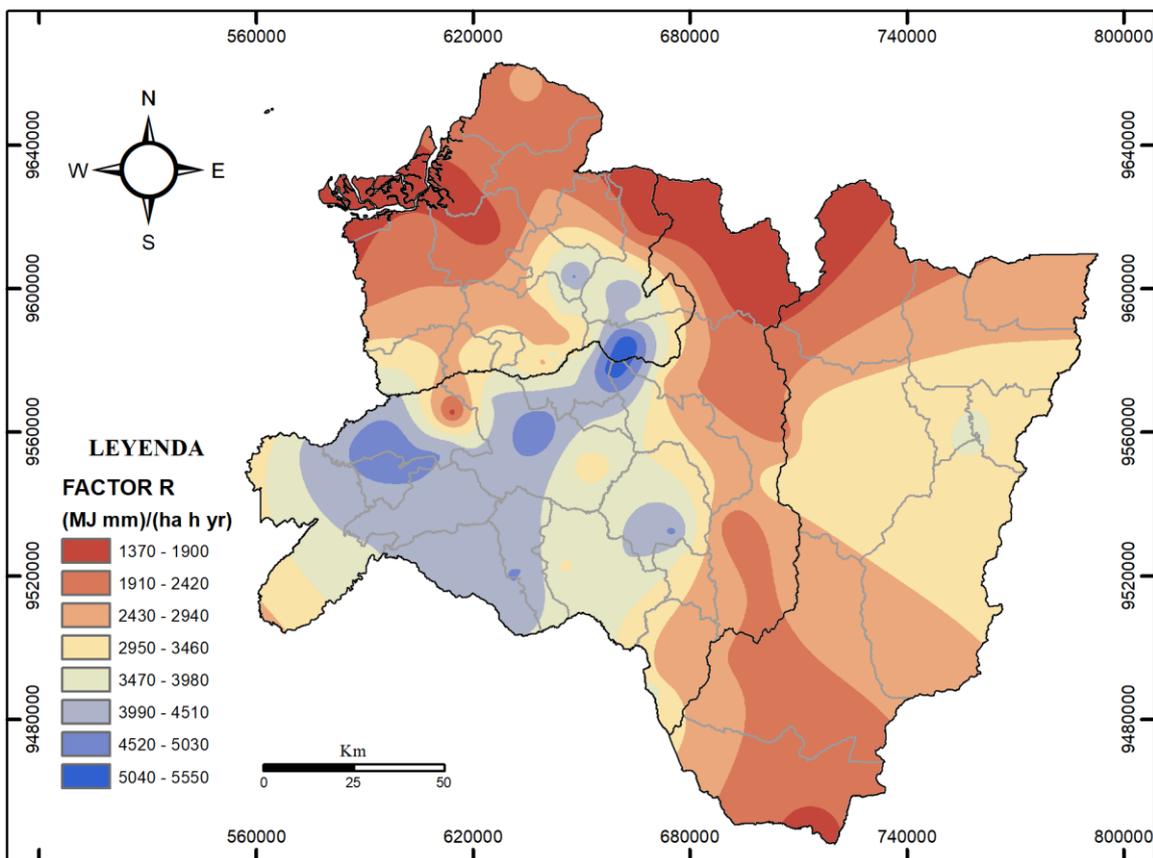


Figura 7: Mapa de Factor R de la RSE, al aplicar la ecuación de Marta Angulo, resolución mensual.

Tabla 4: Áreas del Factor R de la RSE del Ecuador, al aplicar la ecuación de Marta Angulo.

Loja			El Oro			Zamora		
Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%
1370-1870	78375.13	7.08	1450-1970	111539.46	19.43	1560-1810	26736.33	2.53
1880-2370	86302.53	7.80	1980-2480	192513.38	33.53	1820-2050	65514.42	6.20
2380-2870	188816.20	17.07	2490-2990	116067.57	20.22	2060-2290	103848.44	9.83
2880-3370	121075.40	10.94	3000-3500	78496.56	13.67	2300-2530	202267.83	19.14
3380-3870	229236.72	20.72	3510-4010	49275.52	8.58	2540-2770	171372.34	16.22
3880-4370	294266.62	26.60	4020-4530	18059.71	3.15	2780-3020	155137.15	14.68
4380-4860	103227.46	9.33	4540-5050	4437.39	0.77	3030-3260	152759.05	14.46
4870-5360	5149.32	0.47	5050-5550	3690.66	0.64	3270-3500	178930.85	16.94

4.1.5. Análisis de erosión hídrica del cantón Loja del periodo 2000-2016 con información mensual.

En la Figura 8 y Tabla 5, al aplicar la ecuación de Renard y Freimund, los valores más elevados se encuentran en la parroquia Loja y Malacatos, mientras que en el resto del cantón van disminuyendo progresivamente conforme se encuentran a mayor distancia de

la parroquia Loja, los valores se encuentran entre 7830 a 22 800 Mj.mm/ha.h. yr, con una media de 13 543 Mj.mm/ha.h.yr, en el cantón el factor R más elevado (21 000 a 22 800 Mj.mm/ha.h.yr) 0.37%, que corresponde a 710.29 ha.

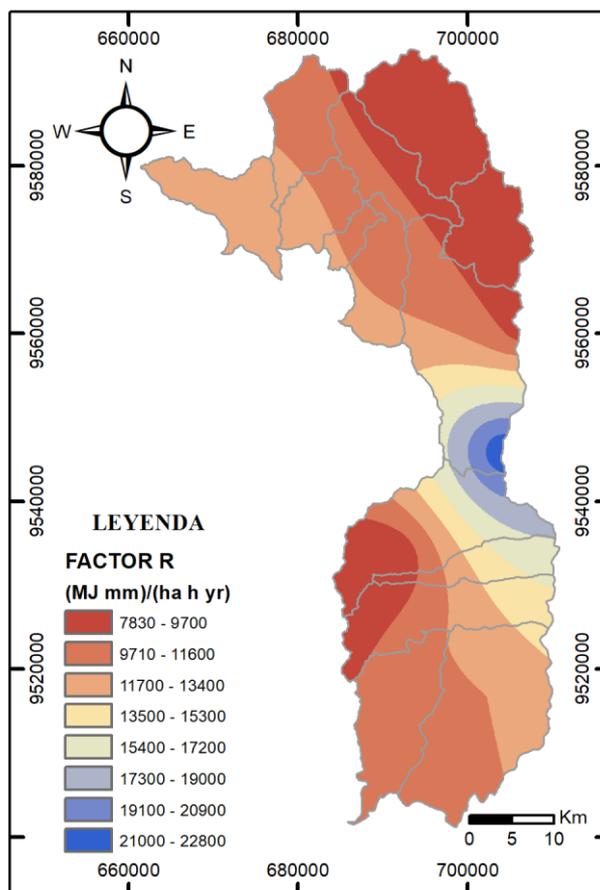


Figura 8: Mapa de Factor R del cantón Loja, al aplicar la ecuación de Renard y Freimund, resolución mensual.

Tabla 5: Áreas del Factor R del cantón Loja, al aplicar la ecuación de Renard y Freimund.

Rangos	Área (ha)	%
7830-9700	46563.68	24.57
9710-11600	69118.30	36.48
11700-13400	44324.28	23.39
13500-15300	11455.58	6.05
15400-17200	8829.29	4.66
17300-19000	6102.95	3.22
19100-20900	2385.34	1.26
21000-22800	710.29	0.37

En la Figura 9 y Tabla 6, al aplicar la ecuación de Marta Angulo se visualiza que, los valores más elevados se encuentran en la parroquia Loja, mientras que en el resto del cantón van disminuyendo progresivamente conforme se encuentran a mayor distancia de la parroquia Loja, los valores se encuentran entre 2020 a 3260 Mj.mm/ha.h.yr, con una media de 2495 Mj.mm/ha.h.yr; en el cantón el factor R más elevado (3110 a 3260 Mj.mm/ha.h.yr) 0.44%, que corresponde a 827.08 ha.

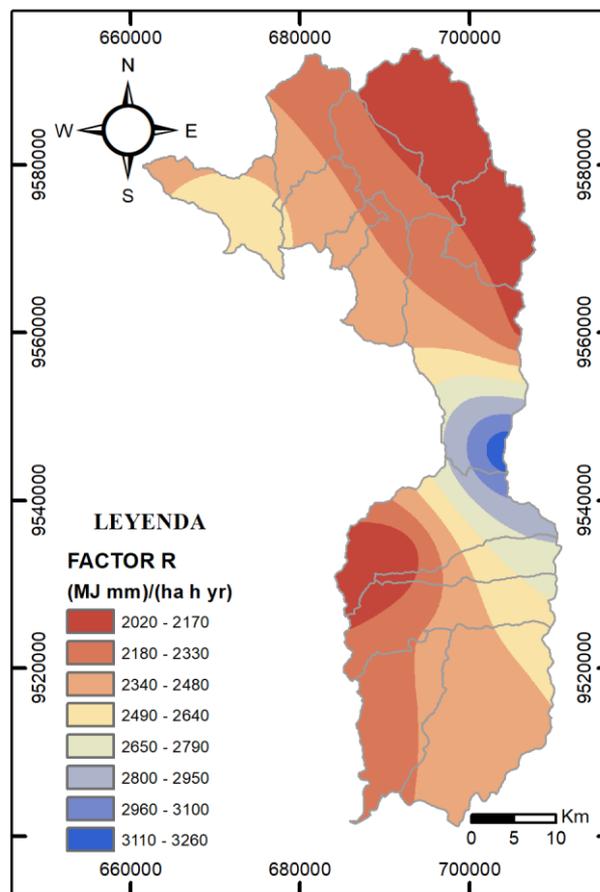


Figura 9: Mapa de Factor R del cantón Loja, al aplicar la ecuación de Marta Angulo, resolución mensual.

Tabla 6: Áreas del Factor R del cantón Loja, usando la ecuación de Marta Angulo.

Rangos	Área (ha)	%
2020-2170	35389.94	18.68
2180-2330	50794.56	26.81
2340-2480	59713.35	31.51
2490-2640	23297.98	12.30
2650-2790	9486.08	5.01
2800-2950	7207.62	3.80
2960-3100	2772.43	1.46
3110-3260	827.08	0.44

4.1.6. Análisis de erosión hídrica del cantón Loja del periodo 2015-2016 con información de alta resolución temporal inferior a 1 hora.

En la Figura 10, al aplicar el software RIST, se observa que, el Factor R de cada uno de los meses del año del cantón Loja, de enero a diciembre se ha distribuido de acuerdo a los niveles de erosión hídrica y precipitación en las diferentes parroquias del cantón, concentrándose los mayores niveles en la zona Norte y Centro del cantón correspondiente a las parroquias de Chuquiribamba, Chantaco, Gualiel, Santiago, San Lucas y Loja, en el periodo 2015-2016.

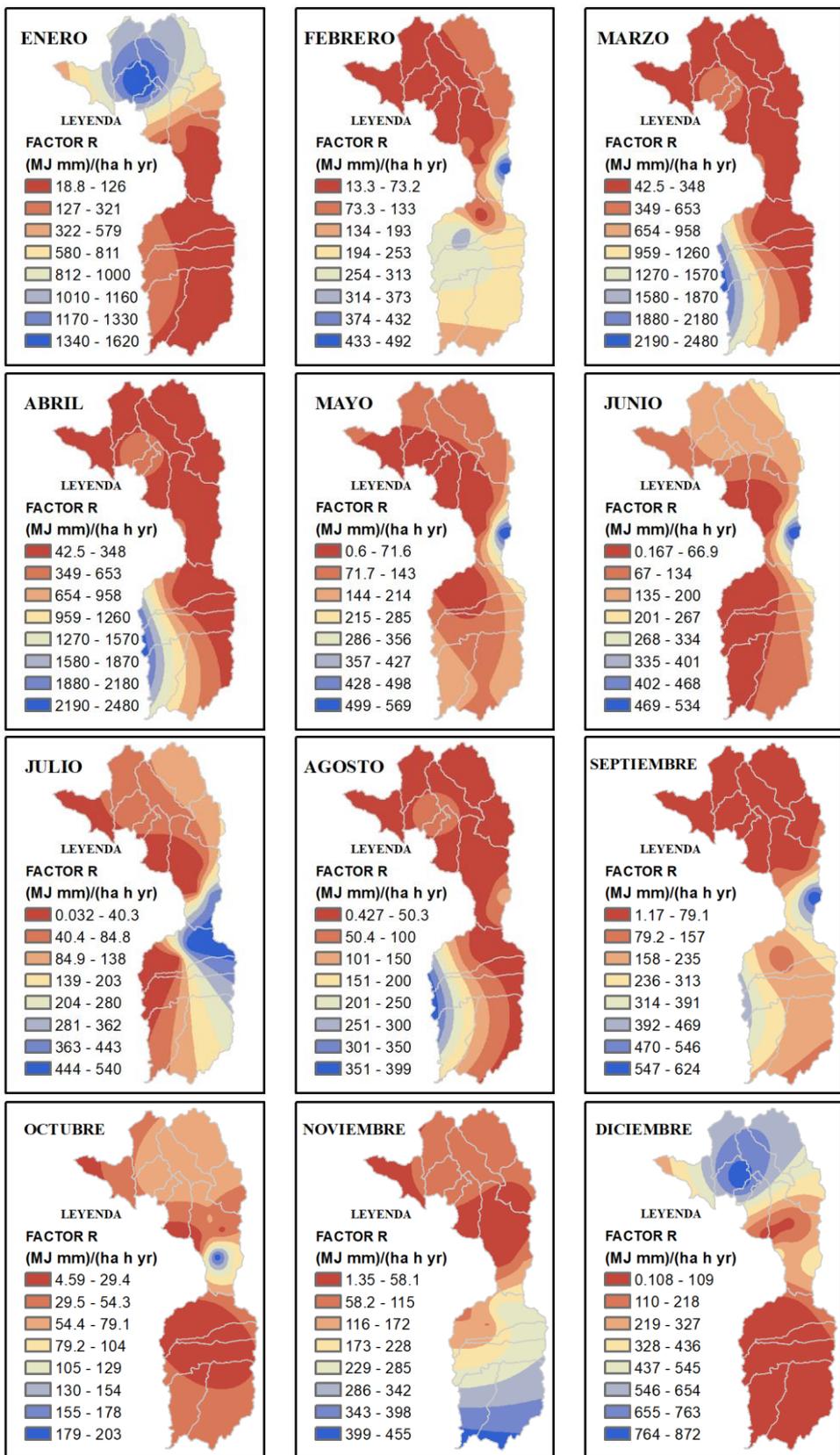


Figura 10: Mapa de Factor R por meses del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.

En la Figura 11 y Tabla 7, al aplicar el software RIST, se visualiza que, los valores más elevados se encuentran en las parroquias Chuquiribamba, Chantaco, Gualiel, Santiago y San Lucas, mientras que en el resto del cantón van disminuyendo progresivamente, los valores se encuentran entre 292 a 5690 Mj.mm/ha.h.yr, con una media de 2687 Mj.mm/ha.h.yr; en el cantón el factor R más elevado (5030 a 5690 Mj.mm/ha.h.yr) 1.34%, que corresponde a 2536.06 ha.

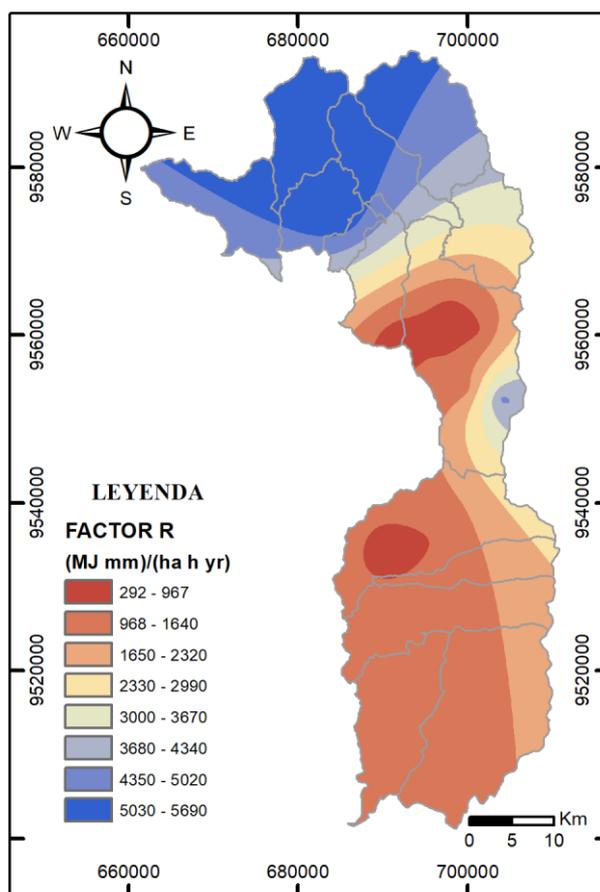


Figura 11: Mapa de Factor R del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.

Tabla 7: Áreas del Factor R del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.

Rangos	Área (Ha)	%
292-967	5636.51	2.97
968-1640	21804.50	11.51
1650-2320	57944.88	30.58
2330-2990	33019.58	17.43
3000-3670	29751.31	15.70
3680-4340	28795.56	15.20
4350-5020	10001.04	5.28
5030-5690	2536.06	1.34

4.1.7. Análisis regional de densidad erosiva del periodo 2000-2016 con información mensual.

En la Figura 12, al aplicar la ecuación de Renard y Freimund, se aprecia que los cantones con valores más altos de densidad erosiva en la provincia de Loja son: Zapotillo, Pindal, Celica, Macará, Sozoranga, Puyango, Chaguarpamba, Olmedo y Paltas, en el este de la provincia los valores tienden a descender, los valores están entre 2.27 a 51.9 MJ/ha.hr, con una media de 26.10 MJ/ha.hr. En la provincia de El Oro los valores más altos están en los cantones de Portovelo, Atahualpa y Las Lajas, con valores entre 4.1 a 45.3 MJ/ha.hr, con una media de 17.61 MJ/ha.hr; mientras que al este de la provincia los valores tienden a descender considerablemente. En la provincia de Zamora los valores más representativos se encuentran ubicados en los cantones de Palanda y Chinchipe, con valores que se encuentran entre 3.54 a 19.7 MJ/ha.hr, con una media de 10.21 MJ/ha.hr.

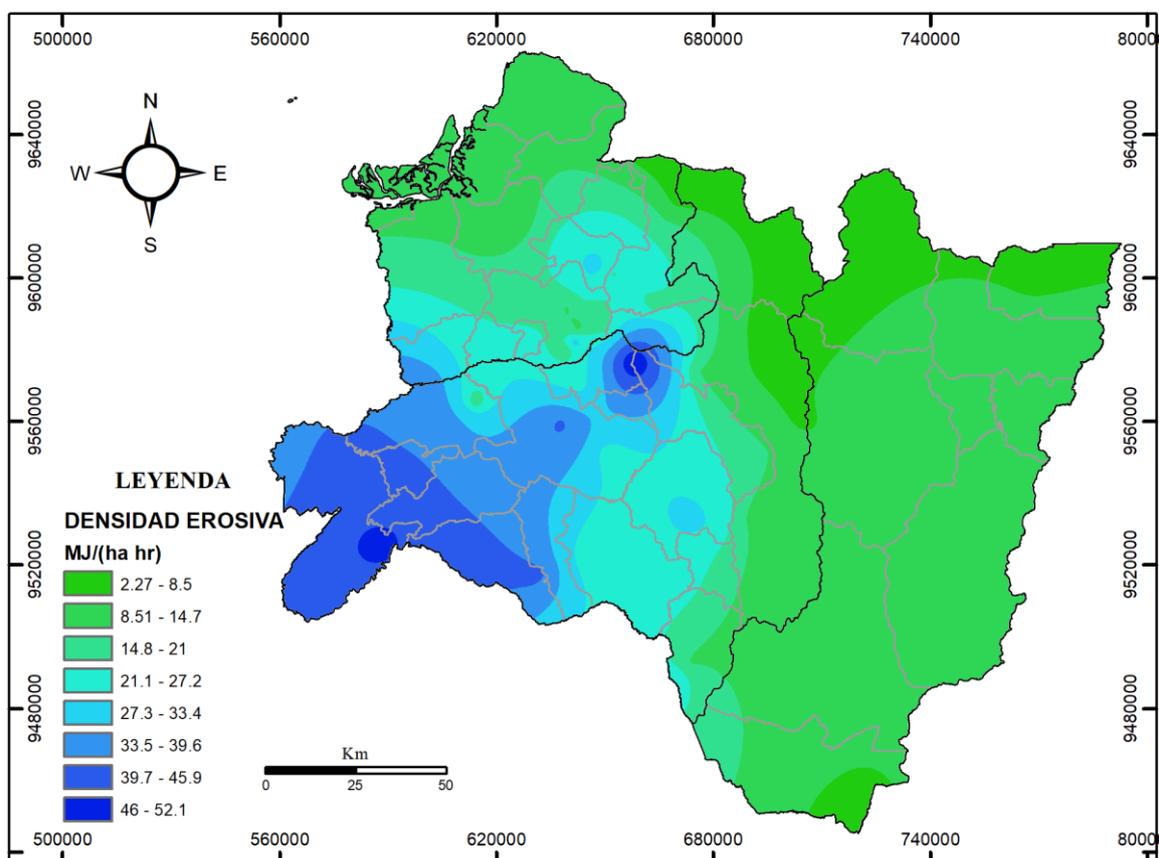


Figura 12: Mapa de Densidad Erosiva de la RSE, al aplicar la ecuación de Renard y Freimund, resolución mensual.

En la Figura 13, al aplicar la ecuación de Marta Angulo, se aprecia que los cantones con valores más altos de densidad erosiva en la provincia de Loja son: Zapotillo, Pindal, Macará, Puyango, Chaguarpamba y Paltas, en el este de la provincia los valores tienden a descender, los valores están entre 1.55 a 6.43 MJ/ha.hr, con una media de 3.27 MJ/ha.hr. En la provincia de El Oro los valores más altos están en los cantones de Huaquillas, Arenillas y Las Lajas, con valores entre 2.11 a 4.66 MJ/ha.hr, con una media de 3.14 MJ/ha.hr; mientras que al este de la provincia los valores tienden a descender considerablemente. En la provincia de Zamora los valores más representativos se encuentran ubicados en los cantones de Palanda y Chinchipe, con valores que se encuentran entre 1.46 a 2.76 MJ/ha.hr, con una media de 1.79 MJ/ha.hr.

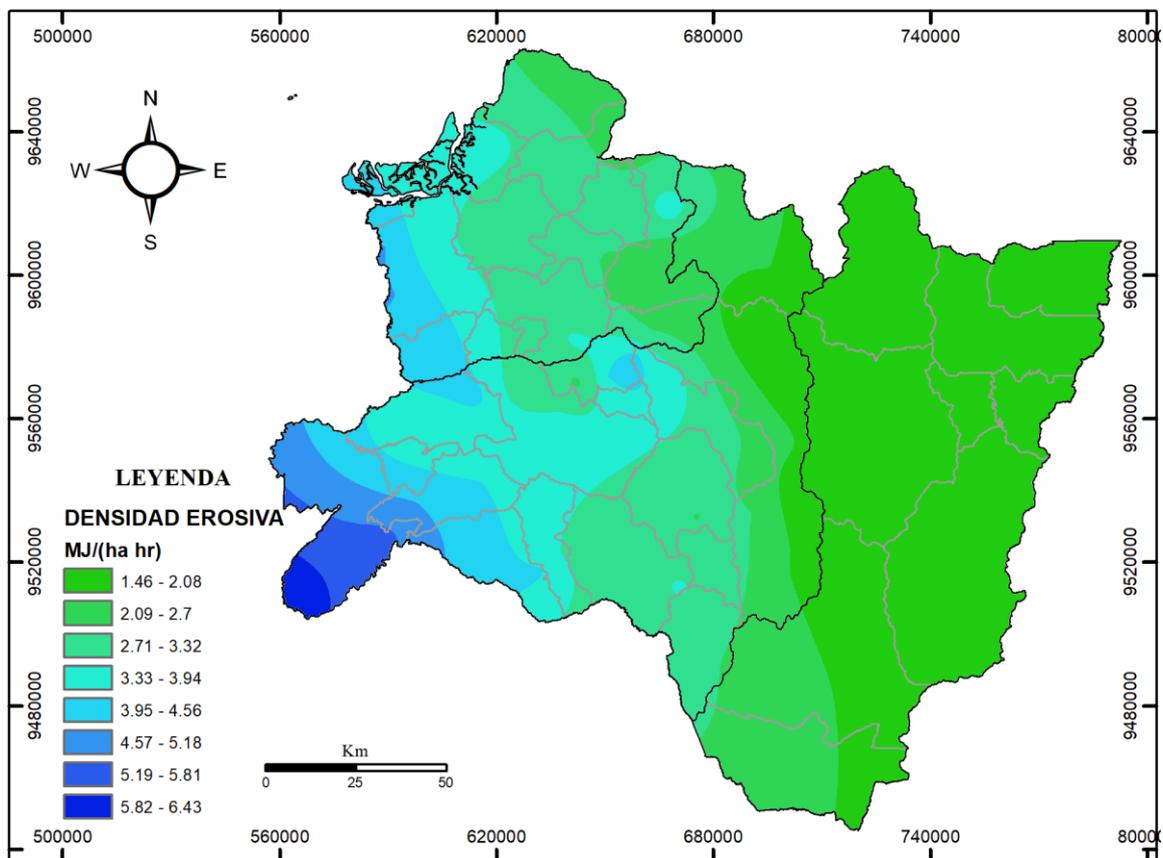


Figura 13: Mapa de Densidad Erosiva de la R, según Marta Angulo, resolución mensual.

4.1.8. Análisis de densidad erosiva del cantón Loja del periodo 2000-2016 con información mensual.

En la Figura 14, al aplicar la ecuación de Renard y Freimund, los valores más elevados de Densidad Erosiva se encuentran en la parroquia de El Cisne, mientras que en el resto del cantón van disminuyendo progresivamente conforme se encuentran a mayor distancia de la parroquia Loja, los valores se encuentran entre 5.78 a 42.9 MJ/ha.hr, con una media de 11.67 MJ/ha.hr.

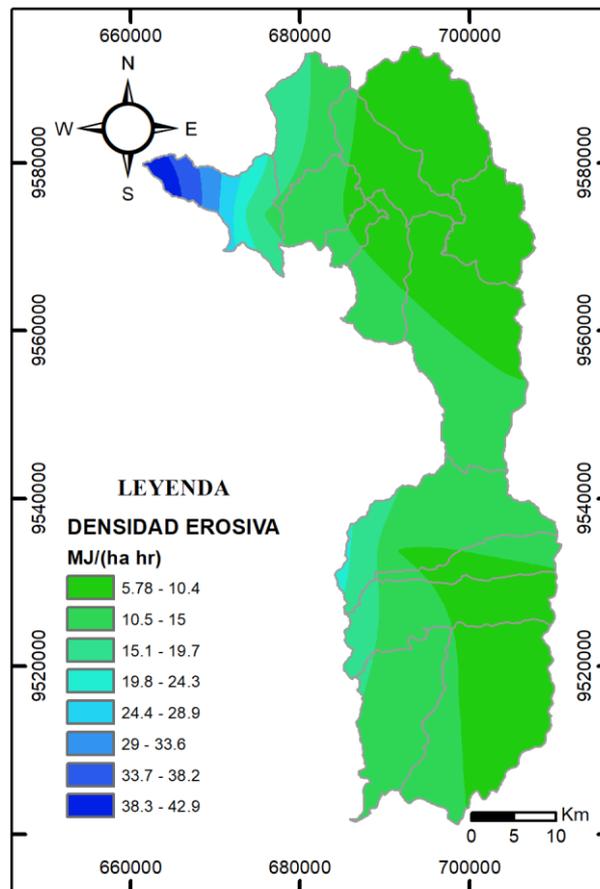


Figura 14: Mapa de Densidad Erosiva del cantón Loja, al aplicar la ecuación de Renard y Freimund, resolución mensual.

En la Figura 15, al aplicar la ecuación de Marta Angulo los valores más elevados de Densidad Erosiva se encuentran en la parroquia de El Cisne, mientras que en el resto del cantón van disminuyendo progresivamente conforme se encuentran a mayor distancia

de la parroquia Loja, los valores se encuentran entre 1.6 a 3.5 MJ/ha.hr, con una media de 2.17 MJ/ha.hr.

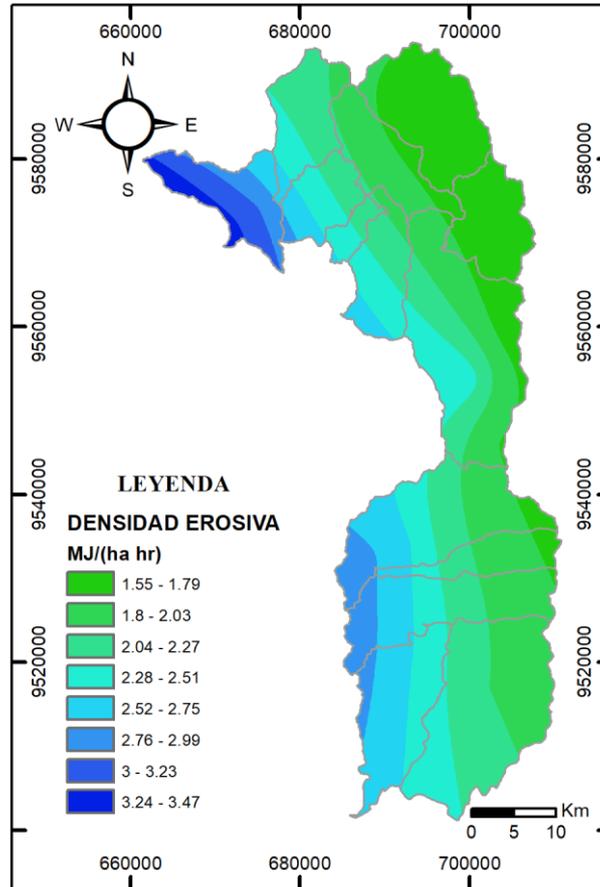


Figura 15: Mapa de Densidad Erosiva del cantón Loja, al aplicar la ecuación Marta Angulo, resolución mensual.

4.1.9. Análisis densidad erosiva del cantón Loja del periodo 2015-2016 con información de alta resolución temporal inferior a 1 hora.

En la Figura 16 se observa la densidad erosiva de cada uno de los meses del año del cantón Loja, de enero a diciembre se ha distribuido de acuerdo a los niveles de erosión hídrica y la precipitación en las diferentes parroquias del cantón, en el periodo 2015-2016.

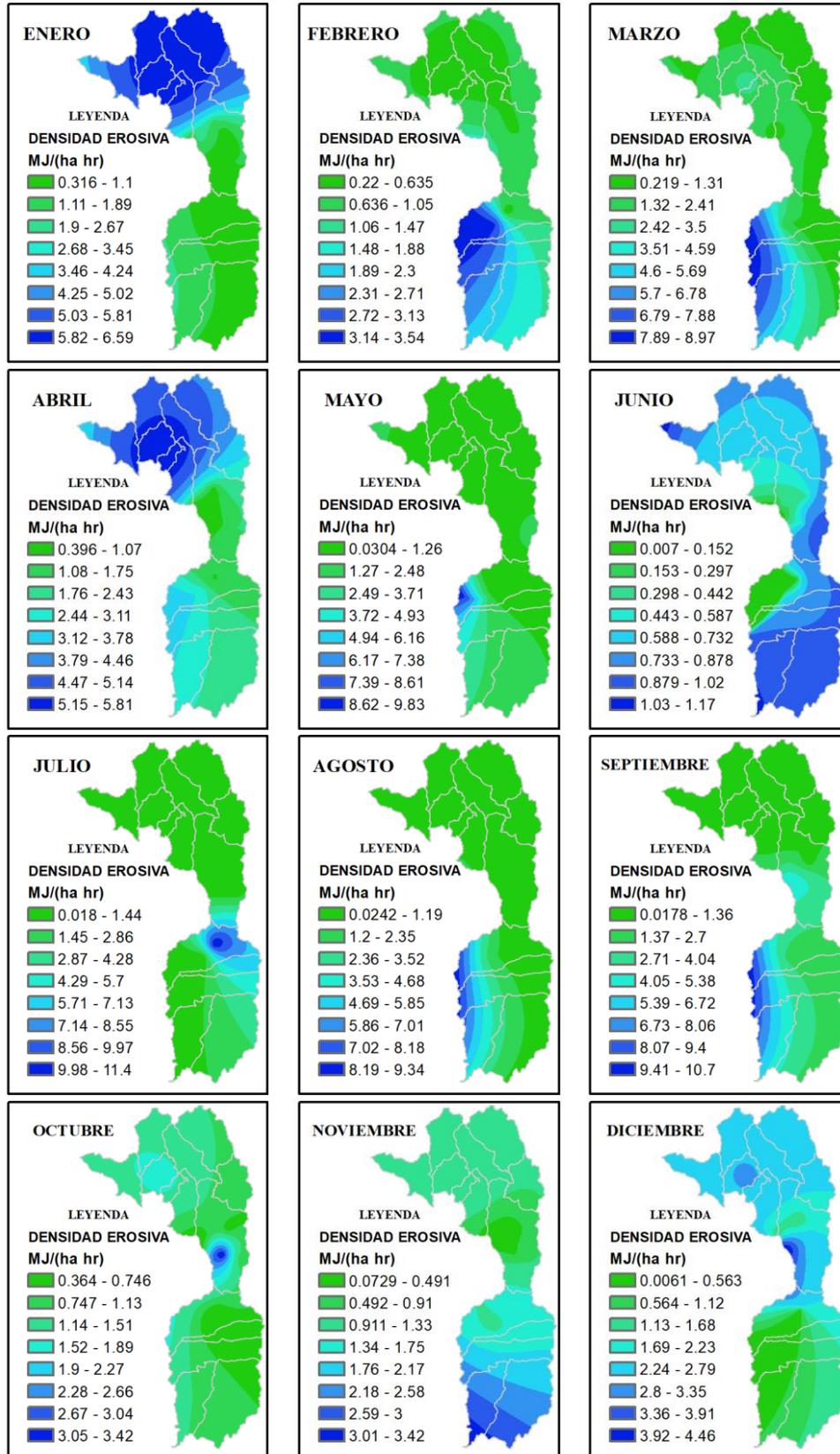


Figura 16: Mapa de Densidad Erosiva por meses del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.

En la Figura 17, los valores más elevados de densidad erosiva se encuentran en las parroquias de Chuquiribamba, Quinara y Yangana, los valores se encuentran entre 0.75 a 3.76 MJ/ha.hr, con una media de 2.06 MJ/ha.hr.

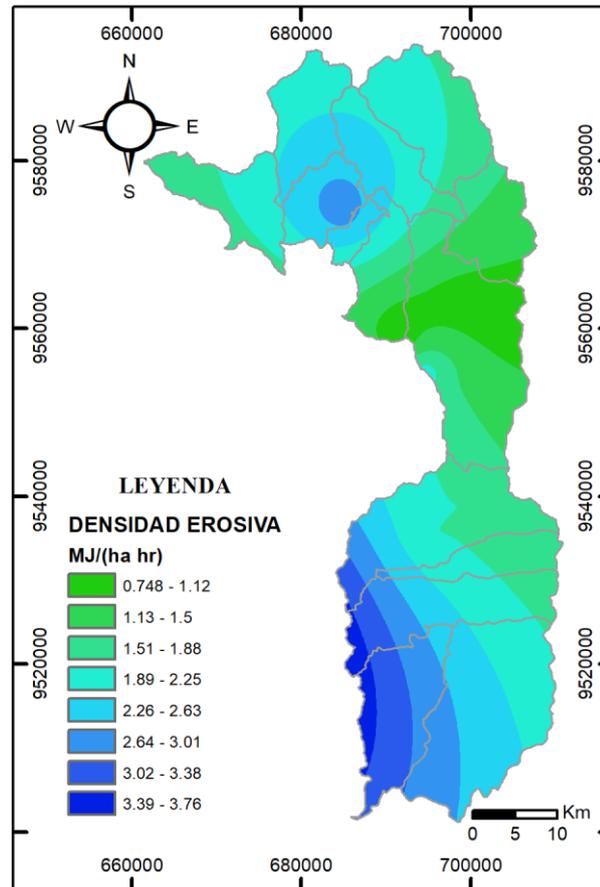


Figura 17: Mapa de Densidad Erosiva del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.

4.1.10. Factor K.

4.1.10.1. Factor K RSE.

En la Figura 18 y Tabla 8, se observa los valores del Factor K que representan la susceptibilidad del suelo respecto a la erosión, con valores que van de 0 a 0.045 t.ha.hr/Mj.mm.ha, en la RSE. En la provincia de Loja se presentan valores que van desde 0 a 0.086 t.ha.hr/Mj.mm.ha, con una media de 0.026 t.ha.hr/Mj.mm.ha; en la provincia el

factor K más elevado (0.076 a 0.086 t.ha.hr/Mj.mm.ha) 0.004%, que corresponde a 46.67 ha. En la provincia de El Oro se presentan valores que van desde 0 a 0.096 t.ha.hr/Mj.mm.ha, con una media de 0.026 t.ha.hr/Mj.mm.ha; en la provincia el factor K más elevado (0.085 a 0.096 t.ha.hr/Mj.mm.ha) 0.14%, que corresponde a 811.77 ha. En la provincia de Zamora se presentan valores que van desde 0 a 0.045 t.ha.hr/Mj.mm.ha, con una media de 0.015 t.ha.hr/Mj.mm.ha; en la provincia el factor K más elevado (0.04 a 0.045 t.ha.hr/Mj.mm.ha) 0.04%, que corresponde a 385.28 ha.

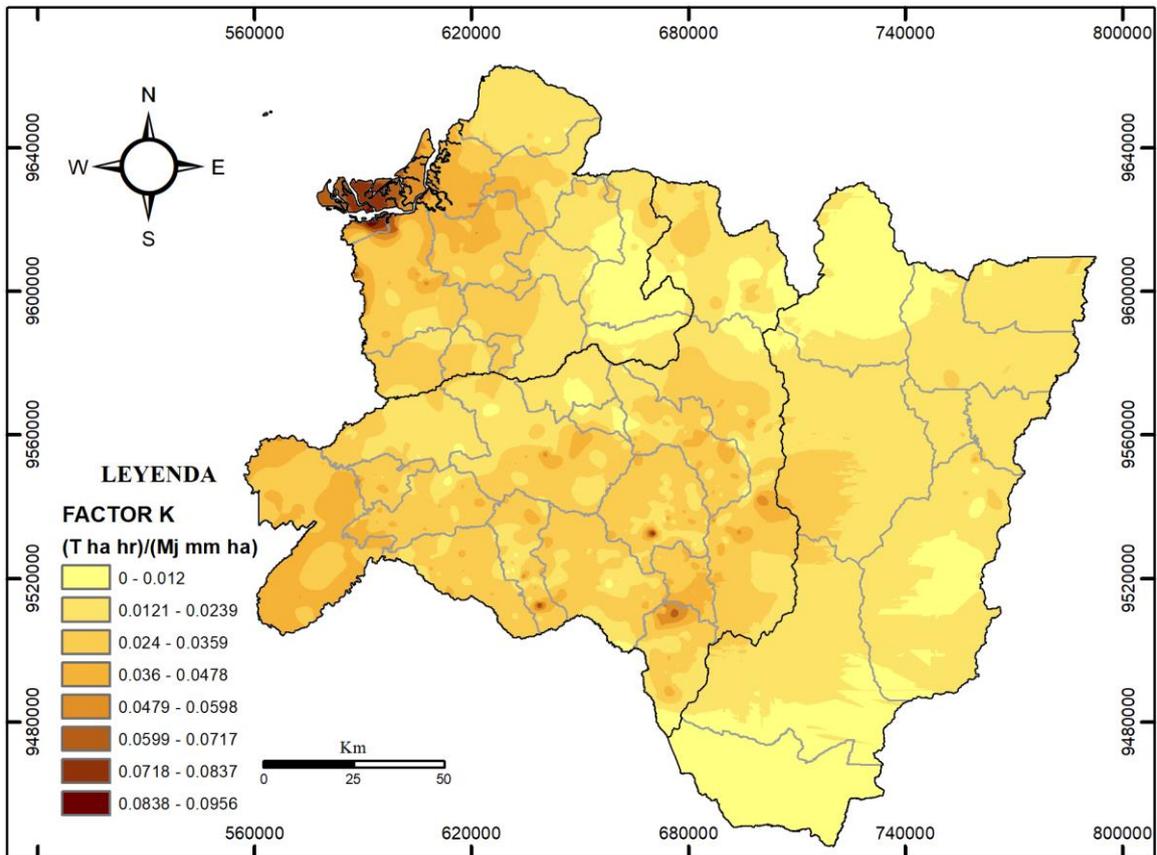


Figura 18: Mapa del Factor K de la RSE.

Tabla 8: Áreas del Factor K de la RSE.

Loja			El Oro			Zamora		
Rangos	Área	%	Rangos	Área	%	Rangos	Área	%
0-0.011	43792.00	3.96	0-0.012	66110.81	11.52	0-0.0056	68341.34	6.47
0.012-0.022	264779.17	23.93	0.013-0.024	215185.77	37.48	0.0057-0.011	235798.61	22.32
0.023-0.032	548567.24	49.58	0.025-0.036	192683.87	33.56	0.012-0.017	362445.93	34.30
0.033-0.043	229066.22	20.70	0.037-0.048	67221.30	11.71	0.018-0.022	287493.01	27.21
0.044-0.054	17582.25	1.59	0.049-0.06	13570.21	2.36	0.023-0.028	86258.89	8.16
0.055-0.065	2341.77	0.21	0.061-0.072	10792.71	1.88	0.029-0.034	13545.44	1.28
0.066-0.075	268.24	0.02	0.073-0.084	7698.01	1.34	0.035-0.039	2298.78	0.22
0.076-0.086	46.67	0.004	0.085-0.096	811.77	0.14	0.040-0.045	385.28	0.04

4.1.10.2. Factor K del cantón Loja.

En la Figura 19 y Tabla 9, se observa los valores del Factor K que representan la susceptibilidad del suelo respecto a la erosión, con valores que van de 0 a 0.06 t.ha.hr/Mj.mm.ha, con una media de 0.025 t.ha.hr/Mj.mm.ha en el cantón Loja, en las parroquias de San Pedro y Malacatos; en el cantón el factor K más elevado (0.052 a 0.058 t.ha.hr/Mj.mm.ha) 0.161%, que corresponde a 304.777 ha.

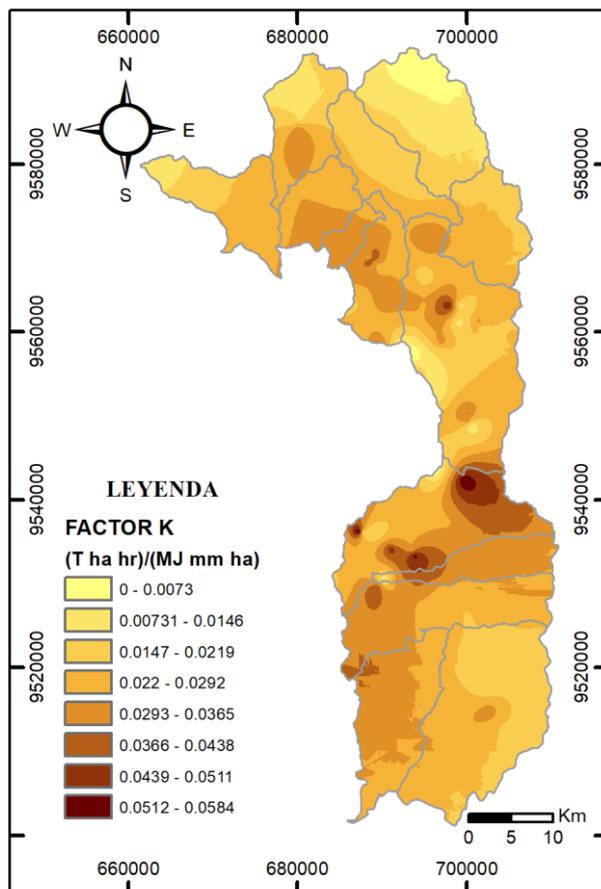


Figura 19: Mapa del Factor K del cantón Loja.

Tabla 9: Áreas del Factor K del cantón Loja.

Rangos	Área (ha)	%
0-0.0073	3613.340	1.907
0.0074-0.015	14474.285	7.639
0.016-0.022	44052.253	23.248
0.023-0.029	75450.658	39.818
0.030-0.037	41909.121	22.117
0.038-0.044	7615.453	4.019
0.045-0.051	2067.766	1.091
0.052-0.058	304.777	0.161

4.1.11. Factor C.

4.1.11.1. Factor C de la RSE.

- Cobertura del año 2000.

En la Figura 20 y la Tabla 10, se observa la cobertura vegetal representativa de la RSE del año 2000, en donde se clasificó en 9 tipos de coberturas para el presente estudio. En la provincia de Loja sobresalen las tierras agropecuarias con 53 4485.83 ha, que representan el 48.32% de la provincia, además de que el área sin cobertura vegetal corresponde al 1.50 % que son 16 635.68 ha. En la provincia de El Oro sobresalen las tierras agropecuarias con 327 181.68 ha, que representan el 57.02% de la provincia, además de que el área sin cobertura vegetal corresponde al 0.41 % que son 2365.72 ha. En la provincia de Zamora resaltan los bosques nativos con 776 133.16 ha, que representan el 73.47% de la provincia, además de que el área sin cobertura vegetal corresponde al 0.02% que son 227.84 ha.

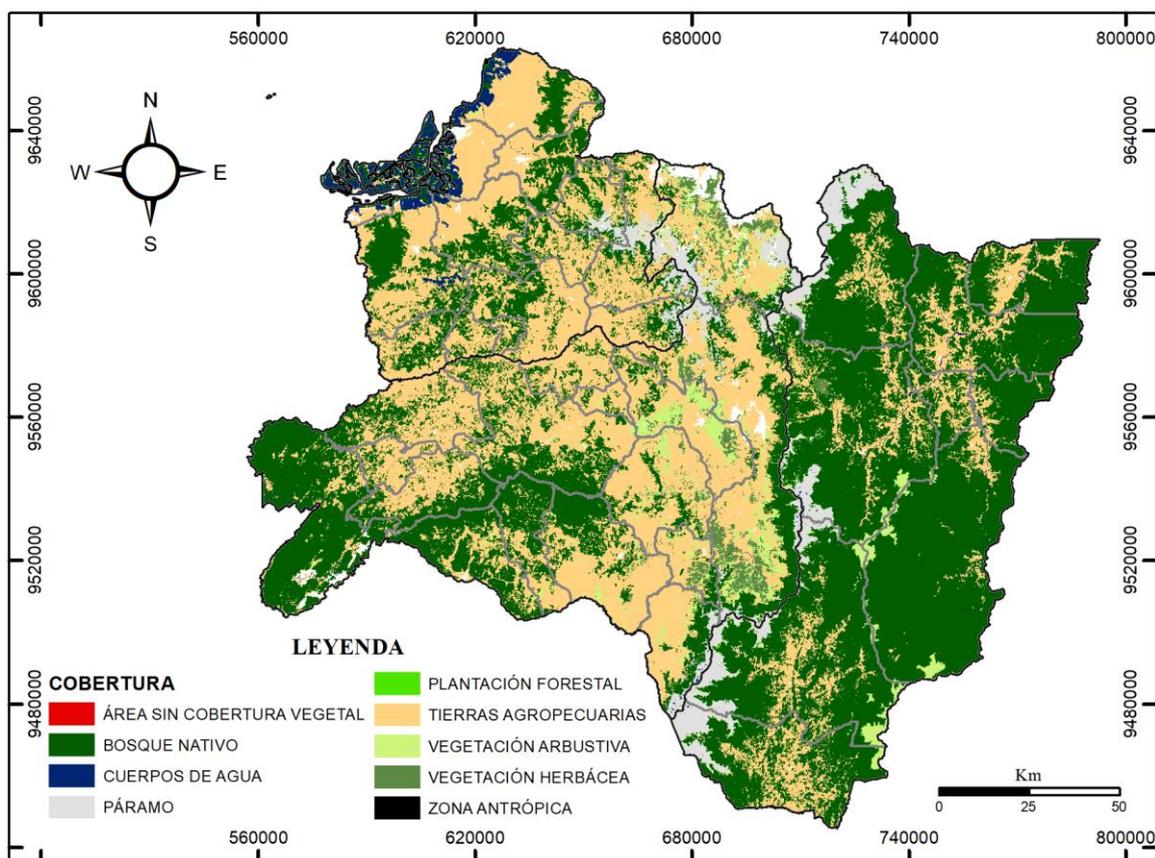


Figura 20: Mapa del Factor C de la RSE, cobertura del año 2000.

Tabla 10: Cobertura vegetal de la RSE año 2000.

Loja 2000			El Oro 2000			Zamora 2000		
Cobertura	Área (ha)	%	Cobertura	Área (ha)	%	Cobertura	Área (ha)	%
Área sin cobertura vegetal	16635.68	1.50	Área sin cobertura vegetal	2365.72	0.41	Área sin cobertura vegetal	227.84	0.02
Bosque Nativo	390908.62	35.34	Bosque Nativo	183387.89	31.96	Bosque Nativo	776133.16	73.47
Cuerpos de agua	4053.65	0.37	Cuerpos de agua	34829.12	6.07	Cuerpos de agua	5154.21	0.49
Páramo	39486.43	3.57	Páramo	17575.41	3.06	Páramo	67534.68	6.39
Plantación forestal	4383.03	0.40	Plantación forestal	302.73	0.05	Plantación forestal	39.03	0.00
Tierras agropecuarias	534485.83	48.32	Tierras agropecuarias	327181.68	57.02	Tierras agropecuarias	177170.49	16.77
Vegetación arbustiva	68052.73	6.15	Vegetación arbustiva	3279.26	0.57	Vegetación arbustiva	27799.76	2.63
Vegetación herbácea	44794.99	4.05	Vegetación herbácea	522.61	0.09	Vegetación herbácea	1696.98	0.16
Zona antrópica	3342.487	0.3	Zona antrópica	4314.84	0.75	Zona antrópica	702.09	0.07

- Cobertura del año 2016.

En la Figura 21 y la Tabla 11, se observa la cobertura vegetal representativa de la RSE del año 2016. En la provincia de Loja sobresalen las tierras agropecuarias con 503791.28 ha, que representan el 45.53 % de la provincia, además de que el área sin cobertura vegetal corresponde al 1.12 % que son 12 365.79 ha. En la provincia de El Oro resaltan las tierras agropecuarias con 37 1970.39 ha, que representan el 64.83% de la provincia, además de que el área sin cobertura vegetal corresponde al 0.11 % que son 639.14 ha. En la provincia de Zamora sobresalen los bosques nativos con 69 9045.63 ha, que representan el 66.17 % de la provincia, además de que el área sin cobertura vegetal corresponde al 0.10% que son 1102.93 ha.

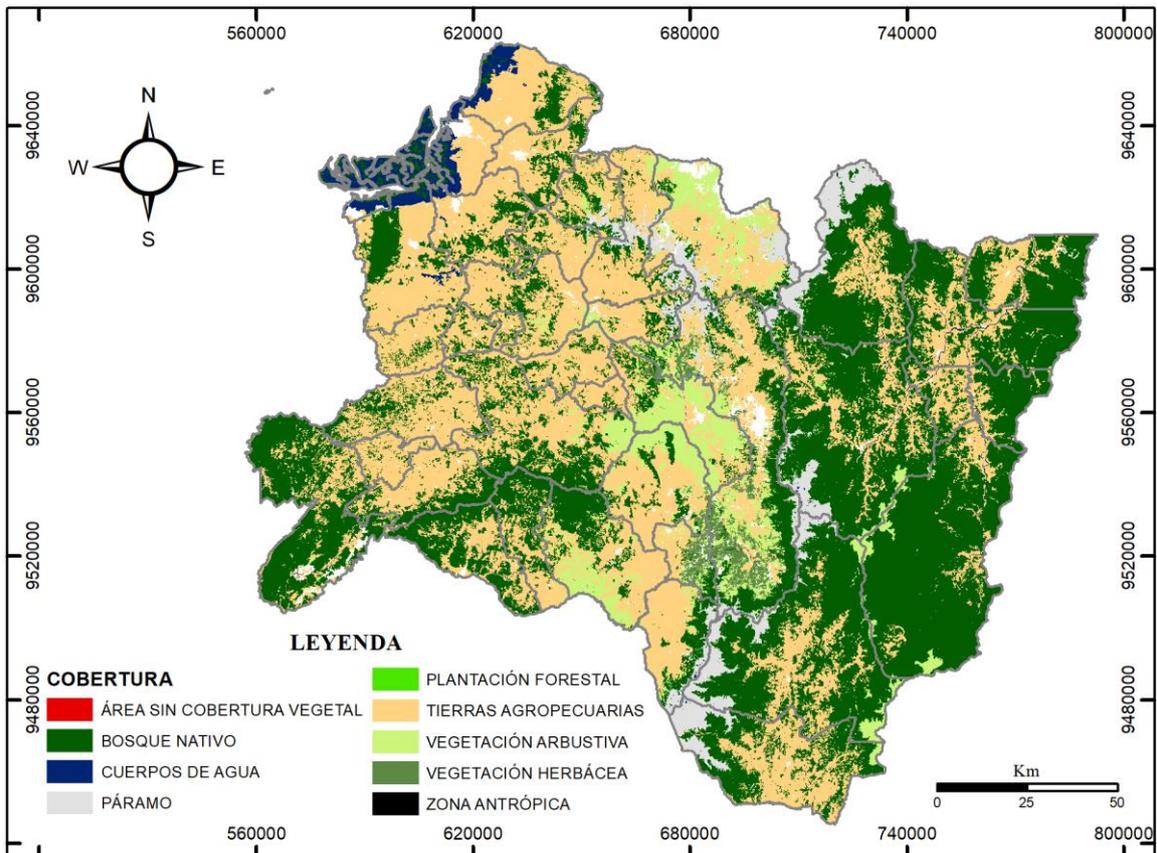


Figura 21: Mapa del Factor C de la RSE, cobertura del año 2016.

Tabla 11: Cobertura vegetal de la RSE año 2016.

Loja 2016			El Oro 2016			Zamora 2016		
Cobertura	Área (ha)	%	Cobertura	Área (ha)	%	Cobertura	Área (ha)	%
Área sin cobertura vegetal	12365.79	1.12	Área sin cobertura vegetal	639.14	0.11	Área sin cobertura vegetal	1102.93	0.10
Bosque Nativo	346801.44	31.34	Bosque Nativo	122645.05	21.38	Bosque Nativo	699045.63	66.17
Cuerpos de agua	4058.79	0.37	Cuerpos de agua	43826.37	7.64	Cuerpos de agua	4895.82	0.46
Páramo	37874.75	3.42	Páramo	15646.53	2.73	Páramo	73059.03	6.92
Plantación forestal	9216.14	0.83	Plantación forestal	589.92	0.10	Plantación forestal	82.06	0.01
Tierras agropecuarias	503791.28	45.53	Tierras agropecuarias	371970.39	64.83	Tierras agropecuarias	252441.91	23.90
Vegetación arbustiva	148308.58	13.40	Vegetación arbustiva	8522.18	1.49	Vegetación arbustiva	23505.74	2.22
Vegetación herbácea	36634.13	3.31	Vegetación herbácea	3.70	0.00	Vegetación herbácea	16.47	0.00
Zona antrópica	7359.102	0.67	Zona antrópica	9916	1.73	Zona antrópica	2308.667	0.22

- Cobertura del año 2030.

En la Figura 22 y la Tabla 12, se observa la cobertura vegetal representativa proyectada de la RSE del año 2030. En la provincia de Loja sobresalen las tierras agropecuarias con 573 339.84 ha, que representan el 51.84 % de la provincia, además de que el área sin cobertura vegetal corresponde al 1.12 % que son 12339.52 ha. En la provincia de El Oro resaltan las tierras agropecuarias con 415 141.54 ha, que representan el 72.38% de la provincia, además de que el área sin cobertura vegetal corresponde al 0.11 % que son 639.14 ha. En la provincia de Zamora sobresalen los bosques nativos con 629694.53 ha, que representan el 59.61 % de la provincia, además de que el área sin cobertura vegetal corresponde al 0.10% que son 1088.79 ha.

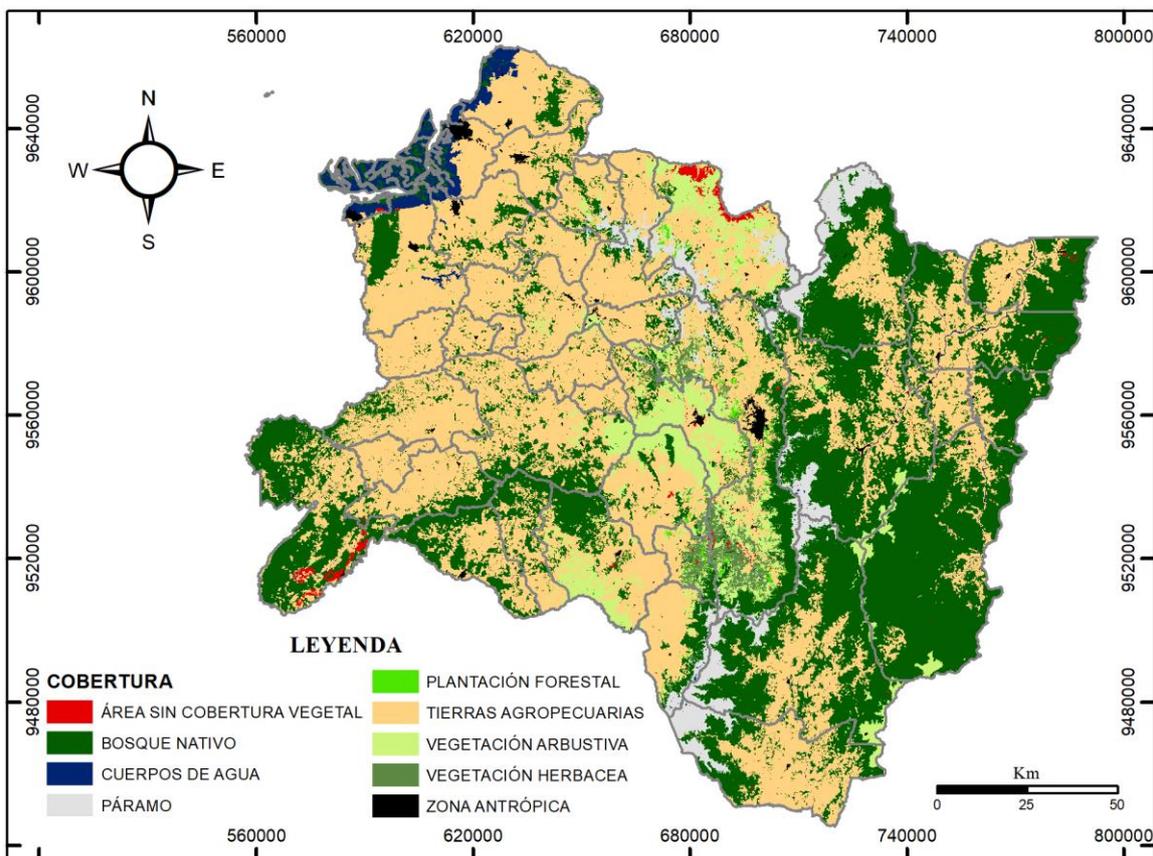


Figura 22: Mapa del Factor C de la RSE, cobertura del año 2030.

Tabla 12: Cobertura vegetal de la RSE del año 2030.

Loja 2030			El Oro 2030			Zamora 2030		
Cobertura	Área (ha)	%	Cobertura	Área (ha)	%	Cobertura	Área (ha)	%
Área sin cobertura vegetal	12339.52	1.12	Área sin cobertura vegetal	622.62	0.11	Área sin cobertura vegetal	1088.79	0.10
Bosque Nativo	280112.20	25.33	Bosque Nativo	81164.79	14.15	Bosque Nativo	629694.53	59.61
Cuerpos de agua	3903.42	0.35	Cuerpos de agua	43781.49	7.63	Cuerpos de agua	4864.11	0.46
Páramo	34949.01	3.16	Páramo	13695.74	2.39	Páramo	72892.31	6.90
Plantación forestal	9189.00	0.83	Plantación forestal	586.46	0.10	Plantación forestal	81.74	0.01
Tierras agropecuarias	573339.84	51.84	Tierras agropecuarias	415141.54	72.38	Tierras agropecuarias	322056.45	30.49
Vegetación arbustiva	147979.89	13.38	Vegetación arbustiva	8388.88	1.46	Vegetación arbustiva	23359.06	2.21
Vegetación herbácea	36618.16	3.31	Vegetación herbácea	3.61	0.00	Vegetación herbácea	16.00	0.00
Zona antrópica	7598.914	0.69	Zona antrópica	10142.5	1.77	Zona antrópica	2376.879	0.22

4.1.11.2. Factor C del cantón Loja.

- Cobertura año 2000.

En la Figura 23 y la Tabla 13, se observa la cobertura vegetal representativa del cantón Loja del año 2000, en donde se clasificó en 9 tipos de coberturas para el presente estudio, en el cual sobresalen las tierras agropecuarias con 86 521.83 ha, que representan el 45.66% del cantón Loja, además de que el área sin cobertura vegetal corresponde al 0.02% que son 40.32 ha.

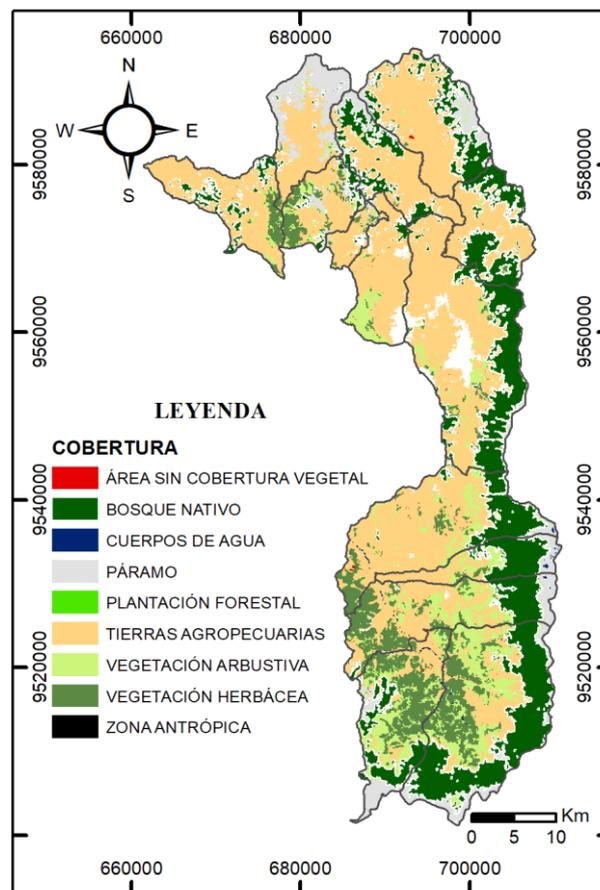


Figura 23: Mapa del Factor C del cantón Loja, cobertura del año 2000.

Tabla 13: Cobertura vegetal del cantón Loja año 2000.

Cobertura	Área (ha)	%
Área sin cobertura vegetal	40.32	0.02
Bosque nativo	47156.94	24.89
Cuerpos de agua	247.47	0.13
Páramo	14499.83	7.65
Plantación forestal	1579.16	0.83
Tierras agropecuarias	86521.83	45.66
Vegetación arbustiva	19832.24	10.47
Vegetación herbácea	17687.32	9.33
Zona antrópica	1929.42	1.02

- Cobertura año 2016.

En la Figura 24 y la Tabla 14, se observa la cobertura vegetal representativa del cantón Loja del año 2016, en donde se clasificó en 9 tipos de coberturas para el presente estudio, en el que sobresalen las tierras agropecuarias con 58 286.01 ha, que representan el 30.76% del cantón Loja, además de que el área sin cobertura vegetal corresponde al 0.53% que son 1012.66 ha.

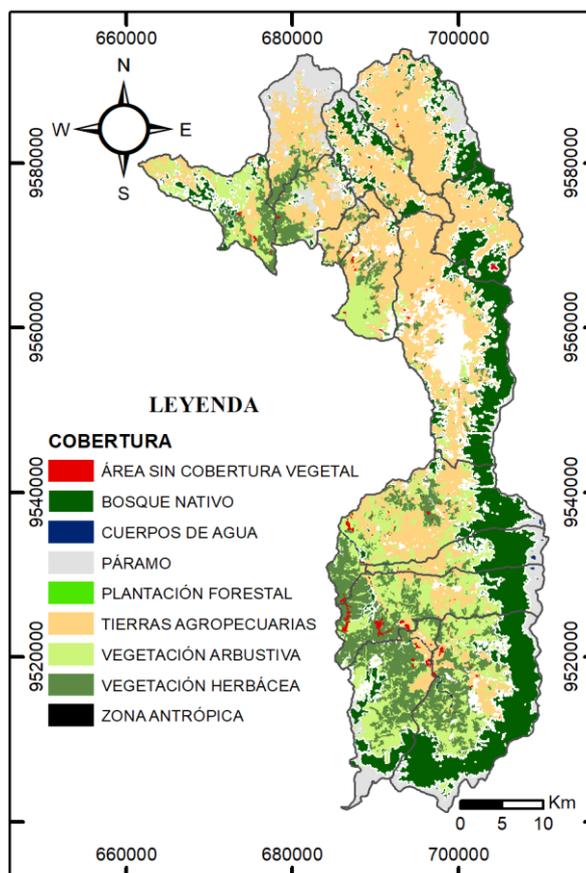


Figura 24: Mapa del Factor C del cantón Loja, cobertura del año 2016.

Tabla 14: Cobertura vegetal del cantón Loja año 2016.

Cobertura	Área (ha)	%
Área sin cobertura vegetal	1012.66	0.53
Bosque nativo	48688.39	25.69
Cuerpos de agua	355.24	0.19
Páramo	14028.33	7.40
Plantación forestal	4829.20	2.55
Tierras agropecuarias	58286.01	30.76
Vegetación arbustiva	31983.09	16.88
Vegetación herbácea	25927.59	13.68
Zona antrópica	4384.05	2.31

- Cobertura año 2030.

En la figura 25 y la Tabla 15, se observa la cobertura vegetal representativa proyectada del cantón Loja del año 2030, en donde se clasificó en 9 tipos de coberturas para el presente estudio, en el cual sobresalen las tierras agropecuarias con 65 307.75 ha, que representan el 34.46% del cantón Loja, además de que el área sin cobertura vegetal corresponde a 1005.52 ha que representa 0.53%.

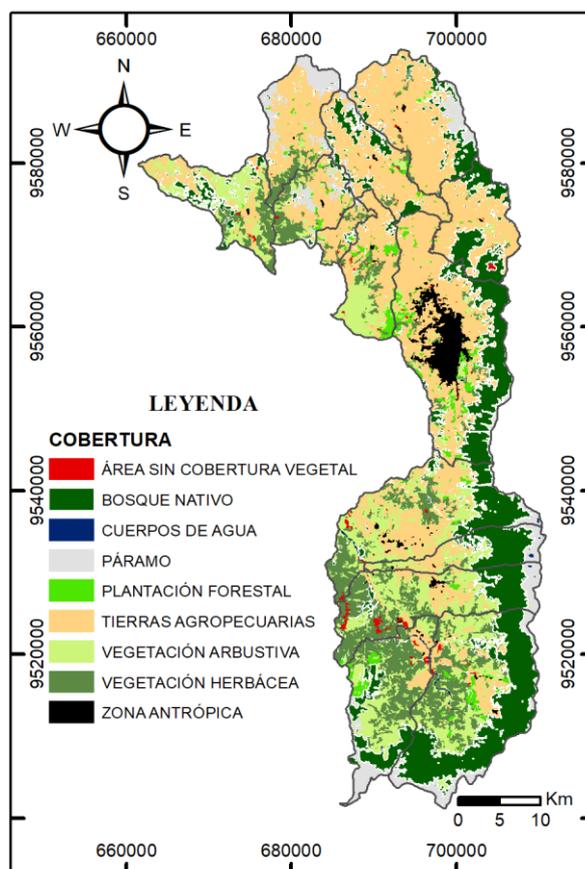


Figura 25: Mapa del Factor C del cantón Loja, cobertura del año 2030.

Tabla 15: Cobertura vegetal del cantón Loja año 2016.

Cobertura	Área (ha)	%
Área sin cobertura vegetal	1005.52	0.53
Bosque nativo	44017.08	23.23
Cuerpos de agua	349.92	0.18
Páramo	11719.23	6.18
Plantación forestal	4819.50	2.54
Tierras agropecuarias	65307.75	34.46
Vegetación arbustiva	31817.71	16.79
Vegetación herbácea	25921.29	13.68
Zona antrópica	4536.68	2.39

4.1.12. Factor LS.

4.1.12.1. Factor LS de la RSE.

En la Figura 26 y Tabla 16, se puede observar el Factor LS con valores que van de 0.031 a 21.1, en la RSE. En la provincia de Loja los rangos se encuentran de 0.031 a 20.8, con una media de 6.85, en la provincia el factor LS más elevado (5.24 a 7.83) 24.48%, que corresponde a 270 812.53. En la provincia de El Oro los rangos se encuentran de 0.031 a 20.9, con una media de 4.50, en la provincia el factor LS más elevado (0.031 a 2.64) 42.62%, que corresponde a 244 668.40. En la provincia de Zamora los rangos se encuentran de 0.031 a 21.1, con una media de 7.19, en la provincia el factor LS más elevado (7.95 a 10.6) 24.42 %, que corresponde a 257 996.84.

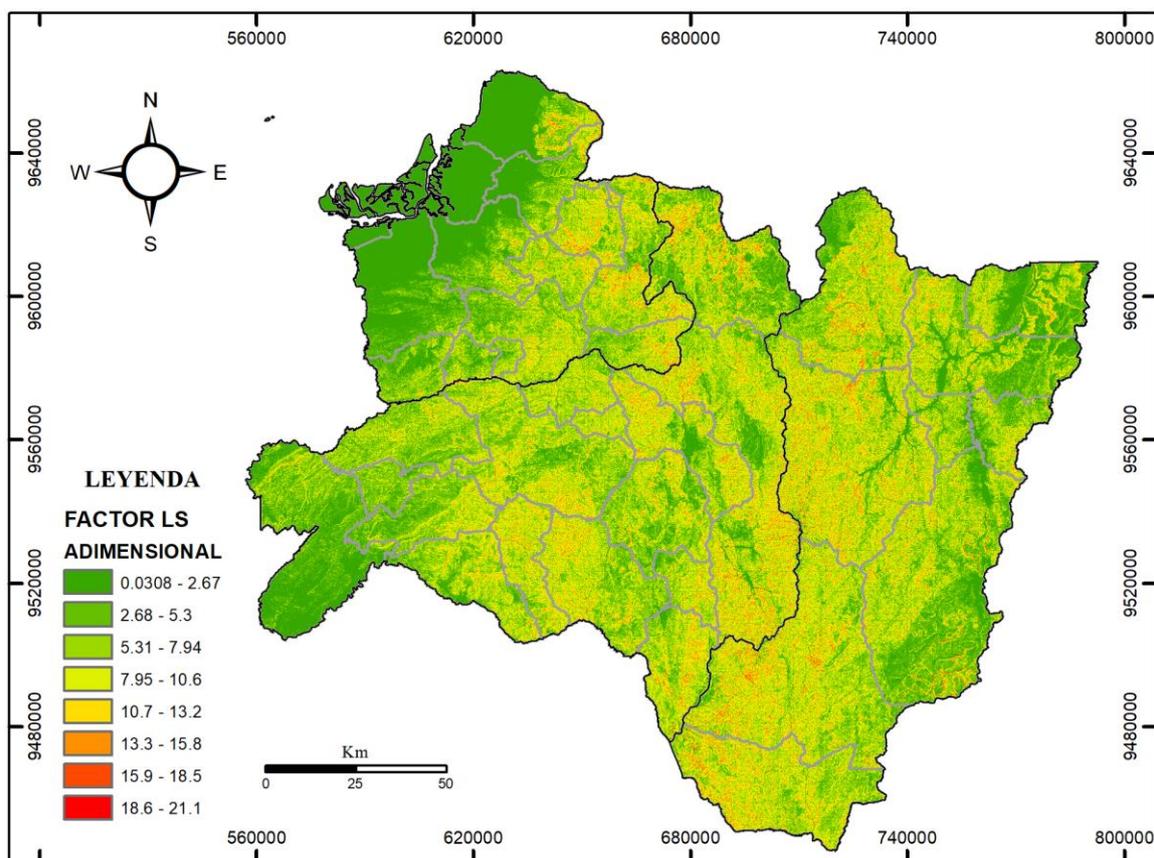


Figura 26: Mapa del Factor LS de la RSE.

Tabla 16: Áreas del Factor LS de la RSE.

Loja			El Oro			Zamora		
Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%
0.031-2.63	159078.03	14.38	0.031-2.64	244668.40	42.62	0.031-2.67	142150.47	13.45
2.64-5.23	226409.86	20.46	2.65-5.25	93517.98	16.29	2.68-5.3	195209.71	18.48
5.24-7.83	270812.53	24.48	5.26-7.85	101170.81	17.62	5.31-7.94	254799.88	24.12
7.84-10.4	256661.42	23.20	7.86-10.5	81321.41	14.17	7.95-10.6	257996.84	24.42
10.5-13.0	151196.26	13.67	10.6-13.1	41403.12	7.21	10.7-13.2	156737.07	14.83
13.1-15.6	38025.82	3.44	13.2-15.7	10553.67	1.84	13.3-15.8	43092.61	4.08
15.7-18.2	4011.16	0.36	15.8-18.3	1369.01	0.24	15.9-18.5	6039.03	0.57
18.3-20.8	245.59	0.02	18.4-20.9	82.70	0.01	18.6-21.1	543.37	0.05

4.1.12.2. Factor LS del cantón Loja.

En la Figura 27 y Tabla 17, se puede observar el Factor LS con valores que van de 0.03 a 20.3, en el cantón Loja, los valores menores se sitúan en las parroquias de Loja, San Pedro, Malacatos y Vilcabamba, los valores más representativos están entre los rangos

de 7.63 a 10.1 con un porcentaje de 26.84%, que corresponde a 50 866.03 ha del cantón Loja.

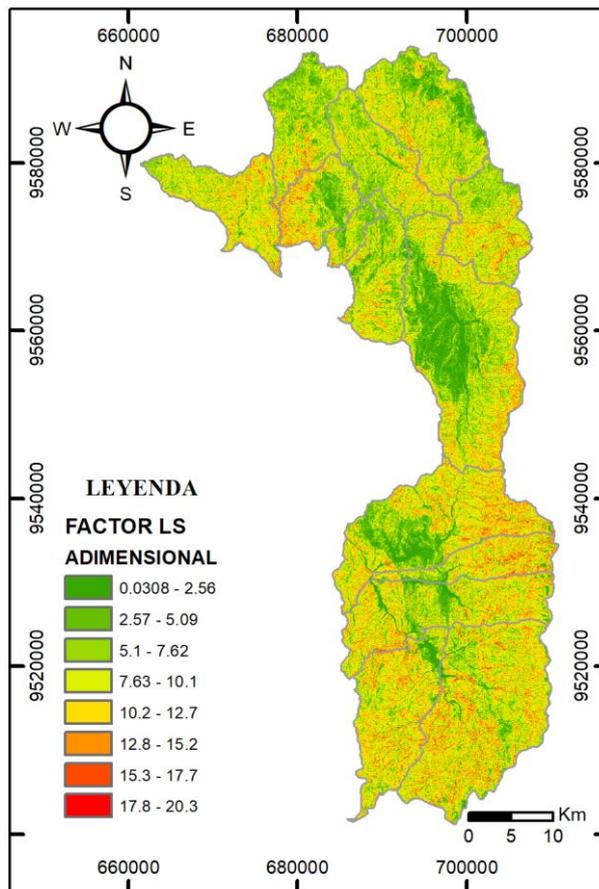


Figura 27: Mapa del Factor LS del cantón Loja.

Tabla 17: Áreas del Factor LS en el cantón Loja.

Rangos	Área (ha)	%
0.03-2.56	14949.44	7.89
2.57-5.09	25200.7	13.30
5.1-7.62	39101.78	20.64
7.63-10.1	50866.03	26.84
10.2-12.7	41316.24	21.80
12.8-15.2	15761.01	8.32
15.3-17.7	2174.77	1.15
17.8-20.3	117.99	0.06

4.1.13. Análisis Estadístico.

Se procedió a realizar el análisis estadístico en el software Microsoft Excell 2016, en donde se realizaron las respectivas correlaciones polinómicas de segundo grado como se ha realizado en estudios anteriores de Kenneth G. Renard y Freimund (1994) y Ochoa, Fries, Montesinos, y Boll (2013), quienes han replicado estudios en Estados Unidos y en la Cordillera de los Andes en condiciones climáticas y topográficas muy distintas.

4.1.13.1. Correlaciones con la ecuación de Renard y Freimund y la Precipitación, con información mensual.

En la Figura 28 y 29, se observa la correlación entre el Factor R aplicando la ecuación de Renard y Freimund, y la Precipitación en el cantón Loja, empleando información mensual del periodo 2000-2016, generó como resultado una correlación de 0.84, utilizando una correlación polinómica de tercer grado; y usando una correlación polinómica de segundo grado el resultado fue de 0.5702.

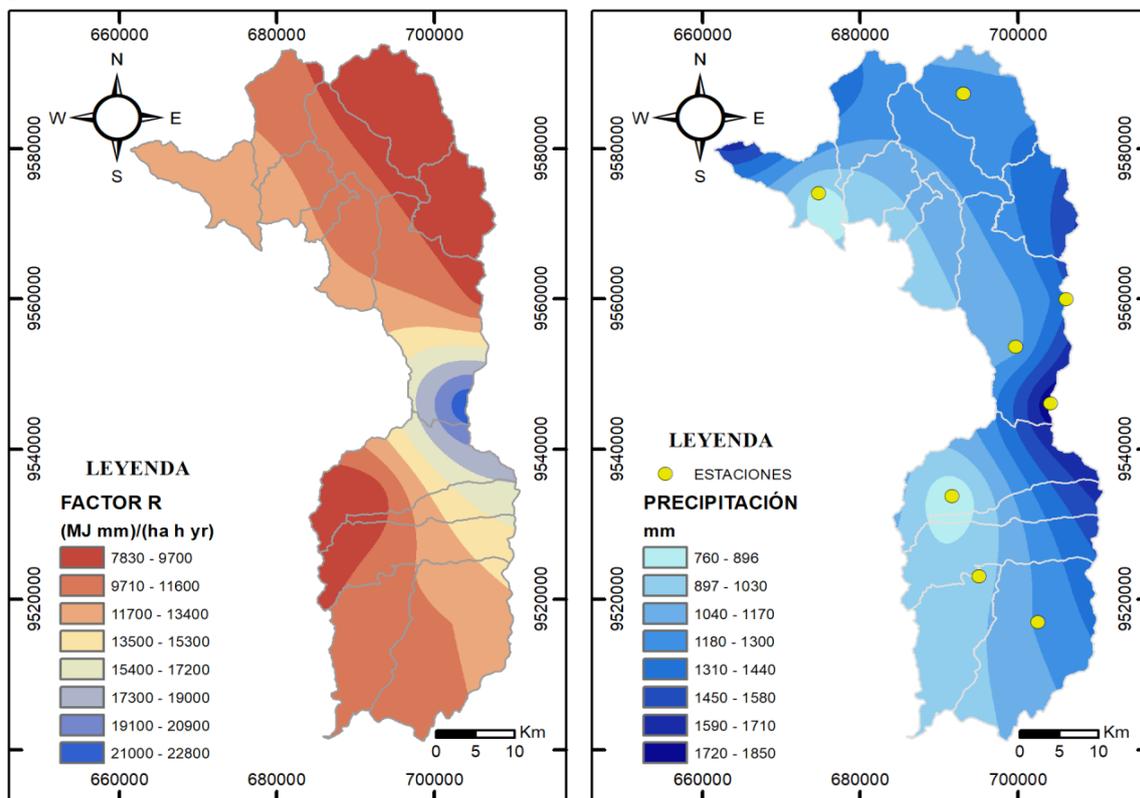


Figura 28: Mapa de relación entre el Factor R de Renard y Freimund y la Precipitación del cantón Loja, resolución mensual.

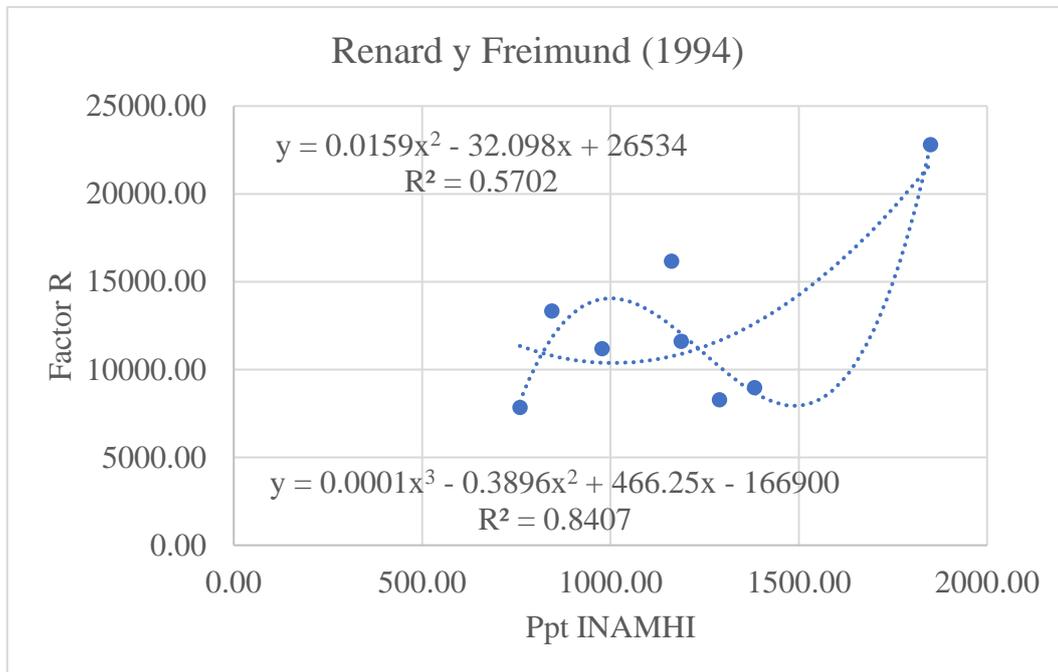


Figura 29: Correlación entre el Factor R de Renard y Freimund y la Precipitación del cantón Loja, resolución mensual.

4.1.13.2. Correlaciones con la ecuación de Marta Angulo y la Precipitación, con información mensual.

En la Figura 30 y 31, se observa la correlación entre el Factor R aplicando la ecuación de Marta Angulo, y la Precipitación en el cantón Loja, utilizando información mensual del periodo 2000-2016, generó como resultado una correlación de 0.8155, empleando una correlación polinómica de tercer grado; y usando una correlación polinómica de segundo grado el resultado fue de 0.347.

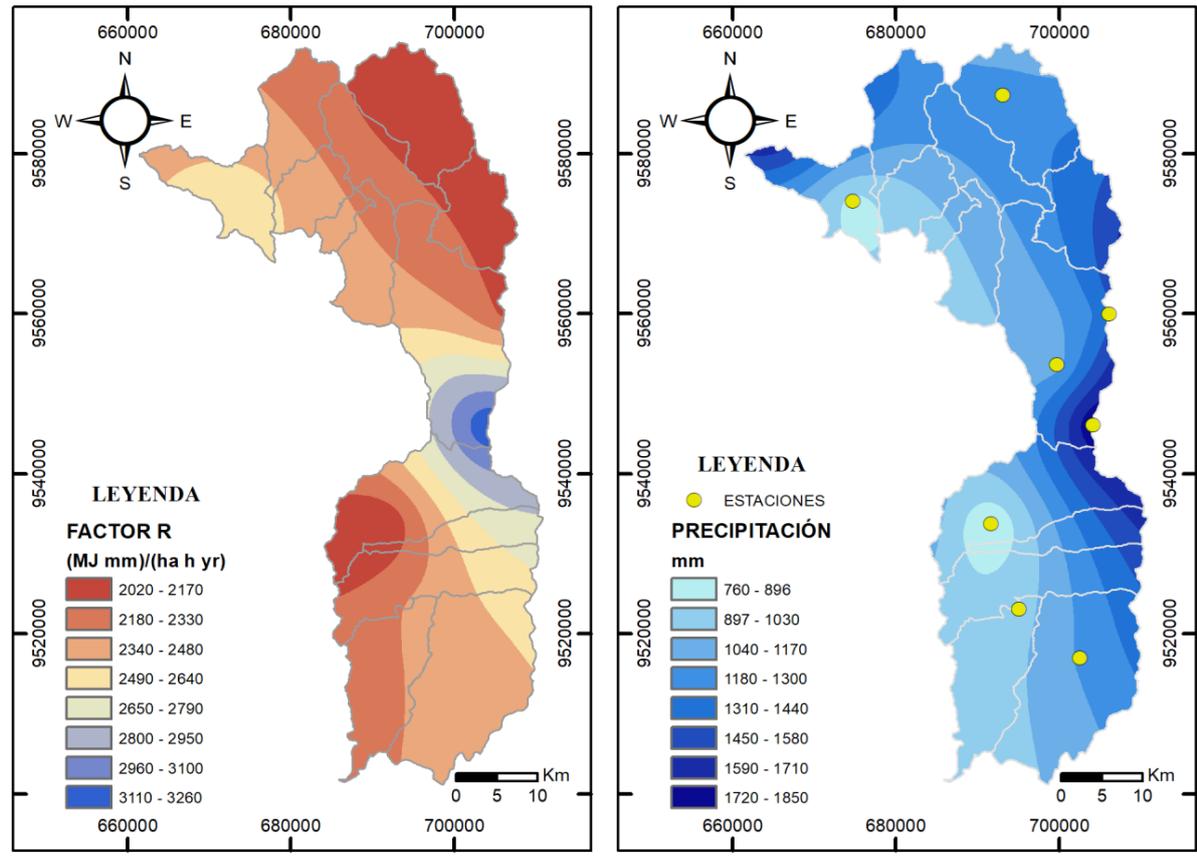


Figura 30: Mapa de relación entre el Factor R de Marta Angulo y la Precipitación del cantón Loja, resolución mensual.

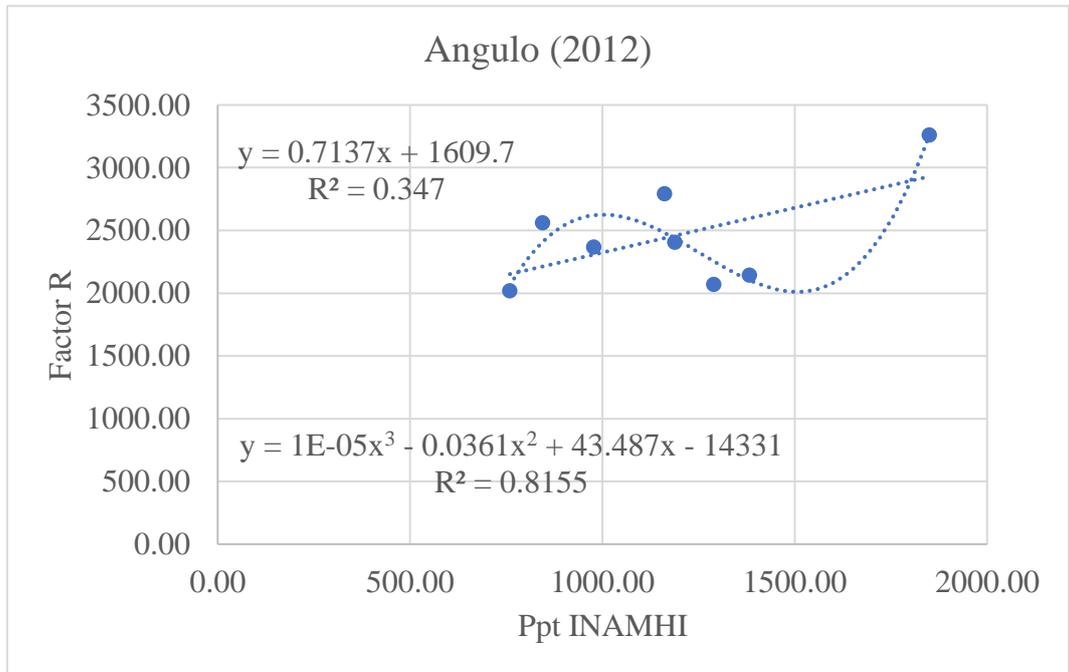


Figura 31: Correlación entre el Factor R de Marta Angulo y la Precipitación del cantón Loja, resolución mensual.

4.1.13.3. Correlaciones con los resultados del IFM y el Factor R de Renard y Freimund, con información mensual.

En la Figura 32 y 33, se observa la correlación entre el Factor R utilizando la ecuación de Renard y Freimund, y el IFM en el cantón Loja, utilizando información mensual del periodo 2000-2016, generó como resultado una correlación de 0.99, empleando una correlación polinómica de tercer grado; y usando una correlación polinómica de segundo grado el resultado fue de 0.993.

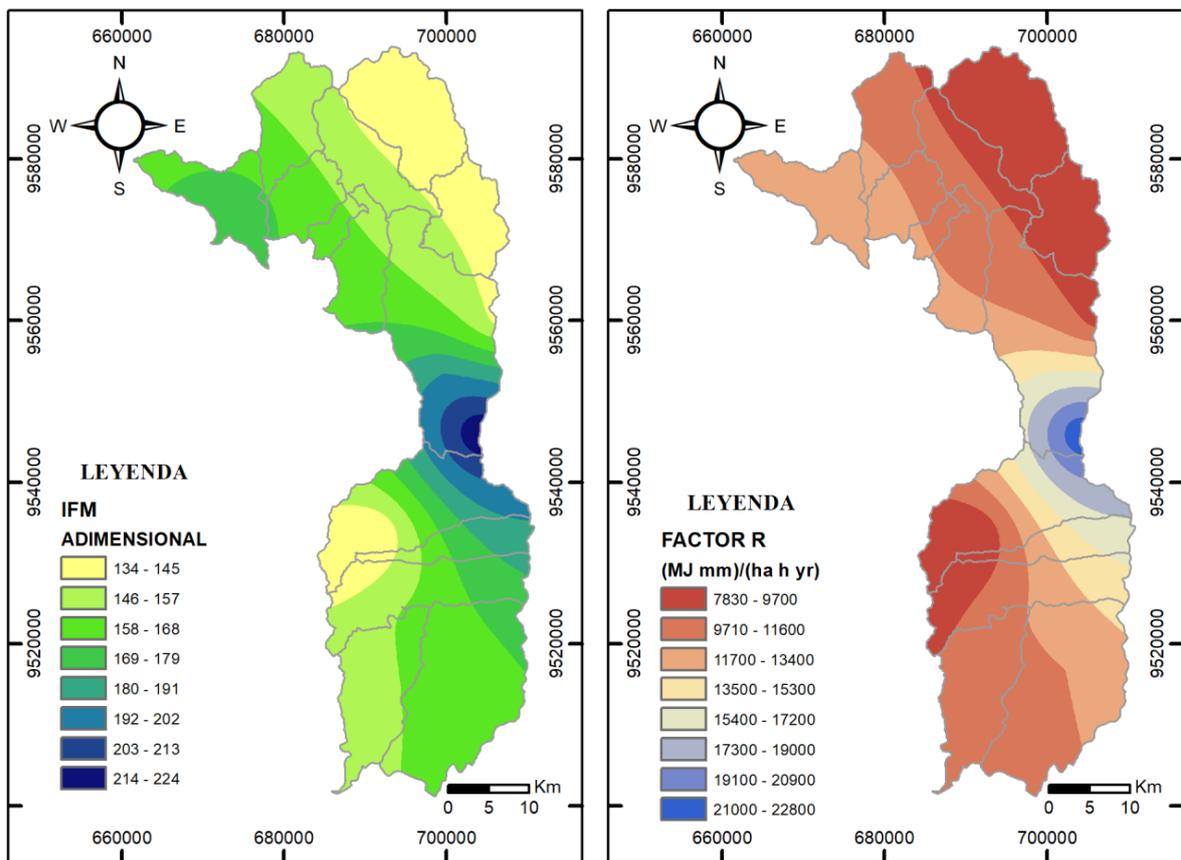


Figura 32: Mapa de relación entre el IFM y el Factor R de Renard y Freimund del cantón Loja, resolución mensual.

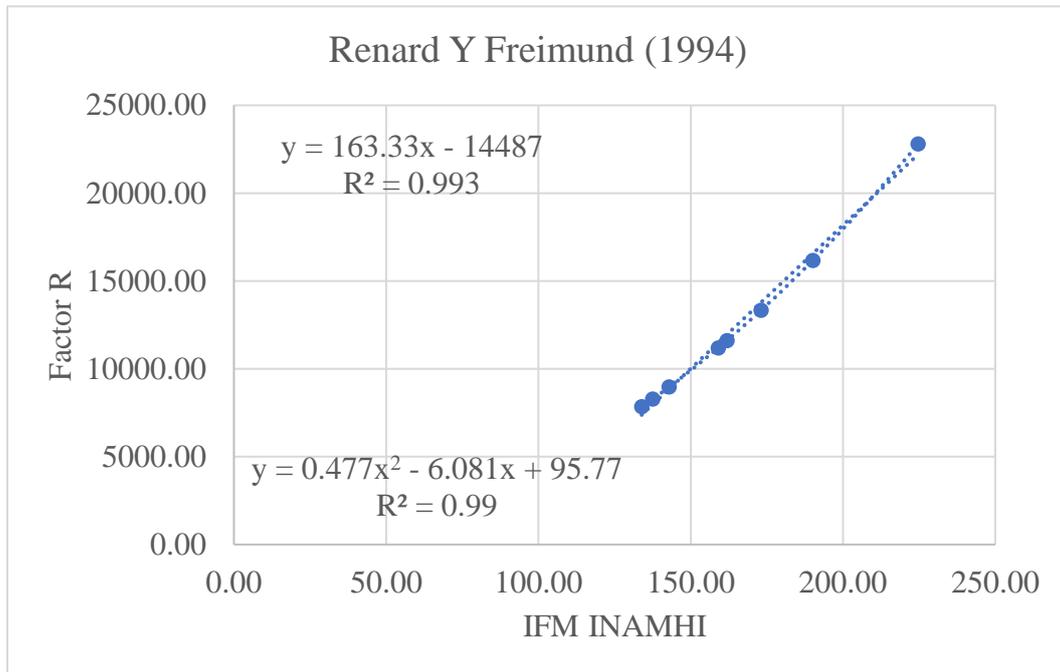


Figura 33: Correlación entre el IFM y el Factor R de Renard y Freimund del cantón Loja, resolución mensual.

4.1.13.4. Correlaciones con los resultados del IFM y el Factor R de Marta Angulo, con información mensual.

En la Figura 34 y 35, se observa la correlación entre el Factor R aplicando la ecuación de Marta Angulo, y el IFM en el cantón Loja, empleando información mensual del periodo 2000-2016, generó como resultado una correlación de 0.99, utilizando una correlación polinómica de tercer grado; y usando una correlación polinómica de segundo grado el resultado fue de 1.

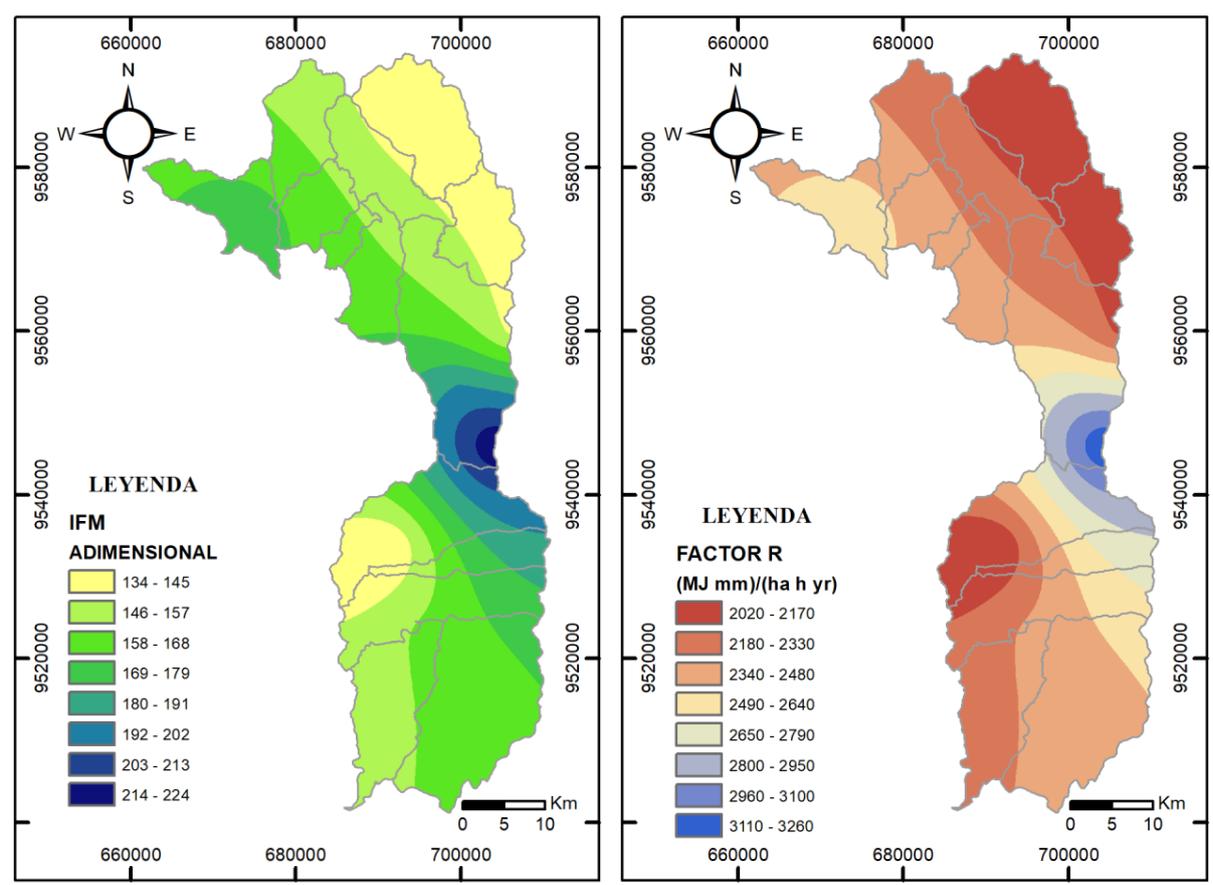


Figura 34: Mapa de relación entre el IFM y el Factor R de Marta Angulo del cantón Loja, resolución mensual.

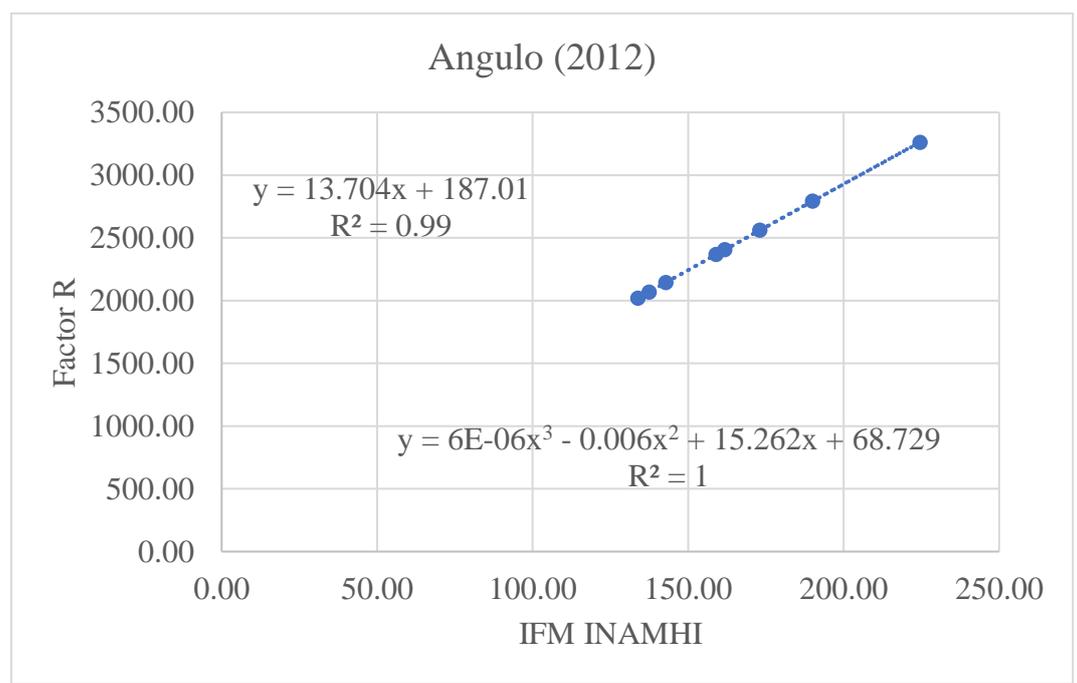


Figura 35: Correlación entre el IFM y el Factor R de Renard y Freimund del cantón Loja, resolución mensual.

4.1.13.5. Correlaciones con los resultados del Factor R del RIST (EI_{30}) y la Precipitación, con información de resolución temporal inferior a 1 hora.

En la Figura 36 y 37, se observa la correlación entre el Factor R aplicando el software RIST y la Precipitación en el cantón Loja, empleando información con una resolución temporal inferior a 1 hora del periodo 2015-2016, generó como resultado una correlación de 0.8532, utilizando una correlación polinómica de tercer grado; y usando una correlación polinómica de segundo grado el resultado fue de 0.689.

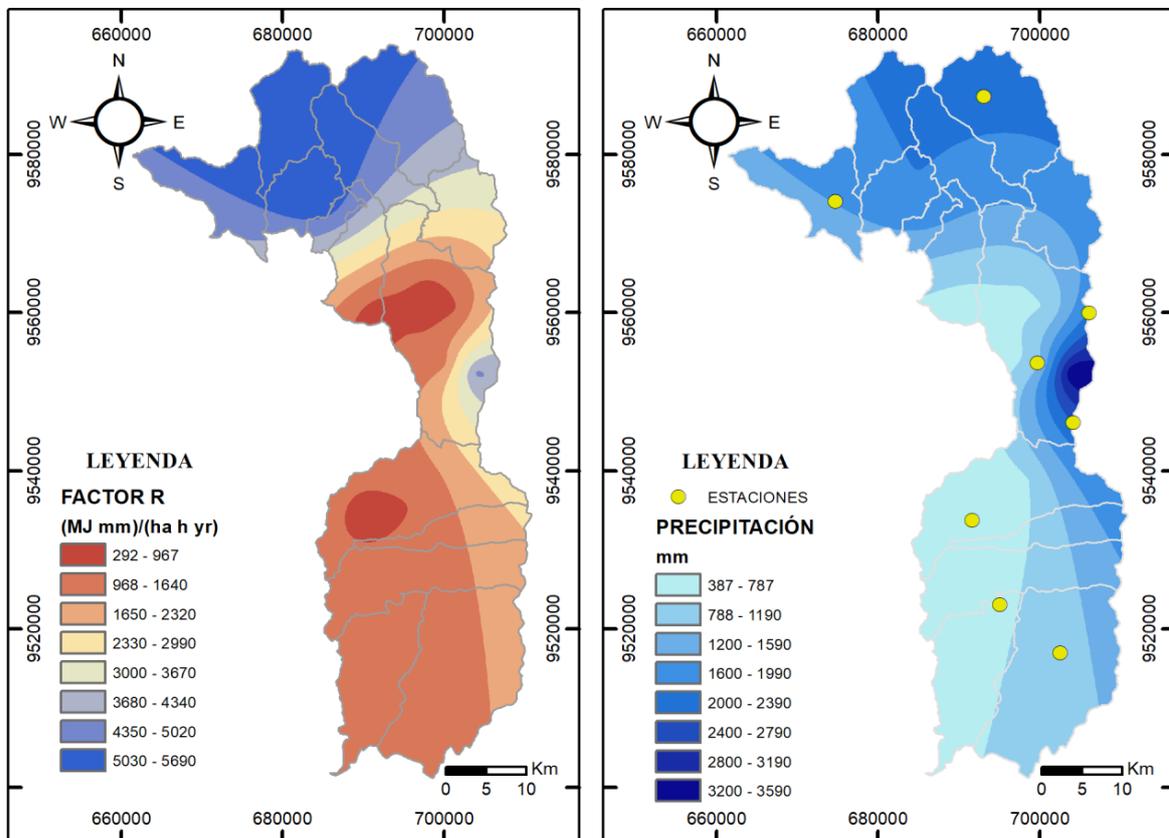


Figura 36: Mapa de relación entre el Factor R de RIST (EI_{30}) y la Precipitación del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.

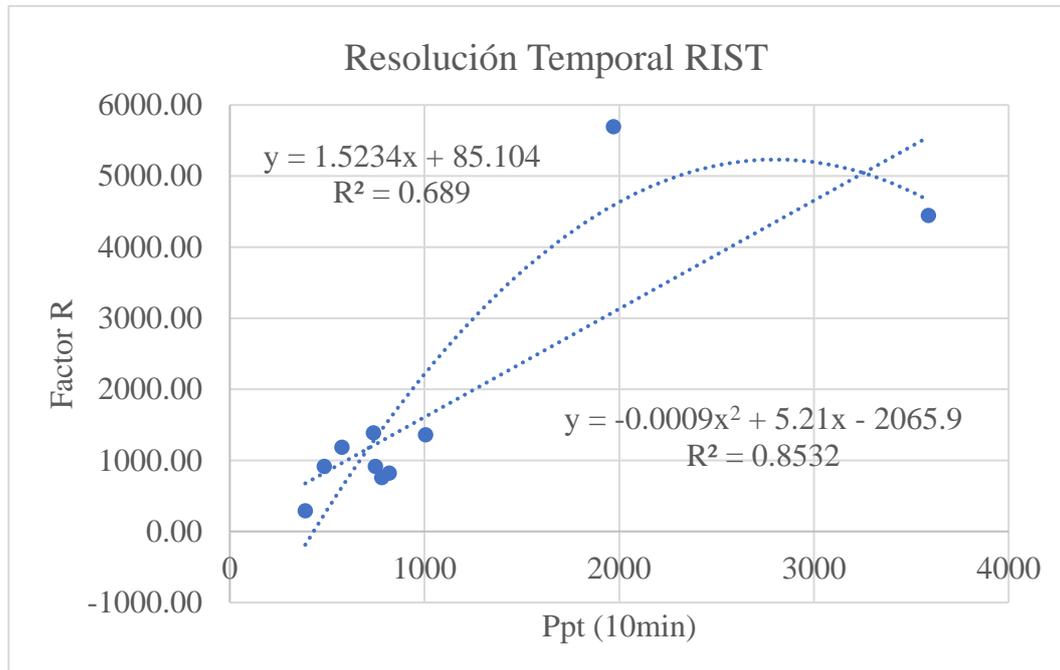


Figura 37: Correlación entre el Factor R de RIST (EI_{30}) y la Precipitación del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.

4.1.13.6. Correlaciones con los resultados del Factor R del RIST (EI_{30}) y el IFM, con información de resolución temporal inferior a 1 hora.

En la Figura 38 y 39 se observa la correlación entre el Factor R aplicando el software RIST y el IFM en el cantón Loja, empleando información con una resolución temporal inferior a 1 hora del periodo 2015-2016, generó como resultado una correlación de 0.975, empleando una correlación polinómica de tercer grado; y usando una correlación polinómica de segundo grado el resultado fue de 0.7162.

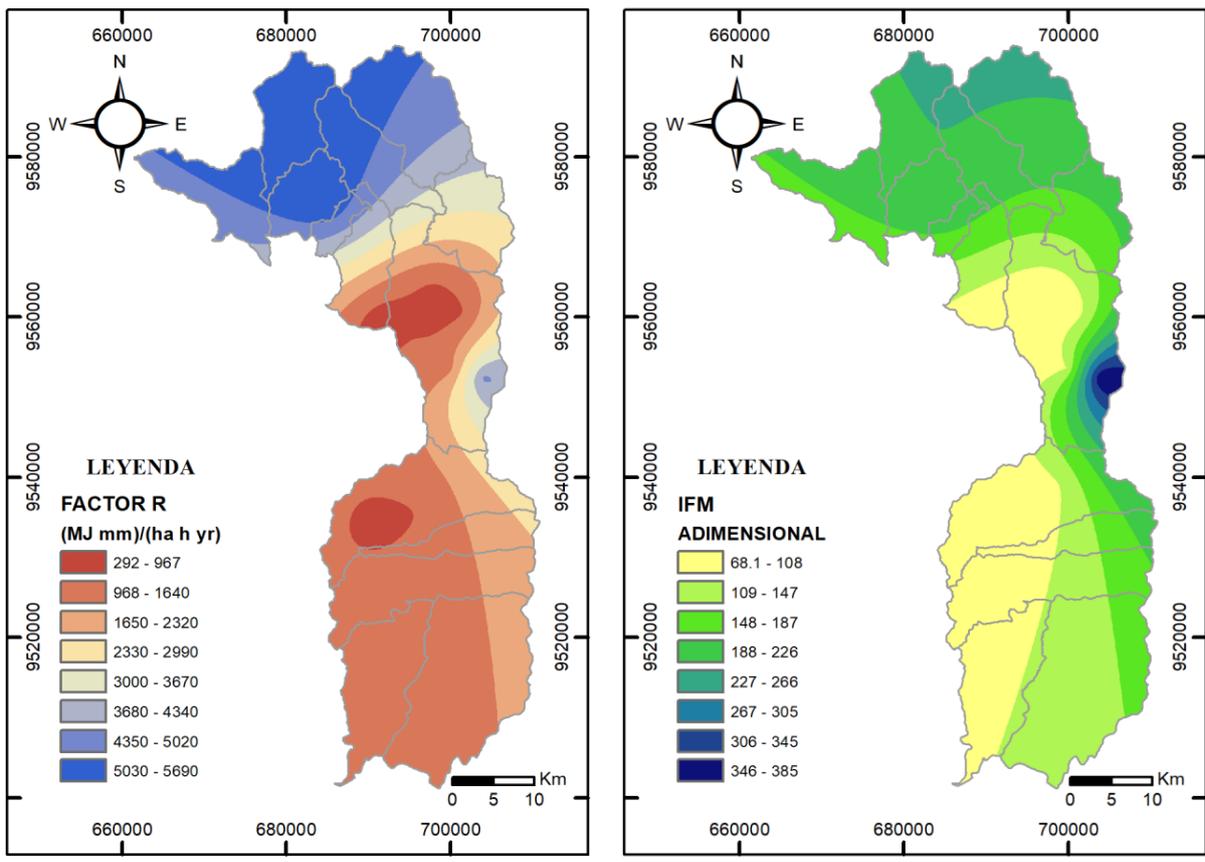


Figura 38: Mapa de relación entre el Factor R de RIST (EI₃₀) y el IFM del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.

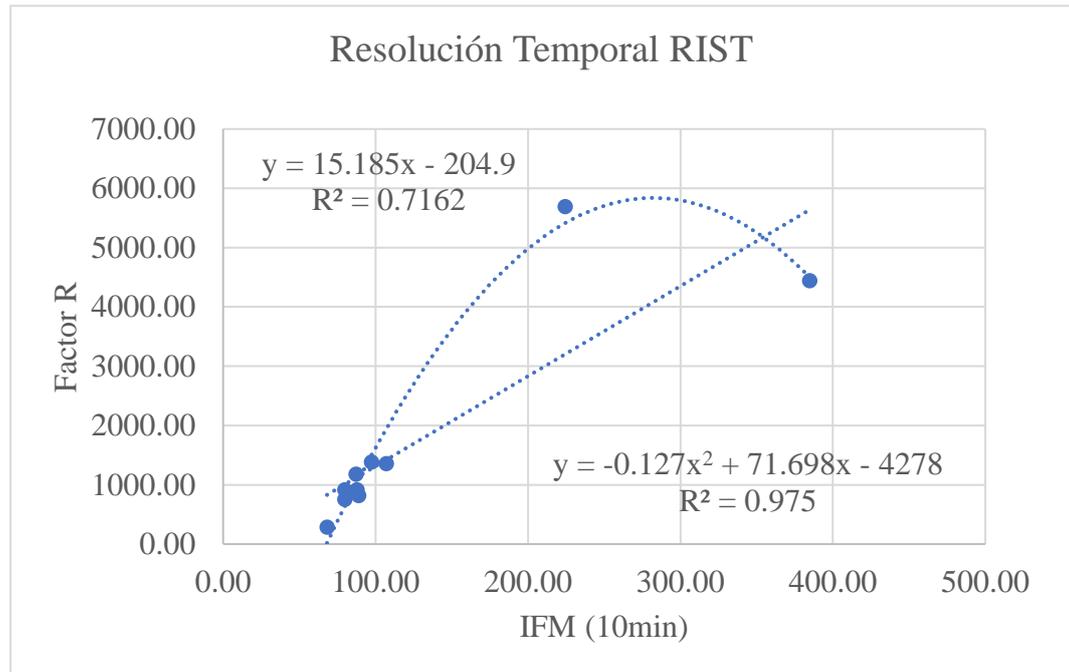


Figura 39: Correlación entre el Factor R de RIST (EI₃₀) y el IFM del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.

4.1.13.7. Correlaciones con los resultados del Factor R de Renard y Freimund y la Precipitación, con información de resolución temporal inferior a 1 hora.

En la Figura 40 y 41, se observa la correlación entre el Factor R aplicando la ecuación de Renard y Freimund, y la Precipitación en el cantón Loja, empleando información con una resolución temporal inferior a 1 hora del periodo 2015-2016, generó como resultado una correlación de 0.9994, utilizando una correlación polinómica de tercer grado; y usando una correlación polinómica de segundo grado el resultado fue de 0.998.

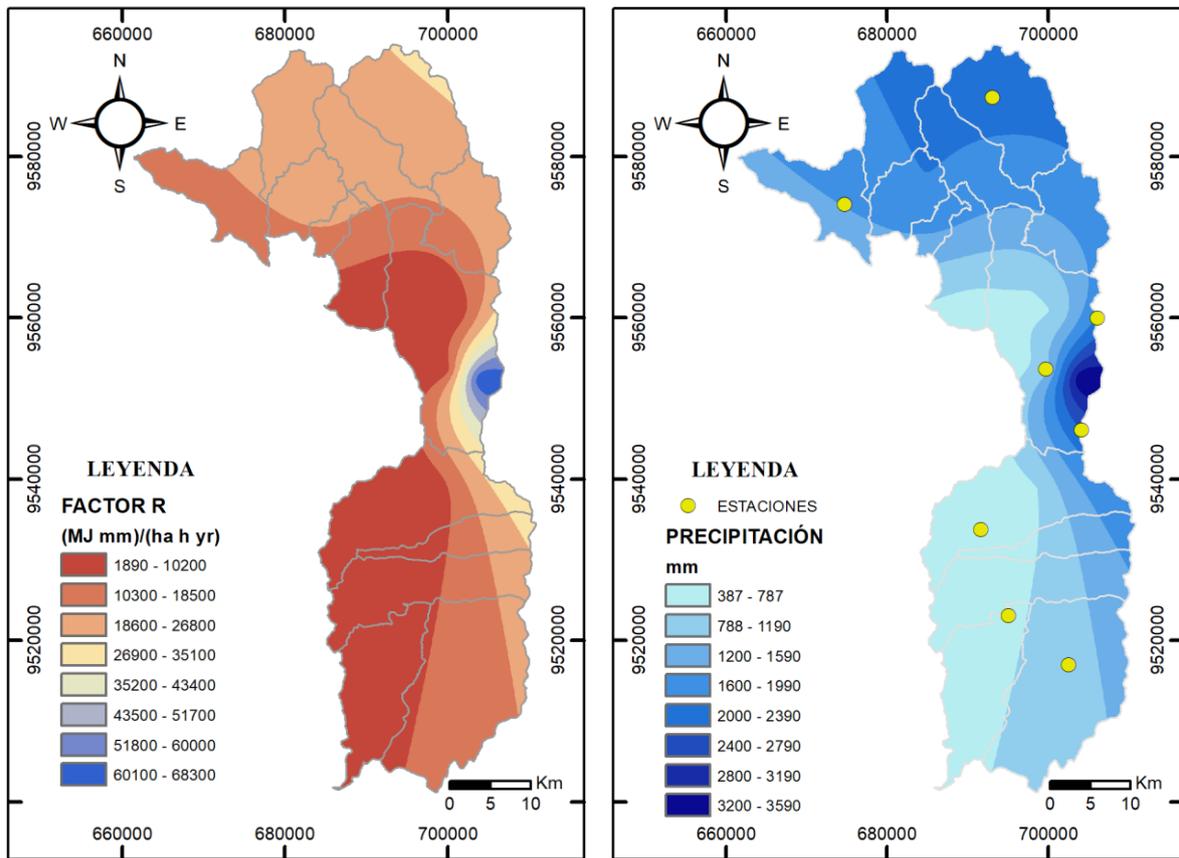


Figura 40: Mapa de relación entre el Factor R de Renard y Freimund y la Precipitación del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.

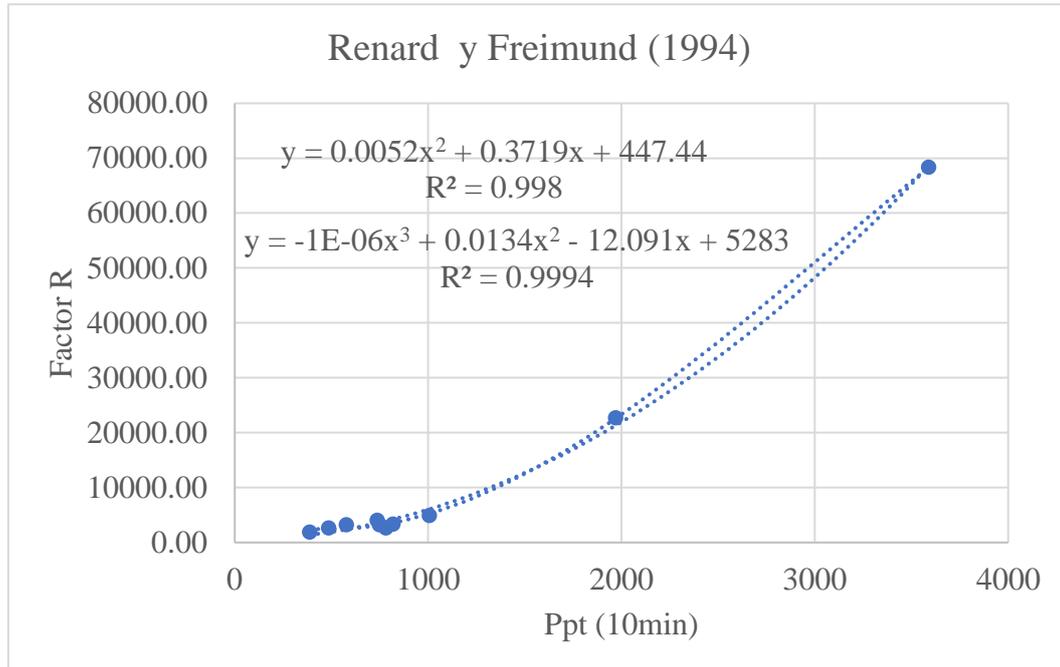


Figura 41: Correlación entre el Factor R de Renard y Freimund y la Precipitación del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.

4.1.13.8. Correlaciones con los resultados del Factor R de Marta Angulo y la Precipitación, con información de resolución temporal inferior a 1 hora.

En la Figura 42 y 43 se observa la correlación entre el Factor R aplicando la ecuación de Marta Angulo, y la Precipitación en el cantón Loja, empleando información con una resolución temporal inferior a 1 hora del periodo 2015-2016, generó como resultado una correlación de 0.9958, utilizando una correlación polinómica de tercer grado; y usando una correlación polinómica de segundo grado el resultado fue de 0.9884.

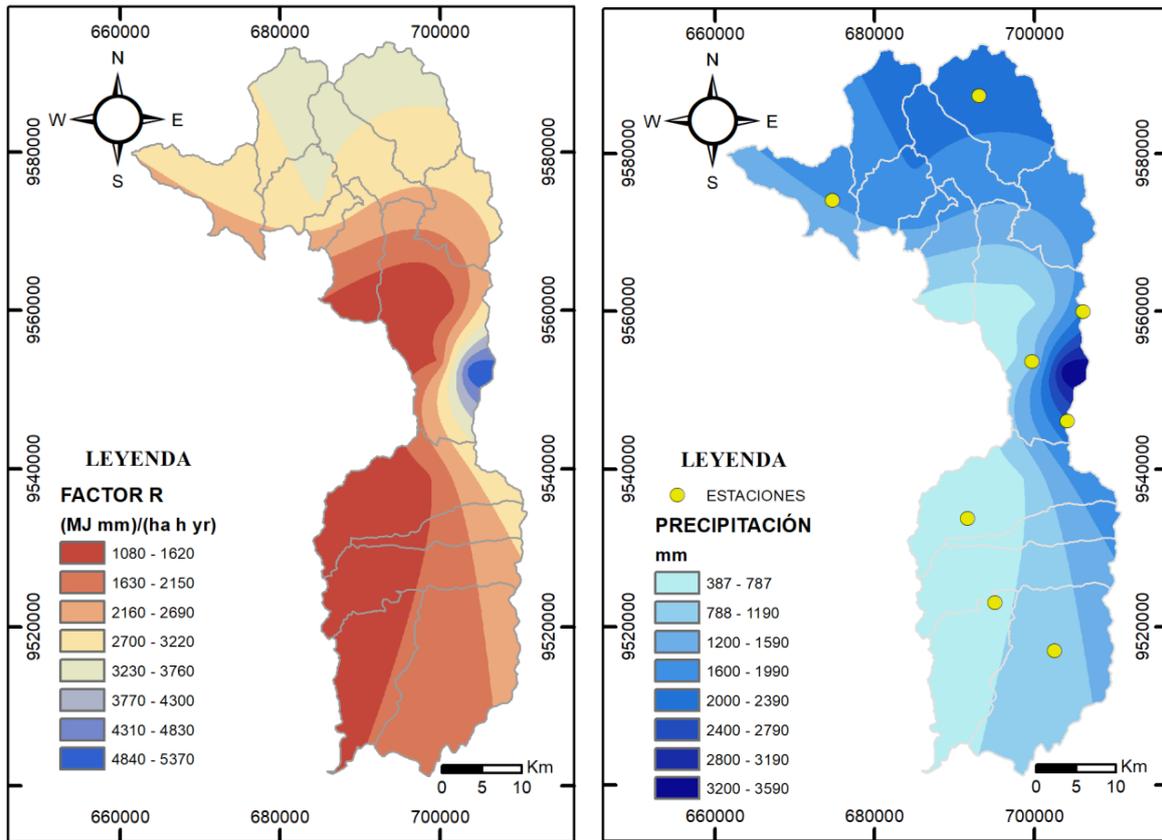


Figura 42: Mapa de relación entre el Factor R de Marta Angulo y la Precipitación del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.

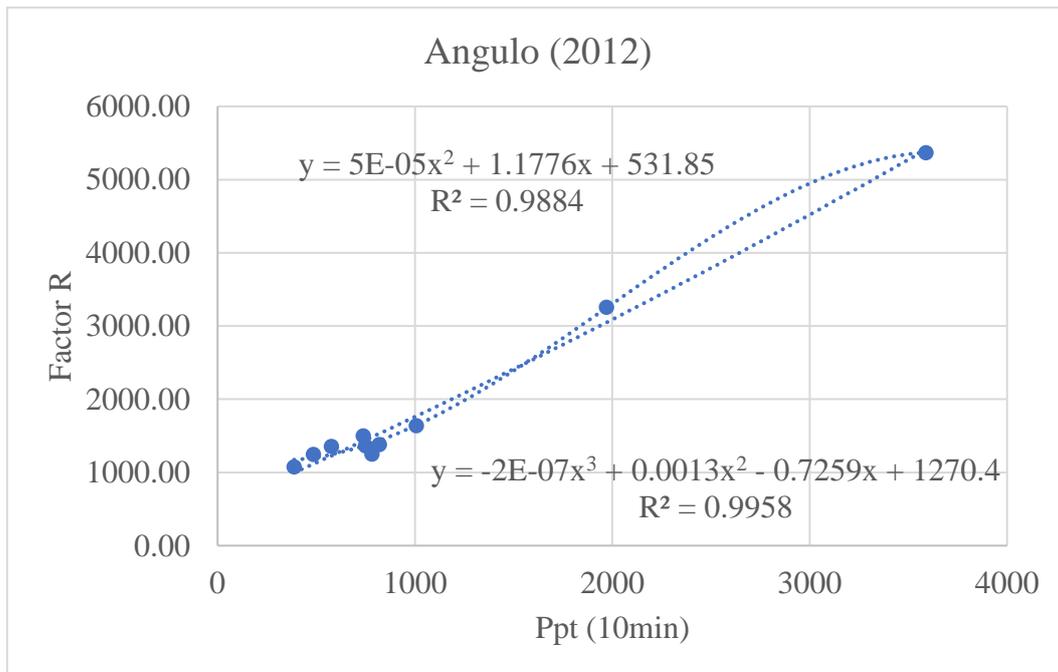


Figura 43: Correlación entre el Factor R de Marta Angulo y la Precipitación del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.

4.1.13.9. Correlaciones con los resultados del Factor R de Renard y Freimund y el IFM, con información de resolución temporal inferior a 1 hora.

En la Figura 44 y 45, se observa la correlación entre el Factor R aplicando la ecuación de Renard y Freimund, y el IFM en el cantón Loja, empleando información con una resolución temporal inferior a 1 hora del periodo 2015-2016, generó como resultado una correlación de 0.99, utilizando una correlación polinómica de tercer grado; y usando una correlación polinómica de segundo grado el resultado fue de 0.99.

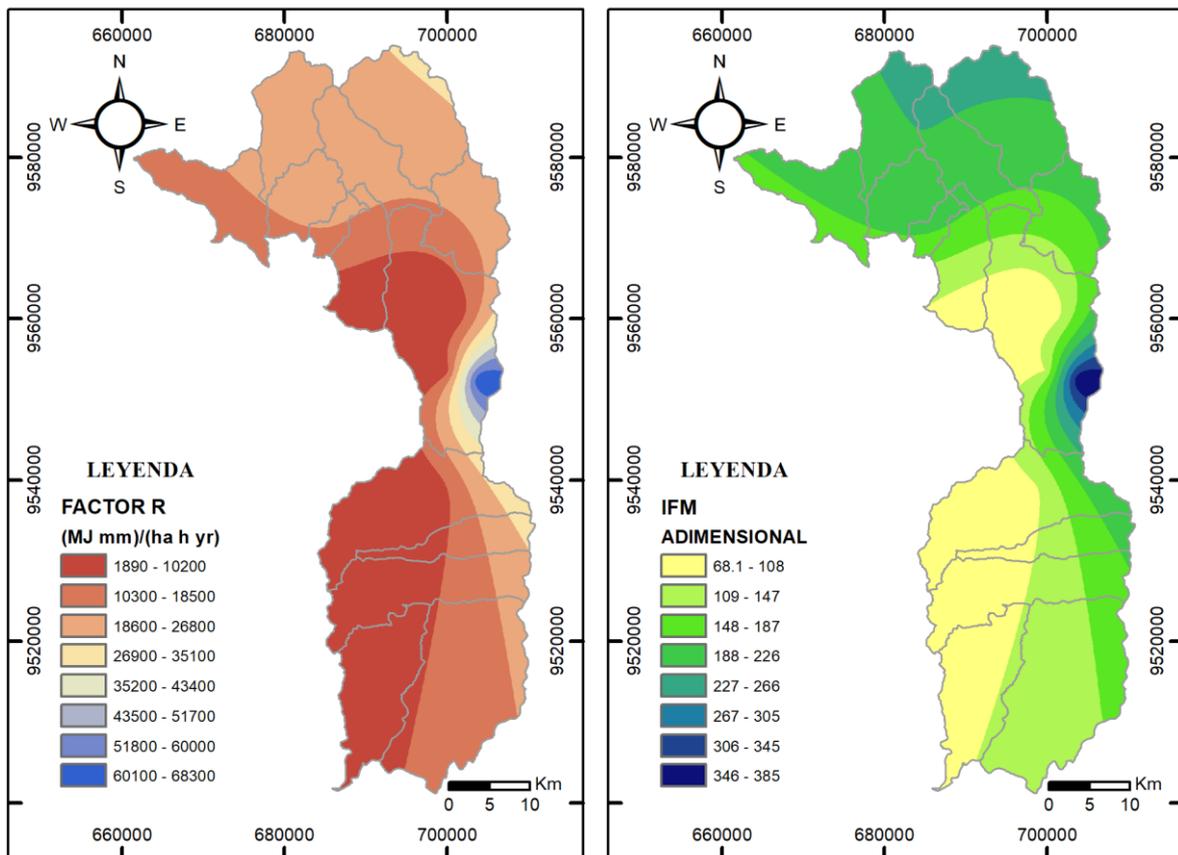


Figura 44: Mapa de relación entre el Factor R de Renard y Freimund y el IFM del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.

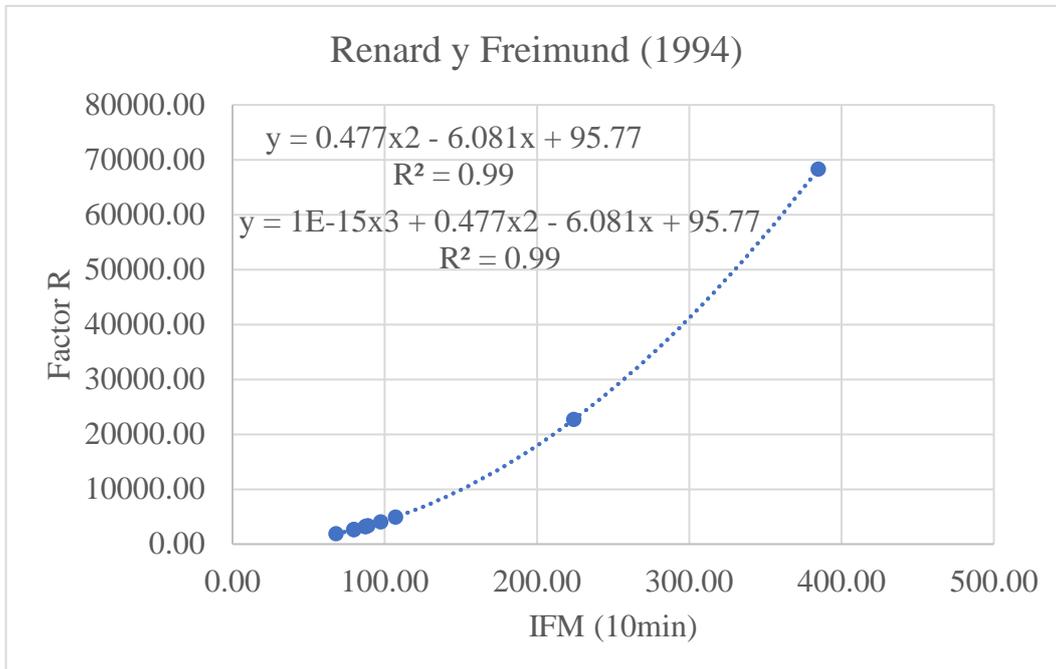


Figura 45: Correlación entre el Factor R de Renard y Freimund y el IFM del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.

4.1.13.10. Correlaciones con los resultados del Factor R de Marta Angulo y el IFM, con información de resolución temporal inferior a 1 hora.

En la Figura 46 y 47 se observa la correlación entre el Factor R aplicando la ecuación de Marta Angulo y el IFM en el cantón Loja, empleando información con una resolución temporal inferior a 1 hora del periodo 2015-2016, generó como resultado una correlación de 0.99, utilizando una correlación polinómica de tercer grado; y usando una correlación polinómica de segundo grado el resultado fue de 0.99.

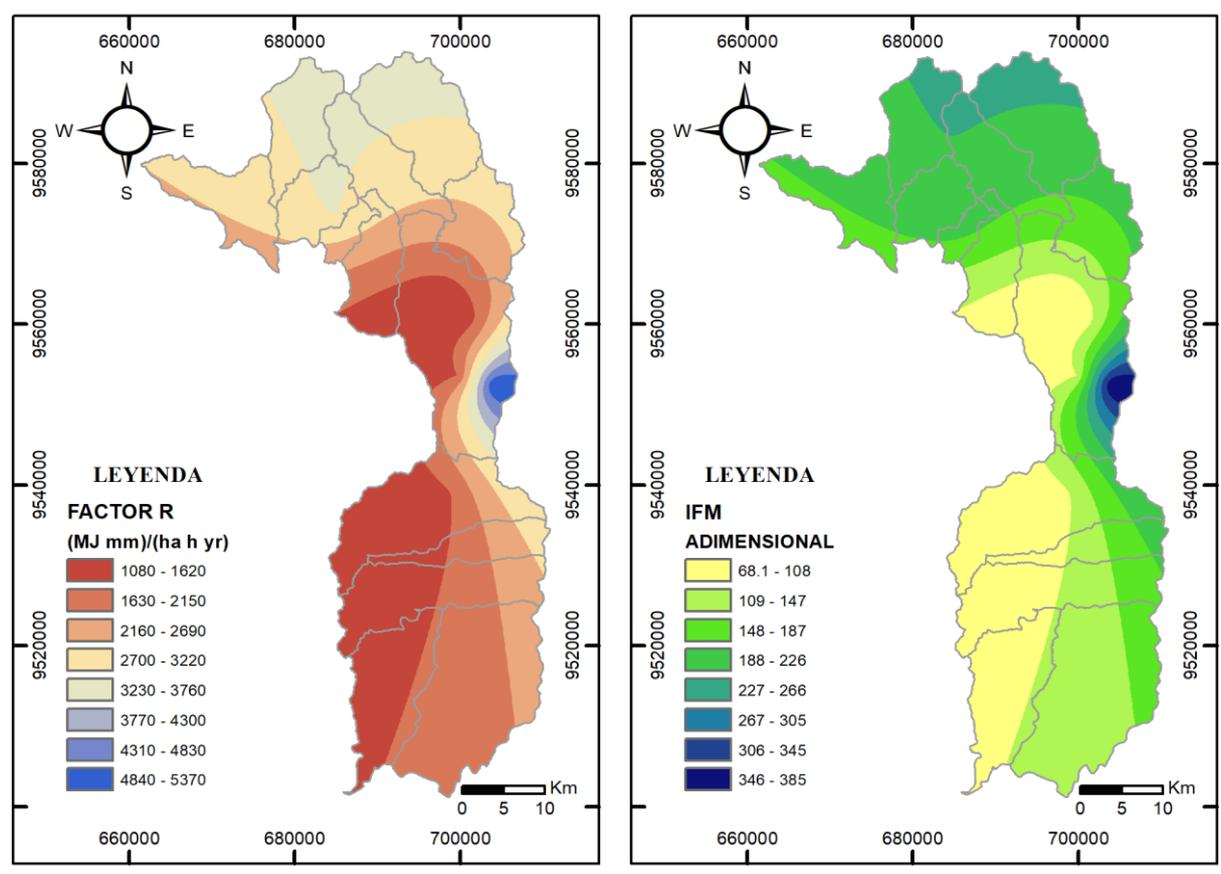


Figura 46: Mapa de relación entre el Factor R de Marta Angulo y el IFM del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.

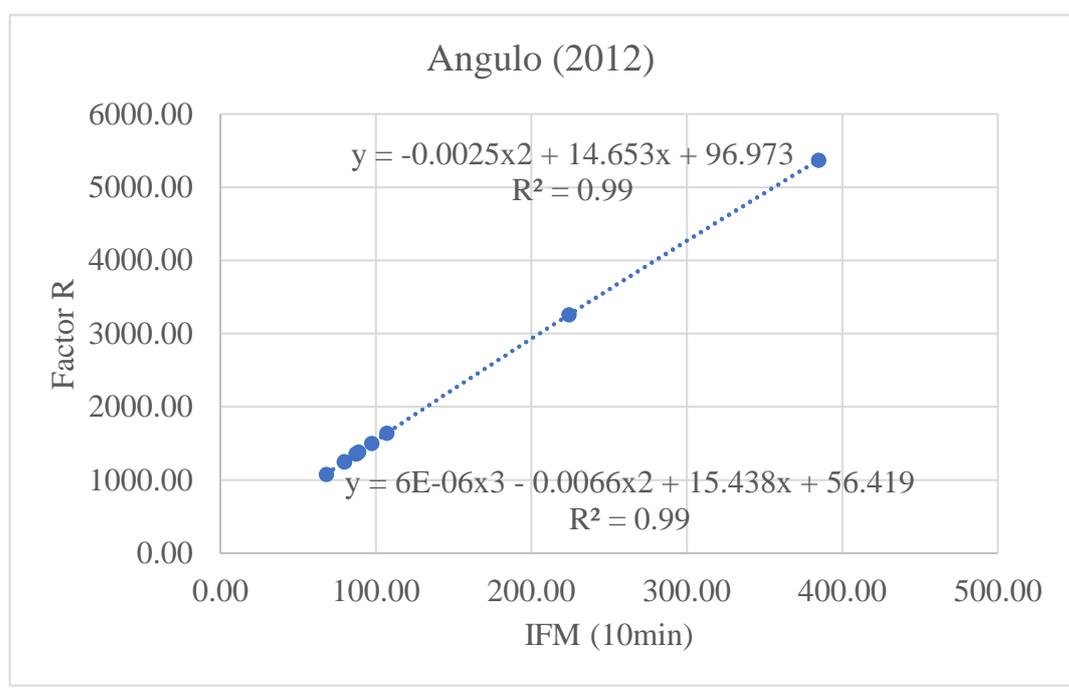


Figura 47: Correlación entre el Factor R de Marta Angulo y el IFM del cantón Loja, resolución temporal inferior a 1 hora.

4.1.14. Propuesta de cálculo del Factor R para la RSE.

4.1.14.1. Ecuación propuesta para el cálculo del Factor R empleando la precipitación.

$$R = -0.0009x^2 + 5.21x - 2065.9 \quad \text{Ec. 11.}$$

Donde,

X= Precipitación media

La presente ecuación permitirá modelar el riesgo de erosión hídrica o Factor R en el cantón Loja y en toda la RSE, existiendo rangos en función de la precipitación, que van desde los valores de 429 mm a 5360 mm; con una correlación de 0.8532.

En la Figura 48 y Tabla 18, se puede observar el resultado del cálculo del Factor R con información mensual empleando la ecuación propuesta en función de la precipitación en la RSE donde los valores van de 270 a 5090 Mj.mm/ha.h.yr. En la provincia de Loja los rangos de factor R se encuentran entre 813 a 1270 Mj.mm/ha.h.yr con una media de 2473 Mj.mm/ha.h.yr, en donde se encuentra el factor R más elevado (4030 a 4480 Mj.mm/ha.h.yr) 0.23%, que corresponde a 2524.01 ha. En la provincia de El Oro los rangos de factor R se encuentran entre 270 a 4830 Mj.mm/ha.h.yr con una media de 1802 Mj.mm/ha.h.yr, en donde se encuentra el factor R más elevado (4270 a 4830 Mj.mm/ha.h.yr) 2.05%, que corresponde a 11 761.26 ha. En la provincia de Zamora los rangos de factor R se encuentran entre 1640 a 5090 Mj.mm/ha.h.yr con una media de 3650 Mj.mm/ha.h.yr, en donde se encuentra el factor R más elevado (4670 a 5090 Mj.mm/ha.h.yr) 19.43%, que corresponde a 205 301.48 ha.

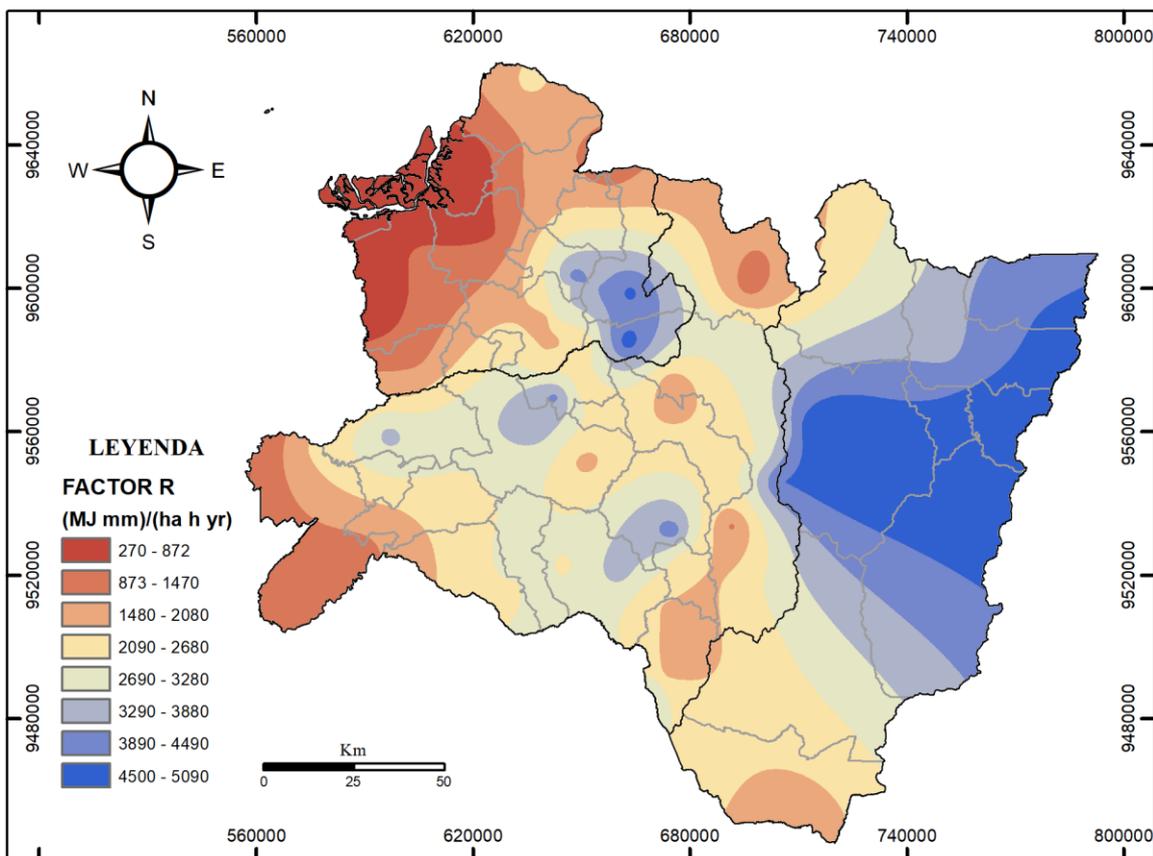


Figura 48: Mapa del Factor R de la RSE, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación, resolución mensual.

Tabla 18: Áreas del Factor R de la RSE, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación, resolución mensual.

Loja			El Oro			Zamora		
Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%
813-1270	52491.41	4.74	270-840	121858.10	21.23	1640-2070	44548.38	4.22
1280-1730	86369.94	7.81	841-1410	100618.10	17.53	2080-2500	167744.18	15.88
1740-2190	190818.18	17.25	1420-1980	146213.92	25.47	2510-2930	100902.55	9.55
2200-2650	304262.46	27.50	1990-2550	83673.14	14.58	2940-3370	88559.08	8.38
2660-3100	324221.74	29.30	2560-3120	39433.11	6.87	3380-3800	116998.36	11.07
3110-3560	119105.77	10.76	3130-3690	39041.70	6.80	3810-4230	136316.00	12.90
3570-4020	26654.73	2.41	3700-4260	31481.37	5.48	4240-4660	196196.77	18.57
4030-4480	2521.01	0.23	4270-4830	11761.26	2.05	4670-5090	205301.48	19.43

En la Figura 49 y Tabla 19, se puede observar el resultado del cálculo del Factor R con información mensual empleando la ecuación propuesta en función de la precipitación en el cantón Loja donde los valores van de 1370 a 4490 Mj.mm/ha.h.yr, con

una media de 2608 Mj.mm/ha.h.yr, donde los valores más altos se concentran en las parroquias de Loja, Malacatos, Vilcabamba y Jimbilla; en el cantón el factor R más elevado (4110 a 4490 Mj.mm/ha.h.yr) 0.39%, que corresponde a 729.77 ha.

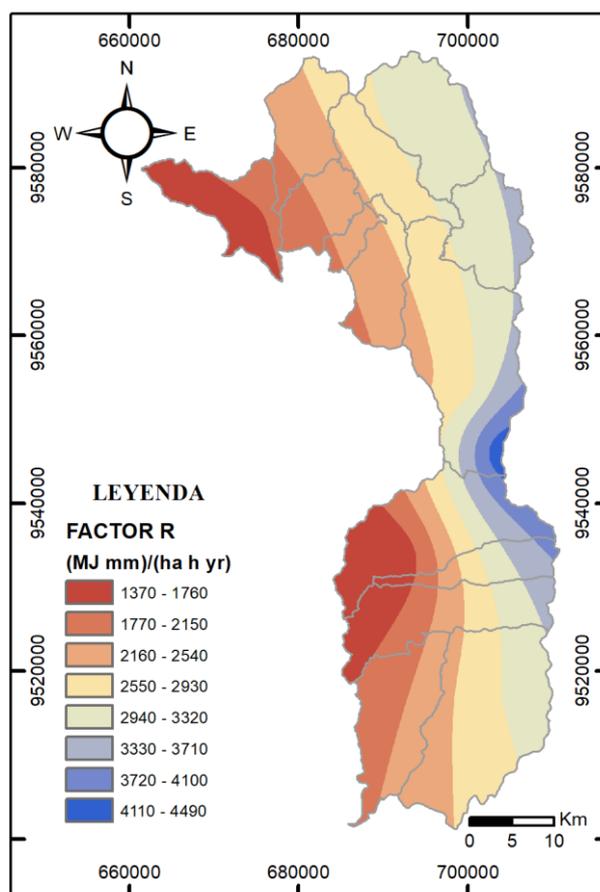


Figura 49: Mapa del Factor R del cantón Loja, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación, resolución mensual.

Tabla 19: Áreas del Factor R del cantón Loja, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación, resolución mensual.

Rangos	Área (ha)	%
1370-1760	19982.67	10.55
1770-2150	23907.17	12.62
2160-2540	40182.48	21.21
2550-2930	43208.81	22.80
2940-3320	44723.69	23.60
3330-3710	12194.00	6.44
3720-4100	4560.71	2.41
4110-4490	729.77	0.39

En la Figura 50 y Tabla 20, se aprecia el resultado del cálculo del Factor R con información de resolución temporal inferior a 1 hora en el cantón Loja, los valores se encuentran entre 248 a 5040 Mj.mm/ha.h.yr, con una media de 2397 Mj.mm/ha.h.yr, donde los valores más altos se encuentran El Cisne, Chantaco, Chuquiribamba, Gualiel, Santiago, San Lucas, Jimbilla y Loja; en el cantón el factor R más elevado (4450 a 5040 Mj.mm/ha.h.yr) 15.20%, que corresponde a 28803.50 ha.

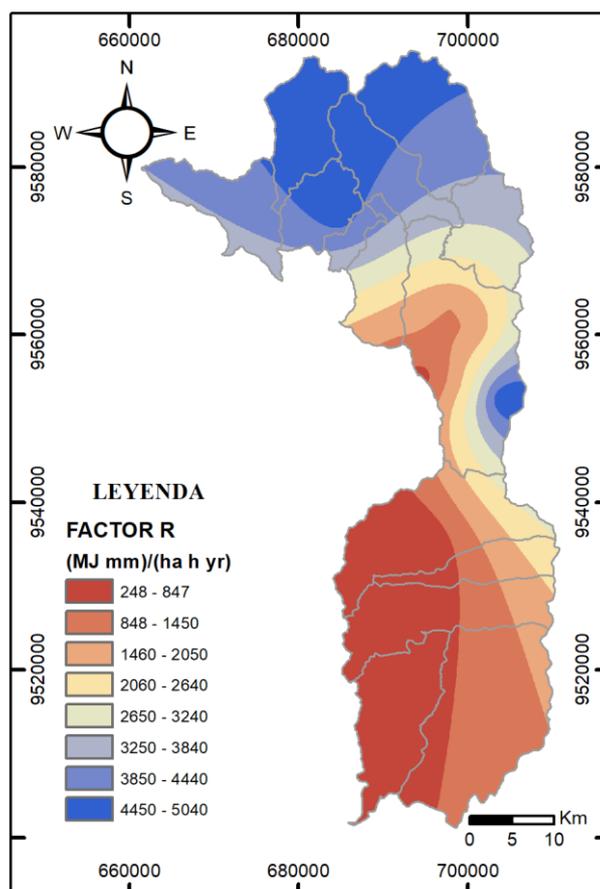


Figura 50: Mapa del Factor R del cantón Loja, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación, resolución temporal inferior a 1 hora.

Tabla 20: Áreas del Factor R del cantón Loja, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación, resolución temporal inferior a 1 hora.

Rangos	Área (ha)	%
248-847	42842.68	22.61
848-1450	30550.94	16.12
1460-2050	19364.20	10.22
2060-2640	14959.03	7.89
2650-3240	12297.83	6.49
3250-3840	15455.41	8.16
3850-4440	25215.67	13.31
4450-5040	28803.50	15.20

4.1.14.2. Ecuación propuesta para el cálculo del Factor R calculando el IFM.

$$R = -0.127IFM^2 + 71.698IFM - 4278 \quad \text{Ec. 12.}$$

Donde,

IFM= Índice de Fournier Modificado

La presente ecuación permitirá modelar el riesgo de erosión hídrica o Factor R en el cantón Loja y en toda la RSE, existiendo rangos en función del cálculo del IFM, que van desde los valores de 68 a 429, con correlación de 0.975.

En la Figura 51 y Tabla 21, se puede observar el resultado del cálculo del Factor R con información mensual empleando la ecuación propuesta en función de la precipitación en la RSE donde los valores van de 1280 a 5840 Mj.mm/ha.h.yr. En la provincia de Loja los rangos de factor R se encuentran entre 1280 a 5840 Mj.mm/ha.h.yr con una media de 4783 Mj.mm/ha.h.yr, en la provincia el factor R más elevado (5280 a 5840 Mj.mm/ha.h.yr) 50.25%, que corresponde a 556 030.16 ha. En la provincia de El Oro los rangos de factor R se encuentran entre 1660 a 5840 Mj.mm/ha.h.yr con una media de 3873 Mj.mm/ha.h.yr, en la provincia el factor R más elevado (5530 a 5840 Mj.mm/ha.h.yr) 9.56%, que corresponde a 54 856.65 ha. En la provincia de Zamora los rangos de factor R se encuentran entre 1990 a 5640 Mj.mm/ha.h.yr con una media de 4395 Mj.mm/ha.h.yr, en la provincia el factor R más elevado (5200 a 5640 Mj.mm/ha.h.yr) 24.08%, que corresponde a 254 421.66 ha.

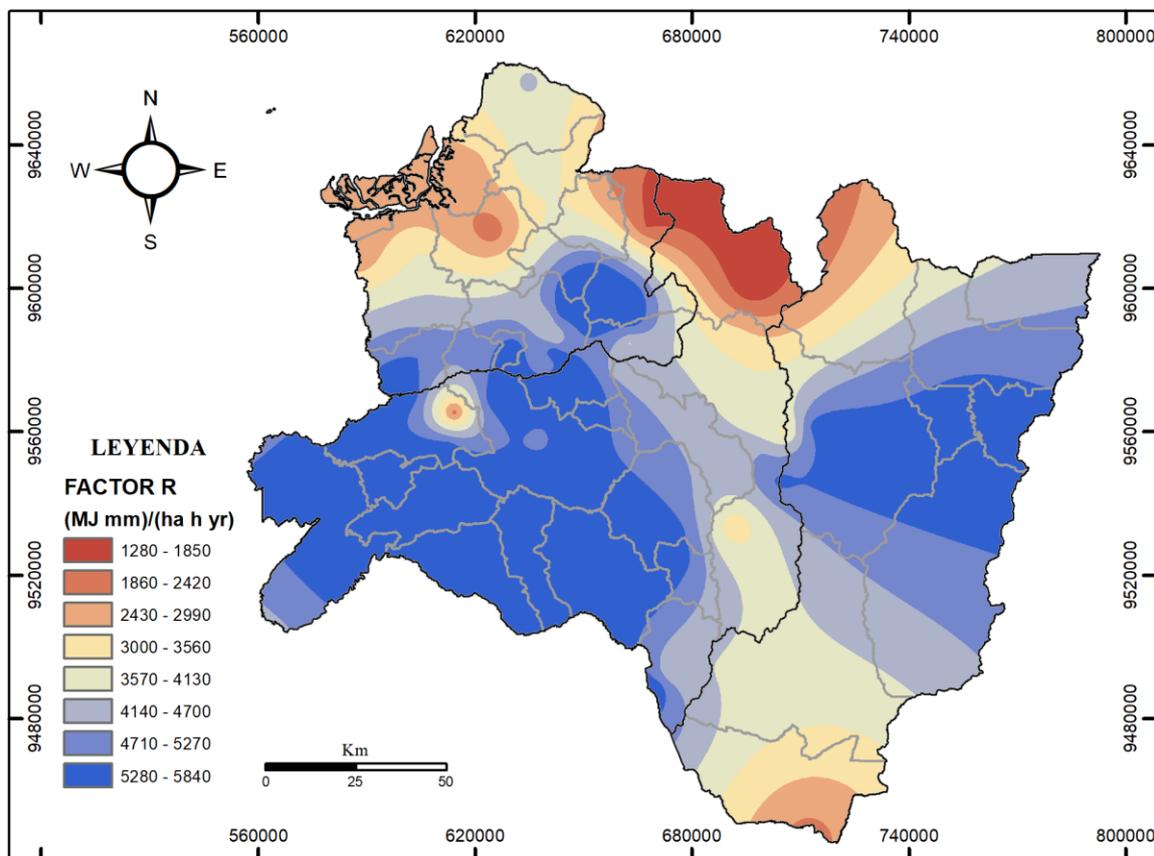


Figura 51: Mapa del Factor R en función del IFM de la RSE, al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM, resolución mensual.

Tabla 21: Áreas del Factor R de la RSE, al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM, resolución mensual.

Loja			El Oro			Zamora		
Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%
1280-1850	59838.78	5.41	1660-2180	16928.82	2.95	1990-2450	21078.14	1.99
1860-2420	24198.07	2.19	2190-2700	50015.08	8.71	2460-2900	56145.76	5.31
2430-2990	19879.65	1.80	2710-3230	103817.93	18.08	2910-3360	74852.34	7.08
3000-3560	33310.92	3.01	3240-3750	104663.58	18.23	3370-3820	100585.40	9.52
3570-4130	112989.14	10.21	3760-4270	100027.22	17.42	3830-4270	195968.90	18.55
4140-4700	156527.50	14.15	4280-4790	74962.49	13.06	4280-4730	180558.61	17.09
4710-5270	143673.40	12.99	4800-5320	68807.26	11.99	4740-5190	172957.82	16.37
5280-5840	556030.16	50.25	5330-5840	54856.65	9.56	5200-5640	254421.66	24.08

En la Figura 52 y Tabla 22, se puede observar el resultado del cálculo del Factor R con información mensual empleando la ecuación propuesta en función del IFM en el cantón Loja donde los valores van de 3050 a 5420 Mj.mm/ha.h.yr, con una media de 3870 Mj.mm/ha.h.yr, donde los valores más altos se concentran en la parroquia de Loja; en el

cantón los valores de factor R más elevados (5130 a 5420 Mj.mm/ha.h.yr) 0.67%, que corresponde a 1273.58 ha.

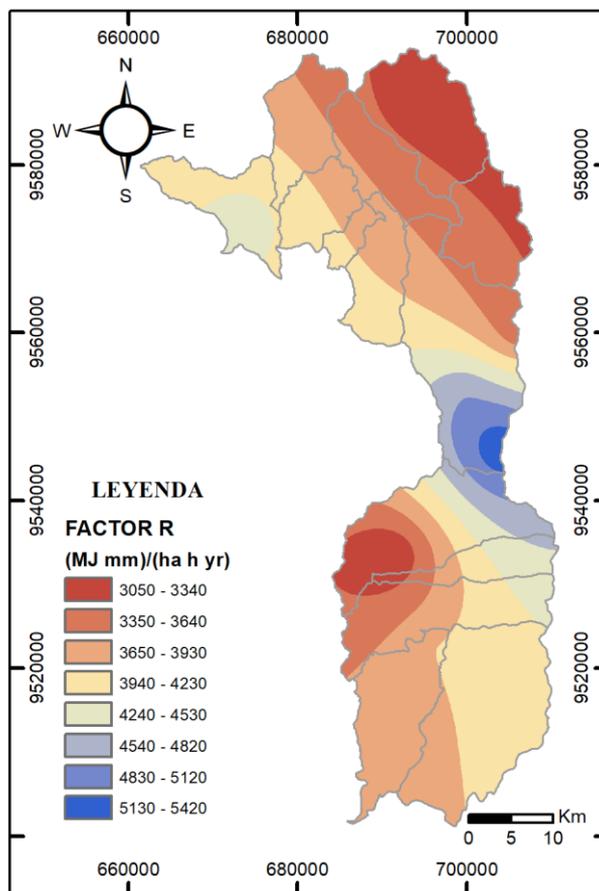


Figura 52: Mapa del Factor R del cantón Loja, al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM, resolución mensual.

Tabla 22: Áreas del Factor R del cantón Loja, usando la ecuación propuesta en función del IFM, resolución mensual.

Rangos	Área (ha)	%
3050-3340	22327.81	11.78
3350-3640	35196.92	18.57
3650-3930	51226.47	27.03
3940-4230	50931.69	26.88
4240-4530	15374.27	8.11
4540-4820	8570.08	4.52
4830-5120	4589.58	2.42
5130-5420	1273.58	0.67

En la Figura 53 y Tabla 23, se aprecia el resultado del cálculo del Factor R con información de resolución temporal inferior a 1 hora en el cantón Loja, los valores se encuentran entre 630 a 5410 Mj.mm/ha.h.yr, con una media de 2591 Mj.mm/ha.h.yr, donde los valores más altos se encuentran El Cisne, Chantaco, Chuquiribamba, Gualiel, Santiago, San Lucas, y Loja; en el cantón el factor R más elevado (4830 a 5410 Mj.mm/ha.h.yr) 16.25%, que corresponde a 30 792.87 ha.

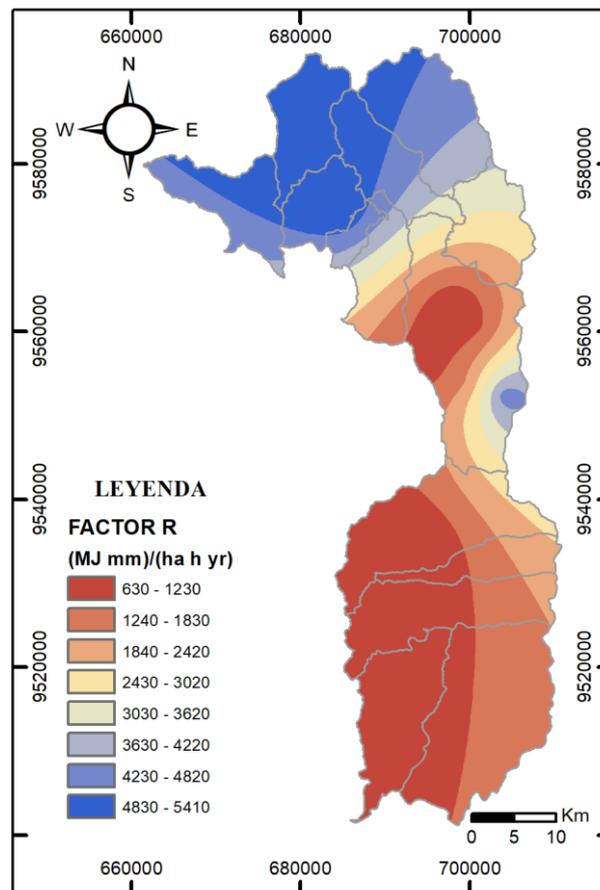


Figura 53: Mapa del Factor R del cantón Loja, al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM, resolución temporal inferior a 1 hora.

Tabla 23: Áreas del Factor R del cantón Loja, usando la ecuación propuesta en función del IFM, resolución temporal inferior a 1 hora.

Rangos	Área (ha)	%
630-1230	54856.37	28.95
1240-1830	35124.57	18.54
1840-2420	18841.35	9.94
2430-3020	12105.15	6.39
3030-3620	9105.09	4.81
3630-4220	9499.81	5.01
4230-4820	19165.91	10.11
4830-5410	30792.87	16.25

4.2. Modelar el riesgo de erosión hídrica del suelo en función de la intensidad de precipitación en la RSE.

4.2.1. Análisis de Pérdida de Suelo de la RSE año 2000, 2016 y 2030, con información mensual.

En la Figura 54 y Tabla 24, se observa la pérdida de suelo de la RSE, al aplicar la ecuación de Renard y Freimund; en la provincia de Loja en el año 2000 el 52.17 %, que corresponde a 576 980.05 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr. En la provincia de El Oro en el año 2000 el 31.55 %, que corresponde a 180 958.18 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr. En la provincia de Zamora el año 2000 el 10.66%, que corresponde a 112 598.07 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr.

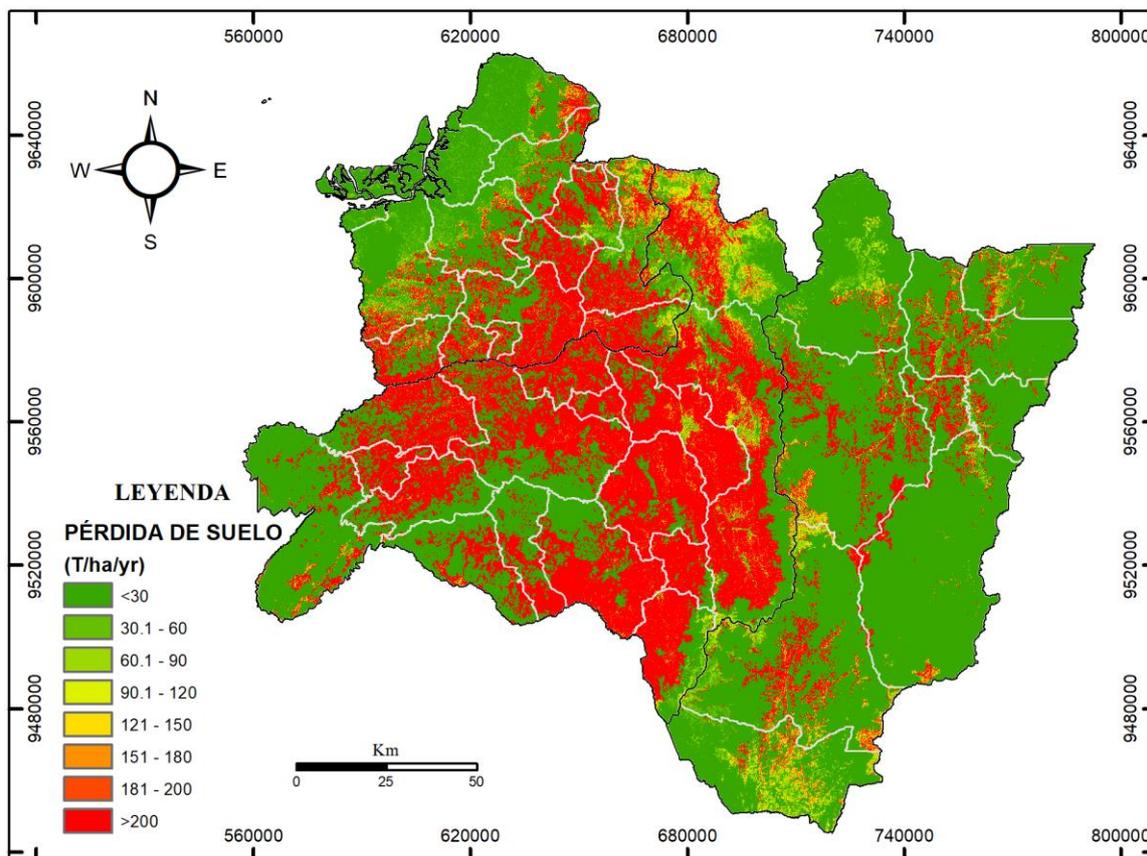


Figura 54: Mapas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2000; al aplicar la ecuación de Renard y Freimund para el cálculo del Factor R, resolución mensual.

Tabla 24: Áreas de Pérdida de la RSE año 2000, al aplicar la ecuación del cálculo del Factor R de Renard y Freimund, resolución mensual.

Loja 2000			El Oro 2000			Zamora 2000		
Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%
<30	428457.45	38.74	<30	312052.98	54.41	<30	840637.39	79.57
60	26501.81	2.40	60	32638.15	5.69	60	25554.37	2.42
90	22670.14	2.05	90	14982.43	2.61	90	22325.24	2.11
120	17699.74	1.60	120	10420.53	1.82	120	19231.28	1.82
150	14010.50	1.27	150	9047.60	1.58	150	15969.56	1.51
180	12211.32	1.10	180	8276.73	1.44	180	13051.96	1.24
200	7476.83	0.68	200	5129.65	0.89	200	7130.35	0.67
>200	576980.05	52.17	>200	180958.18	31.55	>200	112598.07	10.66

En la Figura 55 y Tabla 25, se observa la pérdida de suelo de la RSE, al aplicar la ecuación de Renard y Freimund; en la provincia de Loja en el año 2016 el 55.18 %, que corresponde a 610 458.60 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, es decir

un aumento en relación al año 2000. En la provincia de El Oro en el año 2016 el 39.43 %, que corresponde a 226 159.53 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, es decir ha, un aumento en comparación al año 2000. En la provincia de Zamora en el año 2016 el 14.31 %, que corresponde a 151 161.15 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, es decir, un aumento en relación al año 2000.

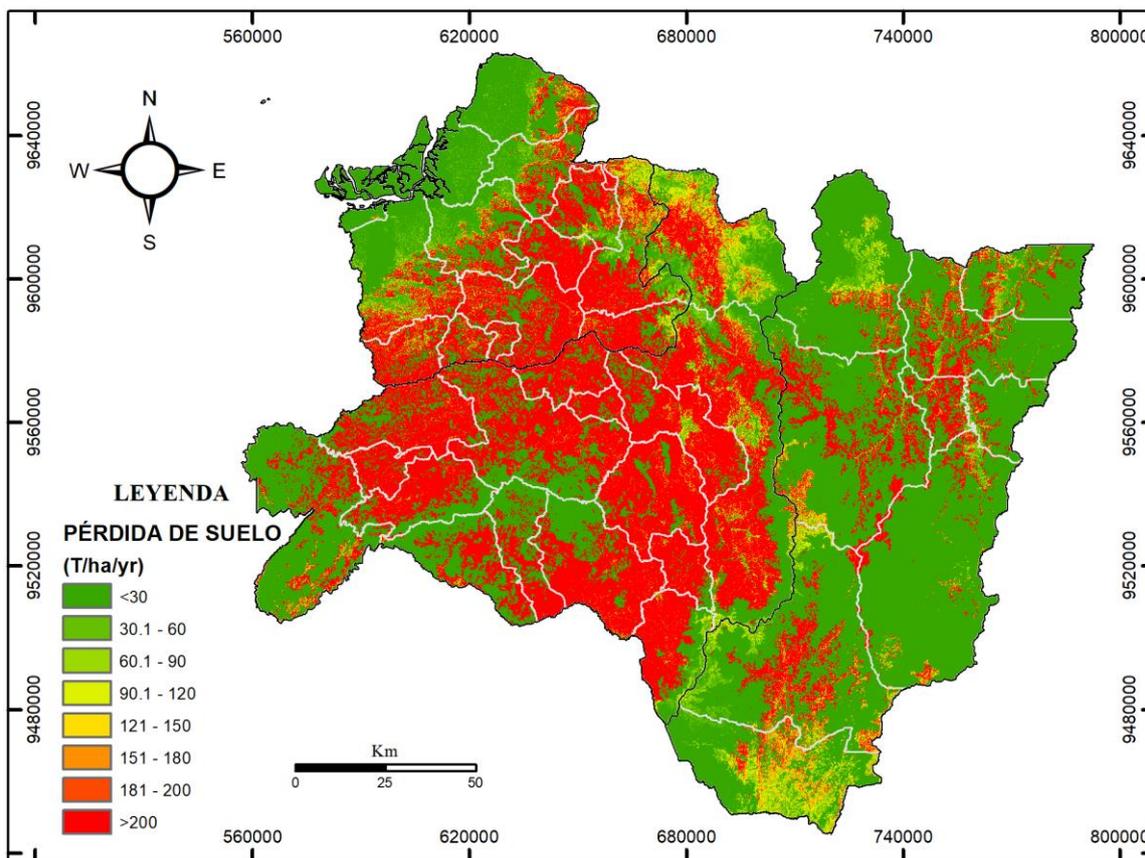


Figura 55: Mapas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2016; al aplicar la ecuación de Renard y Freimund para el cálculo del Factor R, resolución mensual.

Tabla 25: Áreas de Pérdida de la RSE año 2016, al aplicar la ecuación del cálculo del Factor R de Renard y Freimund, resolución mensual.

Loja 2016			El Oro 2016			Zamora 2016		
Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%
<30	384844.35	34.79	<30	256068.91	44.65	<30	769762.57	72.86
60	28755.42	2.60	60	32965.28	5.75	60	30513.91	2.89
90	25202.60	2.28	90	17072.49	2.98	90	29133.05	2.76
120	19760.43	1.79	120	12759.67	2.22	120	26298.00	2.49
150	15716.80	1.42	150	11360.92	1.98	150	22120.38	2.09
180	13524.11	1.22	180	10556.96	1.84	180	17858.60	1.69
200	8030.07	0.73	200	6572.43	1.15	200	9653.96	0.91
>200	610458.60	55.18	>200	226159.53	39.43	>200	151161.15	14.31

En la Figura 56 y Tabla 26, se observa la pérdida de suelo de la RSE, al aplicar la ecuación de Renard y Freimund; en la provincia de Loja en la proyección del año 2030 el 61.15 %, que corresponde a 676 293.38 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, un aumento en relación al año 2000 y al año 2016. En la provincia de El Oro en la proyección del año 2030 el 45.85 %, que corresponde a 262 736.37 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, un aumento en comparación al año 2000 y al año 2016. En la provincia de Zamora en la proyección del año 2030 el 18.74 %, que corresponde a 197 902.75 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr.

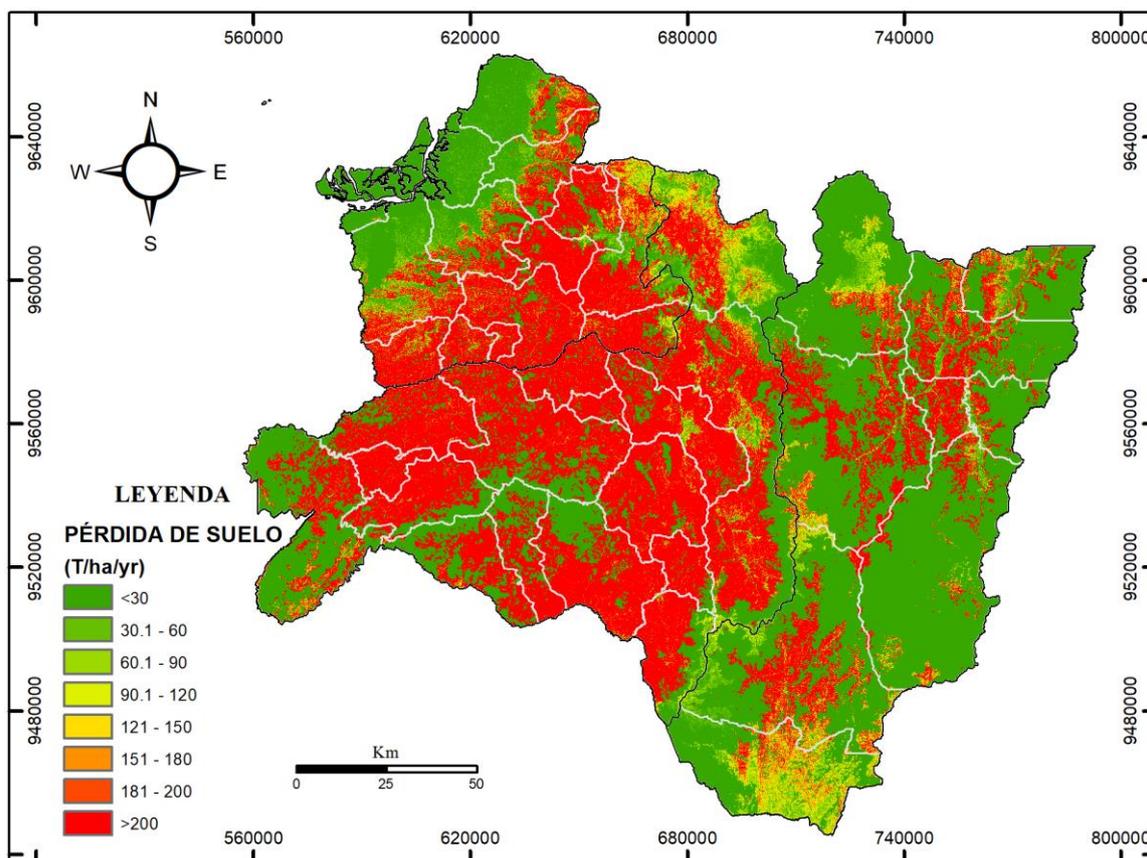


Figura 56: Mapas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2030, al aplicar la ecuación de Renard y Freimund para el cálculo del Factor R, resolución mensual.

Tabla 26: Áreas de Pérdida de la RSE año 2030, al aplicar la ecuación del cálculo del Factor R de Renard y Freimund, resolución mensual.

Loja 2030			El Oro 2030			Zamora 2030		
Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%
<30	317514.53	28.71	<30	215144.78	37.54	<30	702216.23	66.48
60	27687.22	2.50	60	33331.50	5.82	60	33372.97	3.16
90	25119.94	2.27	90	17333.61	3.02	90	33210.71	3.14
120	20279.04	1.83	120	13439.25	2.35	120	30724.30	2.91
150	16355.91	1.48	150	12283.10	2.14	150	26059.19	2.47
180	14184.51	1.28	180	11524.29	2.01	180	21221.11	2.01
200	8473.74	0.77	200	7240.39	1.26	200	11544.59	1.09
>200	676293.38	61.15	>200	262736.37	45.85	>200	197902.75	18.74

En la Figura 57 y Tabla 27, se observa la pérdida de suelo de la RSE, al aplicar la ecuación de Marta Angulo; en la provincia de Loja en el año 2000 el 52.17 %, que corresponde a 142 442.04 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr. En la provincia de El Oro en el año 2000 el 0.91 %, que corresponde a 5231.92 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr. En la provincia de Zamora en el año 2000 el 0.29%, que corresponde a 3024.45 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr.

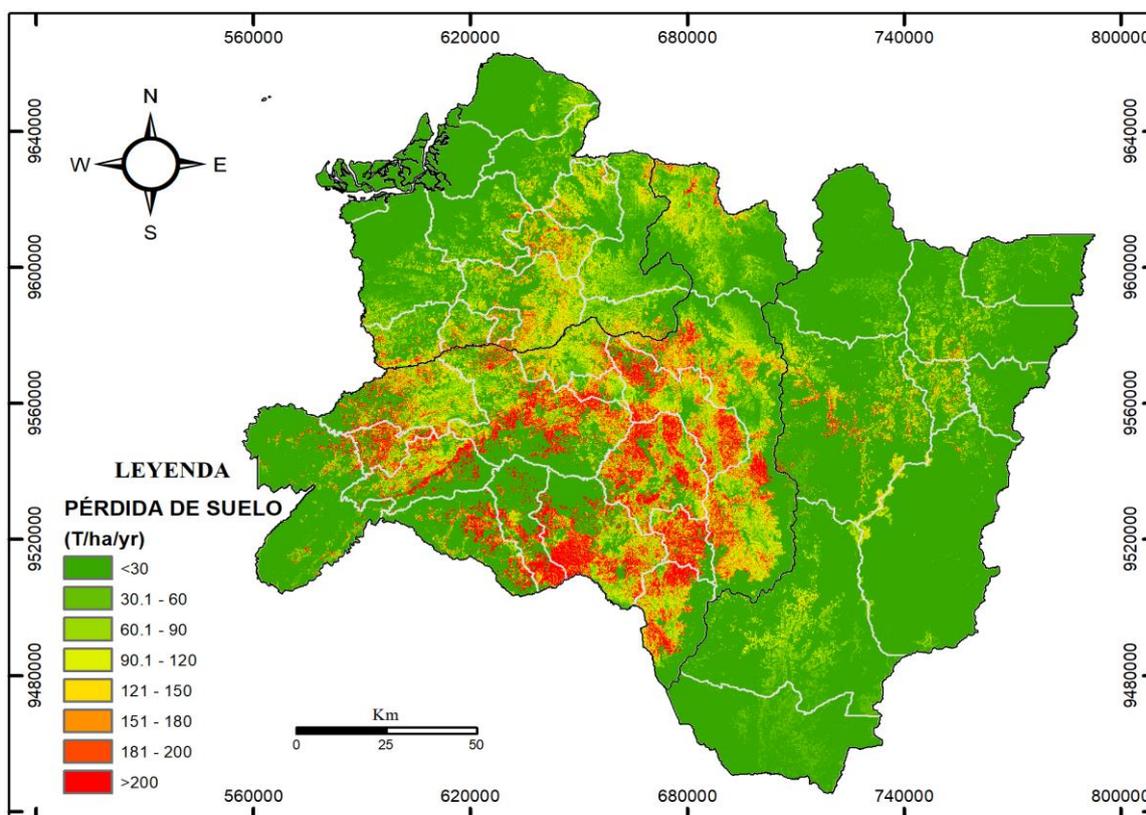


Figura 57: Mapas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2000, al aplicar la ecuación de Marta Angulo para el cálculo del Factor R, resolución mensual.

Tabla 27: Áreas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2000, al aplicar la ecuación del cálculo del Factor R de Marta Angulo, resolución mensual.

Loja 2000			El Oro 2000			Zamora 2000		
Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%
<30	506165.03	45.76	<30	381736.19	66.56	<30	926040.55	87.65
60	80296.18	7.26	60	51729.62	9.02	60	53291.87	5.04
90	91170.00	8.24	90	49817.55	8.69	90	31507.11	2.98
120	92877.13	8.40	120	39424.12	6.87	120	21465.32	2.03
150	85071.96	7.69	150	26322.39	4.59	150	12666.88	1.20
180	70958.31	6.42	180	14334.29	2.50	180	6271.51	0.59
200	37030.59	3.35	200	4911.02	0.86	200	2233.24	0.21
>200	142442.04	12.88	>200	5231.92	0.91	>200	3024.45	0.29

En la Figura 58 y Tabla 28, se observa la pérdida de suelo de la RSE, al aplicar la ecuación de Marta Angulo; en la provincia de Loja en el año 2016 el 12.36 %, que corresponde a 136 765.73 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, esta pérdida de suelo es menor en relación al año 2000. En la provincia de El Oro en el año 2016 el 1.11 %, que corresponde a 6382.85 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, un aumento en comparación al año 2000. En la provincia de Zamora en el año 2016 el 0.42 %, que corresponde a 4420.48 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, una mayor pérdida de suelo en relación al año 2000.

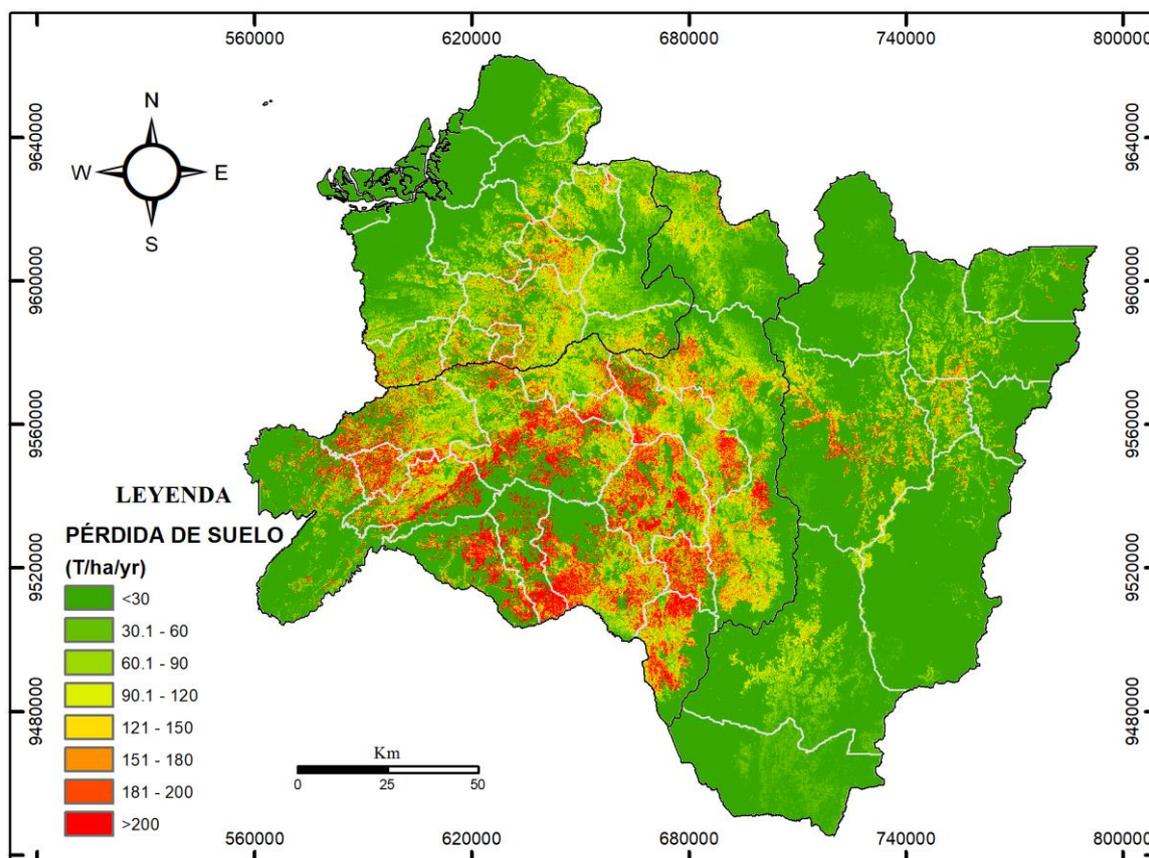


Figura 58: Mapas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2016, al aplicar la ecuación de Marta Angulo para el cálculo del Factor R, resolución mensual.

Tabla 28: Áreas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2016, al aplicar la ecuación del cálculo del Factor R de Marta Angulo, resolución mensual.

Loja 2016			El Oro 2016			Zamora 2016		
Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%
<30	471960.37	42.66	<30	332702.70	58.01	<30	878687.38	83.17
60	90853.05	8.21	60	66681.24	11.63	60	74031.10	7.01
90	100073.08	9.05	90	63752.21	11.12	90	41669.20	3.94
120	100686.95	9.10	120	49035.62	8.55	120	28534.37	2.70
150	92290.25	8.34	150	31918.43	5.57	150	17144.18	1.62
180	75405.03	6.82	180	17154.20	2.99	180	8832.53	0.84
200	38256.97	3.46	200	5879.82	1.03	200	3180.33	0.30
>200	136765.73	12.36	>200	6382.85	1.11	>200	4420.48	0.42

En la Figura 59 y Tabla 29, se observa la pérdida de suelo de la RSE, al aplicar la ecuación de Marta Angulo; en la provincia de Loja en la proyección del año 2030 el 14.34%, que corresponde a 158 636.55 ha presentará una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, un aumento en relación al año 2000 y al año 2016. En la provincia de El Oro en la

proyección del año 2030 el 1.52 %, que corresponde a 8724.43 ha presentará una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, un aumento en comparación al año 2000 y al año 2016. En la provincia de Zamora en la proyección del año 2030 el 0.61 %, que corresponde a 6422.63 ha presentará una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, un aumento en relación al año 2000 y 2016.

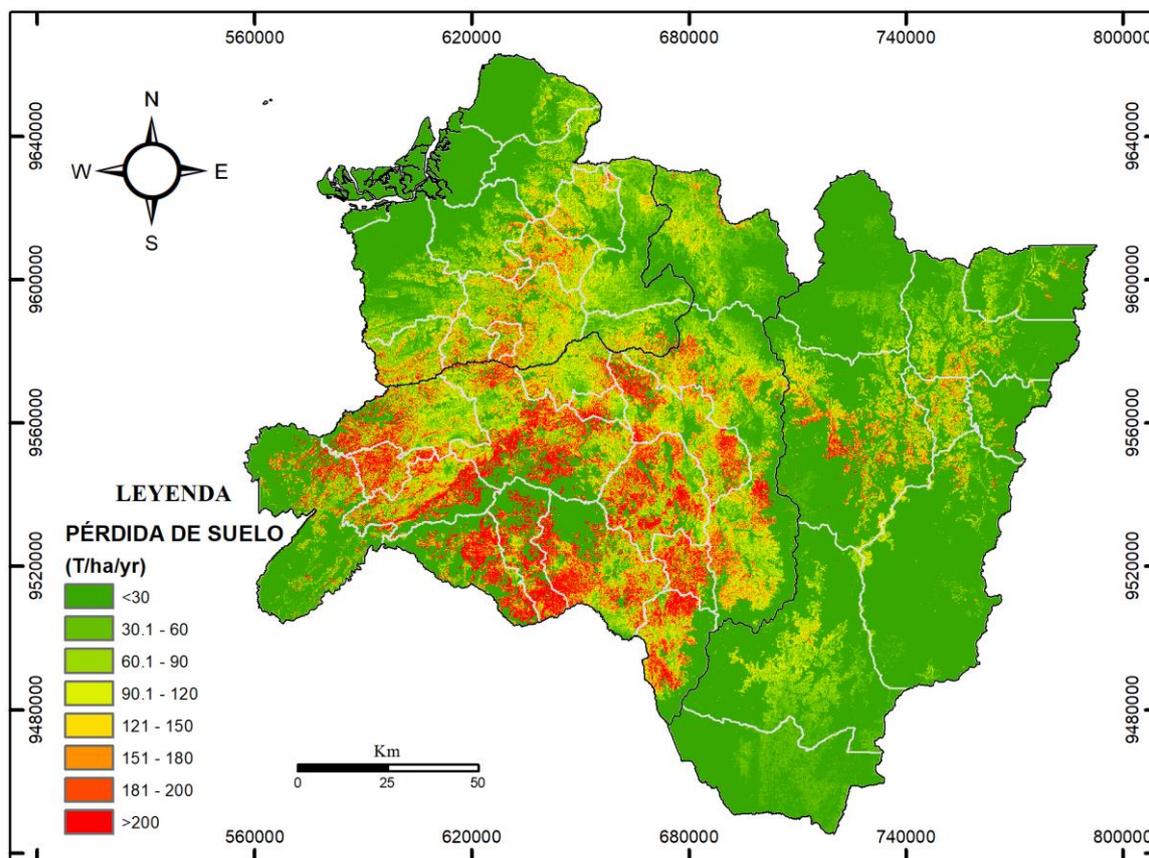


Figura 59: Mapas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2030, al aplicar la ecuación de Marta Angulo para el cálculo del Factor R, resolución mensual.

Tabla 29: Áreas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2030, al aplicar la ecuación del cálculo del Factor R de Marta Angulo, resolución mensual.

Loja 2030			El Oro 2030			Zamora 2030		
Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%
<30	406054.97	36.72	<30	294146.40	51.33	<30	825307.63	78.14
60	97588.52	8.82	60	73890.22	12.89	60	91453.04	8.66
90	108307.02	9.79	90	72522.52	12.66	90	54034.80	5.12
120	109307.79	9.88	120	56859.19	9.92	120	37993.18	3.60
150	100760.21	9.11	150	38027.17	6.64	150	23621.27	2.24
180	82889.93	7.50	180	21260.18	3.71	180	12748.03	1.21
200	42359.28	3.83	200	7592.66	1.33	200	4669.04	0.44
>200	158636.55	14.34	>200	8724.43	1.52	>200	6422.63	0.61

4.2.2. Análisis de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030, resolución mensual.

En la Figura 60 y Tabla 30, se observa la pérdida de suelo del cantón Loja, al aplicar la ecuación de Renard y Freimund; en el año 2000 el 56.95 %, que corresponde a 107 872.73 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr. En el año 2016 el 54.40 %, que corresponde a 103,046.03 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, una reducción en comparación al año 2000. En la proyección del año 2030 el 55.85%, que corresponde a 105 802.56 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, en comparación al año 2000 es menor la pérdida del suelo, mientras que para el año 2016 es superior.

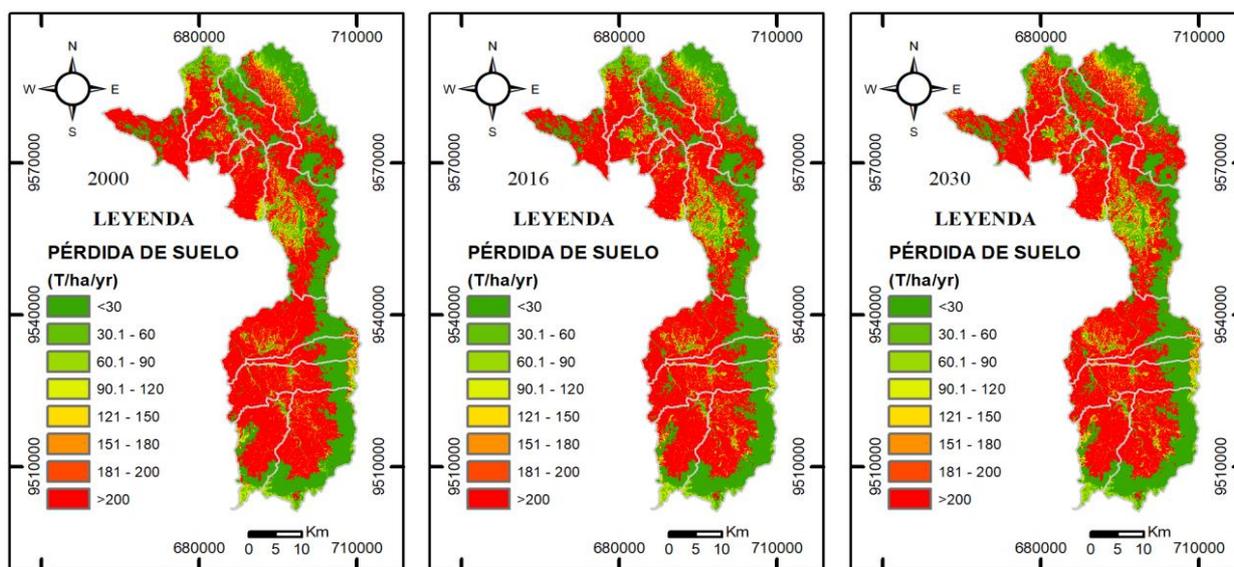


Figura 60: Mapas de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030; al aplicar la ecuación de Renard y Freimund para el cálculo del Factor R, resolución mensual.

Tabla 30: Áreas de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030, al aplicar la ecuación del cálculo del Factor R de Renard y Freimund, resolución mensual.

2000			2016			2030		
Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%
<30	53577.75	28.29	<30	55549.09	29.33	<30	51626.83	27.25
30-60	7393.74	3.90	30-60	7637.85	4.03	30-60	7107.23	3.75
60-90	6380.55	3.37	60-90	6886.12	3.64	60-90	6551.04	3.46
90-120	4604.91	2.43	90-120	5263.55	2.78	90-120	5507.68	2.91
120-150	3840.24	2.03	120-150	4472.30	2.36	120-150	4997.92	2.64
150-180	3519.99	1.86	150-180	4085.31	2.16	150-180	4823.57	2.55
180-200	2226.45	1.18	180-200	2475.30	1.31	180-200	3012.19	1.59
>200	107872.73	56.95	>200	103046.03	54.40	>200	105802.56	55.85

En la Figura 61 y Tabla 31, se aprecia la pérdida de suelo del cantón Loja, al aplicar la ecuación de Marta Angulo; en el año 2000 el 7 %, que corresponde a 13 259.48 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr. En el año 2016 el 4%, que corresponde a 7573.87 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, una reducción en comparación al año 2000. En el año 2030 el 3.05 %, que corresponde a 5784.544 ha presentará una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, en comparación a los años anteriores la pérdida del suelo del cantón ha disminuido considerablemente.

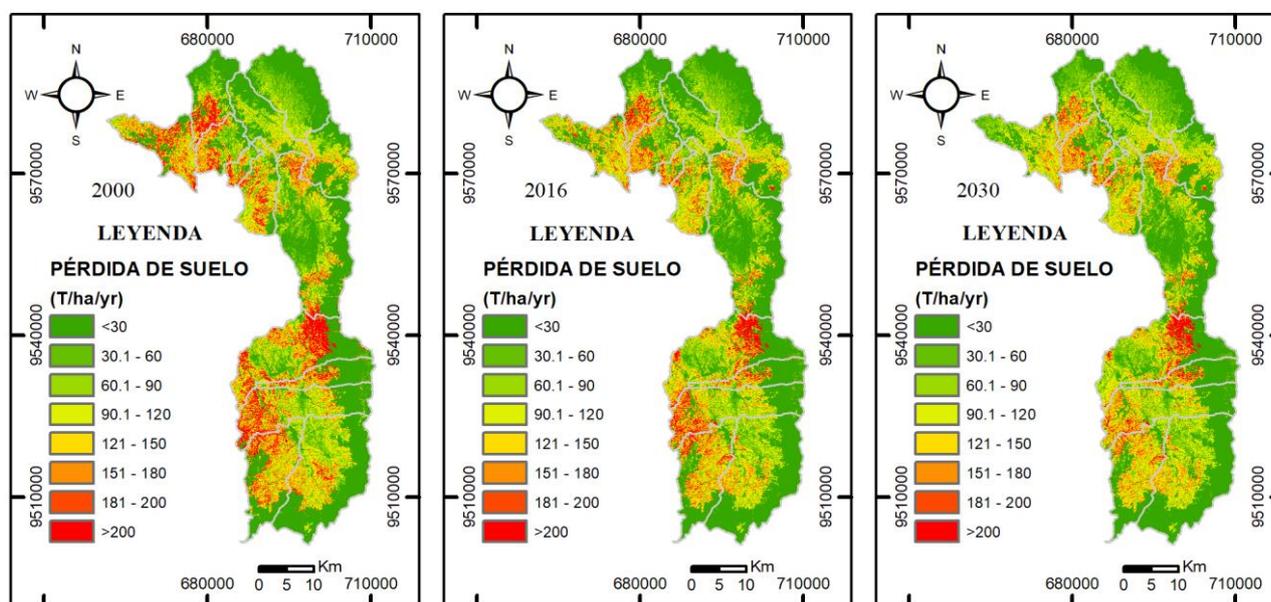


Figura 61: Mapas de Pérdida de Suelo, al aplicar la ecuación de Marta Angulo para el cálculo del Factor R, resolución mensual.

Tabla 31: Áreas de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030, al aplicar la ecuación del cálculo del Factor R de Marta Angulo, resolución mensual.

2000			2016			2030		
Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%
<30	76026.60	40.14	<30	80111.82	42.29	<30	74898.88	39.5
30-60	16822.56	8.88	30-60	18581.68	9.81	30-60	22019.16	11.6
60-90	20342.74	10.74	60-90	21664.87	11.44	60-90	25115.59	13.3
90-120	21412.41	11.30	90-120	22533.65	11.90	90-120	24656.9	13
120-150	19617.06	10.36	120-150	20025.97	10.57	120-150	20304.49	10.7
150-180	15121.55	7.98	150-180	13731.19	7.25	150-180	12601.03	6.65
180-200	6818.69	3.60	180-200	5197.92	2.74	180-200	4050.867	2.14
>200	13259.48	7.00	>200	7573.87	4.00	>200	5784.544	3.05

4.2.3. Análisis de Pérdida de Suelo del cantón Loja del año 2000, 2016 y 2030, con información temporal inferior a 1 hora.

En la Figura 62 y Tabla 32, se aprecia la pérdida de suelo del cantón Loja, al usar el software RIST para el cálculo del Factor R; en el año 2000 el 8.91 %, que corresponde a 16 879.24 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr. En el año 2016 el 7.75%, que corresponde a 14 682.73 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, una reducción en comparación al año 2000. En la proyección del año 2030 el 11%, que corresponde a 20786.03 ha presentará una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, en comparación a los años anteriores la pérdida del suelo del cantón ha aumentó considerablemente.

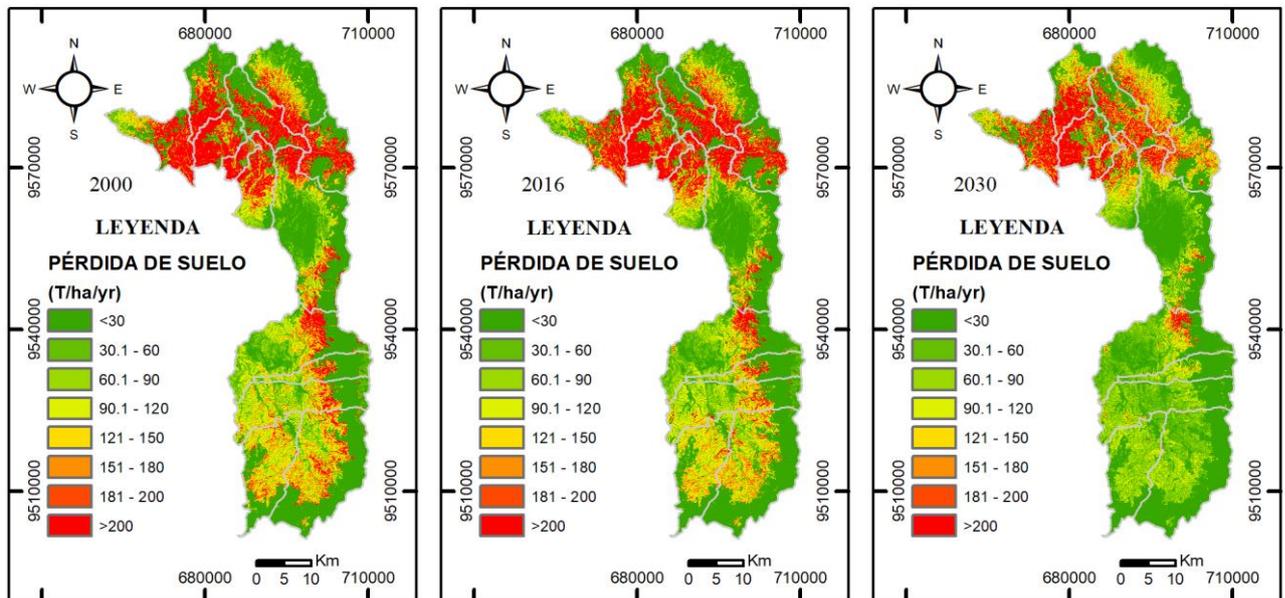


Figura 62: Mapas de Pérdida de Suelo, usando el software RIST para el cálculo del Factor R, resolución temporal inferior a 1 hora.

Tabla 32: Áreas de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030, usando el software RIST para el cálculo del Factor R, resolución temporal inferior a 1 hora.

2000			2016			2030		
Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%
<30	82823.86	43.72	<30	87535.74	46.21	<30	79979.77	42.2
30-60	23388.14	12.35	30-60	25189.46	13.30	30-60	27114.05	14.3
60-90	24125.42	12.74	60-90	23492.55	12.40	60-90	25658.62	13.5
90-120	18549.65	9.79	90-120	17052.15	9.00	90-120	14047.64	7.42
120-150	11200.43	5.91	120-150	10242.51	5.41	120-150	9454.842	4.99
150-180	8168.37	4.31	150-180	7429.59	3.92	150-180	7980.775	4.21
180-200	4293.55	2.27	180-200	3804.54	2.01	180-200	4409.889	2.33
>200	16879.24	8.91	>200	14682.73	7.75	>200	20786.03	11

4.2.4. Análisis de Pérdida de Suelo de la RSE del año 2000, 2016 y 2030, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación para determinar erosión hídrica con información mensual.

En la Figura 63 y Tabla 33, se observa la pérdida de suelo de la RSE, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación; en la provincia de Loja en el año 2000 el 5.52 %, que corresponde a 61 080.43 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr. En la provincia de El Oro en el año 2000 el 0.16 %, que corresponde a 924.76 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr. En la provincia de Zamora en el año 2000 el 1.39 %, que corresponde a 14 686.55 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr.

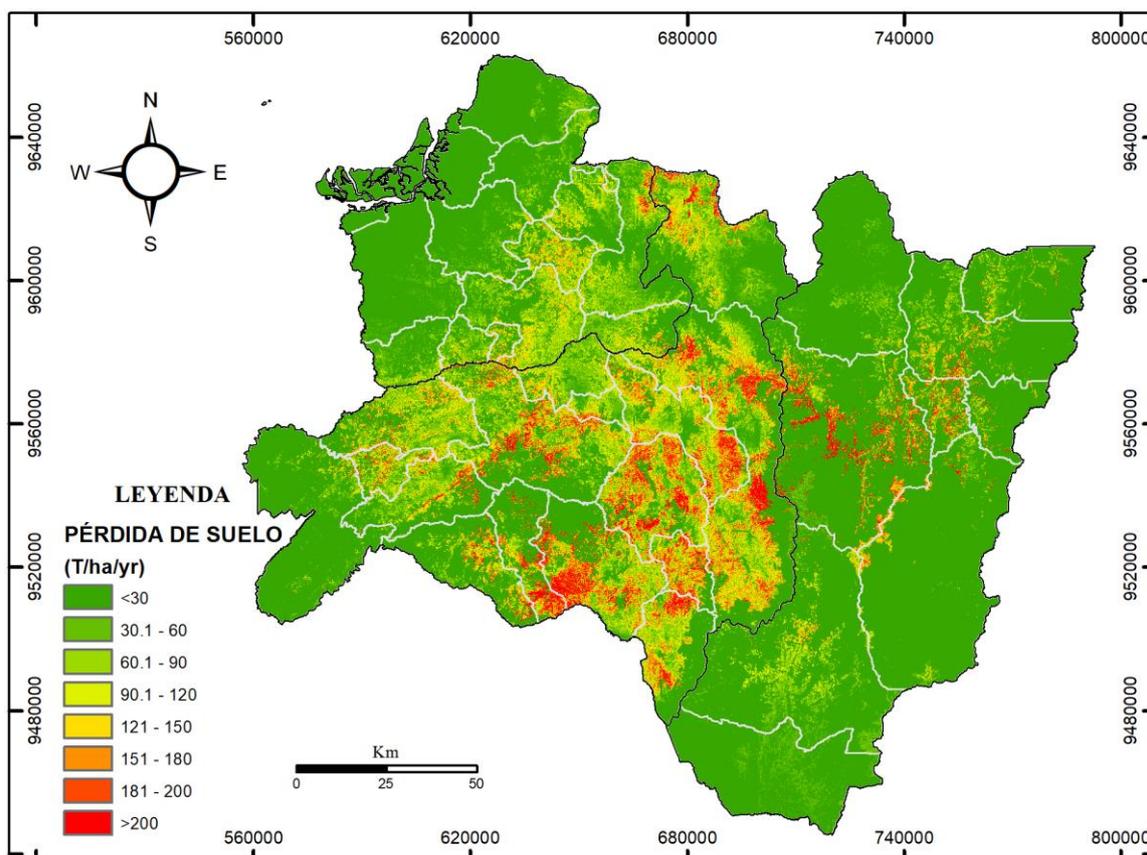


Figura 63: Mapas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2000, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación para el cálculo del Factor R, resolución mensual.

Tabla 33: Áreas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2000, al aplicar la ecuación propuesta de precipitación para el cálculo del Factor R, resolución mensual.

Loja 2000			El Oro 2000			Zamora 2000		
Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%
<30	520152.99	47.03	<30	403419.67	70.34	<30	911896.39	86.31
60	103958.42	9.40	60	59821.65	10.43	60	50011.98	4.73
90	121752.24	11.01	90	54124.78	9.44	90	28030.11	2.65
120	114388.85	10.34	120	33519.32	5.84	120	20481.55	1.94
150	91993.48	8.32	150	14954.30	2.61	150	14976.78	1.42
180	64587.69	5.84	180	5483.68	0.96	180	11089.34	1.05
200	28100.02	2.54	200	1262.03	0.22	200	5326.91	0.50
>200	61080.43	5.52	>200	924.76	0.16	>200	14686.55	1.39

En la Figura 64 y Tabla 34, se observa la pérdida de suelo de la RSE, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación; en la provincia de Loja en el año 2016 el 4.44 %, que corresponde a 49 164.82 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, esta pérdida de suelo es menor en relación al año 2000. En la provincia de El Oro

en el año 2016 el 0.14 %, que corresponde a 49 811.89 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, una disminución en comparación al año 2000. En la provincia de Zamora en el año 2016 el 1.98 %, que corresponde a 20 884.04 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, una mayor pérdida de suelo en relación al año 2000.

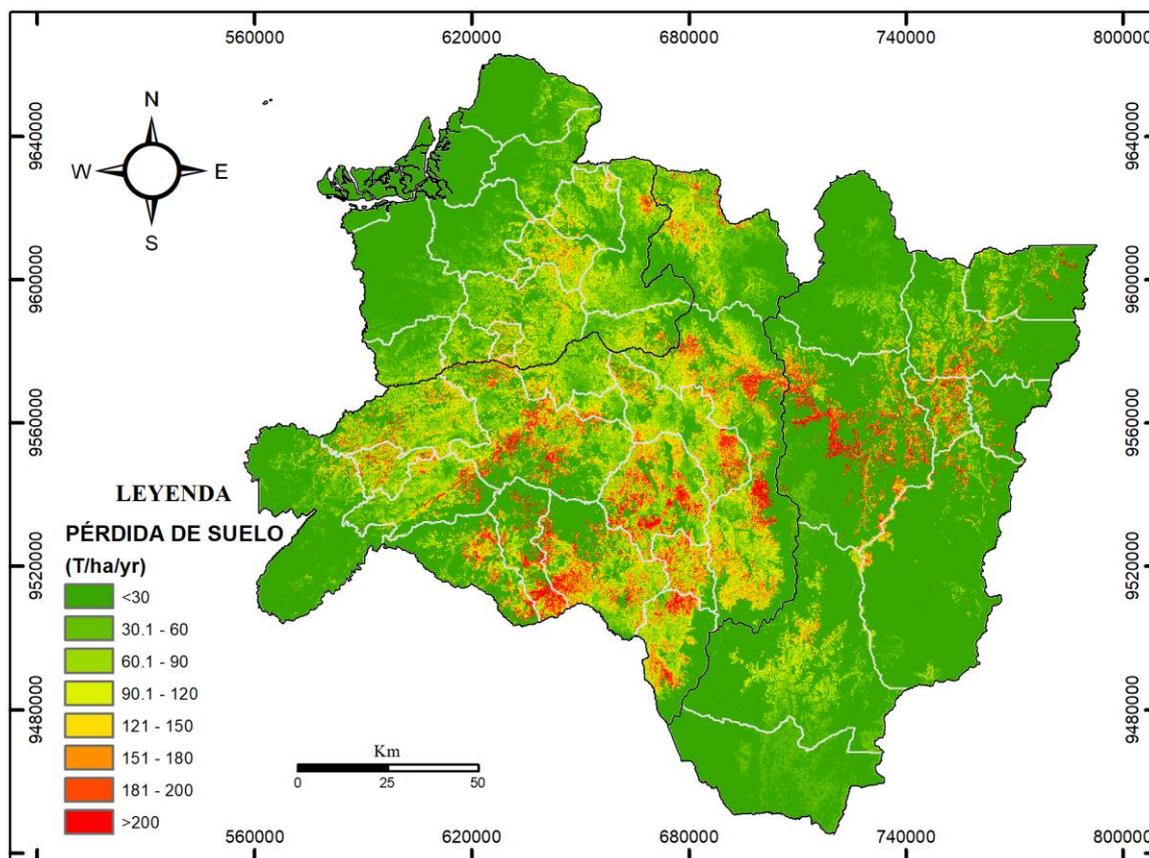


Figura 64: Mapas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2016, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación para el cálculo del Factor R, resolución mensual.

Tabla 34: Áreas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2016, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación para el cálculo del Factor R, resolución mensual.

Loja 2016			El Oro 2016			Zamora 2016		
Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%
<30	490262.56	44.32	<30	362326.64	63.18	<30	860822.58	81.48
60	119459.94	10.80	60	79849.93	13.92	60	67811.00	6.42
90	135863.05	12.28	90	66863.39	11.66	90	37615.59	3.56
120	125387.85	11.33	120	39064.60	6.81	120	27349.57	2.59
150	96637.77	8.74	150	17071.54	2.98	150	20004.79	1.89
180	63867.94	5.77	180	6140.10	1.07	180	14811.24	1.40
200	25651.42	2.32	200	1380.61	0.24	200	7200.02	0.68
>200	49164.82	4.44	>200	811.89	0.14	>200	20884.04	1.98

En la Figura 65 y Tabla 35, se observa la pérdida de suelo de la RSE, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación; en la provincia de Loja en la proyección del año 2030 el 5.03 %, que corresponde a 55 670.78 ha presentará una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, una disminución en relación al año 2000 y un aumento en comparación al año 2016. En la provincia de El Oro en la proyección del año 2030 el 0.18%, que corresponde a 1010.31 ha presentará una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, un aumento en comparación al año 2000 y al año 2016. En la provincia de Zamora en la proyección del año 2030 el 2.85 %, que corresponde a 30 155.05 ha presentará una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, un aumento en relación al año 2000 y 2016.

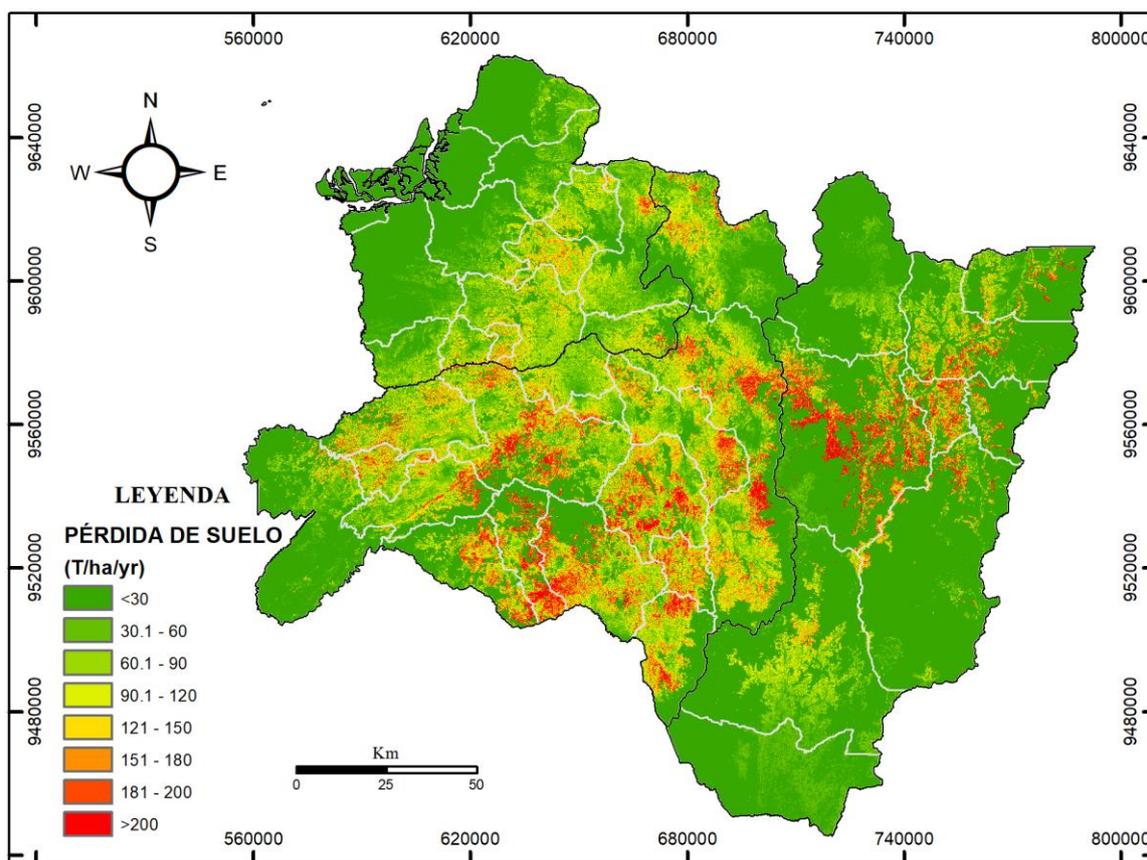


Figura 65: Mapas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2030, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación para el cálculo del Factor R, resolución mensual.

Tabla 35: Áreas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2030, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación para el cálculo del Factor R, resolución mensual.

Loja 2030			El Oro 2030			Zamora 2030		
Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%
<30	427700.25	38.67	<30	326940.15	57.06	<30	804409.43	76.16
60	130387.37	11.79	60	90501.65	15.79	60	81872.77	7.75
90	148566.79	13.43	90	77824.91	13.58	90	47599.02	4.51
120	137231.94	12.41	120	46388.84	8.10	120	35601.30	3.37
150	106382.66	9.62	150	20841.16	3.64	150	26487.08	2.51
180	71111.05	6.43	180	7761.67	1.35	180	20183.21	1.91
200	28858.44	2.61	200	1756.48	0.31	200	9943.04	0.94
>200	55670.78	5.03	>200	1010.31	0.18	>200	30155.05	2.85

4.2.5. Análisis de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación para determinar erosión hídrica con información mensual.

En la Figura 66 y Tabla 36, se aprecia la pérdida de suelo del cantón Loja, al aplicar la ecuación propuesta en base a la precipitación para el cálculo del Factor R; en el año 2000 el 5.74%, que corresponde a 10 875.51 ha presentaba una pérdida de suelo superior a los 200 t/ha/yr. En el año 2016 el 4.09%, que corresponde a 7739.37 ha presentaba una pérdida de suelo superior a los 200 t/ha/yr, una reducción en comparación al año 2000. En la proyección del año 2030 el 6.51%, que corresponde a 12 327.71 ha presentará una pérdida de suelo superior a los 200 t/ha/yr, en comparación a los años anteriores la pérdida del suelo del cantón ha aumentó.

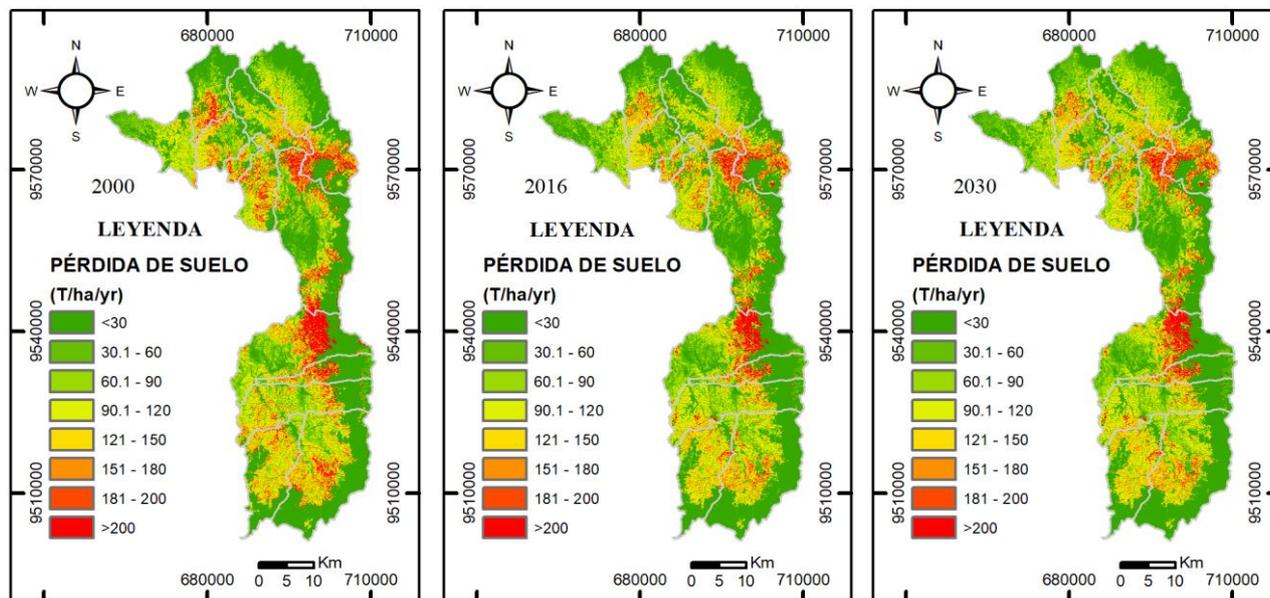


Figura 66: Mapas de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030; al aplicar la ecuación propuesta de precipitación para el cálculo del Factor R, resolución mensual.

Tabla 36: Áreas de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030, al aplicar la ecuación propuesta de precipitación para el cálculo del Factor R, resolución mensual.

	2000			2016			2030		
Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%	
<30	75574.92	39.90	<30	79770.19	42.11	<30	65692.77	34.7	
30-60	18194.55	9.60	30-60	20908.52	11.04	30-60	7738.432	4.09	
60-90	22202.92	11.72	60-90	23583.10	12.45	60-90	22589.45	11.9	
90-120	24025.70	12.68	90-120	23953.34	12.64	90-120	25166.68	13.3	
120-150	20153.59	10.64	120-150	18823.26	9.94	120-150	25057.03	13.2	
150-180	13187.74	6.96	150-180	10933.04	5.77	150-180	19527.05	10.3	
180-200	5215.89	2.75	180-200	3719.23	1.96	180-200	11329.97	5.98	
>200	10875.51	5.74	>200	7739.37	4.09	>200	12327.71	6.51	

4.2.6. Análisis de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación para determinar erosión hídrica con información temporal inferior a 1 hora.

En la Figura 67 y Tabla 37, se aprecia la pérdida de suelo del cantón Loja, al aplicar la ecuación propuesta en base a la precipitación para el cálculo del Factor R utilizando información temporal inferior a 1 hora; en el año 2000 el 9.98%, que

corresponde a 18 900.25 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr. En el año 2016 el 8.38%, que corresponde a 15 866.44 ha presentaba una pérdida de suelo superior a los 200 t/ha/yr, una reducción en comparación al año 2000. En la proyección del año 2030 el 8.98%, que corresponde a 17 017.29 ha presentará una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, en comparación al año 2016 existe un aumento, aunque con respecto al año 2000 es menor la pérdida de suelo de la proyección del año 2030.

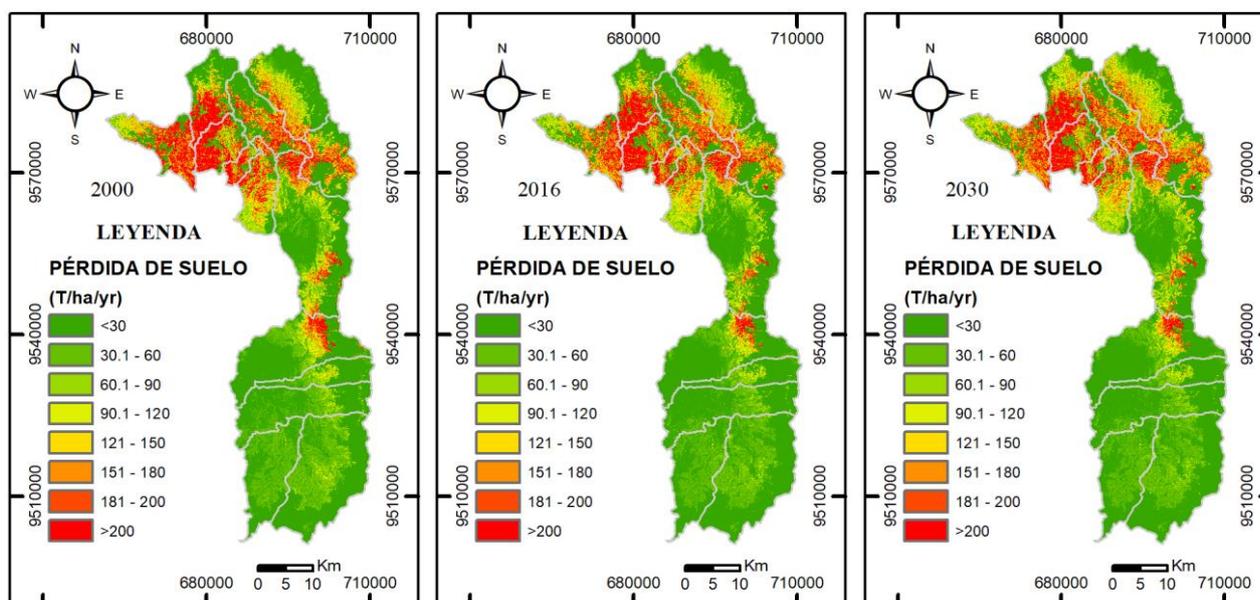


Figura 67: Mapas de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación para el cálculo del Factor R, resolución temporal inferior a 1 hora.

Tabla 37: Áreas de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030, al aplicar la ecuación propuesta en función de la precipitación para el cálculo del Factor R, resolución temporal inferior a 1 hora.

2000			2016			2030		
Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%
<30	97886.05	51.67	<30	102675.36	54.20	<30	96221.45	50.8
30-60	28734.87	15.17	30-60	27707.68	14.63	30-60	28369.95	15
60-90	12319.65	6.50	60-90	11853.37	6.26	60-90	12928.46	6.82
90-120	10029.54	5.29	90-120	9962.15	5.26	90-120	11197.4	5.91
120-150	9050.20	4.78	120-150	9041.61	4.77	120-150	10141.42	5.35
150-180	8011.15	4.23	150-180	7983.42	4.21	150-180	8821.202	4.66
180-200	4497.47	2.37	180-200	4340.37	2.29	180-200	4735.309	2.5
>200	18900.25	9.98	>200	15866.44	8.38	>200	17017.29	8.98

4.2.7. Análisis de Pérdida de Suelo de la RSE del año 2000, 2016 y 2030, al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM para determinar erosión hídrica con información mensual.

En la Figura 68 y Tabla 38, se observa la pérdida de suelo de la RSE, al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM; en la provincia de Loja en el año 2000 el 25.74%, que corresponde a 28 4684.78 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr. En la provincia de El Oro en el año 2000 el 6.24%, que corresponde a 35 798.55 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr. En la provincia de Zamora en el año 2000 el 2.24%, que corresponde a 23 679.00 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr.

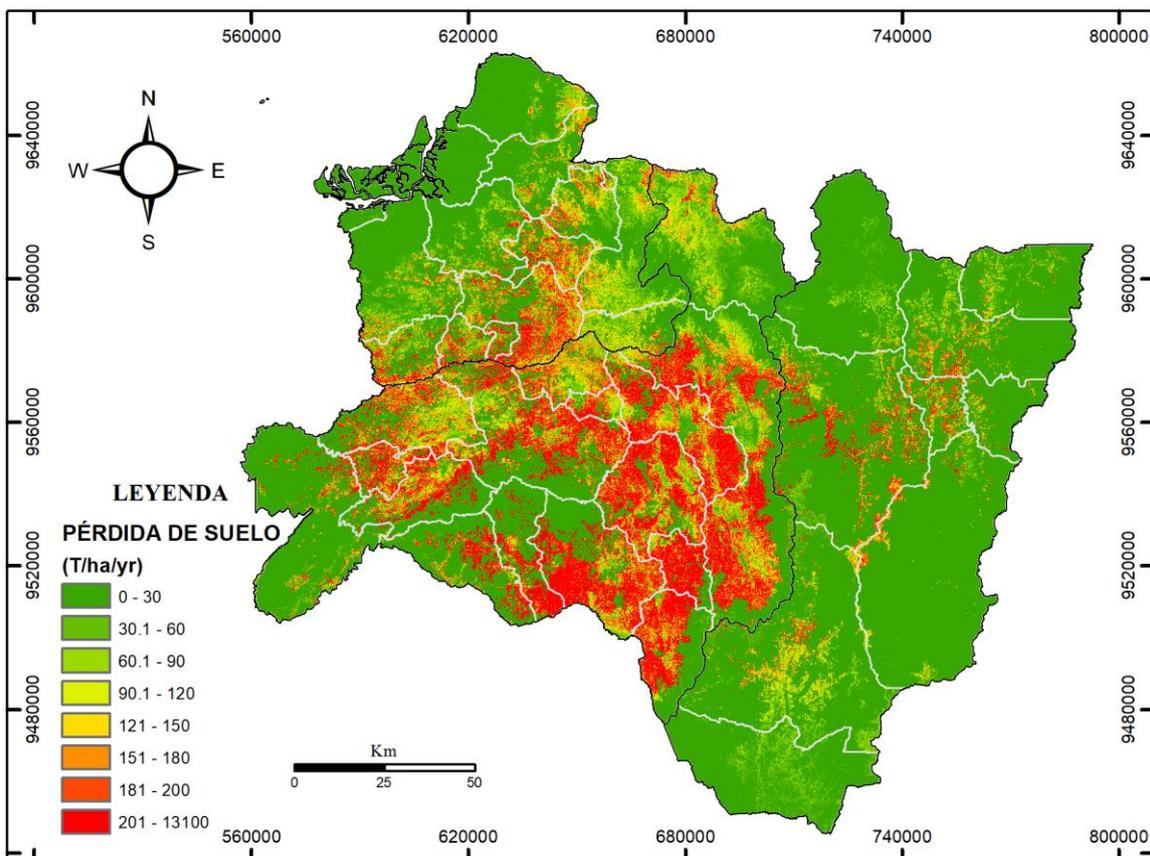


Figura 68: Mapa de Pérdida de Suelo de la RSE año 2000, al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM para el cálculo del Factor R, resolución mensual.

Tabla 38: Áreas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2000, al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM para el cálculo del Factor R, resolución mensual.

Loja 2000			El Oro 2000			Zamora 2000		
Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%
<30	484576.48	43.81	<30	366742.51	63.95	<30	893884.29	84.61
60	60324.65	5.45	60	35142.84	6.13	60	50711.77	4.80
90	58314.74	5.27	90	37309.43	6.51	90	28580.61	2.71
120	60780.43	5.50	120	34404.20	6.00	120	20904.47	1.98
150	61619.27	5.57	150	29066.45	5.07	150	17584.92	1.66
180	59733.06	5.40	180	23217.58	4.05	180	13977.17	1.32
200	35975.31	3.25	200	11821.45	2.06	200	7177.42	0.68
>200	284684.78	25.74	>200	35798.55	6.24	>200	23679.00	2.24

En la Figura 69 y Tabla 39, se observa la pérdida de suelo de la RSE, al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM; en la provincia de Loja en el año 2016 el 26.06%, que corresponde a 288 288.05 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, esta pérdida de suelo es menor en relación al año 2000. En la provincia de El Oro en el año 2016 el 7.69%, que corresponde a 44 100.06 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, una disminución en comparación al año 2000. En la provincia de Zamora el 3.12%, que corresponde a 32 915.61 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, una mayor pérdida de suelo en relación al año 2000.

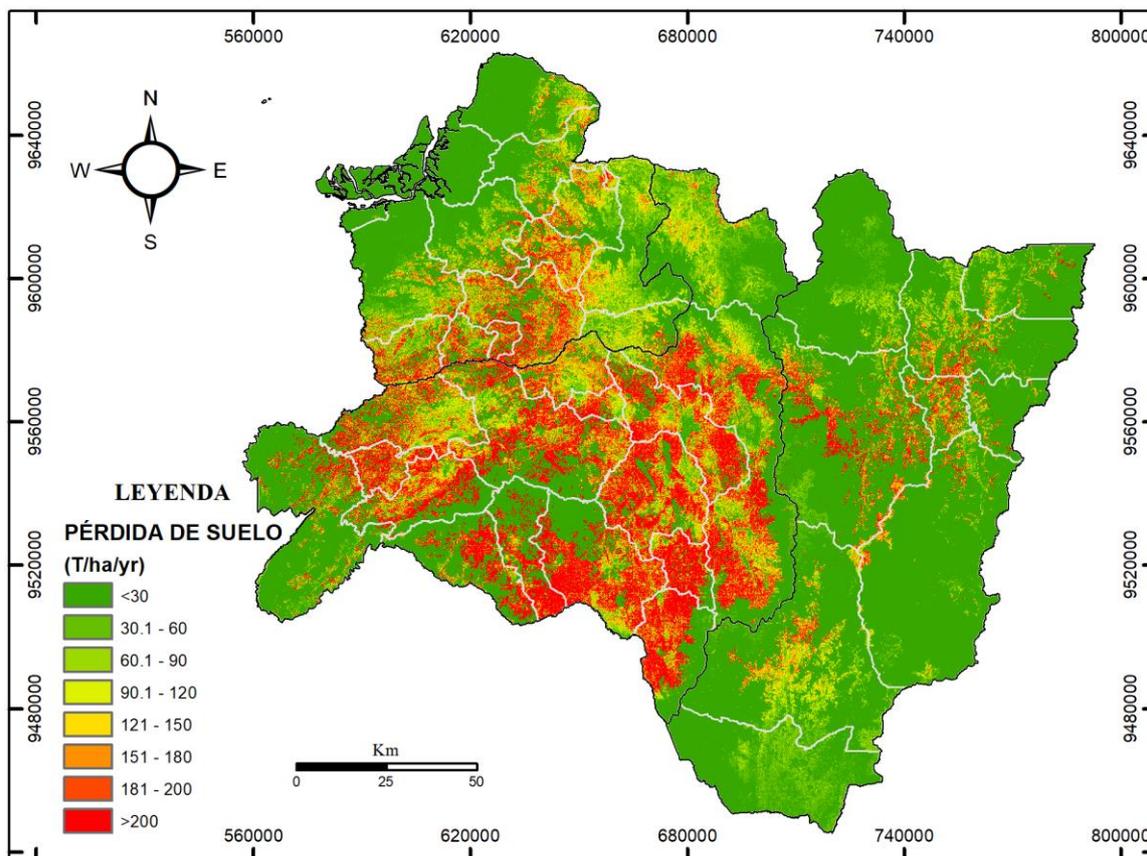


Figura 69: Mapa de Pérdida de Suelo de la RSE año 2016, al aplicar la ecuación propuesta de IFM para el cálculo del Factor R, resolución mensual.

Tabla 39: Áreas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2016, al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM para el cálculo del Factor R, resolución mensual.

Loja 2016			El Oro 2016			Zamora 2016		
Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%
<30	446368.20	40.35	<30	314015.41	54.75	<30	835190.57	79.05
60	69634.78	6.29	60	44280.15	7.72	60	70140.38	6.64
90	64984.58	5.87	90	47550.37	8.29	90	39221.50	3.71
120	65905.20	5.96	120	43633.42	7.61	120	27865.96	2.64
150	66625.63	6.02	150	36531.23	6.37	150	23112.64	2.19
180	65097.22	5.88	180	28833.52	5.03	180	18489.41	1.75
200	39386.92	3.56	200	14562.68	2.54	200	9559.72	0.90
>200	288288.05	26.06	>200	44100.06	7.69	>200	32915.61	3.12

En la Figura 70 y Tabla 40, se observa la pérdida de suelo de la RSE, al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM; en la provincia de Loja en la proyección del año 2030 el 29.26%, que corresponde a 32 544.69 ha, presentará una pérdida de suelo mayor a

200 t/ha/yr, un aumento en relación al año 2000 y 2016. En la provincia de El Oro en la proyección del año 2030 el 9.71%, que corresponde a 55 622.12 ha, presentará una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, un aumento en comparación al año 2000 y 2016. En la provincia de Zamora en la proyección del año 2030 el 4.42%, que corresponde a 46642.70 ha, presentará una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, un aumento en relación al año 2000 y 2016.

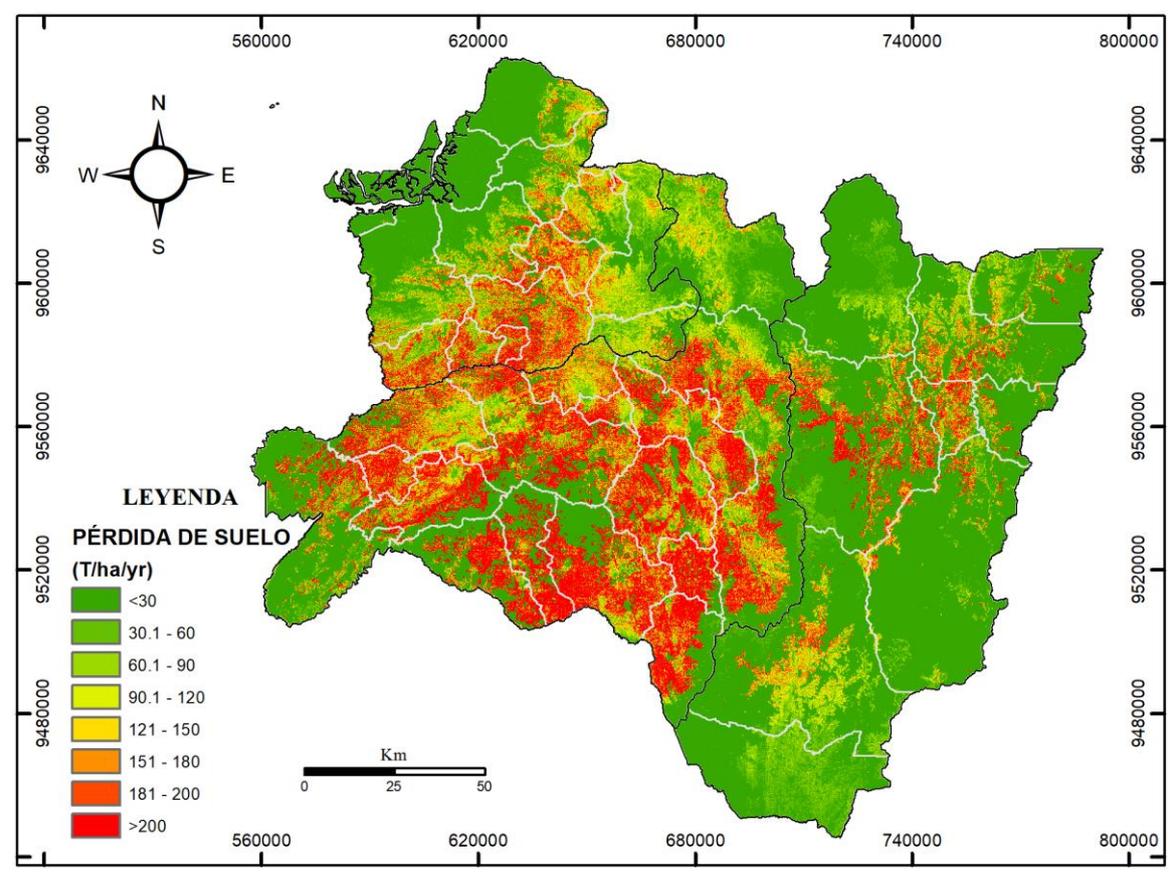


Figura 70: Mapa de Pérdida de Suelo de la RSE año 2030, al aplicar la ecuación propuesta de IFM para el cálculo del Factor R, resolución mensual.

Tabla 40: Áreas de Pérdida de Suelo de la RSE año 2030, al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM para el cálculo del Factor R, resolución mensual.

Loja 2030			El Oro 2030			Zamora 2030		
Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%
<30	378867.97	34.26	<30	273807.71	47.78	<30	774530.05	73.33
60	74100.28	6.70	60	48359.65	8.44	60	83181.77	7.88
90	70171.87	6.35	90	53032.33	9.25	90	48742.67	4.61
120	71810.04	6.49	120	49545.32	8.65	120	35848.26	3.39
150	72909.46	6.59	150	41926.49	7.32	150	30024.99	2.84
180	71286.01	6.45	180	33537.30	5.85	180	24452.70	2.32
200	43217.07	3.91	200	17190.97	3.00	200	12824.56	1.21
>200	323544.69	29.26	>200	55622.12	9.71	>200	46642.70	4.42

4.2.8. Análisis de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030, al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM para determinar erosión hídrica con información mensual.

En la Figura 71 y Tabla 41, se aprecia la pérdida de suelo del cantón Loja, al aplicar la ecuación propuesta en base al IFM para el cálculo del Factor R; en el año 2000 el 25.75%, que corresponde a 48 773.50 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr. En el año 2016 el 21.28, que corresponde a 40 306.60 ha presentaba una pérdida de suelo superior a los 200 t/ha/yr, una reducción en comparación al año 2000. En la proyección del año 2030 el 21.9%, que corresponde a 41 522.11 ha presentará una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, en comparación al año 2016 existe un ligero aumento, aunque con respecto al año 2000 es menor la pérdida de suelo de la proyección del año 2030.

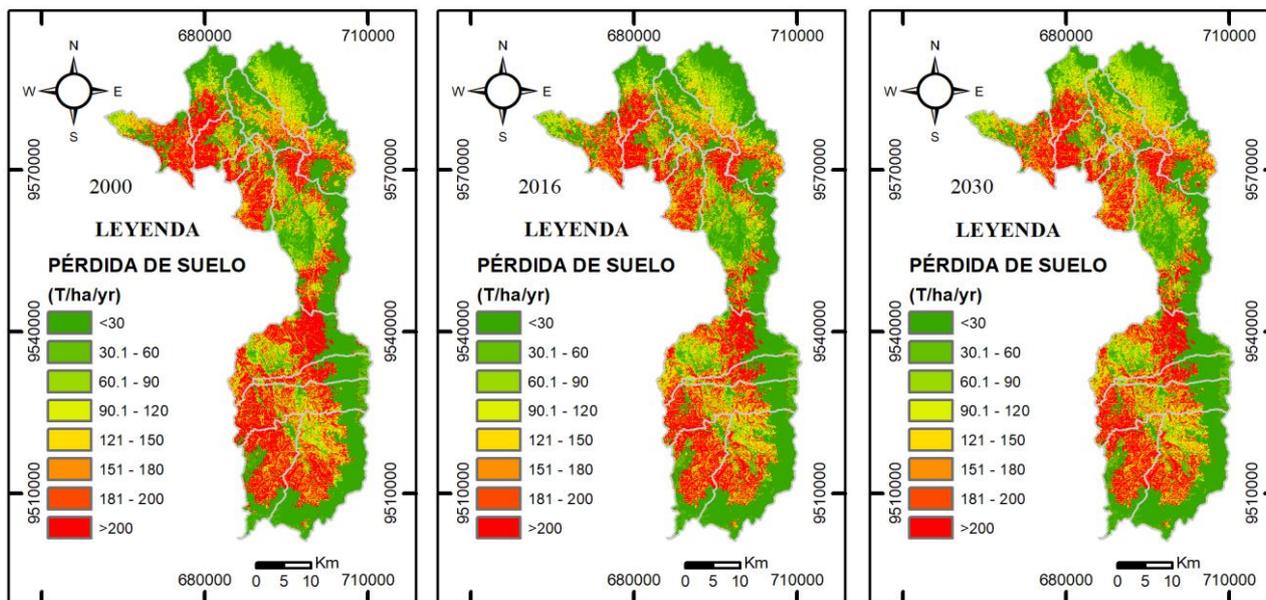


Figura 71: Mapa de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030; al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM para el cálculo del Factor R, resolución mensual.

Tabla 41: Áreas de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030, al aplicar la ecuación propuesta de IFM para el cálculo del Factor R, resolución mensual.

2000			2016			2030		
Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%
<30	68487.65	36.15	<30	71104.34	37.54	<30	64752.23	34.2
30-60	12033.51	6.35	30-60	14478.14	7.64	30-60	15382.68	8.12
60-90	11102.54	5.86	60-90	12218.45	6.45	60-90	13545.68	7.15
90-120	12768.37	6.74	90-120	13609.79	7.18	90-120	14796.13	7.81
120-150	13870.06	7.32	120-150	14570.76	7.69	120-150	15422.98	8.14
150-180	13921.34	7.35	150-180	14416.40	7.61	150-180	15000.36	7.92
180-200	8471.75	4.47	180-200	8724.37	4.61	180-200	9006.09	4.75
>200	48773.50	25.75	>200	40306.60	21.28	>200	41522.11	21.9

4.2.9. Análisis de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030, al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM para determinar erosión hídrica con información temporal inferior a 1 hora.

En la Figura 72 y Tabla 42, se aprecia la pérdida de suelo del cantón Loja, al aplicar la ecuación propuesta en base al IFM para el cálculo del Factor R; en el año 2000 el 10.9%, que corresponde a 20 665.8 ha presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr. En el año 2016 el 9.53%, que corresponde a 18 050.94 ha presentaba una pérdida

de suelo superior a los 200 t/ha/yr, una reducción en comparación al año 2000. En la proyección del año 2030 el 10.2%, que corresponde a 41 522.11 ha presentará una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr, en comparación al año 2016 existe un leve aumento, aunque con respecto al año 2000 es ligeramente menor la pérdida de suelo de la proyección del año 2030.

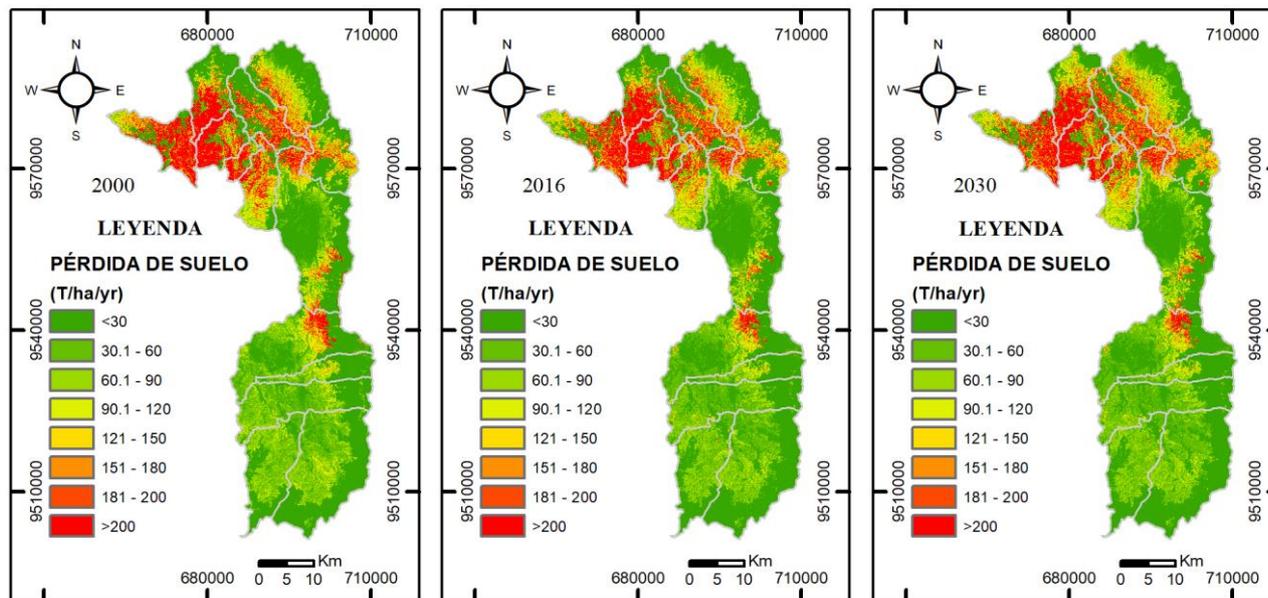


Figura 72: Mapa de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030; al aplicar la ecuación propuesta en función del IFM para el cálculo del Factor R, resolución temporal inferior a 1 hora.

Tabla 42: Áreas de Pérdida de Suelo del cantón Loja año 2000, 2016 y 2030, al aplicar la ecuación propuesta de IFM para el cálculo del Factor R, resolución temporal inferior a 1 hora.

2000			2016			2030		
Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%	Rangos	Área (ha)	%
<30	84473.39	44.6	<30	89150.45	47.1	<30	82713	43.7
30-60	29422.46	15.5	30-60	31081.86	16.4	30-60	31654.99	16.7
60-90	22673.67	12	60-90	20477.47	10.8	60-90	21501.45	11.4
90-120	11572.19	6.11	90-120	10469.26	5.53	90-120	11725.76	6.19
120-150	8969.568	4.74	120-150	8783.565	4.64	120-150	9871.42	5.21
150-180	7546.499	3.98	150-180	7401.943	3.91	150-180	8226.601	4.34
180-200	4107.322	2.17	180-200	4016.355	2.12	180-200	4409.988	2.33
>200	20665.8	10.9	>200	18050.94	9.53	>200	19329.13	10.2

5. DISCUSIÓN

5.1. **Determinar la variabilidad espacial de la intensidad de precipitación mediante el índice I_{30} utilizando información de alta resolución temporal e información mensual en la RSE.**

Para el cálculo del Factor R, se aplicó la ecuación polinómica de segundo grado de Kenneth G. Renard y Freimund (1994), usando información mensual, porque en esta ecuación utiliza el IFM (Arnoldus, 1980) que nos permite caracterizar la agresividad de las precipitaciones, además como menciona, para aplicar esta ecuación los valores obtenidos de IFM deben ser superiores a 55. Por este motivo Ochoa et al. (2013), aplicaron esta misma ecuación en la Cordillera de los Andes sectorizando el Sur del Ecuador, obteniendo valores 2550 y 18 842 Mj.mm/ha.h.yr; mientras que en esta investigación se obtuvieron valores entre 1270 a 73 400 Mj.mm/ha.h.yr para la RSE y 7830 a 22 800 Mj.mm/ha.h.yr para el cantón Loja, en ambos casos los valores son muy elevados. Esta ecuación de se formuló para ser aplicada en Estados Unidos, pero ha sido replicado por varios autores mencionados a lo largo de esta investigación en diferentes lugares del planeta.

Al calcular el Factor R, se aplicó la ecuación exponencial de Angulo Martínez (2012), usando información mensual, al igual que Kenneth G. Renard y Freimund (1994), Angulo Martínez (2012) utilizó esta ecuación por el motivo que emplea el cálculo del IFM (Arnoldus, 1980), esta ecuación se aplicó para el Mediterráneo, específicamente en la Cuenca del Ebro, se recalca que en esta ecuación exponencial existen valores empíricos que pueden ser modificados en base a la observación y experiencia. No existen estudios anteriores realizados en el Ecuador con la aplicación de esta ecuación, por lo cual, el motivo por el que se utilizó es porque el IFM es un medio de cálculo del Factor R, no considera ningún valor de referencia como umbral para su aplicación. Se usó esta ecuación

en estudios anteriores de Angulo Martínez y Beguería (2013), llevados a cabo en toda Europa. Los valores obtenidos se encuentran entre 1370 a 5550 Mj.mm/ha.h.yr para la RSE y 2020 a 3260 Mj.mm/ha.h.yr para el cantón Loja, al comparar estos valores con los obtenidos por Ochoa et al. (2013) en el estudio en la Cordillera de los Andes (2550 y 18842 Mj.mm/ha.h.yr) y los valores obtenidos al aplicar la ecuación de Kenneth G. Renard y Freimund (1994) en este estudio (1270 a 73 400 Mj.mm/ha.h.yr para la RSE y 7830 a 22800 Mj.mm/ha.h.yr para el cantón Loja) se puede evidenciar como disminuyen considerablemente los valores, esto refleja el ajuste de la ecuación a la realidad del impacto de la erosión hídrica en esta zona.

El cálculo del Factor R empleando el software RIST, usó información con una resolución temporal inferior a 1 hora que sirvió para calcular la energía cinética según Brown y Foster (1987), permite al software calcular la intensidad de precipitación en 30 minutos, sumando estos valores del periodo de estudio el resultado corresponde al Factor R. En esta investigación se obtuvo valores de 292 a 5690 Mj.mm/ha.h.yr en el cantón Loja, menores en comparación a los valores obtenidos por Angulo Martínez (2012) (2020 a 3260 Mj.mm/ha.h.yr) y Kenneth G. Renard y Freimund (1994) en este estudio (7830 a 22800 Mj.mm/ha.h.yr). Esta es la ecuación modificada conocida como RUSLE para intensidades de precipitación que van desde 0 a 250 mm/h, lo que permite usarla en la zona de estudio, así mismo Elwell y Stocking (1975), proponen no aplicar el cálculo de EI_{30} para los eventos de lluvia inferiores a 12.7 mm, estando separados de otros eventos en al menos 6h, a no ser que se registren intensidades de 6.35 mm en 15 minutos o superiores.

Se propuso la Ecuación 11 que es una ecuación polinómica de segundo grado, para el cálculo del Factor R para la RSE y el cantón Loja, usando la información de la precipitación media, con una correlación de 0.8532, considerando que puede ser

información de alta resolución temporal o información diaria, mensual o anual, determinando como límites los valores comprendidos entre 429 a 5360 mm; se puede contrastar estos resultados con estudios de Kenneth G. Renard y Freimund (1994), en donde aplican una ecuación polinómica de segundo grado en función de la precipitación media anual, se emplea cuando se presentan valores superiores a 850 mm de precipitación media, con una correlación de 0.73.

Se propuso la Ecuación 12 que es una ecuación polinómica de segundo grado, para el cálculo del Factor R para la RSE de Ecuador y el cantón Loja, con una correlación de 0.975, calculando en primera instancia el IFM (Arnoldus, 1980); se puede usar información de alta resolución temporal, diaria, mensual o anual; usando como límites los valores comprendidos entre 68 a 424 de IFM; se puede contrastar estos resultados con estudios de Kenneth G. Renard y Freimund (1994), en donde aplican una ecuación polinómica de segundo grado en función del IFM medio anual, se aplica en valores superiores a 55 de IFM, con una correlación de 0.75.

Se han realizado varios estudios en Sudamérica y en algunas provincias del Ecuador entre ellas Loja, Guayas, Tungurahua, entre otras, pero como tal, no existe un estudio detallado de la RSE, autores como Tapia (2012), realizó el estudio en la Cuenca del Río Guayas obteniendo valores de 2081 a 7162 Mj.mm/ha.h.yr. Cocuyame y Salazar (2015), realizaron estudios en la Cuenca del Río Guabas con valores obtenidos entre 175 a 185 Mj.mm/ha.h.yr. Cruz et al. (2010), realizó una investigación en la cuenca del Río Alumbre obteniendo valores comprendidos entre 1008 a 1315 Mj.mm/ha.h.yr. Ramón y Reyes (2009), realizaron un estudio en el cantón Catamayo con valores comprendidos entre 73 a 85 Mj.mm/ha.h.yr. López Parco (2017), procedió a estudiar la unidad hidrográfica del Río Ambato con resultados que van de 41 a 62 Mj.mm/ha.h.yr. Vega Loján (2013), realizó

estudios de erosión hídrica en los cantones de Catamayo y Gonzanamá obteniendo valores de 1465 a 3997 Mj.mm/ha.h.yr. Ochoa et al. (2013), realizó una investigación en la cordillera de los Andes en donde los resultados fueron de 2550 a 18 442 y 1465 a 3997 Mj.mm/ha.h.yr. Todos estos resultados por tratarse de zonas con áreas considerablemente pequeñas en comparación a la RSE, presentan valores de Factor R menores a los obtenidos en esta investigación, a pesar de que han replicado el estudio propuesto por de Kenneth G. Renard y Freimund (1994), se puede observar como de acuerdo al lugar en que se aplica esta ecuación los resultados varían considerablemente, esto producto de que la precipitación no es homogénea en todos los territorios es decir, su constancia y abundancia cambia de acuerdo a la climatología de la zona.

5.2. Modelar el riesgo de erosión hídrica del suelo en función de la intensidad de precipitación.

La intensidad de precipitación que permite el cálculo del Factor R o de erosividad hídrica juntos con los factores K, LS, y C; permitieron el cálculo de la Pérdida de Suelo en la RSE y en el cantón Loja, usando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, RUSLE (K. G. Renard y Foster, 1994).

En la provincia de Loja en el año 2000, el 25% de la superficie presentaba una tasa de pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr; mientras que para el año 2016 se elevó a 26.06% y para el año 2030 se prevé que ascienda al 29.26%. En la provincia de Loja la pérdida de suelo está relacionada según Geoecuador (2008), por la presencia de vastos valles secos interandinos y por su precedente histórico de sequía en la provincia en la década de los 80 a 90. Según Valarezo Manosalvas (2007), en la provincia existen problemas de desertificación que afectan a las zonas de bosque seco de los cantones de Zapotillo, Macará, Paltas, Sozoranga y Catamayo; siendo el problema principal de desertificación en

esta zona como consecuencia de la destrucción del bosque natural o cubierta vegetal de los terrenos predominantes de la ladera, para ser utilizados en ganadería y en la producción de monocultivos como el maíz. Según Samaniego et al. (2015), el clima predominante en la provincia es ecuatorial mesotérmico semihúmedo a húmedo con una temperatura de 12 a 22 ° C, con una precipitación de 600 a 2000 mm, estas precipitaciones son intensas y abundantes, lo que agrava más el problema de erosión.

En la provincia de El Oro en el año 2000, el 6.24% presentaba una tasa de pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr; mientras que en el año 2016 ascendió a 7.69% y para el año 2030 se prevé que alcance el 9.71%. En la provincia de El Oro según Geoecuador (2008), en la frontera con la República del Perú existe una mayor pérdida de suelo por la presencia de áreas secas semidesérticas; además, según Villaseñor, Chabla, y Luna (2015), la erosión hídrica en la provincia está relacionada con el tipo de suelo presente en esta área que son inceptisoles, alfisoles y entisoles, que dependiendo de la zona presentan problemas de infiltración. La presencia de monocultivos reduce la estabilidad de los suelos, lo que agrava esta situación. Según Samaniego et al. (2015) el clima predominante en la provincia es Megatérmico seco a semihúmedo con una temperatura de mayor a 22 °C, con una precipitación de 500 a 1000 mm, estas precipitaciones no son constantes ni abundantes pero, como se mencionó anteriormente la erosión hídrica tiene un mayor impacto por la presencia de las zonas semidesérticas en la provincia.

En la provincia de Zamora en el año 2000, el 2.24% presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr; mientras que en el año 2016 ascendió a 3.12% y para el año 2030 se prevé que se eleve a 4.42%. En la provincia de Zamora según el Ministerio del Medio Ambiente (2015), es una de las provincias en donde existe un grave problema de extracción de madera ilegal de bosques nativos, a pesar de esto es una de las provincias



unl

Universidad
Nacional
de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE



con la tasa de pérdida de suelo más baja en la RSE, esto debido al tipo de suelo el cual se considera como joven en la mayor parte de la provincia, su basta cobertura vegetal y el tipo de suelo franco arcillo que permite una rápida infiltración le permite disminuir el impacto de la erosión hídrica. Según Samaniego et al. (2015), el clima en la provincia es tropical megatérmico a muy húmedo, con una temperatura mayor a 22 °C con una precipitación que va desde los 2500 a 3000 mm, las precipitación son abundantes y perseverantes.

Según De Noni & Trujillo, (2010) en el Ecuador existe globalmente el 50% de la superficie del país está afectado distribuida de forma general, el 15% se encuentran en el callejón interandino (1500 - 3000 m) que es una región fuertemente sometida a la erosión y el 35% se ubica donde se extienden los límites de la frontera agrícola, en particular sobre las altas tierras y flancos exteriores de la cordillera de los Andes y en las regiones costanera y amazónica.

En el cantón Loja en el año 2000, el 10.2% presentaba una pérdida de suelo mayor a 200 t/ha/yr; mientras que en el año 2016 se redujo a 9.53% y para el año 2030 se prevé que se eleve a 11%. En el cantón Loja existe la presencia de suelos poco desarrollados lo que agrava la pérdida de suelo en el cantón, además de la presencia de pendientes considerables del 15 al 50 % es decir de bajas a medianas pendientes, con una altitud de 1000 a 2000 msnm y el clima sobresaliente que es templado, lluvioso, con inviernos cálidos según Prefectura de Loja (2015).

Según Stavi, Barkai, Knoll, y Zaady (2016) la pérdida de edafología se da independientemente del uso que se da al suelo; se han realizado diversos estudios en el Ecuador en los diversos cantones, pero no se ha considerado una investigación en toda la RSE, autores como (Oñate Valdivieso, 2004) realizó una metodología para la evaluación



unl

Universidad
Nacional
de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE



del riesgo de erosión hídrica en el cantón Zapatillo en donde determinó la pérdida de suelo que fue de 0.07 a 850 t/ha/yr; Ramírez (2010) realizó una investigación en la Cuenca del Río Salta en Argentina con resultados comprendidos entre 0.63 a 142 t/ha/yr; y Vega Loján (2013) determinó en el cantón Catamayo y Gonzanamá la pérdida de suelo con valores registrados entre 50 a 200 t/ha/yr; todos los valores de pérdida de suelo obtenidos durante esta investigación sobrepasan la tasa de formación de suelo que normalmente es de 2.2 a 11 t/ha/yr (Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales INETER y Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE, 2005) y (Loredo, Beltrán, Moreno, y Casiano, 2007).

6. CONCLUSIONES

- Se evidenció alta variabilidad de los resultados en función de los modelos aplicados, las diferentes resoluciones temporales de precipitación, y las características propias de la precipitación en la RSE. Se debe recalcar que la información de precipitación con una resolución de 30 minutos es la más adecuada y el punto de partida para cualquier tipo de análisis sobre la erosividad de la lluvia.
- Se propone una ecuación para determinar la erosión hídrica en la RSE, en función de la precipitación media con una correlación de 0.8532, considerando los valores de 429 mm a 5360 mm como umbrales para su aplicación.
- Se propone una ecuación para determinar la erosión hídrica en la RSE, en función del IFM con una correlación de 0.975, tomando en consideración los valores de 68 a 429 como umbrales para su aplicación.
- Para hacer uso de las ecuaciones propuestas en esta investigación se pueden utilizar información de diferentes resoluciones temporales (mensual, diaria, cada hora, cada 30 minutos, cada 5 minutos y cada minuto) ya que fueron elaboradas con el fin de mejorar los resultados de este tipo de investigaciones según la información que se tenga a disposición.
- La información de alta resolución temporal permite obtener mejores resultados ya que modela de forma aproximada la realidad ante la erosión hídrica de una zona, determinada por la cantidad y calidad de los datos, de esta forma se puede calcular la máxima intensidad de la precipitación en un periodo de 30 minutos (EI_{30}), que permite modelar adecuadamente el riesgo de erosión hídrica.

7. RECOMENDACIONES

- Es importante continuar con la determinación de zonas susceptibles a erosión hídrica en todo el Ecuador, debe existir mayor responsabilidad por parte de las instituciones gubernamentales para que recopilen la información necesaria para estos estudios, que no se tome tan a la ligera el levantamiento de información. Esto ayudara a tomar medidas de control en las zonas de alto riesgo en los diferentes planes de ordenamiento territorial del país.
- Utilizar un modelo de estimación de erosión hídrica que represente adecuadamente la erosión del suelo en el Ecuador.
- Realizar estudios periódicamente con la finalidad de monitorear las áreas de suelo erosionado y además verificar si las técnicas que se vayan aplicar sobre estos den resultados favorables a la conservación del suelo.
- Implementar medidas y prácticas de conservación con base en el grado de erosión y distribución de la misma disminuyendo los efectos de esta en zonas con riesgo de degradación mayor.
- Utilizar este tipo de información como forma de modelamiento de riesgo de erosión y pérdida de suelo potencial por parte de las autoridades encargadas de realizar los planes de ordenamiento territorial para que mediante prácticas de conservación actúen ante posibles riesgos de degradación, implementando un manejo y desarrollo agrícola sostenible.
- Desarrollar programas sobre la evaluación de la erosión en las provincias de la RSE que permita monitorear la tendencia de esta problemática a largo plazo y permita tomar correcciones necesarias.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Agut, R. M. I. (2012). El índice n de la precipitación intensa, 1–14.
- Angulo-Martínez, M., & Beguería, S. (2013). Rainfall erosivity: Process, índices and frontiers of knowledge . *Análisis de La Erosividad de La Lluvia: Procesos, Índices y Fronteras de Conocimiento*, 27(1–2), 53–69. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84880453453&partnerID=40&md5=3f6f2186a49f0f0b82515818afb9a3e4>
- Angulo Martínez, M. (2012). El factor climático en la erosión del suelo: erosividad de la lluvia en la cuenca del Ebro, 1–242.
- Arnoldus, H. (1980). *An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation.. In: De Boodt, Gabriels (Eds.), Assessment of Erosion. Wiley, New York.*
- Bizzarri, E. C. (2000). La erosividad: Calidad De La Lluvia Poco Conocida, 19. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/721/72102406.pdf>
- Brown, L. C., & Foster, G. R. (1987). Distributions, 67, 379–386.
- Cocuyame, R. A., y Salazar, D. (2015). Susceptibilidad a Erosión Hídrica. 12-75.
- Conti, M. (2003). Edafología. *Edafología*, 2, 1–19.
- Cruz, E., Chela, E., Monar B, C., Valverde, F., Cartagena, A., & Yamil, E. (2010). Evaluación de la pérdida productiva y económica por la erosión hídrica en tres sistemas de producción en la microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar, Ecuador. *XII Congreso Ecuatoriano de La Ciencia Del Suelo*, 17–19. Retrieved from <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2517>
- Custode, E; Viennot, M. (1986). El riesgo de Erosion en la Región Amazonica. *La Erosión En El Ecuador*, 79–88.
- De Noni, G., & Trujillo, G. (2010). Degradación del suelo en el Ecuador. *Revista Cultura*, 383–394. Retrieved from http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/cc-2010/26531.pdf
- Díaz, J. (2013). Análisis de Erosión de suelo Introducción, 1(809). 1–20.
- Duque, G., & Escobar, C. (2002). Erosión De Suelos. *Mecánica de Los Suelos*, 68–79.



Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/1864/9/cap8.pdf>

- Dyla, B. (2015). Capítulo 2. *Precipitación*, 22. Retrieved from [http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_itop/415/pdfs/Capitulo 2.pdf](http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_itop/415/pdfs/Capitulo%202.pdf)
- Elwell, H., & Stocking, A. (1975). Parameters for Estimating Annual Runoff and Soil Loss From Agricultural Lands in Rhodesia Matopos soils shown by dotted were origin . Granitic soils two thirds percentage vegetal cover is less classified as, *11*(4), 601–605.
- Escobar, D., Escobar, P., Gonzalo, P., & Enrique, C. (2016). resistencia del suelo (Fricción o cohesión), 122–135.
- Fenta, A. A., Yasuda, H., Shimizu, K., Haregeweyn, N., Kawai, T., Sultan, D., ... Belay, A. S. (2017). Spatial distribution and temporal trends of rainfall and erosivity in the Eastern Africa region. *Hydrological Processes*, *31*(25), 4555–4567. <https://doi.org/10.1002/hyp.11378>
- Gaitán, J., Navarro, M., Tenti, L., & Pizarro, M. (2017). *Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina*. *Researchgate.Net*. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Juan_Gaitan/publication/321794938_Estimacion_de_la_perdida_de_suelo_por_erosion_hidrica_en_la_Republica_Argentina/links/5a31f8320f7e9b2a28d3841c/Estimacion-de-la-perdida-de-suelo-por-erosion-hidrica-en-la-Republica-Arg
- Geoecuador. (2008). 4. Estado del suelo. *Estado Del Suelo*, Cap 4 1-10. Retrieved from <file:///G:/06>. Capítulo 4. Estado del suelo.pdf
- González, O. N., Serrano, J. I. B., Vilchez, F. F., Núñez, R. M. M., & García-sancho, A. G. (2016). Water erosion risk and soil loss estimation in volcanic geomorphological landscapes of Mexico, *37*(2), 45–55. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3942.5527>
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas, *1978*, 1965–1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- Ibáñez, A., Ramón, M., Blanquer, G., & Manuel, J. (2015). La Ecuación Universal De Pérdidas De Suelo (Usle), 10.

- Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales INETER, & Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE. (2005). Erosion Rusle. Retrieved May 31, 2019, from <https://es.scribd.com/document/61770386/Erosion-Rusle>
- Kinnell, P. I. A. (2010). Event soil loss , runoff and the Universal Soil Loss Equation family of models : A review. *Journal of Hydrology*, 385(1–4), 384–397. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.01.024>
- López Parco, J. A. (2017). Erosión hídrica en la unidad hidrográfica del río Ambato, en un escenario de cambio climático, mediante el modelo USLE/RUSLE., 1–29.
- Loredo, C., Beltrán, S., Moreno, F., & Casiano, M. (2007). *Riesgo de la erosión hídrica y proyección de acciones de manejo y conservación del suelo en 32 microcuencas de San Luis Potosí.*
- Ministerio del Medio Ambiente (MAE). (2015). Extracción de madera de bosques. Retrieved from <http://pras.ambiente.gob.ec/web/siesap/informacion-emb>
- Montico, S., & Di Leo, N. (2015). Evaluación de perfiles culturales en ambientes degradados por erosión hídrica. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, (51), 395–403. Retrieved from http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-17162015000200016&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.org.ar/pdf/cdyt/n51/n51a16.pdf
- Narvaez Sozoranga, L. C. (2018). *Dinámica y modelamiento futuro de los cambios de fragmentación en la Cobertura y Uso del Suelo de la Región Sur del Ecuador en el periodo 2000-2016.*
- Ochoa-cueva, P., Fries, A., Montesinos, P., & Boll, J. (2013). Spatial estimation of soil erosion risk by land-cover change in the Andes of southern Ecuador.
- Ochoa, P. A., Fries, A., Mejía, D., Burneo, J. I., Ruíz-sinoga, J. D., & Cerdà, A. (2016). Effects of climate , land cover and topography on soil erosion risk in a semiarid basin of the Andes. *Catena*, 140, 31–42. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.01.011>
- Oñate Valdivieso, F. (2004). Metodología Para la Evaluación del Riesgo de Erosión Hídrica en Zonas Áridas y su Aplicación en el Manejo y Protección de Proyectos Hidráulicos. *Revista Electrónica de La REDLACH*, 1(4), 27–32. Retrieved from



<http://www.siagua.org/documentos/metodologia-evaluacion-riesgo-erosion-hidrica-zonas-aridas-aplicacion-manejo-proteccion-proyectos-hidraulicos>

Orstom. (1994). El Ecuador. *Memorias*.

Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., & Meusburger, K. (2016). Spatio-temporal analysis of rainfall erosivity and erosivity density in Greece. *Catena*, 137, 161–172. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.09.015>

Pedraza, A. (2015). Estimación de la erosión hídrica mediante dos métodos de la ecuación universal de pérdida de suelo (eups) en la cuenca del río Chapingo, TEXCOCO, 121.

PHI. (2006). Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas de América Latina y El Caribe, 58.

Prefectura de Loja. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Loja 2015-2025*.

Ramírez, L. L. (2010). Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Juramento - Salta, 104.

Ramón, V., & Reyes, F. (2009). Universidad Nacional De Loja Considerando : Dterminación del grado de erosion actual y potencial de los suelos del cantón Catamayo., 1–38.

Renard, K., Foster, G., Weesies, G., McCool, D., & Yoder, D. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Agricultural Handbook No. 703*. <https://doi.org/DC0-16-048938-5> 65–100.

Renard, K. G., & Foster, G. R. (1994). RUSLE revisited: Status, questions, answers, and the future. *Journal of Soil and Water Conservation*, 213–220.

Renard, K G, Foster, G. R., Weesies, G. A., Mccool, D. K., & Yoder, D. C. (2000). *Predicting Soil Erosion by Water: A guide to conservation plannig with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*.

Renard, Kenneth G., & Freimund, J. R. (1994). Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of Hydrology*, 157(1–4), 287–306.



unl

Universidad
Nacional
de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE



[https://doi.org/10.1016/0022-1694\(94\)90110-4](https://doi.org/10.1016/0022-1694(94)90110-4)

- Rojas, A., & Ibarra, J. (2012). La degradación del suelo y sus efectos sobre la población. *Poblacion y Desarrollo*, 4–9.
- Samaniego, N., Eguiguren, P., Maita, J., & Aguirre, N. (2015). Clima de la Región Sur el Ecuador: historia y tendencias. *Cambio Climático y Biodiversidad: Estudio de Caso de Los Páramos Del Parque Nacional Podocarpus, Ecuador*, (December), 272.
- Segerer, C., & Villodas, R. (2006). Las Precipitaciones. *Hidrología I*, 26. <https://doi.org/10.4103/0971-5916.182628>
- Sone, J. S., Sobrinho, T. A., Tarso, P., & Oliveira, S. (2018). Assessing rainfall erosivity in a tropical region using free software, (September).
- Stavi, I., Barkai, D., Knoll, Y. M., & Zaady, E. (2016). Livestock grazing impact on soil wettability and erosion risk in post-fire agricultural lands. *Science of the Total Environment*, 573, 1203–1208. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.126>
- Suquilanda, M. (2015). El deterioro de los suelos en el ecuador y la producción agrícola. *XI Congreso Ecuatoriano de La Ciencia Del Suelo XI Congreso Ecuatoriano de La Ciencia Del Suelo*, 29–31. Retrieved from <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/3.-Ing.-Manuel-Suquilanda.pdf>
- Tapia, J. C. (2012). Producción De Caudales Y Sedimentos.
- Valarezo Manosalvas, C. (2007). La desertificación en la provincia de Loja. Retrieved from <https://desertloja.blogia.com/>
- Vega Loján, J. L. (2013). “Determinación de zonas susceptibles a erosión hídrica en los cantones de Catamayo y Gonzanamá de la provincia de Loja, utilizando sistemas de información geográfica (sig) y teledetección”. Retrieved from [http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17025/1/TESIS WILSON FERNANDO.pdf](http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17025/1/TESIS_WILSON_FERNANDO.pdf)
- Velásquez, S. (2008). *Erosión de suelos utilizando la EUPSR (RUSLE)*. Costa Rica: Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza.
- Villaseñor, D., Chabla, J., & Luna, E. (2015). Caracterización física y clasificación



unl

Universidad
Nacional
de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE



taxonómica de algunos suelos dedicados a la actividad agrícola de la provincia de El Oro. *Cumbres*, 1(2), 28–34. Retrieved from <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/5121/1/ART0080>
Caracterización física y clasificación taxonómica de algunos suelos.pdf

Winters, P., Espinosa, P., & Crissman, P. (1998). *Manejo de los Recursos en los Andes Ecuatorianos: Revisión de Literatura y Evaluación del Proyecto Manejo del Uso Sostenible de Tierras Andinas (PROMUSTA) de CARE*.

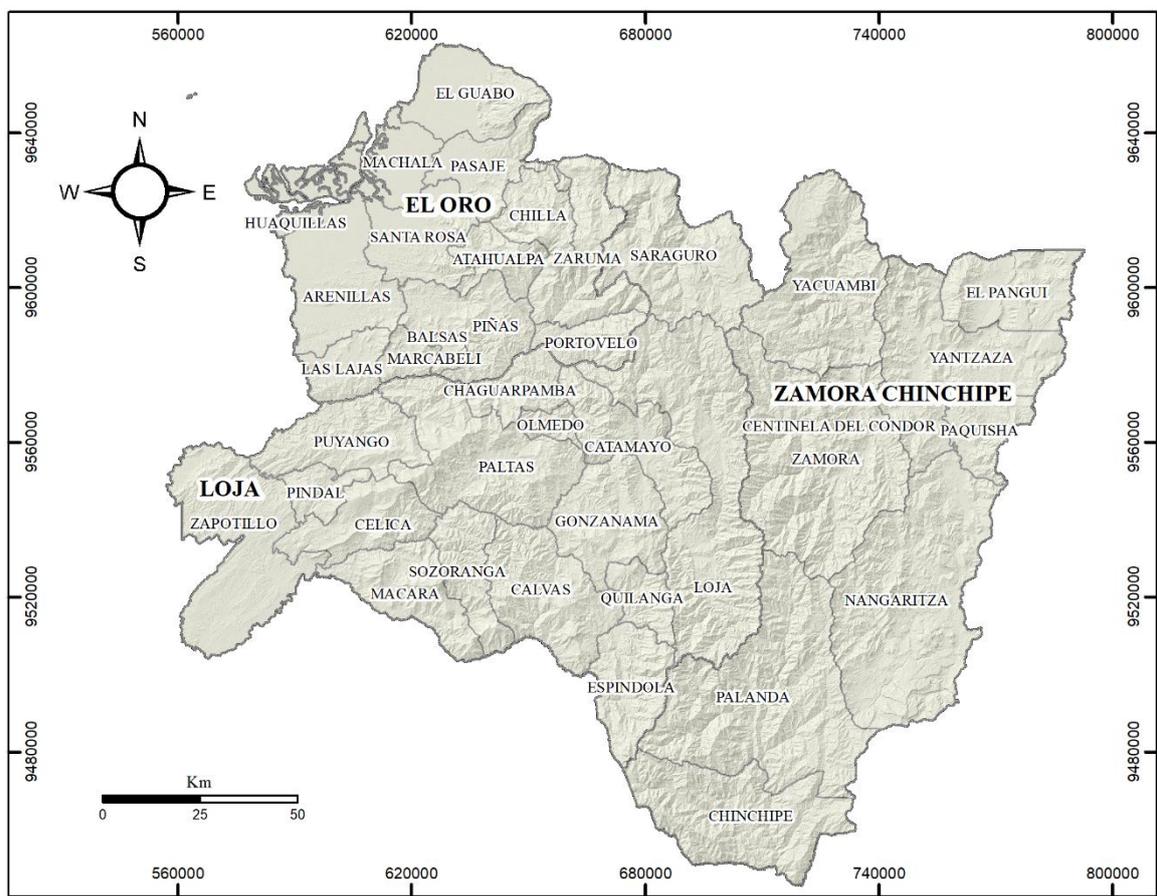
Wischmeier, W. ., & Smith, D. . (1978). *Predicting rainfall-erosion losses: A guide to conservation planning Agriculture Handbook*. United States: United States Department of Agriculture, Washington DC.

Xavier, I., & Doris, C. (2007). Elementos para una estrategia nacional de financiamiento forestal, 151.

Zavaleta, S. J. (2010). Kriging : Un Método de Interpolación sobre Datos Dispersos, 33. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.02.012>

9. ANEXOS

9.1. Mapa político administrativo de la RSE



9.2. Mapa político administrativo del cantón Loja.

