



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL (RUSLE) A
UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA QUE
PERMITA DIAGNOSTICAR LA PÉRDIDA DE SUELOS**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Trabajo de titulación presentado como requisito para la
obtención del título de

INGENIERO AGRÓNOMO

AUTOR

VÉLEZ CÓRDOVA RICARDO ANDRÉS

TUTOR

ING. GARCIA ORTEGA YOANSY M.Sc.

GUAYAQUIL – ECUADOR

2020



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **GARCIA ORTEGA YOANSY**, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL (RUSLE) A UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA QUE PERMITA DIAGNOSTICAR LA PÉRDIDA DE SUELOS**, realizado por el estudiante **VÉLEZ CÓRDOVA RICARDO ANDRÉS**; con cédula de identidad N°0929665115 de la carrera Ingeniería Agronomica, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Firma del Tutor

Guayaquil, 20 de agosto del 2020



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: **“APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL (RUSLE) A UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA QUE PERMITA DIAGNOSTICAR LA PÉRDIDA DE SUELOS”**, realizado por el estudiante **VÉLEZ CÓRDOVA RICARDO ANDRÉS**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

**Ing. Pedro Vélez Duque M.Sc.
PRESIDENTE**

**Ing. Fanny Rodriguez Jarama M.Sc
EXAMINADOR PRINCIPAL**

**Ing. Jorge Coronel Quevedo M.SC
EXAMINADOR PRINCIPAL**

**Ing. Yoansy García Ortega M.Sc
EXAMINADOR SUPLENTE**

Guayaquil, 20 de agosto del 2020

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mis padres, Richard Vélez y Narcisa Córdova; quienes me dieron educación, apoyo y consejos, su perseverancia y motivación que siempre estuvo presente de su parte. A mi novia Andreina quien me apoyó y alentó para continuar, cuando parecía que me iba a rendir. A mis hermanos Gary, David, Sergio y Tania por su fe en que lograría mi meta y su constante apoyo. A todos los que me apoyaron para escribir y culminar esta tesis. Para ellos es esta dedicatoria de tesis, pues es a ellos a quienes se las debo por su apoyo total.

Agradecimiento

Mi agradecimiento se dirige a quien ha forjado mi camino y me ha dirigido por el sendero correcto, a nuestro Padre Celestial, el que en todo momento está conmigo ayudándome a aprender de mis errores y a no cometerlos otra vez. Eres quien guía el destino de mi vida. A mis padres; con quienes estaré eternamente agradecido por ser los pilares principales para conseguir este logro. Agradezco a mi compadre Ricardo Bohórquez por su generosa ayuda. La Universidad Agraria del Ecuador me dio la bienvenida al mundo como tal, las oportunidades que me ha brindado son incomparables, y antes de todo esto ni pensaba que fuera posible que algún día si quiera me topara con una de ellas. A mi tutor Ing. Yoansy García, por su oportuna ayuda y respaldo por su excelente papel de docente y con Don de enseñanza estuvo siempre presente. Agradezco mucho por la ayuda de mis docentes: Ing. Fanny Rodríguez MSc, Ing. Freddy Veliz MSc, Ing. Danilo Valdez MSc, Ing. Pedro Vélez MSc, mis compañeros de clases.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo, **VÉLEZ CÓRDOVA RICARDO ANDRÉS**, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre **APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL (RUSLE) A UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA QUE PERMITA DIAGNOSTICAR LA PÉRDIDA DE SUELOS**, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 20 de agosto del 2020

VÉLEZ CÓRDOVA RICARDO ANDRÉS

C.I. 0929665115

Índice general

PORTADA.....	1
APROBACIÓN DEL TUTOR	2
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	3
Dedicatoria.....	4
Agradecimiento	5
Autorización de Autoría Intelectual	6
Índice general	7
Índice de tablas	10
Índice de figuras.....	11
Resumen	12
Abstract.....	13
1. Introducción.....	14
1.1 Antecedentes del problema.....	14
1.2 Planteamiento y formulación del problema	15
1.2.1 Planteamiento del problema	15
1.2.2 Formulación del problema	16
1.3 Justificación de la investigación.....	16
1.4 Delimitación de la investigación	16
1.5 Objetivo general	17
1.6 Objetivos específicos.....	17
1.7 Hipótesis	17
2. Marco teórico.....	18
2.1 Estado del arte.....	18
2.2 Bases teóricas	19

2.2.1	Desgaste del suelo por erosión hídrica	20
2.2.2	Factores de la erosion hidrica	21
2.2.3	La dificultad de la erosión hídrica de los suelos.....	22
2.2.4	Ecuación universal de pérdida de suelos revisada RUSLE	22
2.2.5	Sistema de información geográfica.....	24
2.2.5.1.	<i>Modelo vectorial</i>	25
2.2.5.2.	<i>Modelo raster</i>	25
2.2.6	Aplicaciones de SIG.....	26
2.3	Marco legal.....	27
3.	Materiales y métodos	29
3.1	Enfoque de la investigación	29
3.1.1	Tipo de investigación.....	29
3.1.2	Diseño de investigación	29
3.2	Metodología	29
3.2.1	Variables	29
3.2.1.1.	<i>Variable independiente</i>	29
3.2.1.2.	<i>Variable dependiente</i>	29
3.2.2	Recolección de datos	31
3.2.2.1.	<i>Recursos</i>	31
3.2.2.2.	<i>Procedimientos</i>	31
3.2.2.3.	<i>Determinación de la erosividad de lluvias del factor R</i>	32
3.2.2.4.	<i>Índice modificado de Fournier</i>	32
3.2.2.5.	<i>Determinación de la erodabilidad de los suelos del factor K</i>	34
3.2.2.6.	<i>Determinación de la longitud de la pendiente del factor LS</i>	35
3.2.2.7.	<i>Determinación de cobertura vegetal del factor C</i>	36

3.2.2.8. Cálculo del factor P prácticas de conservación	37
3.2.2.9. Determinación de la ecuación del factor A	38
3.2.2.10. Métodos y técnicas	38
3.2.2.10.1. Método deductivo	38
3.2.2.10.2. Método inductivo	38
3.2.2.10.3. Método analítico	39
3.2.2.10.4. Método sintético	39
3.2.3 Análisis estadístico	39
4. Resultados	40
4.1 Creación de mapas de pérdida de suelos en el uso de un SIG	40
4.1.2 Determinación del factor R: Erosividad de la lluvia	40
4.1.3 Determinación del factor K: Erodabilidad del suelo	42
4.1.4 Determinación del factor LS: Longitud y grado de la pendiente	45
4.1.5 Determinación del factor C: Cobertura del suelo	47
4.1.6 Determinación del factor P: Prácticas de conservación	50
4.1.7 Determinación de pérdidas de suelo según RUSLE	50
4.2 Reconocimiento las zonas sensibles ante el problema de la erosión.	53
4.3 Se establece un plan de manejo del suelo de las zonas sensibles	55
5. Discusión	59
6. Conclusiones	61
7. Recomendaciones	62
8. Bibliografía	63
9. Anexos	69

Índice de tablas

Tabla 1. Rango del cálculo IFM.....	33
Tabla1. Permeabilidad de los suelos	34
Tabla 2. Porcentaje de materia orgánica	35
Tabla 3. Clases, rangos y descripción de pendientes.....	36
Tabla 4. Factor de cobertura vegetal C.....	37
Tabla 5. Rango de erosión del suelo.....	38
Tabla 6. Valores del coeficiente de erodabilidad factor K.....	42
Tabla 7. Porcentaje de la pendiente.....	45
Tabla 8. Cobertura vegetal.....	47
Tabla 9. Categorías de erosión del cantón Palenque.....	50
Tabla 10. Reconocimiento zonal.....	53
Tabla 11. Rango de erosión hídrica.....	55
Tabla 12. Valores medios mensuales y con los cálculos de IMF y el factor R.....	69
Tabla 13. Cálculo del factor K el método de Wischmeier y Smith.....	72

Índice de figuras

Figura 1. Mapa 1. Factor R.....	41
Figura 2. Mapa 2. Factor K.....	44
Figura 3. Mapa 3. Factor LS.....	46
Figura 4. Mapa 4. Factor C.....	49
Figura 5. Erosión hídrica.....	52
Figura 6. Mapa 6. Mapa de referencia zonal.....	54
Figura 7. Mapa 7. Erosividad de la lluvia.....	70
Figura 8. Mapa 8. Erosividad de la lluvia.....	71
Figura 9. Mapa 9. (DEM) modelo digital de elevaciones.....	73
Figura 10. Mapa 10. Factor S.....	74
Figura 11. Mapa 11. Factor L.....	75
Figura 12. Mapa 12. Relleno (Fill).....	76
Figura 13. Mapa 13. Pendientes (Slope).....	77
Figura 14. Mapa 14. Dirección de flujo.....	78
Figura 15. Mapa 15. Acumulación de flujo.....	79
Figura 16. Mapa 16. Cobertura vegetal.....	80
Figura 17. Creación de mapas de la zona de estudio.....	81
Figura 18. Interpretación del diagnóstico de la erosión del suelo.....	81
Figura 19. Determinación de la conclusión y recomendación.....	82

Resumen

La degradación de los suelos es el efecto secundario de una progresión de los procedimientos físicos, por la cual es la razón del desgaste de la superficie del suelo. Posteriormente, con este problema, se proyectó el presente trabajo que nos permitió medir y conocer los territorios que están influenciados por la degradación hídrica, y así supervisar las medidas de protección para este problema. Para la utilización del modelo RUSLE, se incorporaron los diversos elementos expuestos con datos fundamentales. La información genuina provenía de datos de la NASA, Sig-tierras, INAMHI, Instituto Espacial Ecuatoriano, estas zonas fueron resueltas con combinación al tipo de cobertura, porcentaje de pendiente y tipo de suelo donde realizaron la estimación de pérdida de suelo en ton/ha/año. Donde hubo más pérdida notable de suelo fue en aquellos determinados como cobertura vegetal y la pendiente de rango 5 a 8 %. Mediante el uso de esta herramienta de ArcGIS se adquirieron mapas de tasas de erosión que oscila entre 5 - 4.529 ton/ha/año en un 33,48 % dentro de la zona de estudio del cantón palenque es afectada. Se lograron obtener los resultados de la zona de estudio, se derivó que la importancia de ejecutar nuevas innovaciones para acelerar este tipo de estudio es indudablemente importante, del completo factor tiempo y la eficiencia del sistema de información geografía y los materiales que tiene, en combinación con la RUSLE; similar que se convierte en una opción excepcionalmente aplicable.

Palabras Claves: ArcGIS, Erosión, RUSLE, SIG, Suelo

Abstract

The degradation of the soils is the side effect of a progression of the physical procedures, for which one it is the reason of the loss of the surface of the soil. Subsequently, with this problem, was screened on this work that allowed us to measure and to know the territories that are influenced by the degradation of water, and to monitor the measures of protection for this problem. For the use of the model RUSLE, Incorporated the various elements exposed with data fundamental. The genuine information came from data from the NASA, Sig-tierras, INAMHI, Institute of Space Ecuadorian, these areas were resolved with combination for the type of coverage, slope percentage and type of soil where they performed the estimation of soil loss in hectares of tons for each year. Where there was more noticeable loss of soil was in those determined as vegetative cover and the slope of the range 5 to 8 %. Through the use of this tool of ArcGIS were acquired maps of rates of erosion that oscillates between 5 - 4.529 ton/ha/year in a 33, 48 % within the study area of the Canton Palenque is affected. he results of the study area were achieved, it was derived that the importance of implementing new innovations to accelerate this type of study is undoubtedly important, the full time factor and the efficiency of the information system geography and the materials it has, in combination with the RUSLE; similar to an exceptionally applicable option.

Keywords: ArcGIS, Erosion, RUSLE, System Geography, Soil

1. Introducción

1.1 Antecedentes del problema

“La erosión es la consecuencia de una progresión de procedimientos biológicos que tienden a eliminar la vitalidad potencial de los materiales de las regiones continental de la tierra” (Stefano, 2016, p. 147).

Salazar (2013) afirma que "el suelo es un recurso no sostenible que sirve como ayuda para una cantidad sustancial productiva beneficiosos básicos para el hombre, lo que hace que exista una conexión cercana entre ellos" (p. 18).

Salazar (2013) afirma que “La pérdida de suelo debido a la erosión hídrica en la actualidad un verdadero problema ecológico mundial, ya que contribuye seriamente a la pérdida de rentabilidad y la biodiversidad de los suelos en todo el planeta". Por lo tanto, razonamos que la erosión hídrica es un factor que expande la pérdida de la creación y la biodiversidad de los suelos (p. 22).

La erosión hídrica laminar es uno de los componentes fundamentales responsables de la degradación de los suelos en muchos territorios del mundo. Cuantificar el tamaño del problema y evaluar o anticipar la adaptación de medidas de conservación en su objetivo de reducir la erosión son dos de las aplicaciones de las ecuaciones de estimación, por ejemplo, RUSLE (ecuación universal de pérdida de suelo revisada). Debido a este problema, el uso de RUSLE es de gran importancia para ayudar a medir y prevenir los problemas causados por la erosión hídrica (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2016).

La cuenca hidrográfica está establecida por la región que delimita el curso de un río y el espacio donde el agua se funde en un canal similar, es todo lo que emerge que cuando llueve el agua cae en un canal o cuenca; Esa área de captación o contenedor es una cuenca. La erosión del suelo en Ecuador está progresando a un ritmo inquietante, con regiones grandes e ineficientes que se ven a lo largo del

callejón Interandino en vista de esta maravilla. Los elementos que interceden en este procedimiento son cambiados; Sin embargo, el agua es uno de los principales especialistas erosivos, por lo que es esencial pensar sobre la erosión hídrica, su procedimiento, factores y estructuras. La importancia de los componentes que impactan en este tema los convierte en una explicación detrás del examen, debido al impacto y la forma en que se muestran (Noni y Trujillo, 1986).

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

Se conoció que la erosión hídrica laminar o en regueros es uno de los principales mecanismos responsables de la degradación de los suelos de muchas zonas del mundo. Cuantificar la magnitud del problema y evaluar o predecir la efectividad de las medidas de conservación en su objetivo de reducir la erosión son dos de las aplicaciones más importantes de las ecuaciones de estima como la RUSLE.

En su apreciación por su progreso en la agricultura, la industria y el comercio en la provincia de Los Ríos del cantón Palenque, tiene una región agrícola imperativa, particularmente razonable para la producción de arroz, maíz, cacao, banano, sandía, etc.

La cuenca ha sufrido los ataques de la naturaleza, debido a predominantemente, a los fenómenos físicos y antropogénicas que dan seguimiento a los procedimientos geomorfológicos que ocurren en los años como inundaciones o períodos secos. Los inviernos de 1982 y 1997 (Fenómenos del Niño) arrasaron la red vial de la provincia de Los Ríos, destruyeron un gran número de hectáreas de suelo cultivables y agobiaron a varias poblaciones rústicas y urbanas, se crearon pérdidas de suelos de la capa arable y una gran cantidad de pérdidas monetarias.

La degradación de una cuenca, se evalúa la naturaleza del suelo, el agua, el aire y la cobertura vegetal. El suelo es un elemento terminante y se considera un recurso primordial, otros obtienen de él, por ejemplo, la vegetación. El parámetro de cobertura de planta se refiere al límite de la vegetación para impedir el arrastre de sedimentaciones, si el suelo permanece desnudo en la temporada de precipitación, el límite de separación y arrastre del material es mayor que si tuviera algún tipo de cobertura vegetal. En el momento en que los cultivos se presentan en suelos con pendiente, en algunos casos se utilizan prácticas mecánicas para disminuir el agua de desbordamiento y, posteriormente, la medida del suelo que puede transportarse.

1.2.2 Formulación del problema

¿Cuál es la medida del suelo que se pierde debido a la erosión hídrica en el cantón Palenque en la provincia de Los Ríos, utilizando la ecuación de RUSLE a un sistema información geográfica?

1.3 Justificación de la investigación

En el presente trabajo investigativo se evaluará las pérdidas de suelo por erosión hídrica en el cantón Palenque.

En la actualidad, la conservación del medio ambiente sobrelleva la revisión de los sistemas de manejos del suelo a nivel de alterar este recurso. Y a su vez gestionar medidas de conservación y mitigación de este problema.

Este proyecto permite medir y conocer las áreas que están influenciadas por la erosión hídrica. Además, monitorear las medidas de conservación de este problema, lo que ayudará a los agricultores y técnicos a tomar decisiones para la conservación del suelo.

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el cantón Palenque en la provincia de Los Ríos con un área de 554607 Km² y un perímetro de 139683 Km.
- **Tiempo:** El trabajo investigativo se realizó desde agosto hasta enero de 2020.
- **Población:** La investigación está orientada a proporcionar información a los agricultores y técnicos del agro en el cantón Palenque.

1.5 Objetivo general

Diagnosticar la pérdida de suelos en el cantón Palenque mediante la integración de la ecuación universal de pérdida de suelos (RUSLE) a un SIG.

1.6 Objetivos específicos

- Crear mapas de pérdida de suelos mediante el uso de un sistema de información geográfica
- Determinar las zonas más sensibles ante el problema de la erosión hídrica.
- Establecer un plan de manejo del suelo de las zonas sensibles

1.7 Hipótesis

Mediante la integración de la ecuación universal de pérdida de suelos revisada (RUSLE) a un sistema de información geográfica se puede determinar en qué grado de degradación por erosión se encuentran los suelos del cantón Palenque.

2. Marco teórico

2.1 Estado del arte

Los procesos de estimación de degradación son materiales que permiten apreciar a través de una muestra cuantitativo el nivel de degradación presente, y los resultados concebibles del control del procedimiento a través de un agregado de metodologías de manejo. Los modelos pueden dar un indicador en términos totales, cuando hablan lo suficiente de lo que ocurre realmente, o relativo, cuando la importancia de su utilización se encuentra en las igualaciones entre circunstancias, para ayudar a la toma de decisiones sobre la conducción. Concluye que la estrategia para la estimación de los resultados de degradación se identifica específicamente con la razón que se dará a los resultados obtenidos (Cisneros, et al., 2012, p. 74).

RUSLE se usó para predecir la pérdida de suelo por el agua (es decir, la capa y el arroyuelo) en toneladas / ha / año para 962 tratados arrendados en Nebraska y Dakota del sur. Los datos de estos 962 tratados fueron entonces ampliados para ser representativo de la población. Todos los tratados fueron compartidos o en efectivo arrendados, y los encuestados informaron que eran su (s) tracto (s) arrendado más típico o más importante. La erosión del suelo se estimó en un total de 1, 594,397 ha (expandido) en los dos estados. Un poco más de la mitad de estos ha, 55% u 874,676 ha, estaban en Nebraska (Cole, 2015).

“En México, considera que demuestran el papel clave por la cobertura vegetal en el proceso erosivo de la lluvia. El objetivo del proyecto fue evaluar la erosión del agua, aparte de estudiar los impactos de los ajustes en la utilización de la tierra de la cuenca del río Cahoacán situado en la deriva de Chiapas” (León, 2013, p.9).

Osinaga (2014) efectuó un trabajo de estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Juramento-Salta, en el que concluye que la

utilización de parámetros es modificable por el hombre $A = R * K * L * S * C * P$ del modelo paramétrico RUSLE permitió reconocer territorios de alto peligro de posible erosión hídrica. Solo el 47% de la superficie de la cuenca no presentaría problemas importantes de degradación, el resto se compara pérdidas significativas del suelo (p. 38).

2.2 Bases teóricas

El suelo es el soporte y la disposición personal que conocemos sin este recurso no existiría bienestar y mejora, al ser el suelo un recurso no sostenible, su disminución es a menudo irreversible y de terribles consecuencias para el ecosistema, el suelo se ve continuamente socavada por una progresión de acciones humanas que contribuyen a su degradación. El suelo es un activo esencial de importancia para la existencia que se conoce (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2015).

La erosión de los suelos es un fenómeno que ocurre en todo el mundo y en casi todos los ecosistemas; se estudia su importancia, esto obtiene graves efectos tanto en el medio ambiente como en la población y su bienestar, dentro de la degradación de los suelos la de mayor influencia sobre el ecosistema es la erosión del suelo, la mayor influencia en la degradación del suelo es la erosión debido al incremento de la pérdida de suelo que esto forma (Román, 2014).

La degradación de los suelos es el resultado de uno o unos pocos procedimientos que originan la pérdida general o fraccionada de su rentabilidad. Estos procedimientos pueden ser físicos, químicos o biológicos. Una gran parte del área agrícola en el distrito de Pampa, particularmente en la subregión de Pampa Ondulada, sufre algún tipo de degradación, la erosión es una de las más destacadas. La erosión hídrica es el procedimiento mediante el cual el suelo y sus partículas son aislados por el agua, debido a la erosión hídrica, los átomos del suelo se aíslan y, por lo tanto, pierden su eficiencia (Michelena, 2016).

El suelo tiene una tasa de degradación rápida y una velocidad de desarrollo moderada. Se considera degradación del suelo al perder o reducir la rentabilidad física, química, natural. Hay algunos factores que afectan la degradación del suelo, entre ellos hay una interrelación que hace que su investigación sea problemática. Uno de los principales es la erosión, que es causada por el impacto del viento o el agua (Arrúe, 2016).

La degradación es la pérdida de suelo. En el momento en que las gotas de lluvia golpean el suelo, deterioran sus partículas. El tamaño con el que esto sucede se basa en el tamaño y la velocidad de las gotas de lluvia; la degradación del suelo está específicamente relacionada con la fuerza de precipitación que existe en el lugar (Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo [GTIS], 2015).

La erosión es una anómala topográfica característica causada por la actividad del agua o el viento, que causa la pérdida de partículas del suelo. La erosión del suelo desde la perspectiva de la ciencia de la tierra es cierta como resultado del desarrollo de sedimentos y los nutrientes en las cuencas, manteniendo una medida de nutrición en los valles aluviales y los deltas. La extensión o el punto de inicio de la erosión se basan en elementos específicos y sus agregaciones, como la vertiente, meteorología, tipos de suelo y la cobertura vegetal (Román, 2014).

2.2.1 Desgaste del suelo por erosión hídrica

La erosión hídrica se comprende como el desgaste del suelo por la actividad del agua, lo que provoca una disminución en la sustancia mineral y natural, este procedimiento se acelera, cuando el ambiente se modifica por la actividad del hombre, completando las prácticas agrícolas, los cambios en la utilización de la tierra, la deforestación. Esto sería visto como uno de los impulsores fundamentales de la erosión (Falcón, 2013).

“La erosión es observada como la separación del suelo por parte agentes de condición física, en estado mundial es un destacado entre los problemas ecológicos más extremos. El 80% de la superficie del planeta muestra este fenómeno” (Morales, 2014, p. 75).

“La energía de las precipitaciones se dispersa en la superficie de la tierra creando el rompimiento de las masas y agregados, produciendo una salpicadura (erosión por salpicadura) que emite partículas que luego se arrastran vertientes abajo” (Gaitán et al., 2015, p. 73).

La cobertura vegetal como técnica dentro de la práctica de manejo y conservación de suelos en tierras inclinadas debe prevalecer por encima de obras físicas o estructurales ya que estas últimas son difíciles de adoptar por parte del agricultor debido a su elevado costo económico (Marcillo et al., 2014).

Los resultados de la erosión del suelo, es la disminución del volumen para desarrollar sus capacidades, a veces la pérdida de los horizontes completos, en todo caso, este fenómeno también tiene impacto en las cuencas, ya que el agente contaminante y nutriente influyen directamente en su entorno, tiene resultados negativos en diferentes regiones, por ejemplo, embalses, puertos, etc. (Frers, 2014).

2.2.2 Factores de la erosión hídrica

La medida del agua existente, el viento y su utilización. Uno de los elementos primarios es el agua. Uno de los tres componentes iniciales puede mantenerse estable. Como regla general, se basa en la seguridad de la cobertura vegetal, en las zonas de gran precipitación, la arena se erosiona en las pendientes y pasa por las corrientes del agua. En las zonas donde se halle más arcilla, la erosión será menos extrema (Mejía, 2015).

A pesar del hecho de que la erosión hídrica es un procedimiento característico causado principalmente por precipitaciones grandes, la geografía, bajo problema natural del suelo y la tasa y el tipo de cobertura vegetal, algunos acciones humanas, por ejemplo, sistemas de desarrollo cultivo inadecuadas, ajustes de la las condiciones hidrológicas, la deforestación y la minimización o la rendición de tierras, aumentan y agilizan (Lugo y Rey, 2013).

La erosión puede tener algunos puntos de partida y, de manera regular, cuando localizamos con un procedimiento erosivo, se debe a la combinación de algunas de estas causas, no solo a una de ellas. A pesar de que estos procedimientos pueden ser regulares, a menudo descubrimos la mano del hombre en su iniciación (Koppes, 2014).

2.2.3 La dificultad de la erosión hídrica de los suelos

Los recursos naturales en la disminución en los países de América Latina, es el problema ambiental más difícil que enfrentan estas naciones. Mucho más debido a que su futuro depende de la utilización competente de esos recursos. Su abuso y degradación devastan a los estados y contamina al medio. Es un legado ilimitado en cuya pérdida financieros de confianza y libre empresa han actuado y siguen actuando de manera negativa, al igual que los componentes sociales y financieros que, en su extraordinaria mayor parte, se producen en el subdesarrollo (Castro, 2013).

2.2.4 Ecuación universal de pérdida de suelos revisada (RUSLE)

RUSLE es un método que utiliza seis factores: erosividad de la lluvia (R), susceptibilidad de erosión del suelo (K), largo de la pendiente (L), magnitud de la pendiente (S), cubierta y manejo de cultivos y residuos (C), y prácticas de conservación (P), para estimar la pérdida de suelos promedio (A) por el período de

tiempo representado por R, generalmente un año $A = R * K * L * S * C * P$ (García, Clérici y Terra, 2015).

A: Es la pérdida de suelos calculada por unidad de superficie, expresada en las unidades seleccionadas para K y el período seleccionado para R, generalmente toneladas (t) hectárea (ha)⁻¹ año⁻¹.

R: El factor lluvia y escurrimiento, es el número de unidades de índice de erosión pluvial (EI), más un factor para escurrimiento por derretimiento de nieve o aplicación de agua. (EI) para una tormenta es el producto de la energía total de la tormenta (E) y su máxima intensidad en 30 minutos (I).

K: El factor susceptibilidad de erosión del suelo, es la tasa de pérdida de suelos por unidad EI para un suelo específico, medido en una porción de terreno estándar (22.13 m de largo, 9% pendiente, en barbecho y labranza continua).

L: El factor de largo de la pendiente, 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).

S: El factor de magnitud de la pendiente, 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.

C: El factor cubierto y manejo, 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.

P: El factor de prácticas de apoyo de conservación, es la proporción de pérdida de suelo con una práctica de apoyo como cultivo en contorno, barreras vivas, o cultivo en terrazas, con respecto a aquella labranza en el sentido de la pendiente (García, Clérici y Terra, 2015).

La metodología RUSLE fue desarrollada para superar algunas de las limitaciones de USLE. Sus avances incluyen:

- Computarización de algoritmos para facilitar los cálculos.
- Nuevos valores de erosividad de lluvias-escurrimientos (R) en el oeste de los Estados Unidos (condiciones áridas), basado en más de 1200 localidades.
- Desarrollo de un término de susceptibilidad del suelo a la erosión estacionalmente variable (K) y métodos alternativos de estimación de K cuando el nomograma no es aplicable.
- Un nuevo método para calcular el factor cobertura-manejo (C), utilizando subfactores que incluyen uso previo de la tierra, cobertura vegetal del suelo (incluyendo fragmentos de roca en la superficie), y rugosidad del terreno.
- Nuevas formas de estimar los factores de largo y magnitud de la pendiente (LS) que consideran porcentajes de erosión. La capacidad de ajustar el (LS) para pendientes de forma variable.
- Nuevos valores de prácticas de conservación (P) para cultivo en fajas alternadas, uso de drenaje subterráneo, y praderas (World Reference Base for Soil Resources [WRB], 2014).

2.2.5 Sistema de información geográfica

A partir del año de 1960, con la edad del principal sistema de información geográfica (SIG), hubo un cambio total en el tratamiento, investigación, organización y administración de la región. Los mapas en papel o tela que hasta el momento en que ese minuto había servido para hablar con la asociación y la distribución de los recursos naturales en una región, superados por estas nuevas tecnologías, que así creó otra metodología sobre el espacio territorial (Cisneros, 2012).

“SIG pretende permitir la administración de grandes cantidades de información ambientales con referencia topográfica y constituye una innovación de vanguardia para expertos en ciencias de la tierra y cualquier investigación o control identificado con un análisis espacial” (Cisneros, et al. 2013, p. 290).

2.2.5.1. Modelo vectorial

“El punto focal del interés está en los elementos geográficos y su ubicación en el espacio. Para modelizar las formas del mundo real se manejan tres tipos de elementos espaciales: puntos, líneas y polígonos” (Sendra, 2014, p. 9).

- Los puntos son objetos espaciales de 0 (cero) medidas (0D): tienen un área en el espacio, sin embargo, no tienen longitud ni ancho. Cualquier pregunta topográfica cuyas mediciones carezcan de importancia desde un punto de vista cartográfico, por ejemplo, casas de campo o puestos, las estaciones meteorológicas.
- Las líneas son objetos espaciales de una medida (1D), ya que tienen longitud, pero no ancho. Las líneas se caracterizan por una progresión de enfoques. Normalmente se habla de los componentes mediante líneas que se incorporan a los sistemas, independientemente de si son características (por ejemplo, sistemas hidrográficos) o artificiales (por ejemplo, rutas o alambrados).
- Los polígonos son objetos espaciales de dos medidas (2D), ya que obtienen longitud y anchura. Se les constituyen por una progresión de líneas que están cierran (un anillo).

2.2.5.2. Modelo raster

Para esta situación, se habla los individuos geográficos según lo indicado por una regla de ubicación y temático. El espacio se divide en segmentos de tamaño y forma equivalentes mediante la superposición de una red habitual y, a continuación,

se describen las propiedades de esos segmentos del espacio, normalmente en varias capas. La retícula o la grilla son normalmente de unidades cuadradas con el objetivo de que cada una de las celdas se simbolice con un poco del espacio. Por lo tanto, el programa ráster propone una estimación en vista de los elementos básicos (celdas), que se pueden reunir para establecer objetos complejos que establezcan de los componentes del mundo real (Sendra, 2014).

2.2.6 Aplicaciones de SIG

El software es parte del componente de los actuales sistemas de información geográfica. Admiten la manipulación, análisis y visualización de investigación de forma rápida y segura. Cada software SIG es un incorporado de algoritmos para acceder, analizar y sintetizar datos espaciales y sus propiedades asociados. Algunas funciones son clásicas y las localizamos en simplemente todos los paquetes SIG y otras funciones son más específicas. Existen software que se centran más en el trabajo de la cartografía vectorial y otros para la cartografía ráster. Casi todos ya manejan ambos formatos, aunque con predominio de uno de ellos (Abasto, 2016).

La opción del software SIG depende de las aplicaciones y análisis. No hay un líder entre los softwares, unos tienen buenas herramientas para el procedimiento de imágenes satelitales y otros contienen una extensa gama de módulos para el modelado y evaluaciones estadísticas. Los usuarios distinguidos suelen utilizar varios programas diferentes, dependiendo de las características de los datos y las aplicaciones (Sendra, 2014).

Decidiéndose por decisiones acertadas y exactas de los gobiernos estatales y metropolitanos, y en situación de la dependencia, existe un nivel decidido de mejora a nivel estatal. En otras palabras, contienen datos en su intervalo que sirven a

diversas capacidades según lo indicado por el usuario, para toma de decisiones (Abasto, 2016).

2.3 Marco legal

Este trabajo investigativo se acopla al Plan Nacional del Buen Vivir en el objetivo 3 mejorar la calidad de vida de la población, ajustado a las políticas y lineamientos estratégicos número 3.10 en donde se garantiza el acceso universal, permanente, sostenible y con calidad a agua segura y a servicios básicos de saneamiento, con pertinencia territorial, ambiental, social y cultural.

Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria Principios generales

Artículo 1. Finalidad. - Esta Ley tiene por objeto establecer los mecanismos mediante los cuales el Estado cumpla con su obligación y objetivo estratégico de garantizar a las personas, comunidades y pueblos la autosuficiencia de alimentos sanos, nutritivos y culturalmente apropiados de forma permanente.

El régimen de la soberanía alimentaria se constituye por el conjunto de normas conexas, destinadas a establecer en forma soberana las políticas públicas agroalimentarias para fomentar la producción suficiente y la adecuada conservación, intercambio, transformación, comercialización y consumo de alimentos sanos, nutritivos, preferentemente provenientes de la pequeña, la micro, pequeña y mediana producción campesina, de las organizaciones económicas populares y de la pesca artesanal así como microempresa y artesanía; respetando y protegiendo la agro biodiversidad, los conocimientos y formas de producción tradicionales y ancestrales, bajo los principios de equidad, solidaridad, inclusión, sustentabilidad social y ambiental. El Estado a través de los niveles de gobierno nacional y subnacionales implementará las políticas públicas referentes al régimen de soberanía alimentaria en función del Sistema Nacional de Competencias establecidas en la Constitución de la República y la Ley.

Artículo 3. Deberes del Estado. - Para el ejercicio de la soberanía alimentaria, además de las responsabilidades establecidas en el Art. 281 de la Constitución el Estado, deberá:

- a. Fomentar la producción sostenible y sustentable de alimentos, reorientando el modelo de desarrollo agroalimentario, que en el enfoque multisectorial de esta ley hace referencia a los recursos alimentarios provenientes de la agricultura, actividad pecuaria, pesca, acuicultura y de la recolección de productos de medios ecológicos naturales;
- b. Establecer incentivos a la utilización productiva de la tierra, desincentivos para la falta de aprovechamiento o acaparamiento de tierras productivas y otros mecanismos de redistribución de la tierra;
- c. Impulsar, en el marco de la economía social y solidaria, la asociación de los microempresarios, microempresa o micro, pequeños y medianos productores

para su participación en mejores condiciones en el proceso de producción, almacenamiento, transformación, conservación y comercialización de alimentos;

- d. Incentivar el consumo de alimentos sanos, nutritivos de origen agroecológico y orgánico, evitando en lo posible la expansión del monocultivo y la utilización de cultivos agroalimentarios en la producción de biocombustibles, priorizando siempre el consumo alimenticio nacional;
- e. Adoptar políticas fiscales, tributarias, arancelarias y otras que protejan al sector agroalimentario nacional para evitar la dependencia en la provisión alimentaria;
- f. Promover la participación social y la deliberación pública en forma paritaria entre hombres y mujeres en la elaboración de leyes y en la formulación e implementación de políticas relativas a la soberanía alimentaria (Ministerio del Buen Vivir, 2016, p. 2).

3. Materiales y métodos

3.1 Enfoque de la investigación

El procedimiento investigativo tiene un enfoque cualitativo y se concentró la recopilación de información computarizada que se establece oficialmente dentro del cantón Palenque en la provincia de Los Ríos. Para analizar y sintetizar el contenido

3.1.1 Tipo de investigación

Este estudio es de tipo investigación documental sobre la base se expone la metodología a través de un sistema información para la estimación de la perdida de suelo, el nivel de conocimiento de la investigación es descriptiva

3.1.2 Diseño de investigación

Este diseño no es experimental, ya que se utilizó una investigación descriptiva en la recopilación de datos obtenidos de diferentes fuentes certificadas.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1. *Variable independiente*

Las variables independientes en este caso son:

Condiciones del suelo

Tipo de suelo arcilla, limo, arena (porcentaje)

Parámetro de permeabilidad (adimensional)

Parámetro estructura del suelo (adimensional)

Condiciones agroclimáticas

Precipitación (mm)

3.2.1.2. *Variable dependiente*

Para la aplicación de la ecuación universal de pérdidas de suelos revisada RUSLE se tienen las siguientes variables dependientes:

Determinación del factor R

Se determinó el factor de erosividad de lluvias que se realizó a través de la interpolación de las isoyetas.

Determinación del factor K

Se comenzó los objetivos del factor (K) utilizando la fórmula, también se utilizó excel, y luego se manejó la capacidad de la función distancia inversa ponderada (IDW) para interpolar los tipos de suelos que existen en cada zona donde se estableció calicata dentro del cantón Palenque.

Determinación del factor LS

El factor LS se obtuvo mediante métodos para una imagen de modelos digitales de elevación (DEM), en ese punto se cambió a una imagen raster para producir una similitud, que mediante métodos algebraicos de mapas nos permitió ingresar la ecuación solicitada para el cálculo de L el factor longitud y el factor S pendiente por separado.

Determinación del factor C

Este factor también se adquirió mediante la interpolación de información no manipulable que existe en el cantón Palenque, esto se conectó a los cultivos presentes de la zona de estudio, esto depende del cultivo que demuestran una afectividad al golpe que forman las gotas al estrellar el suelo.

Determinación del factor P

Debido a que no existe información sobre las prácticas de conservación llevadas a cabo en la cuenca, no se ha obtenido en cuenta este factor en el cálculo. Por ello se aplicado un valor constante de 1.

3.2.2 Recolección de datos

3.2.2.1. Recursos

Se adquirió mediante la recopilación de información, mediante una geoinformación de gran alcance de todos los factores actuales dentro de la zona de estudio que se analizó y su respectiva caracterización, se establece una base de información en excel y la herramienta ArcGIS para crear mapas que nos permiten observar con una adecuada presentación, suficiente para adquirir resultados.

3.2.2.2. Procedimientos

Se continuó delimitando el cantón Palenque en la provincia de Los Ríos y georeferiéndolo, se procedió a obtener datos por forma de imágenes modelo digital de terreno (MDT) e información y datos obtenidos por la NASA. Se configuró algunas tablas de datos con la información vital, por ejemplo, composiciones del suelo, características, la cobertura vegetal con sus valoraciones. Se solicitó ayuda del programa excel para obtener el resultado al comprender el valor de la ecuación para sí adquirir el factor K. (erosión del suelo), esto se completó a la información proporcionada por Sig-tierras y el instituto del espacio ecuatoriano a través de una investigación de los suelos por métodos de calicatas, también se tomó información de la isoyetas que se adquirió por el INAMHI, para sí obtener la información de la fuerza climática de la zona , para el factor topográfico se utilizó una imagen DEM que se cambió a un imagen raster para aplicar con el tipo de la compatibilidad con el álgebra de mapas, posteriormente, se obtuvo los datos necesarios para conocer las características de la zonas de estudio.

Se realizó este proceso en los siguientes factores:

- DEM (georreferenciado)

- Relleno (Fill)
- Pendiente (Slope)
- Dirección del flujo (Flow direction)
- Acumulación (Flow accumulation)
- Estaciones meteorológicas, se obtuvo el factor R mediante el método spline.
- Se obtuvo el factor C mediante la conversión de vectorial a raster.
- Se obtuvo el factor K mediante la interpolación de puntos (método IDW).
- Raster Calculator (se calculó el factor F)
- Raster Calculator (se calculó el factor M)
- Raster Calculator (se calculó el factor L)
- Raster Calculator (se calculó el factor S)
- Raster Calculator (se calculó el factor LS)

3.2.2.3. Determinación de la erosividad de lluvias (factor R)

Se determinó el factor de erosividad de lluvias que se realizó a través de la interpolación de las isoyetas que se adquirió del instituto nacional de meteorología e hidrología (INAHMI), se estimó en base de la información de las isoyetas, por lo que se establece estaciones meteorológicas, para utilizar el método spline, con el objetivo de interpolar los datos, se obtiene el mapa de erosividad de lluvias del cantón.

3.2.2.4. Índice de Fournier modificado

“El índice de Fournier modificado (IFM) se aplicó a precipitaciones anuales y mensuales, y se presenta como una aproximación rápida al establecimiento de un factor de agresividad de la lluvia. Su cálculo relaciona las precipitaciones mensuales con las anuales y está representado por la ecuación” (Crettaz, Gvozdenovich y Saluzzio, 2016, p. 7).

$$\text{IFM} = \sum \frac{p^2}{P}$$

Siendo (p) la precipitación acumulada mensual y (P) la precipitación acumulada anual, ambas expresadas en mm.

Este índice puede ser calculado por dos procedimientos:

- 1) Utilizando los valores de precipitación mensual promedio para un periodo determinado, obteniéndose así el IFM₁
- 2) Calcular el índice para cada uno de los años y promediando estos valores posteriormente, obteniendo el IFM₂. Los valores del IFM pueden ser clasificados, de la siguiente manera:

Tabla 1. Rango del cálculo IFM

(IFM) Rango	Descripción
<60	Muy bajo
60-90	Bajo
90-120	Moderado
120-160	Alto
>160	Muy alto

Fournier (1960).

El factor R se refiere a un valor anual promedio del índice de erosividad de las lluvias, el cual se puede expresar como:

$$R = \frac{1}{na} \sum_{k=1}^{na} \left(\sum_{i=1}^{ne} (E * I30) i \right)$$

Dónde:

- E, es la energía cinética de un evento de lluvia.
- I30, es la máxima intensidad en 30 minutos durante un evento i de lluvia.
- ne, es el número de eventos de lluvia ocurridos en el año.

- na, es el número de años.

3.2.2.5. Determinación de la erodabilidad de los suelos (factor K)

Se determinó el factor K, se utilizó datos Sig-tierras y también del instituto espacial ecuatoriano (IEE), y también se aplicó datos obtenidos sobre levantamiento de suelo ya establecido en el cantón Palenque dispuesto por el MAG, se comenzó los objetivos del factor K utilizando la fórmula, también se utilizó excel, y luego se manejó la capacidad de la función distancia inversa ponderada (IDW) para interpolar los tipos de suelos que existen en cada zona donde ya está establecido información sobre calicata dentro del cantón Palenque, lo que resultó en el mapa la erodabilidad de los suelos que demostró la erosión hídrica.

En donde:

- $M = (\% \text{ limo} + \text{arena muy fina}) * (100 - \% \text{ arcilla})$
- a = % de materia orgánica
- b = código de estructura de suelo
- c = clase de permeabilidad

Tabla 2. Permeabilidad de los suelos para la agricultura y su conservación

Clases de permeabilidad de los suelos	Índice permeabilidad ¹	
	cm/hora	cm/día
Muy lenta	< de 0.13	< de 3
Lenta	0.13 - 0.3	3 - 12
Moderadamente lenta	0.5 - 2.0	12 - 48
Moderada	2.0 - 6.3	48 - 151
Moderadamente rápida	6.3 - 12.7	151 - 305
rápida	12.7 - 25	305 - 600
Muy rápida	> de 25	> de 600

Kirkby y Morgan (1980).

Tabla 3. Porcentaje de materia orgánica

Textura	% de materia orgánica		
	0.0 – 0.5	0.5 – 2.0	> 2.0
Arena	0.007	0.004	0.003
Arena fina	0.021	0.018	0.013
Arena muy fina	0.055	0.047	0.037
Arena franca	0.016	0.013	0.011
Arena fina franca	0.032	0.026	0.021
Arena muy fina franca	0.058	0.050	0.040
Franco arenosa	0.036	0.032	0.025
Franco arenosa fina	0.046	0.040	0.032
Franco	0.050	0.045	0.038
Franco limosa	0.063	0.055	0.043
Limo	0.079	0.068	0.055
Franco arcillo arenosa	0.036	0.033	0.028
Franco arcillosa	0.037	0.033	0.028
Franco arcillo limosa	0.049	0.042	0.034
Arcillo arenosa	0.018	0.017	0.016
Arcillo limosa	0.033	0.030	0.025
Arcilla	0.017	0.038	

Kirkby y Morgan (1980).

3.2.2.6. Determinación de la longitud de la pendiente (factor LS)

El factor LS se obtuvo datos sacados desde la web de la NASA mediante métodos para una imagen de modelos digitales de elevación (DEM), en ese punto se cambió a una imagen ráster para producir una similitud, que mediante métodos algebraicos de mapas, esto permitió ingresar la ecuación solicitada para el cálculo

de L el factor longitud y el factor S pendiente por separado, una vez conseguido ambos se multiplico, se utilizó la misma herramienta, que se ha obtenido principio al factor LS que nos demostró la geografía del cantón Palenque.

El efecto de la topografía se abordó combinando el grado de pendiente y la longitud de la pendiente utilizando un modelo de elevación digital, con levantamiento topográfico de curvas de niveles.

El cual se calculó mediante la ecuación:

$$LS = (1/22.13)^m (65.41 \text{ sen}^2 \alpha + 4.45 \text{ sen } \alpha + 0.065)$$

L= longitud de la pendiente en metros

α = ángulo de la pendiente

m= 0.5 para pendientes iguales o mayores de 5%

0.4 para pendientes entre 3.5 y 4.5%

0.3 para pendientes entre 1.0 y 3.0

0.2 para pendientes uniformes menores de 1%.

Tabla 4. Clases, Rangos y Descripción de pendientes.

Clase	Rango%	Descripción
1	0-5	Pendiente débil
2	5-12	Pendiente suave
3	12-25	Pendiente moderada
4	25-40	Pendiente fuerte
5	40-70	Pendiente muy fuerte
6	>70	Pendiente abrupta

Szabó (2015).

3.2.2.7. Determinación de cobertura vegetal (factor C)

Se determinó el factor de la cobertura vegetal, que se ha conseguido mediante la selección de información de los cultivos recientes dentro de la zona, que tienen

sus coeficientes constantes en función de cada uno; este factor también se adquirió mediante la interpolación de información no manipulable que existe en el cantón Palenque, esto se conectó solamente a los cultivos presentes en la zona, esto dependió del cultivo que demuestran una afectividad al golpe que forman las gotas al estrellar el suelo, esto correspondió específicamente al coeficiente de cada uno de ellos para impedir la erosión.

La cobertura vegetal se derivó de imágenes satelitales Landsat image ETM, dentro de la zona del cantón Palenque.

Tabla 5. Factor de cobertura vegetal C.

Cultivo y practica	Media anual del factor C
Suelo desnudo	1,0
Bosque o matorral denso, cultivos con alto porcentaje de mulch	0,001
Sabana o pradera herbácea en buenas condiciones	0,01
Sabana o pradera herbácea sobre pastada	0,1
Maíz, sorgo o mijo: alto rendimiento con laboreo convencional	0,2 - 0,55
Maíz, sorgo o mijo: alto rendimiento sin laboreo convencional	0,5 - 0,9
Maíz, sorgo o mijo: bajo rendimiento con laboreo mínimo o no laboreo.	0,02 - 0,1
Maíz, sorgo o mijo: alto rendimiento, laboreo con chisel entre residuos	0,12 - 0,2
Maíz, sorgo o mijo: bajo rendimiento, laboreo con chisel entre residuos	0,3 - 0,45
Pradera herbácea	0,01-0,025
Trigo	0,1 - 0,4

Wischmeier y Smith (1978).

3.2.2.8. Cálculo del Factor P (prácticas de conservación)

Debido a que no existe información sobre las prácticas de conservación llevadas a cabo en la cuenca, no se ha obtenido en cuenta este factor en el cálculo. Por ello se aplicó un valor constante de 1.

3.2.2.9. Determinación de la ecuación (factor A)

Se determinó los componentes importantes para la ecuación del factor A, esto resulto posterior a la estimación de la degradación de suelo, esto se calculó mediante métodos de álgebra de mapas, que se multiplico los factores, lo que da y también resulta la degradación de suelo por erosión hídrica en una forma anual. Esto se basa en una guía con varias áreas y caracterización con varios tonos que afirman en la medida de suelo que se pierde en cada una de estas zonas. Se determinó el factor A de la pérdida de suelo con la fórmula de RUSLE $A=R*K*LS*C*P$ (Gisbert, 2013).

Tabla 6. Rango de erosión del suelo

Nivel de erosión	t. ha ⁻¹ .año ⁻¹
Leve	<10
Moderada	10-50
Fuerte	50-200
Muy fuerte	>200

FAO., PNUMA y UNESCO. (1980).

3.2.2.10. Métodos y técnicas

3.2.2.10.1. Método deductivo

Después de obtener los datos de la zona de estudio fueron estimados con las imágenes de los mapas cuales darán como resultado una aceptación del contexto dando un criterio técnico y notable.

3.2.2.10.2. Método inductivo

Se indujo los resultados para que estos estén disponibles a toda persona que necesite esta información con el fin de poder evitar futuros efectos y concretar la incertidumbre que muchas veces se presentan en diferentes zonas del Ecuador.

3.2.2.10.3. Método analítico

Este método nos ayudó a conocer más sobre lo que se está analizando para tener una información precisa y poder estimar su procedimiento en el desarrollo del mismo.

3.2.2.10.4. Método sintético

Con este método lo que se consiguió fue es demostrar que todo necesita una recopilación de información para poder afirmar y confirmar sus resultados obtenidos.

3.2.3 Análisis estadístico

Se utilizó una estadística descriptiva de las diferentes variables como el factor R, factor K, factor LS, factor C, factor P y el porcentaje de arena, arcilla, limo y materia orgánica, también se utilizó la permeabilidad del suelo que es adimensional y la precipitación en (mm), toda esta variable se utilizó para la obtención de la ecuación de RUSLE para este estudio.

4. Resultados

4.1 Creación de mapas de pérdida de suelos en el uso de un SIG

4.1.1 Determinación del factor R: Erosividad de la lluvia

La integración del factor R para la zona del cantón Palenque se determinó utilizando el índice modificado Fournier. Este cálculo está asociado con la capacidad precipitación de provocar erosión hídrica, y reconoce en la precipitación media mes a mes (mm) y la precipitación media anual (mm)

Para la estimación la erosividad de lluvias, la información se obtuvo de datos históricos de 39 años de registro de precipitación de las estaciones meteorológicas.

Después de conocer el registro de precipitación obtenido desde 1981 y 2018 de las estaciones meteorológicas y proceso de estas cualidades a través de la estrategia planteado por Fournier utilizando la precipitación mes a mes (mm) como precipitación anualmente (mm), se obtuvo una estimación de 3.354,93 (Mjmm/ha*año), valor definido para el análisis de toda la zona.

La precipitación media mensual analizada desde 1981 hasta 2018 evidenció que las mayores precipitaciones del mes de febrero con 975,67 mm tiene un mayor riesgo de erosión hídrica. Por ende y con una baja precipitación se presenta en el mes de agosto con 2,41 mm que se considera un menor riesgo de erosión.

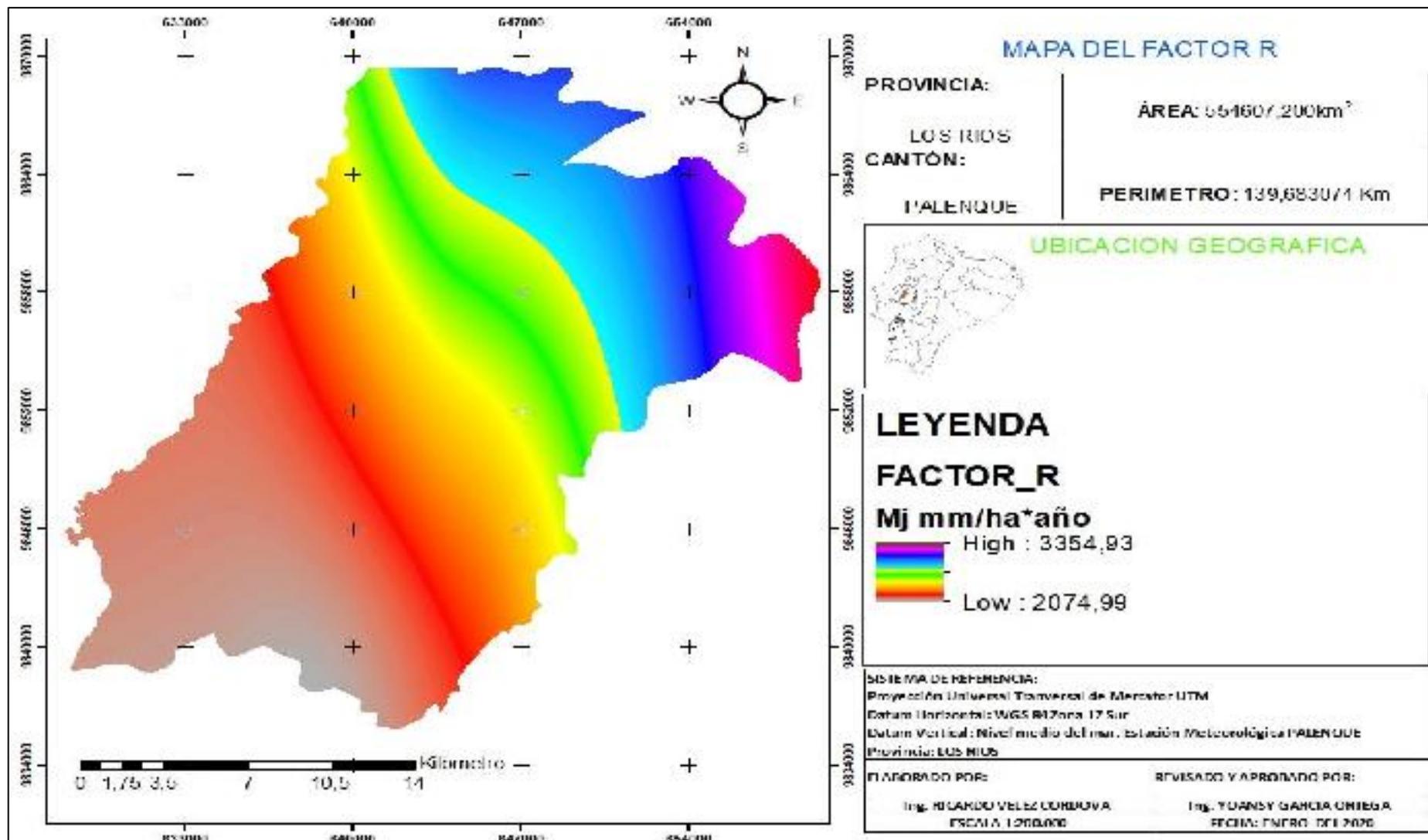


Figura1. Mapa 1. Factor R

Vélez, 2020

4.1.2 Determinación del factor K: Erodabilidad del suelo

Para el cálculo de la capacidad de erosión del suelo, el nivel de materia orgánica y la superficie del horizonte, se obtuvieron datos de calicatas gracias a Sig-tierras. Las características del factor K fueron asignada utilizando la técnica de Wischmeier y Smith, que emplea valores obtenidos asociando por la superficie de la textura y el contenido de materia orgánica, por lo tanto, han sido clasificados.

Tabla 7. Valores del coeficiente de erodabilidad factor K

Limo + arenas %	Arcilla %	M_O %	Permeabilidad	Factor_K
30,86	56,82	2,53	Moderada	0,14
34	52,82	2,58	Moderada	0,12
36,76	42,06	3,12	Moderada	0,26
34	54,82	5,15	Lenta	0,19
26,76	56,06	1,69	Lenta	0,19
40,76	40,06	3,23	Moderada	0,17
34,76	52,06	1,86	Lenta	0,24
36,86	48,82	2,98	Moderada	0,17
38,76	40,06	3,47	Lenta	0,26
28	52,82	2,3	Moderada	0,18
36,76	44,06	2,42	Lenta	0,26
36,76	44,06	3,32	Lenta	0,25
32,76	48,06	2,32	Moderada	0,17
48,76	42,06	3,51	Lenta	0,30
41,62	46,06	2,73	Lenta	0,27
38,86	38,82	4,18	Lenta	0,21
30,76	64,06	2,63	Lenta	0,22
28	49,68	2,86	Lenta	0,20

Vélez, 2020

A partir de esta tabla, se creó el mapa del factor K para las unidades de tierra encontradas. El porcentaje de área que el factor k, ocupa en la zona de

investigación. Con el 43,15 % de la superficie, el factor K (0,19), ocupa lo significativo de la superficie de la zona y con contenido de materia orgánica mayor a 2 %; con el 32,090 % con materia orgánica mayor a 2 % asociados a un factor K de 0,20; seguido con el 16,120 % con materia orgánica menor a 2 % que da un factor K de 0,17 y con materia orgánica mayor a 2% para un factor K de 0,21 ocupan el 8,640 % de la zona en estudio.

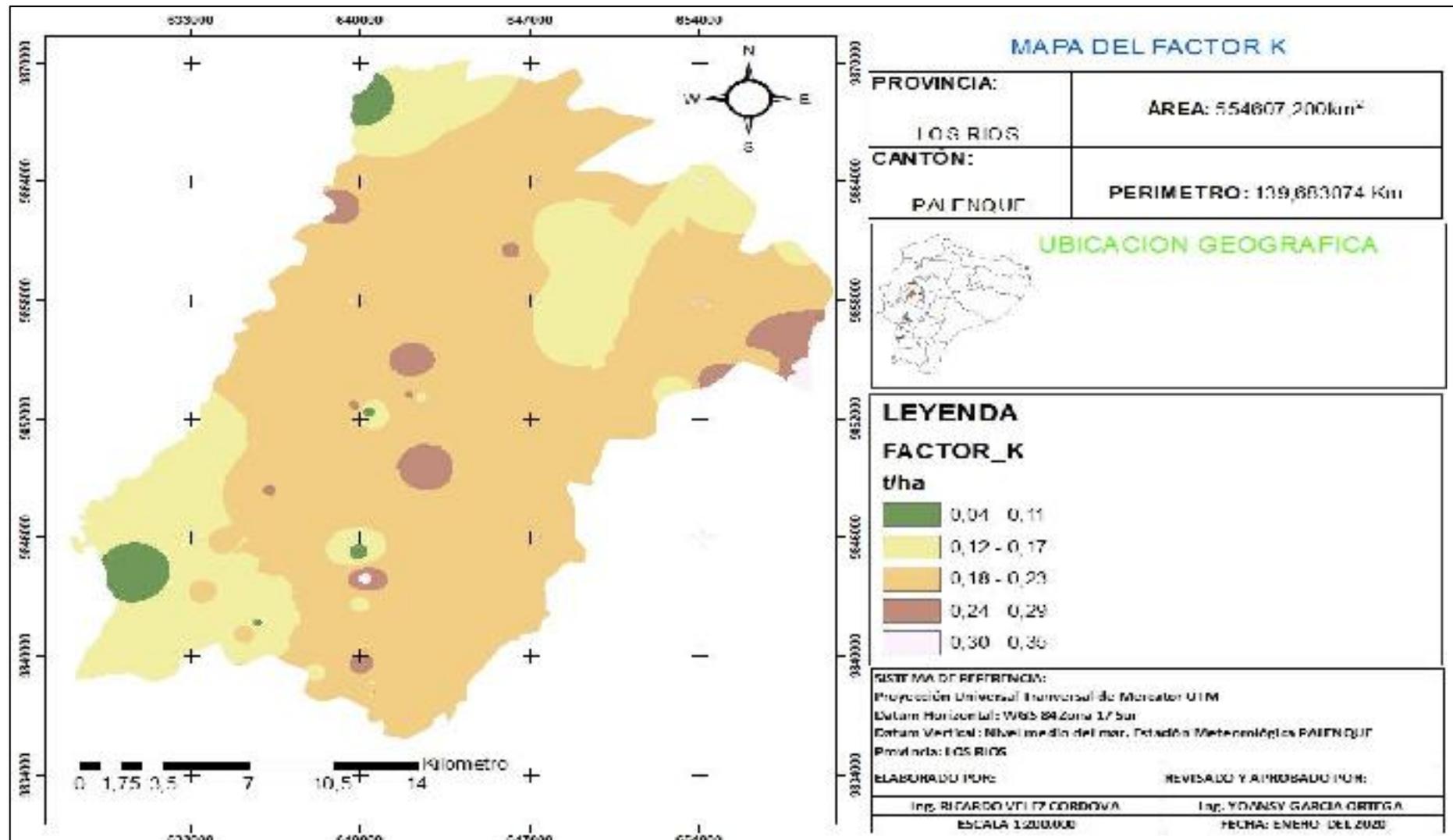


Figura 2. Mapa 2. Factor K
Vélez, 2020

4.1.3 Determinación del factor LS: Longitud y grado de la pendiente

El cálculo del factor LS se empleó a partir del modelo digital de elevaciones (DEM).

Las pendientes (S) en la zona de estudio oscilan entre el 0.03 – 8.8 %.

En la zona de estudio predominan las pendientes de 0,03 a 0,71% (pendiente plano) con 419.283 ha el 74,8 % del área de estudio, mientras que las pendientes de 8,8 a 15 % (pendiente ondulado) ocupan 1875 ha el 0,0003 % de la zona de estudio.

Tabla 8. Porcentaje de la pendiente

Porcentaje de pendientes	Superficie	
	Ha	%
0,03 a 0,71	419283700	74,7917
0,71 a 1,17	91599530	16,3395
1,17 a 1,74	35783750	6,3831
1,74 a 2,9	10713440	1,9111
2,9 a 3,87	2630625	0,4693
3,87 a 4,98	496093,8	0,0885
4,98 a 8,03	81875	0,0146
8,03 a 8,8	10781,25	0,0019
8,8 a 15	1875	0,0003
Total	560601670	100

Vélez, 2020

El factor LS resulta de la operación de los sub componentes L y S mediante el uso de la herramienta raster calculator. El factor L y S se trabajó mediante relleno (fill), pendientes (slope), dirección de flujo (flow direction), acumulación (flow accumulation). El factor LS varió entre 0,03 – 463,89.

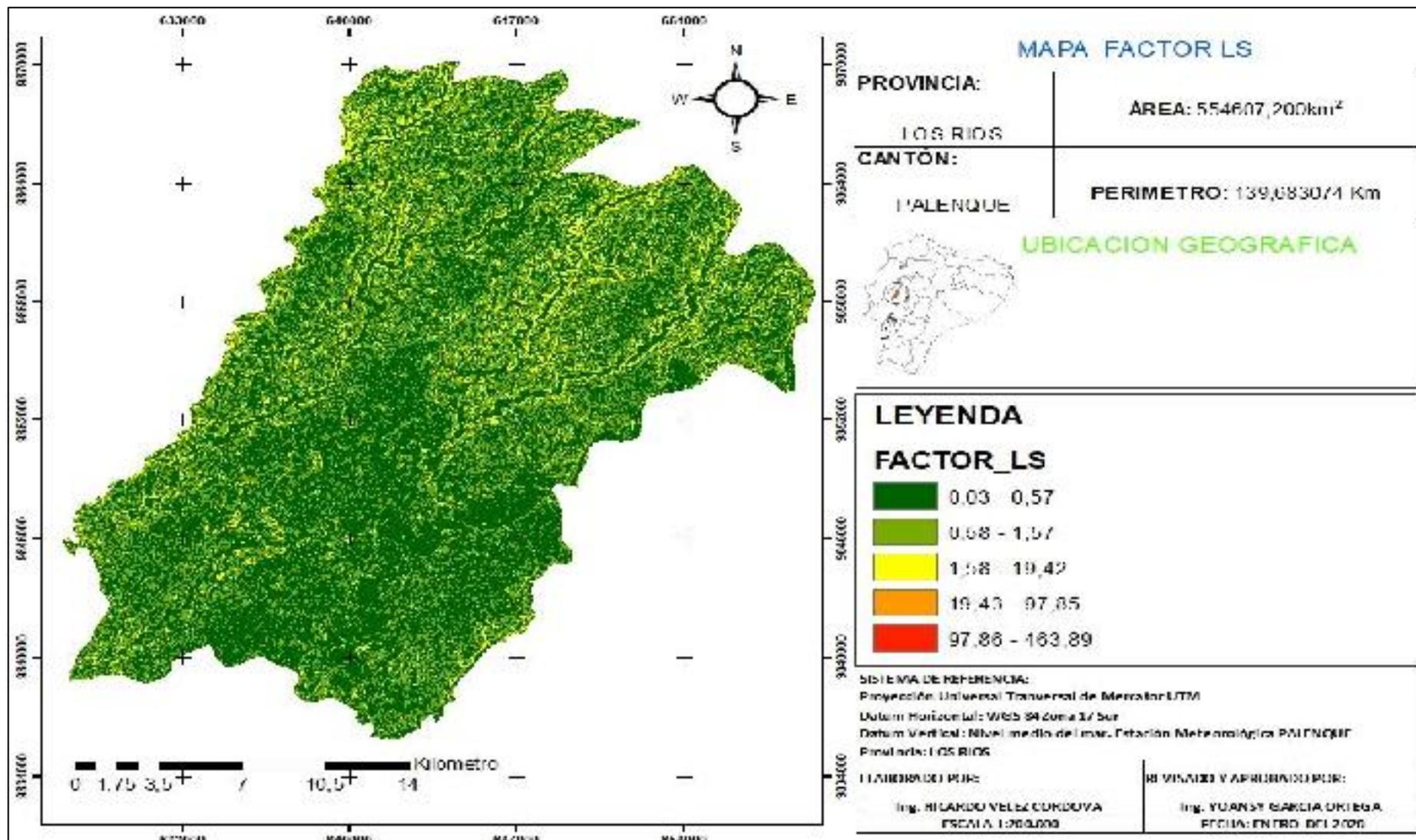


Figura 3. Mapa 3. Factor LS
 Vélez, 2020

4.1.4 Determinación del factor C: Cobertura del suelo

“Para la aplicación de los distintos valores del factor C en la zona de estudio se trabajó con mapas de Sig-terras, cobertura de uso del suelo.shp, a continuación, se distribuyó valores del factor C a las otras clases de vegetación empleando la tabla de” Wishmer y Smith.

La cobertura de la zona de estudio está destacada por pasto cultivado con un coeficiente de 0,009, ocupando un 29 %; procedido por cultivos de ciclo corto con pastos cultivados con un coeficiente de 0,300, desempeñando un 17,82 %, continua arroz con pastos cultivados con un coeficiente de 0,150 ocupando un 16 %, sigue los pasto cultivado con frutales con un coeficiente de 0,020 ocupando un 13 %, la arboricultura tropical tienen un coeficiente de 0,020 ocupando el 7 % , el pasto cultivado con cultivos ciclo corto con un coeficiente de 0,009 ocupando un 6 %, cultivo de banano con coeficiente de 0,062 ocupando un 3 %, y bosque natural con un coeficiente de cobertura de 0,003 ocupan un 0,25 %.

Tabla 9. Cobertura vegetal

Cobertura vegetal	Factor_c	Superficie	
		Ha	%
Bosque natural	0,003	546,90	0,25
Cultivos ciclo corto con pastos cultivados	0,300	50676,06	23
Banano	0,062	5583,60	3
Arboricultura tropical	0,020	15164,83	7
Arboricultura tropical con pastos cultivados	0,020	2455,02	1
Arroz con pastos cultivados	0,150	34392,32	16
Arroz con pastos naturales	0,150	157,11	0,07
Pasto cultivado	0,009	63940,23	29
Pasto cultivado con cultivos ciclo corto	0,009	12371,54	6
Pasto cultivado con banano	0,062	4523,15	2
Pasto cultivado con frutales	0,020	27859,02	13
Total		217669,7	100

Proporcionada la parte de protección que guarda la cobertura, en la disminución del suelo, se comprende que más del 61,25% de la zona de estudio está bajo un estado seguro, Las estimaciones de C son pequeñas cuando el suelo está protegido del efecto de la precipitación y actividad de la escorrentía superficial, y viceversa; cabe recalcar, cuanto mayor es la estimación de C, menor es la cobertura del suelo, cabe indicar que hay menor protección. En zonas donde la cobertura vegetal es mayor al 70% la erosión hídrica es insignificante.

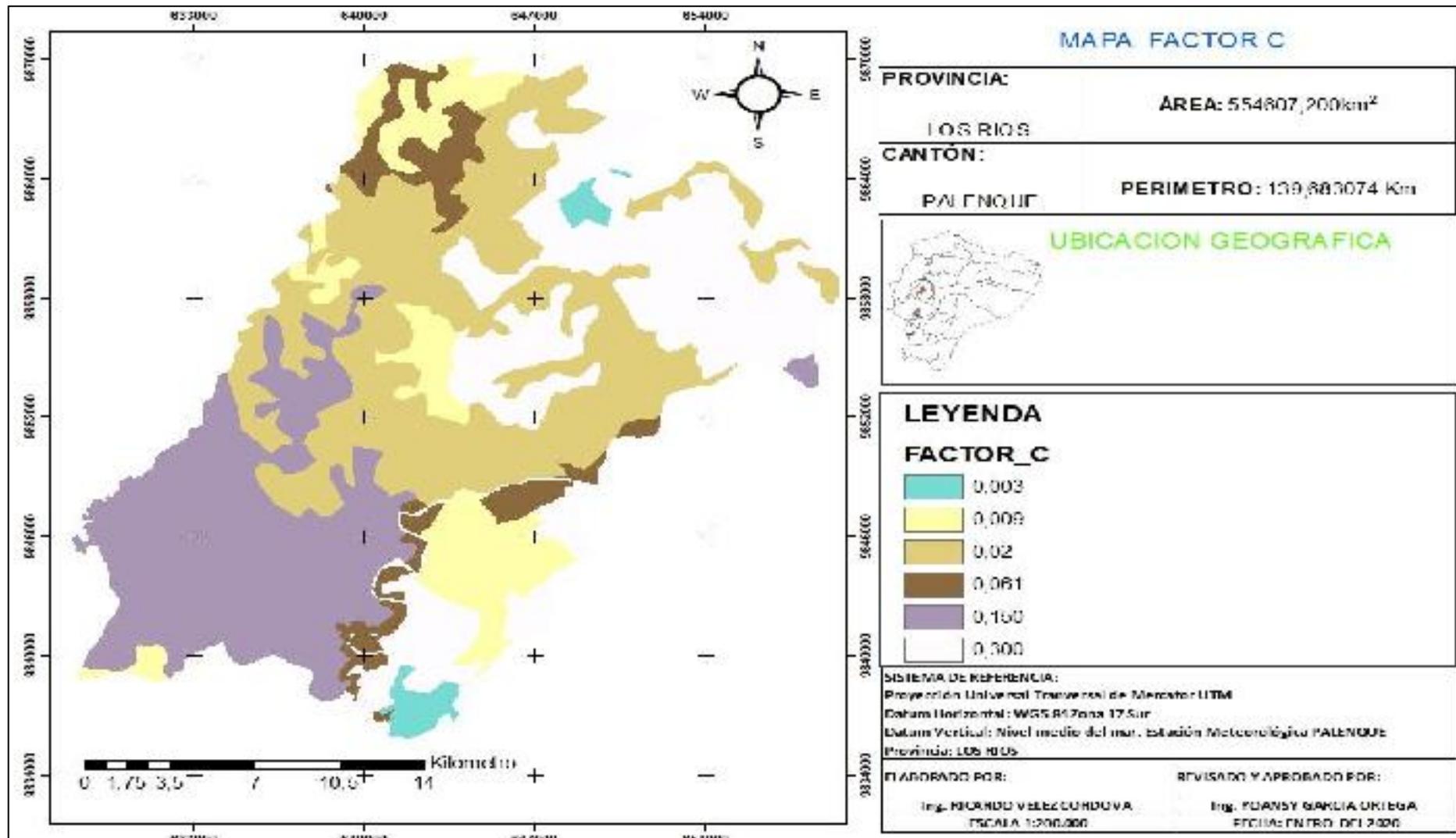


Figura 4. Mapa 4. Factor C
 Vélez, 2020

4.1.5 Determinación del factor P: Prácticas de conservación

Habido a que no existe información con respecto al factor P en el área de estudio, la determinación asignado a este factor en el presente modelo fue de valor 1 ya que al ser una constante no interviene en el cálculo final.

4.1.6 Determinación de pérdidas de suelo según RUSLE

La investigación de la pérdida de suelo a través de la ecuación RUSLE., se llegó al resultado utilizando de la función de map algebra – raster calculator, el cual multiplica las distintas capas de los factores que actúan en la erosión adquiriendo como resultado un mapa que erosión de suelos. Se realizó el cálculo de los factores de la RUSLE: R, K, LS, C y P, a fin de obtener el factor A. Se adquirieron estimaciones que varían entre 0,0 y 4.529,00 ton/ha/año, estos resultados fueron reclasificados según los niveles de erosión planteados por la FAO.

Los resultados se muestran en la (tabla 10) del cual puede derivarse que aproximadamente de la totalidad de la zona de estudio el 43,75% se encuentra en un grado de erosión normal, superficies con erosión ligera de 22,77%, el siguiente valor refleja una erosión moderada de 22,76%, el otro tipo se estima una erosión severa se tiene 10,09%, la otra estimación tiene una erosión muy severa de 0,60%, la última estimación se deriva una erosión catastrófica de 0, 04%.

Tabla 10. Categorías de erosión del cantón Palenque

Nivel	Perfil suelo ton/ha/año	Tipo de erosión	Área	%
1	<0.5	Normal	242646	43,75
2	0.5 - 5	Ligera	126273	22,77
3	5 -15	Moderada	126218	22,76
4	15 - 50	Severa	55955	10,09
5	50 - 200	Muy severa	3320	0,60
6	>200	Catastrófica	195	0,04
Total			554607	100

Al investigar la clasificación de la estimación y su referencia con su pendiente y su uso del suelo, se establece que existe una estrecha relación entre la pendiente, la cobertura y la pérdida del suelo.

En otros términos, el relieve apuesta un papel significativo en la degradación de los suelos porque a medida que el grado de inclinación aumenta, las pérdidas de suelo también incrementan.

Las zonas que mostraron erosión moderada, severa, muy severa y catastrófica; son aquellas que fueron clasificadas con cobertura del suelo en cultivos, además se localiza pendientes abultadas, estos coexisten en suelos agrícolas continuamente están expuestos al choque directo de las gotas de lluvia.

La cobertura vegetal contiene los efectos erosivos de las precipitaciones y las pérdidas de suelo reducen, es por este sentido que, a pesar de haber pendientes abultadas en la zona de estudio, es el factor de la cobertura vegetal (bosques) los que evitan erosión de suelo.

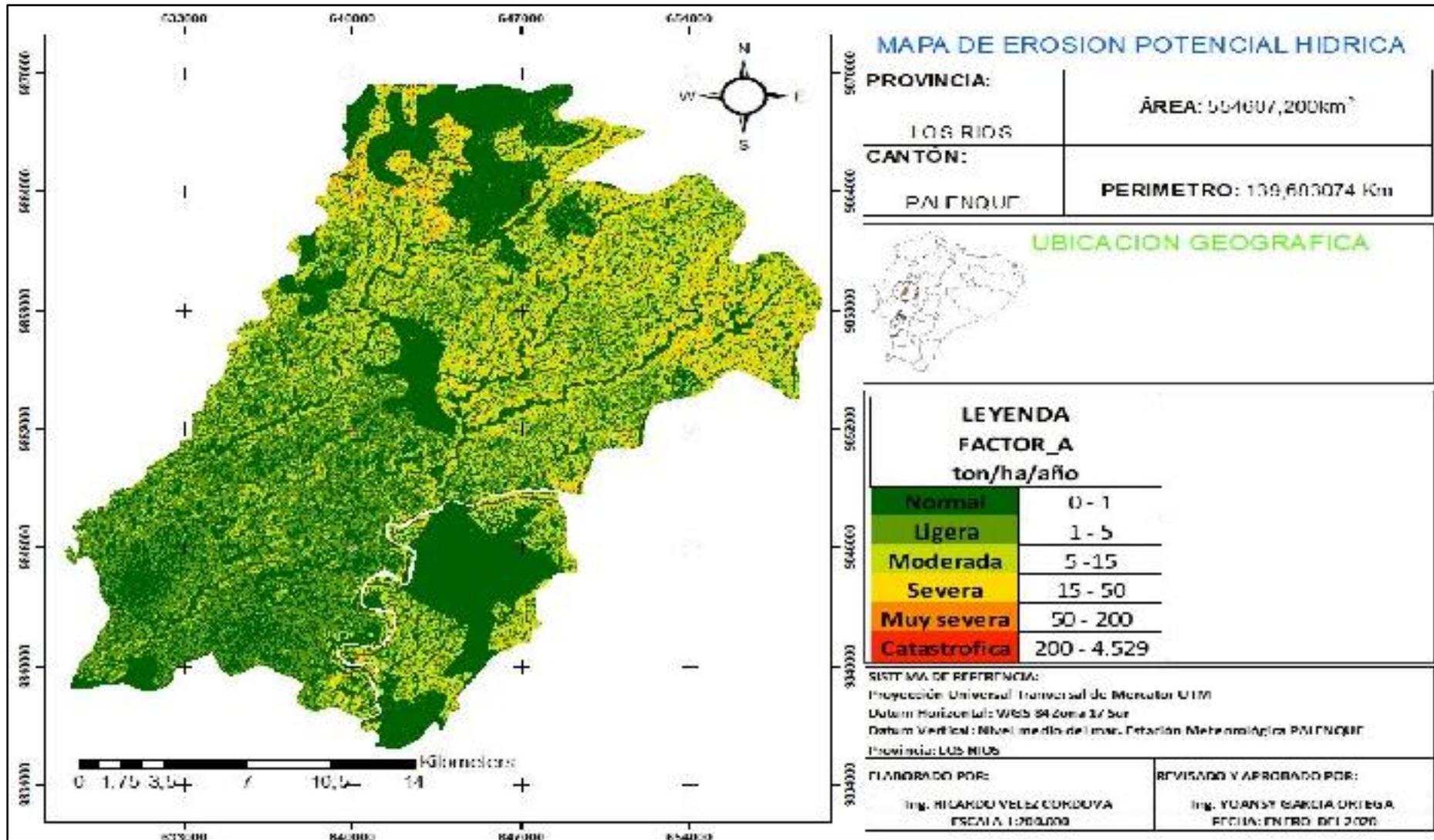


Figura 5. Mapa 5. Erosión potencial hídrica Vélez, 2020

4.2 Reconocimiento las zonas más sensibles ante el problema de la erosión

El reconocimiento de las zonas sensibles se pudo lograr por el método de estimación usando RUSLE, logrando focalizar las zonas más vulnerables mediante el sistema de información geográfica ubicando así los factores existentes en cada zona, que de acuerdo con su variación se demostraron cambios en la erosión, reconocerlo y localizarlo es posible mediante la observación del mapa obtenido, el cual se clasifica en colores que representan en el rango de erosión hídrica dispuesto por la FAO, normal, ligera, moderada, severa, muy severa y catastrófica.

Tabla 11. Reconocimiento zonal

Recintos	Perfil suelo ton/ha/año	Tipo de erosión	AREA	%
Maculillo	<0.5	Normal	242646	43,75
Potreros	<0.5	Normal		
Los Mosquitos	<0.5	Normal		
El Canje	<0.5	Normal		
El Enganche	<0.5	Normal		
La Mocora	<0.5	Normal		
El Jobo	<0.5	Normal		
San Jerónimo	<0.5	Normal		
Malia	<0.5	Normal		
San Clemente	0.5 - 5	Ligera		
La Palmita	0.5 - 5	Ligera		
La Reversa	0.5 - 5	Ligera		
La Seiba	5 - 15	Moderada	126218	22,76
Bombón	5 - 15	Moderada		
Callejones	5 - 15	Moderada		
Fuente de Palo	15 - 50	Severa	55955	10,09
El Naranja	15 - 50	Severa		
Sara Guerrero	50 -200	Muy severa	3320	0,6
El Achiote	>200	Catastrófica	195	0,04
TOTAL			554607	100

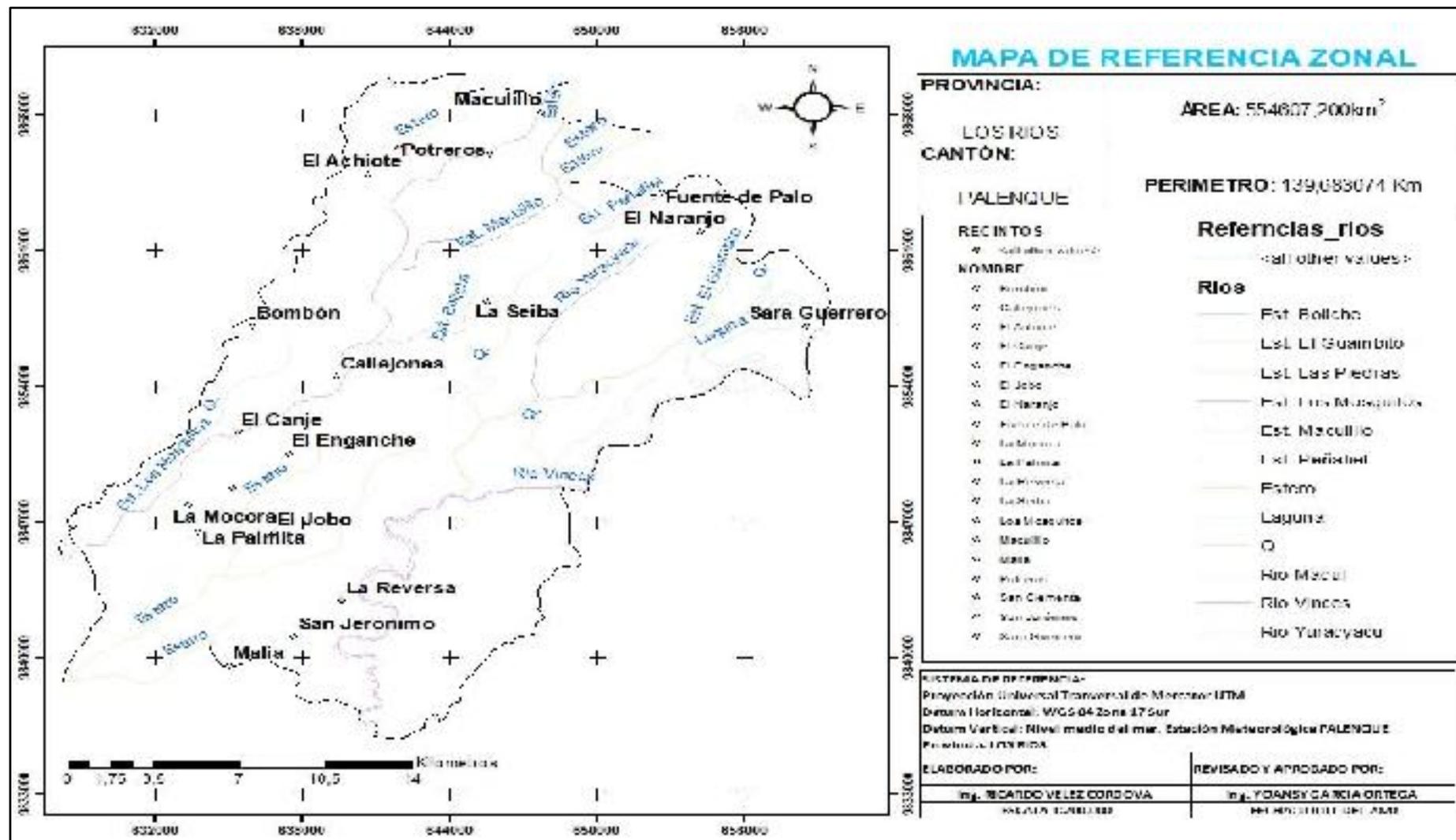


Figura 6. Mapa 6. Mapa de referencia zonal
Vélez, 2020

Tabla 12. Rango de erosión hídrica

Tipo de erosión	perfil del suelo ton/ha/año
Normal	0 - 1
Ligera	1 - 5
Moderada	5 - 15
Severa	15 - 50
Muy severa	50 - 200
Catastrófica	200 - 4.529

FAO, (1975)

4.3 Se establece un plan de manejo del suelo de las zonas sensibles

Lo primero que se debe determinar para acometer el control de la erosión es su causa, ya que las medidas que se puedan tomar deben ir encaminadas a desaparecer o atenuar la misma, de lo contrario no será efectivo su control.

En el presente trabajo se hace énfasis en la manifestación de la erosión hídrica, por ser la predominante en nuestro país, así que con el manejo adecuado de la vegetación y las prácticas agrícolas (Métodos culturales y Agronómicos) se puede evitar o controlar la mayoría de los procesos erosivos en los campos de cultivo y fundamentalmente la erosión hídrica.

En los recintos Maculillo, Potreros, Los Mosquitos, El Canje, El Enganche, La Mocora, El Jobo, San Jerónimo, Malia predominan una erosión del suelo con un rango Normal, se establece un plan de manejo con labranza mínima es la menor cantidad de rotura del suelo requerida para crear las condiciones de suelo adecuadas para la germinación de la semilla y el desarrollo de la planta.

Este manejo ayuda a reducir la labor de remoción del suelo y lo prepara en las fajas/franja de los surcos donde va a sembrar, también disminuye la susceptibilidad del suelo a la erosión, y mantiene el nivel de materia orgánica y protege la macro fauna en el suelo.

En las zonas de estudio se estima erosiones de un rango ligero, se encuentran los recintos San Clemente, La Palmita, La Reversa, se establece un plan de manejo, como la rotación de cultivo es el orden en que sembramos varios cultivos de diferentes familias y con necesidades nutritivas diferentes, uno tras otro, en la misma área o terreno. Este procedimiento es un tipo de aprovechamiento de cultivos considerando su sistema radicular, follaje, rastrojos y la fijación de nitrógeno. Es primordial combinar los cultivos para evitar la competencia en su crecimiento.

En las siguientes áreas del cantón Palenque de los recintos La Seiba, Bombón, Callejones, se estima una erosión del suelo con un rango moderada, se establece un plan de manejo en siembras en contornos, esta práctica consiste en hacer las hileras del cultivo en contra de la pendiente siguiendo las curvas a nivel.

La importancia de esta práctica es que al sembrar las hileras del cultivo en contra de la pendiente, se oponen al paso del agua de lluvia que no se logra filtrar en el suelo, disminuyendo su velocidad, y así hay menos arrastre del suelo y nutrientes.

En el resultado final para la zona de estudio que representa los recintos Fuente de Palo, El Naranja, se estima una erosión severa, y por lo tanto se establece un plan de manejo de prácticas agroforestales, como barreras vivas, que son hileras de plantas colocadas con determinado distanciamiento horizontal y sembradas a través de la pendiente siguiendo las curvas a nivel. Las plantas que utilizan para

barreras vivas tienen un crecimiento denso y resistente a la fuerza de la escorrentía y la sequía.

Las barreras vivas ofrecen las siguientes ventajas:

- Evitan la erosión en terrenos inclinados
- Rompe vientos
- Barrera natural de insectos dañinos
- Atracción de enemigos naturales para plagas
- Abonos verdes
- Alimento para animales
- Proveen de madera y leña

En el recinto Sara Guerrero en la zona de estudio se estima una erosión de rango muy severo, esto representan un problema de erosión, que se establece un plan de manejo correctivas como son los acequias a nivel y barreras muertas.

Las acequias a nivel son canales angostos trazados verticalmente a la pendiente y se construyen para interceptar las aguas de escorrentías y luego sacarlas o retenerlas según las condiciones del terreno.

Los pasos para la construcción de las acequias son:

- Se deben seguir las curvas trazadas a nivel, y se inician partiendo del canal de drenaje natural; de lo contrario, la lluvia puede dañar la zanja antes de terminarla.
- Sembrar una barrera viva 20 cm arriba de la curva a nivel para proteger la zanja de la corriente de agua y sedimentos.
- Una vez hecha la barrera viva, se coloca estacas de 30 cm abajo de la curva a nivel; se marca la curva y se comienza a aflojar la tierra entre las dos hileras marcadas.

- Hacer baches para que el agua no corra y se infiltre con más facilidad. Dar un mantenimiento constante, extrayendo los sedimentos acumulados en las acequias y en caso de derrumbe reparar los taludes.

Las barreras muertas son pequeños muros de piedra que se levantan sobre curvas a nivel para disminuir la velocidad del agua y retener el material arrastrado. Además de evitar la erosión ayudan a limpiar el terreno de cultivo. Este se recomienda en parcelas donde hay muchas piedras.

En las zonas con mayor erosión del suelo que se estima con un rango catastrófica en el Recinto El Achote, se establece un plan de manejo correctivo como son los diques, son estructuras en forma de media luna levantadas sobre curvas a nivel para disminuir la velocidad del agua evitar pérdida de suelo en áreas de la parcela donde se han producido erosión.

Para la construcción de un dique se utilizan diferentes materiales: piedra, madera, sacos de arena, llantas y otros materiales disponibles.

Otro método de manejo de conservación del suelo son las terrazas, es muy efectiva para controlar la erosión. Existen dos tipos de terrazas que son las más utilizadas: individual y de banco.

Las terrazas individuales son pequeñas plataformas circulares o redondas trazadas al tres bolillo que consisten de un corte y un relleno, pero no son continuas. Son utilizadas para cultivos perennes.

Las terrazas de banco son construidas transversalmente a la pendiente y separadas por taludes protegidos con vegetación. El ancho varía con la pendiente, el cultivo y la profundidad del suelo.

5. Discusión

Con los resultados alcanzados de este trabajo de investigación, se observa la importancia de la incorporación de nuevas técnicas para la investigación indicando así el monitoreo de cada zona de estudio para la aplicación de este método de la RUSLE.

Concuerda con el trabajo realizado por Gisbert. (2013), se considera que la erosión hídrica es uno de los principales componentes responsables de la degradación del suelo en numerosos territorios del mundo. Evaluar el alcance del problema y estudiar o anticipar la viabilidad de la cuantificación de la protección en su objetivo de disminuir la desintegración son dos de los usos más significativos de las condiciones de estimación, por ejemplo, RUSLE. (p. 26).

Se establece que la información de Castro (2013), se demostró que la verificación del impacto de cada factor en la erosión hídrica, por lo que es importante calcular cada uno de ellos, a fin de lograr la consecuencia de evaluar la pérdida del suelo en la zona de estudio.

Respecto a la hipótesis, se puede señalar que esta si cumple con los resultados obtenidos que propone RUSLE, evalúa la gravedad del problema de erosión hídrica que existe hoy en día, de tal manera que actualmente se implementa la utilización software para fortalecer la utilización de dicha ecuación, por lo tanto esto se planifica por dichos resultados obtenidos por la estimación de la erosión del suelo, se obtiene un rango de pérdidas de suelo ton/ha/año. (Gisbert, 2013)

Las técnicas de estimación de erosión son elementos que permiten evaluar el nivel de erosión a través de un marcador cuantitativo, y el procedimiento controla los resultados potenciales a través de muchos de los sistemas de manejo. Los

modelos pueden dar un indicador en términos totales, cuando hablan lo suficiente de lo que está sucediendo como regla general, o relativa, cuando representa su utilización está en las correlaciones entre las circunstancias, para ayudar a la toma de decisiones sobre la operación (Cisneros, et al. 2012, p. 59).

A pesar de que cada uno de estos factores tienen su importancia, para el caso del Ecuador, se pondrá particular énfasis sobre el papel de los agentes climáticos y de la topografía, sin olvidar, evidentemente, la acción del hombre que contribuye a modificar las características protectoras de la vegetación natural (Noni y Trujillo, 1986)

6. Conclusiones

En esta investigación se obtuvieron mapas de erosión de los resultados y se concluyó que la mayor pérdida de suelo es entre 5 - 4.529 ton/ha/año, convirtiéndose en un problema difícil para la generación agrícola. Del análisis geográfico se desprende que en el 33,48 % de la superficie de la zona de estudio del cantón palenque, se produce erosión.

Se concluyó que el cálculo de la degradación por la estrategia de la utilización la condición RUSLE, con la especialización del considerable número de componentes del equivalente, utilizando la cartografía avanzada, bajo la condición SIG, se permitió adquirir una perspectiva objetiva sobre el reconocimiento de las zonas más sensibles en el área de estudio.

Se concluyó plan de manejo para la conservación del suelo en las zonas de estudio que está afectada por erosión hídrica, por lo cual se estableció un plan de manejo de labranza mínima, rotación de cultivo, siembras en contornos, barreras vivas, acequias, barreras muertas, diques y terrazas.

Las variables que intervienen la operación de la RUSLE son el factor R (erosividad de lluvias), el factor K (erodabilidad del suelo), el factor LS (geografía), el factor C (cobertura vegetativa) el factor P (practica de conservación), que tienen sus cualidades respectivas y no se pueden intervenir, para obtener un resultado total, por lo tanto, es básico para cada uno de ellos.

Se notó que la ausencia de información actualizada y datos puede ser una obstrucción extraordinaria para la mejora de estudio de este tipo, a pesar de tener un registro de los eventos físicos que ocurren dentro de la zona.

7. Recomendaciones

Después de los resultados obtenidos en esta investigación es recomendable la determinación de la RUSLE, para este trabajo fue eficiente, por lo cual se sugiere para futuros estudios concernientes al tema, los resultados adquiridos después del progreso son absolutamente íntegros, por lo que son pertinentes para decidir sobre futuras decisiones para la mitigación del problema.

Se recomienda la ejecución de esta investigación explícita para cada elemento incluyendo el modelo RUSLE, de esta manera obtener los resultados de las zonas más sensibles de la erosión hídrica y lograr estimar los valores de cada uno que se consideran que los factores más coherentes dentro de la zona de estudio.

Cualquier medida erosiva se recomienda que debe ir orientada hacia el uso de los métodos culturales y agronómicos en primera instancia, recurriendo a los métodos mecánicos sólo cuando las condiciones lo requieran, ya que resultan muy costosos en su implementación y mantenimiento.

Se recomienda utilizar la metodología desarrollada en la presente investigación para cuencas hidrográficas, para identificar zonas prioritarias de intervención en el proceso erosión potencial hídrica.

8. Bibliografía

- Abasto. (2016). El problema de la erosión hídrica de los suelos. Obtenido 7 de octubre, de <http://erosionhidrica.blogspot.com/>
- Arrúe, J. (2014). La protección del suelo: apuntes sobre el estado de la cuestión a escala nacional e internacional, 53. <http://hdl.handle.net/10261/112697>
- ArcGIS. (2020). ArcGIS desktop es la base para trabajar con su SIG. Obtenido de Crear y compartir mapas, análisis y datos: <https://desktop.arcgis.com/es/>
- Castro, I. (2013). Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madin, México. *Hidrociencias*.
- Cisneros, J., Cholaky, C., Gutiérrez, A., González, J., Reynero, M., Cantero, J., y Degioanni., A. (2013). Principios y técnicas de manejo, 290.
- Cisneros, J. et al. (2012). Erosión hídrica: principios y técnicas de manejo. (p. 59). Córdoba.
- Cisneros, J. et al. (2012). Erosión hídrica principios y técnica de manejo. (p. 74). Unirío.
- Crettaz, E., Gvozdenovich, J. y, Saluzzio. (2016). *Cálculo del factor R de la USLE a través del índice modificado de Fournier (7)*.
- Cole. (2015). An economic analysis of agricultural land leasing with an emphasis on the interface of leasing and conservation practices in Nebraska and South Dakota (Order No. 9967360). Available from ProQuest Central. (304612764).
<https://search.proquest.com/docview/304612764?accountid=62725>
- Consejo Nacional de Geoinformática, (2020). Metodología para levantamiento de información Geopedológica y Amenazas Geológicas del proyecto:

- “Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000”. Quito, Ecuador: IEE (Ex CLIRSEN), 60 pp.
- Falcón, R. L. (2013). Degradación del suelo: causas, proceso, evaluación e investigación. Obtenido de <http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/degradacion/pfd/librocompleto.pdf>
- Frers. (2014). Los problemas de degradar el suelo. Obtenido 7 de octubre, de http://www.internatura.org/estudios/informes/degradar_suelo.html.
- Fournier. (1960). Climatet erosion. Paris, Francia: Presses Universitaires de France.
- García, Clérico y Terra. (2015). Avances con USLE-RUSLE para estimar erosión y pérdidas de productividad en Uruguay. In 14º Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Pucón, Chile, 835p.
- Gaitán, Navarro, Vuegen, Pizarro, M. y Rigo. (2015). Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina, 73.
- Gisbert, B. (2013). La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (RUSLE) - PDF. Recuperado 29 de septiembre de 2018, de <https://docplayer.es/42651697-La-ecuacion-universal-de-perdidas-de-suelo-rusle.html> (26)
- Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo. (2015). Estado mundial del recurso suelo. <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>
- Instituto Espacial Ecuatoriano. (2020). Guía Oficial de Trámites del ECUADOR. Obtenido de <https://www.gob.ec/iee>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2018). Anuario meteorológico. http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf
- Kirkby, Morgan. (1984). Erosión de suelos. México: Editorial Limusa.

- Koppes. (2014). The relative efficacy of fluvial and glacial erosion over modern to orogenic time scales. *Nature Geoscience*, 2009; (9): 644
DOI: 10.1038/ngeo616; Adapted from materials provided by University of British Columbia.
- León. (2013). Estimate of water erosion and its relationship to land use in the Cohoacan River basin, Chiapas, Mexico, 3, 9.
- Marcillo, J., Carriel, J., y Ullón, P. (2014). Erosión potencial por reconversión productiva en subcuencas Ilay- Ilay, Chile. Aplicación de unidades de respuesta a la erosión/potencial erosión due to productive reconversión in Ilay - Ilay basin (cuena), Chile. applying response units to erosion. *Ciencia Technologic*, 7(2).<https://search.proquest.com/docview/1696703116?accountid=62725>
- Mejía. (2015). La erosión del suelo. Obtenido 7 de octubre, de https://prezi.com/yvovyrxue_qm/tema-la-erocion-del-suelo/
- Michelena. (2016). Erosión hídrica potencial del suelo. Obtenido de <https://inta.gob.ar/documentos/erosion-hidrica>
- Ministerio del Buen Vivir. (2016). Plan Nacional para el Buen Vivir. Obtenido de https://www.planificacion.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2012/07/Plan_Nacional_para_el_Buen_Vivir.pdf (2)
- Miliarium. (2015). Modelo de la Ecuación Universal de Perdida de Suelos revisado (RUSLE). <http://www.miliarium.com/prontuario/medioambiente/suelos/rusle.htm>.
- Morales, C. (2014). Innovación social y acción colectiva, un estudio de caso: Ecoagricultores del sur. *Estudios políticos*, 75-95.
[https://doi.org/10.1016/S0185-1616\(14\)70277-X](https://doi.org/10.1016/S0185-1616(14)70277-X)

- National Aeronautics and Spatial Administration. (2015). Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer. Obtenido de http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/#utf8=%E2%9C%93&spatial_map=satelite&spatial_type=rectangle
- Noni G. y Trujillo G. (1986): Degradación del suelo en el Ecuador; principales causa y algunas reflexiones sobre la conservación de este recurso. Rev: 23.05.2011 En: http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/cc-2010/26531.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S03.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2015). Ética ambiental y políticas internacionales. United Nations Educational
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1975). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma, Italia: Autor. (2009). Guía para la descripción de suelos. Trad. Por R. Vargas. Roma, Italia
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (1980). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). Degradación del suelo. <http://www.fao.org/soilsportal/degradacion-del-suelo/es/>[consulta 13 de diciembre de 2015

- Osinaga. (2014). Universidad Nacional de Salta Facultad de Ciencias Naturales Ingeniería en Recursos Naturales y Medio Ambiente, 158.
- Peralta, M. (2012). Uso, clasificación y conservación de suelos. Santiago, Chile: Ministerio de Agricultura.
- Román. (2014). La erosión hídrica: proceso, factores y formas. Obtenido de <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/271>.
- Salazar, D. (2013). Riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica del río mundo. Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título máster en tecnologías de la información geográfica. España: Universidad Computense.
- Salazar, Á. (2013). Erosión en la Cuenca hidrográfica del río Mundo [info:eu-repo/semantics/masterThesis]. Recuperado 29 de septiembre de 2018, de <https://eprints.ucm.es/17468/>
- Sendra. (2014). La ciencia de la información geográfica y el estudio del cambio global, 9.
- Stefano. (2016). Testing the long - term applicability of RUSLE - M equation at an olive orchard microcatchment in Spain (Vol. 147). Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.07.001>
- Sigtierras. (2015). Memoria técnica cantón palenque/bloque 1.4 Sigtierras. https://www.google.com/search?rlz=1C1SQJL_esEC774EC774&sxsrf=ACYBGNTUyC_uxR538_2fTyqpurbAPdyNRQ%3A1581469769568&ei=SVBDXtKilul_QbvtbPYBw&q=sigtierras+palenque+&oq=sigtierras+palenque+&gs_l=psy-ab.12.35i39.86034.86034...89149...0.0...0.551.1289.3-1j1j1.

Szabó, G. (2015). Slope angle and aspect as influencing factors on the accuracy of the SRTM and the ASTER GDEM databases. *Physics and Chemistry of the Earth. Parts A/B/C* 83-84: 137-145.

Wischmeier, W. Smith. (1965). *Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains*. US: Agr. Handbook

Wischmeier, W. Smith (1978). *Predicting rainfall erosion losses*. US; Agricultural Research Service Handbook, 537, pp. 58

World Reference Base for Soil Resources (2014). *International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. Roma, Italia: FAO. *IgWorld Soil Resources Reports No. 106*

9. Anexos

Tabla 13. Valores medios mensuales y con los cálculos de Índice Modificado Fournier y el factor R, en el período 1981 – 2018

EST_ION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	FACTOR_R
PALENQUE	345,1	659,5	588,9	325,6	70,7	12,5	5,7	1,7	4,3	6,9	17,9	53,7	2093,0
BALZAR	326,1	649,0	610,0	370,2	85,3	14,3	6,4	1,4	3,8	5,2	16,6	62,7	2151,5
MOCACHE	777,7	1080,6	921,7	831,4	118,7	1,3	0,7	0,2	0,6	0,7	1,6	84,9	3820,6
VINCES	278,0	677,3	623,1	324,6	64,7	11,3	5,5	1,2	2,7	3,8	13,2	48,7	2054,5

INAHMI, 2018

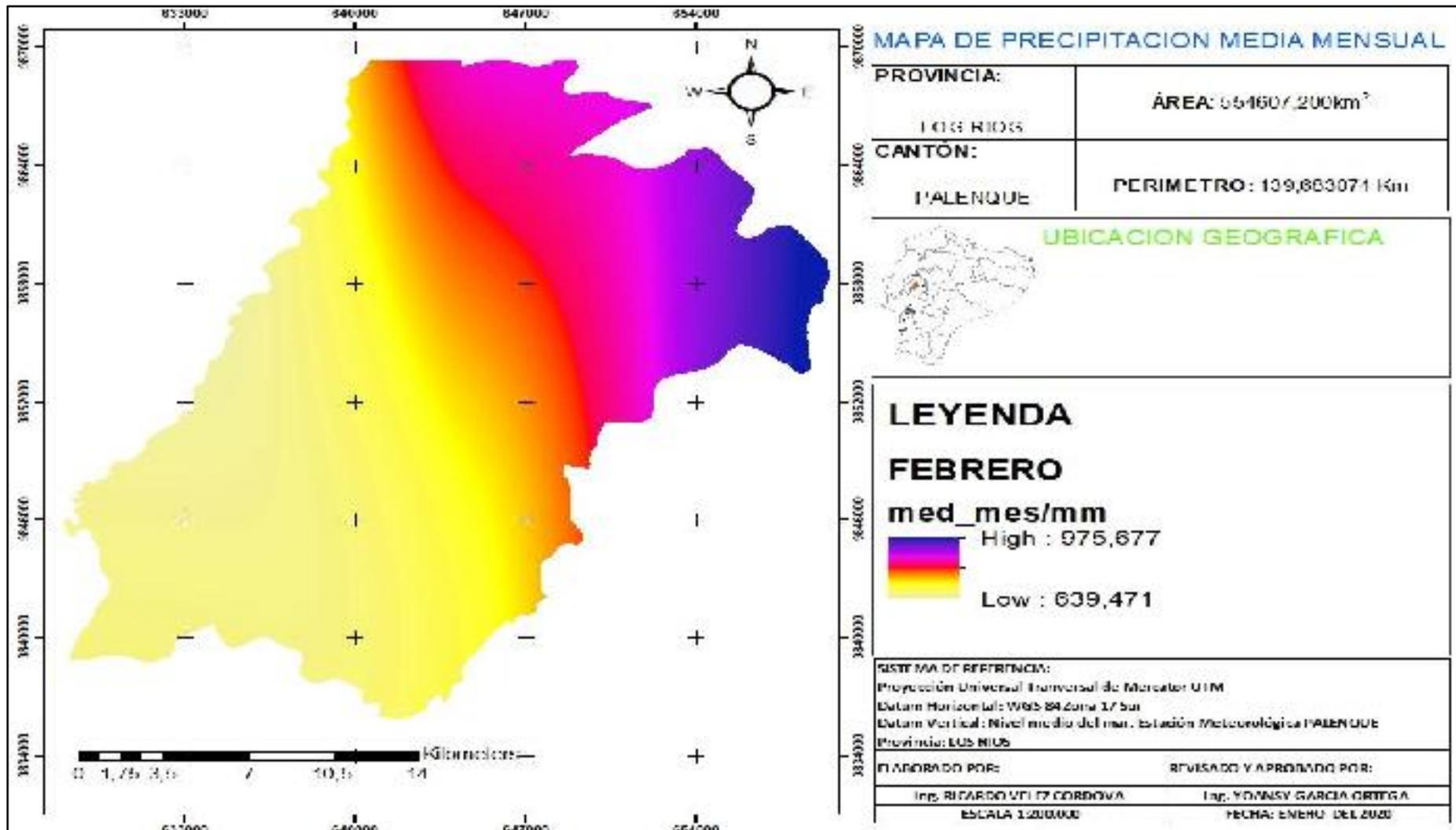


Figura 7. Mapa 7. Erosividad de la lluvia Vélez, 2020

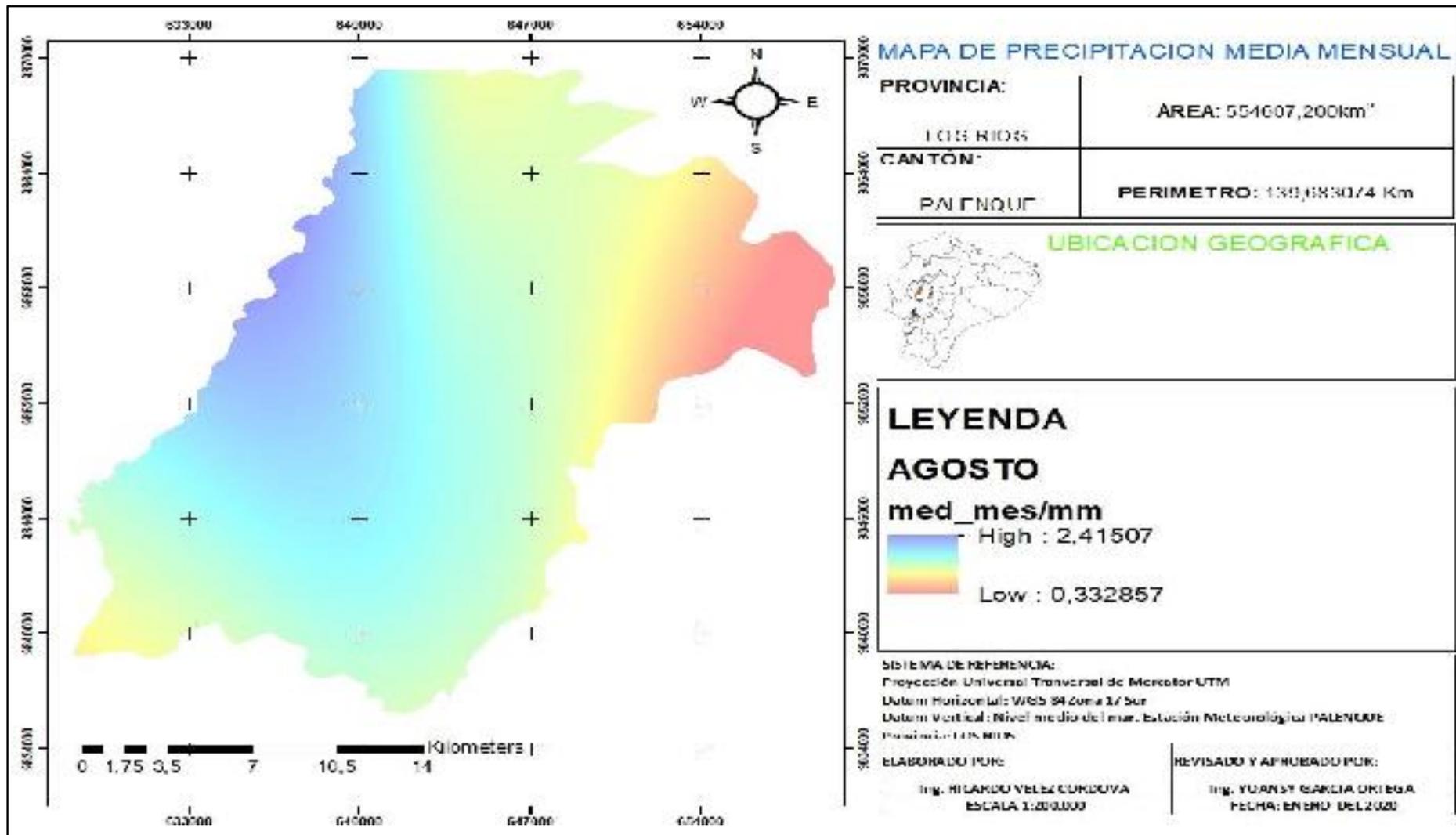


Figura 8. Mapa 8. Erosividad de la lluvia
 Vélez, 2020

Tabla 13. Cálculo del factor K el método de Wischmeier y Smith

Calculo Factor K		
Factores	Valor	Unidad
Limo + arenas muy finas (0.002 a 0.1 mm)	30,86	%
Arcilla (< 0.002 mm)	56,82	%
Materia orgánica	2,53	%
Parámetro estructura [E]	1	adimensional
Parámetro permeabilidad (P)	3	adimensional
Parámetro textura de los 15 cm superficiales	3654	adimensional
K, factor de erosionabilidad (K nom)	0,14	t*m ² *h/ (ha*hJ*cm)

Parámetro de estructura para los 15 cm superficiales [E]

Característica del suelo	Valor [E]
Granular muy fino (< a 1 mm)	1
Granular fino (1 a 2 mm)	2
Granular medio o grueso (2 a 10 mm)	3
Laminar, macizo y cubica	4
	1

Parámetro de permeabilidad referido a todo el perfil (P)

Cm/h	Permeabilidad del suelo	Valor (P)
12.5 a 25	Rápida a muy rápida	1
6.2 a 12.5	Moderadamente rápida	2
2 a 6.2	Moderada	3
0.5 a 2	Moderada a lenta	4
0.12 a 0.5	Lenta	5
< a 0.12	Muy lenta	6
Peralta, (2012)		1

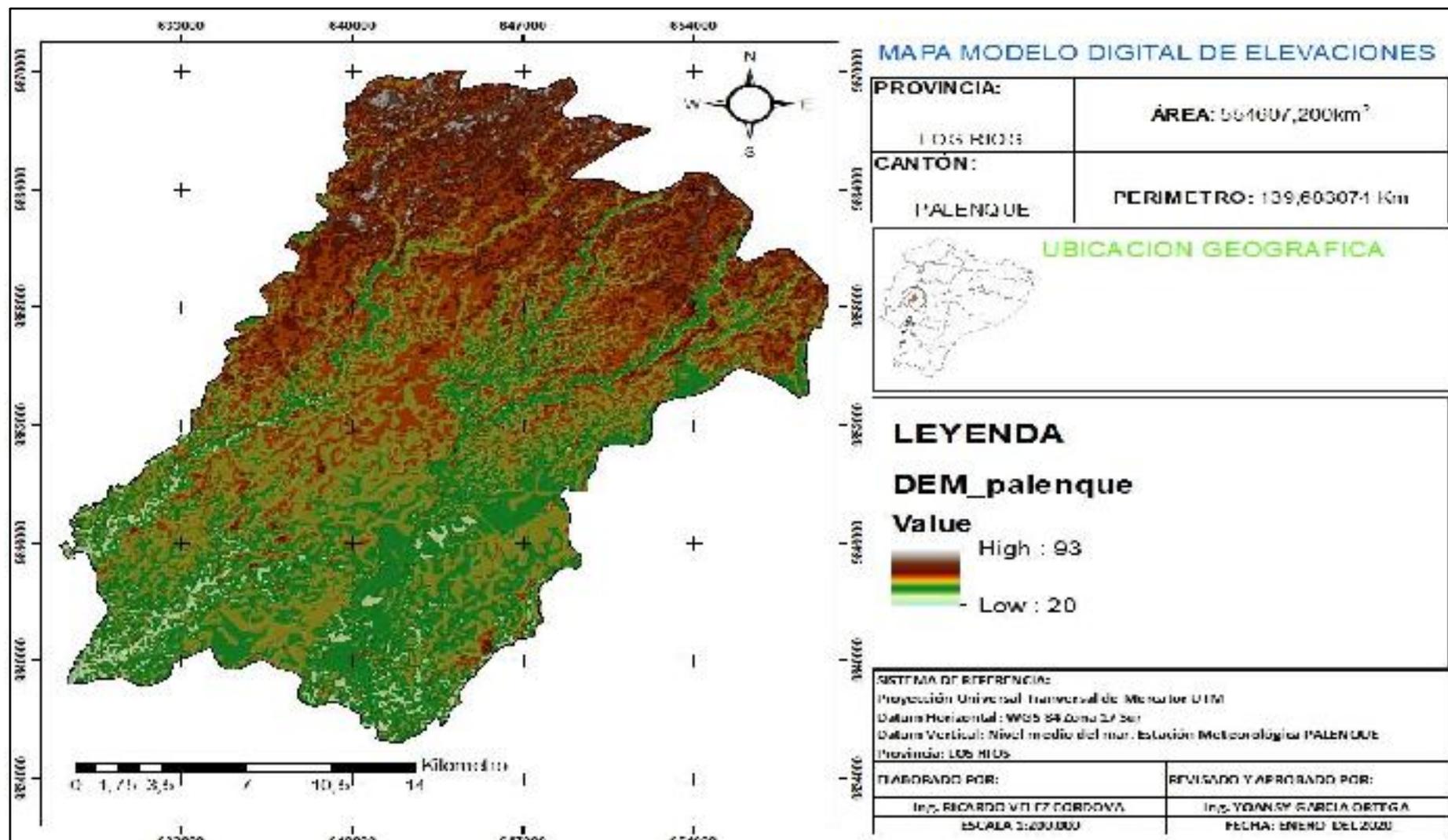


Figura 9. Mapa 9. (DEM) Modelo Digital de Elevaciones NASA, 2017

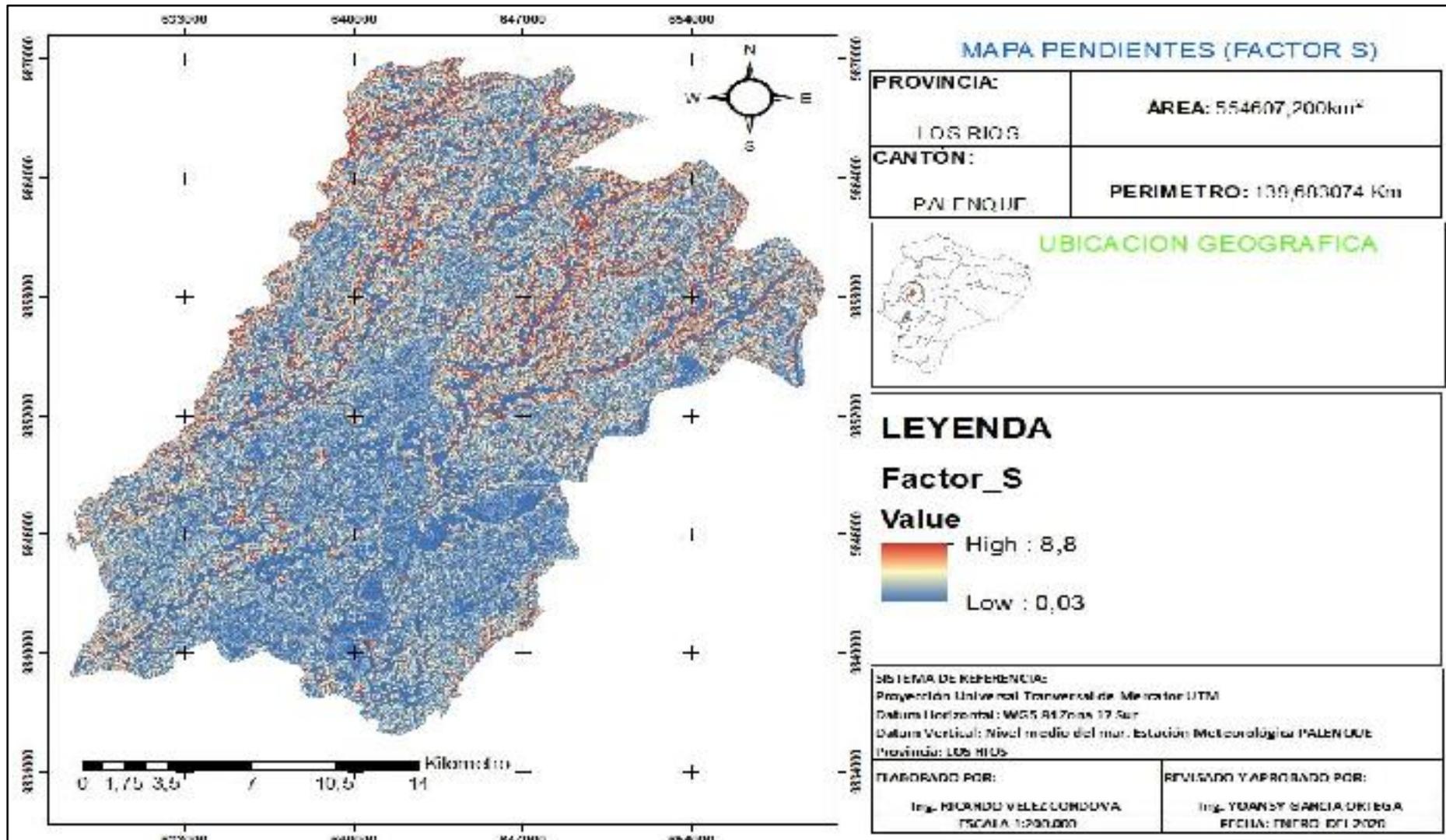


Figura 10. Mapa 10. Factor S
Vélez, 2020

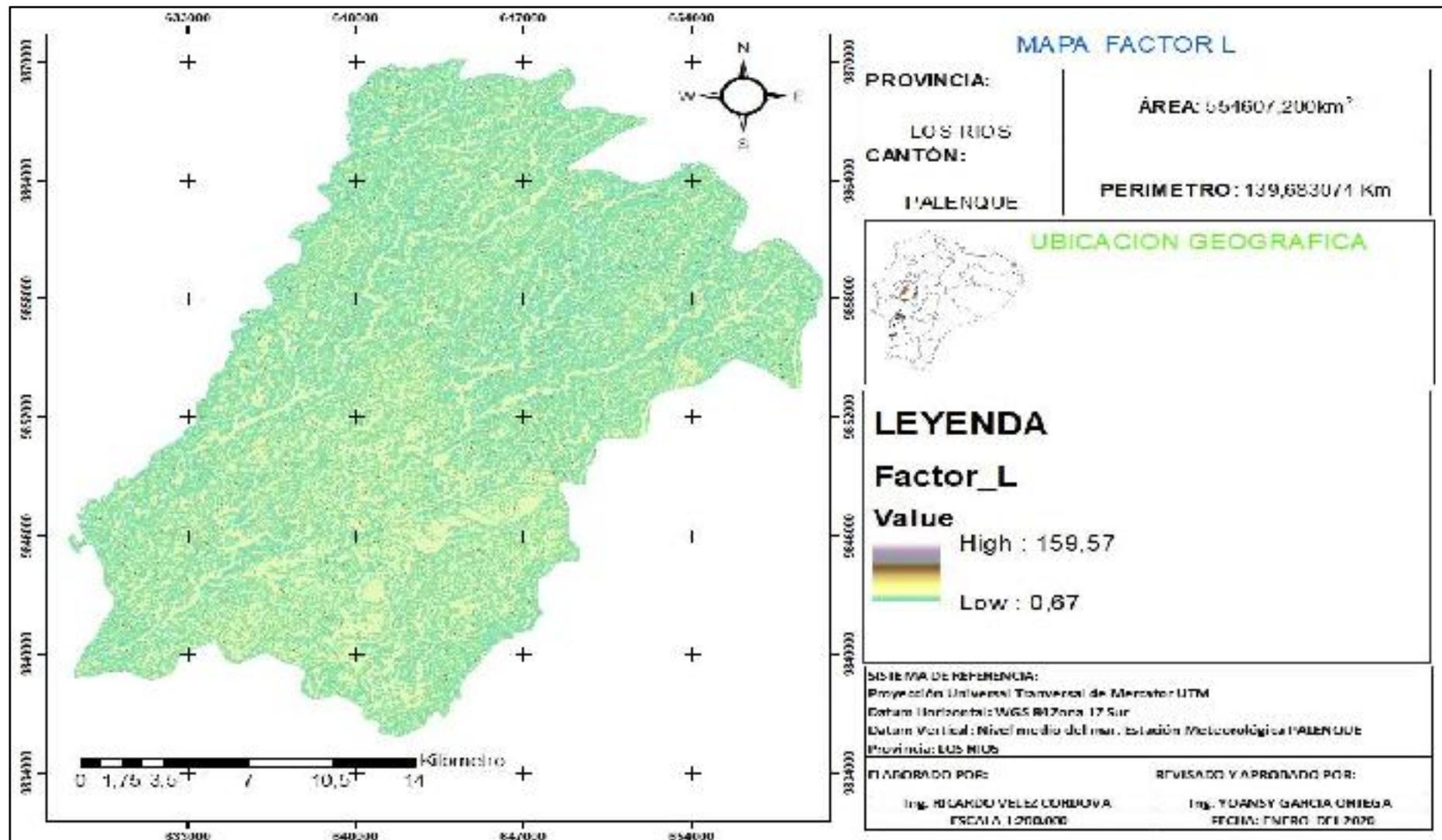


Figura 11. Mapa 11. Factor L
 Vélez, 2020

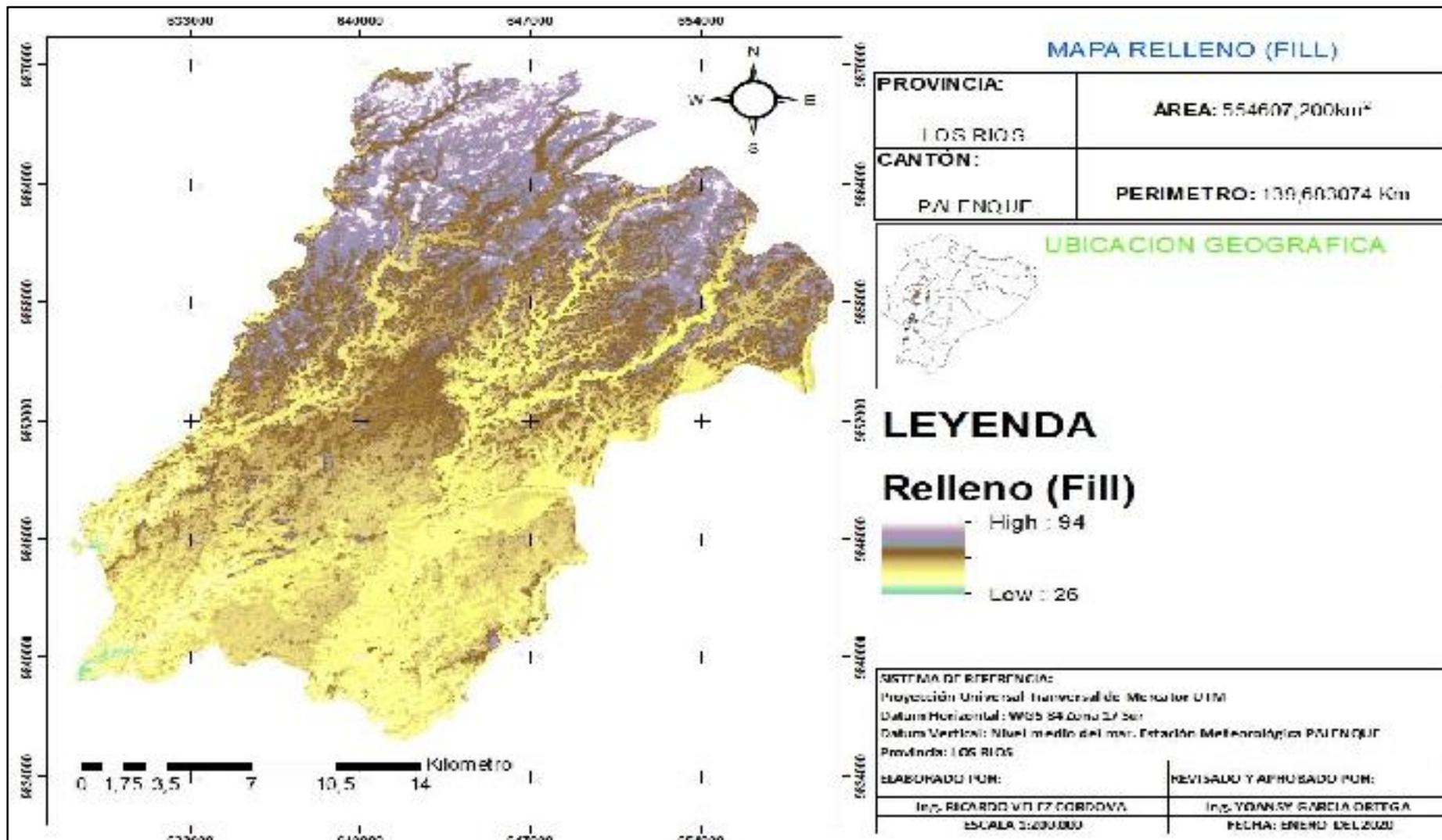


Figura 12. Mapa 12. Relleno (Fill)
Vélez, 2020

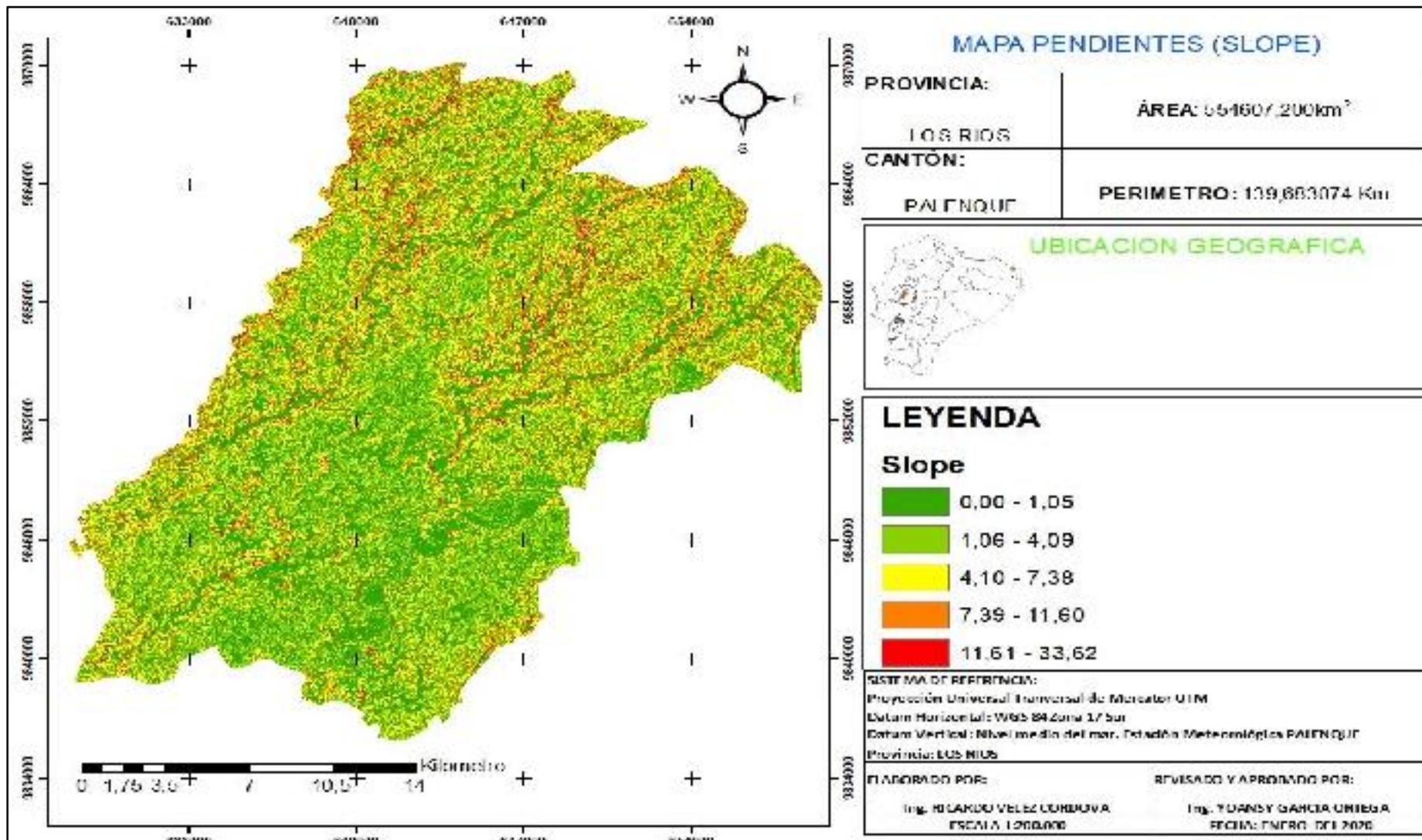


Figura 13. Mapa 13. Pendientes (Slope)
 Vélez, 2020

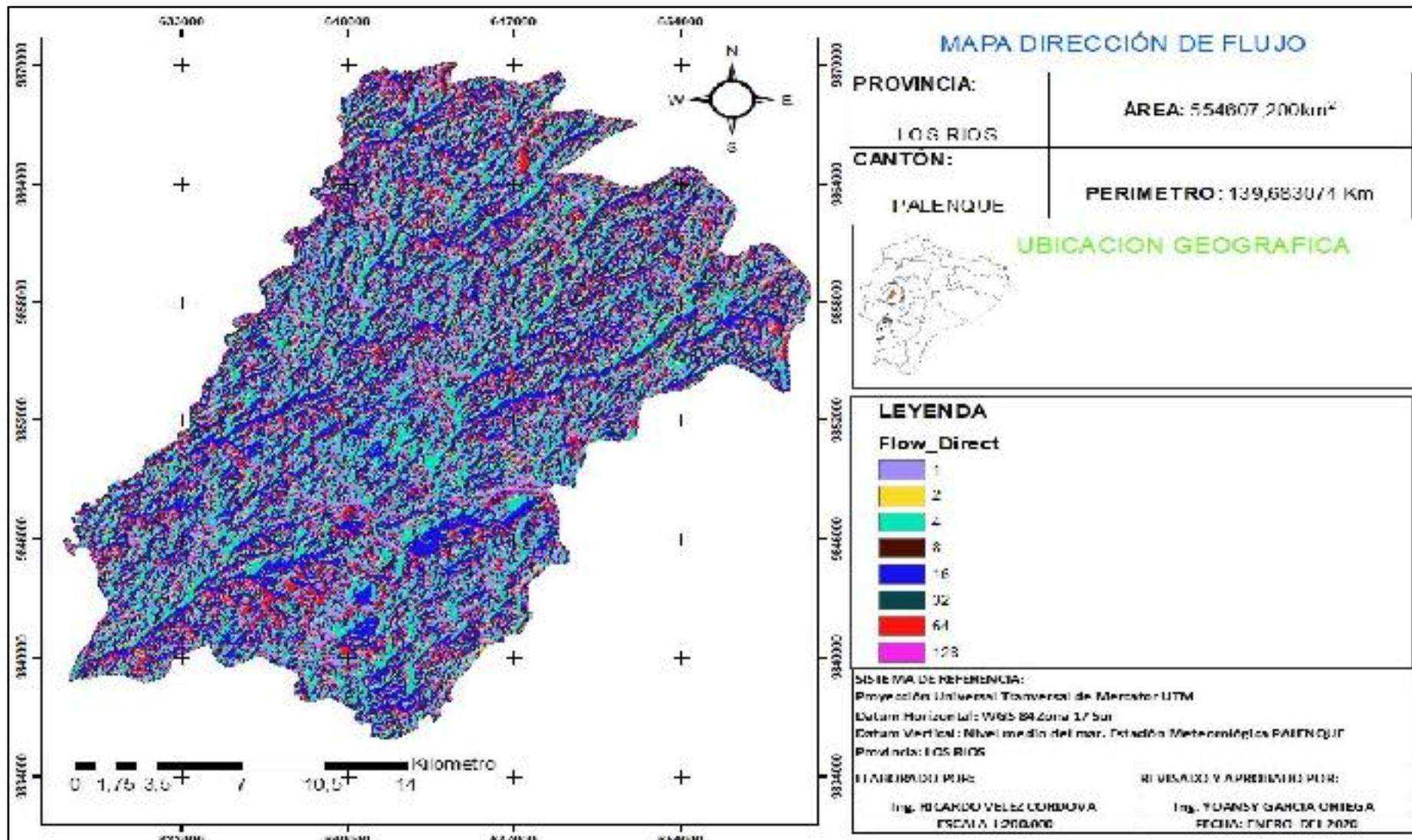


Figura 14. Mapa 14. Dirección de flujo
 Vélez, 2020

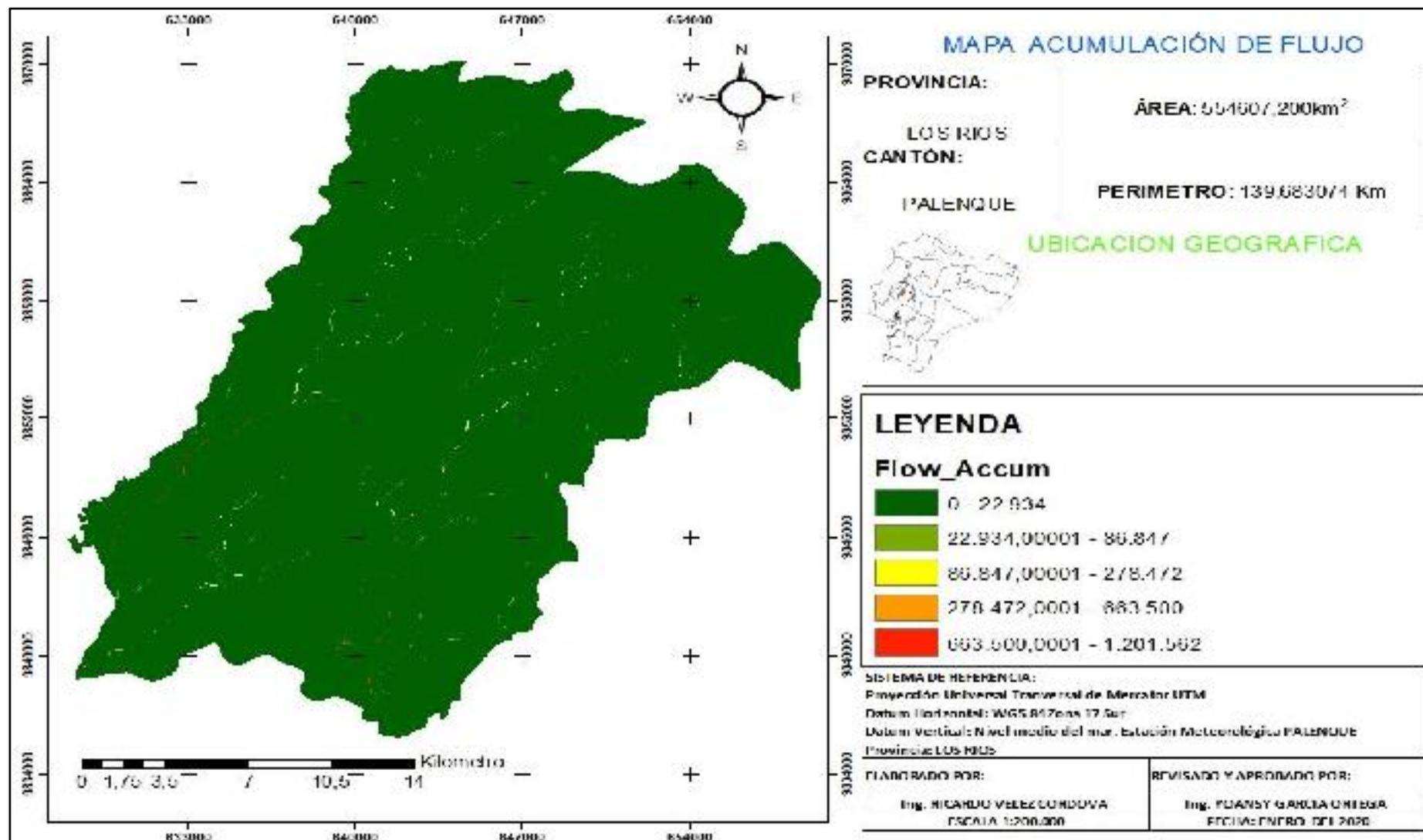


Figura 15. Mapa 15. Acumulación de flujo
Vélez, 2020

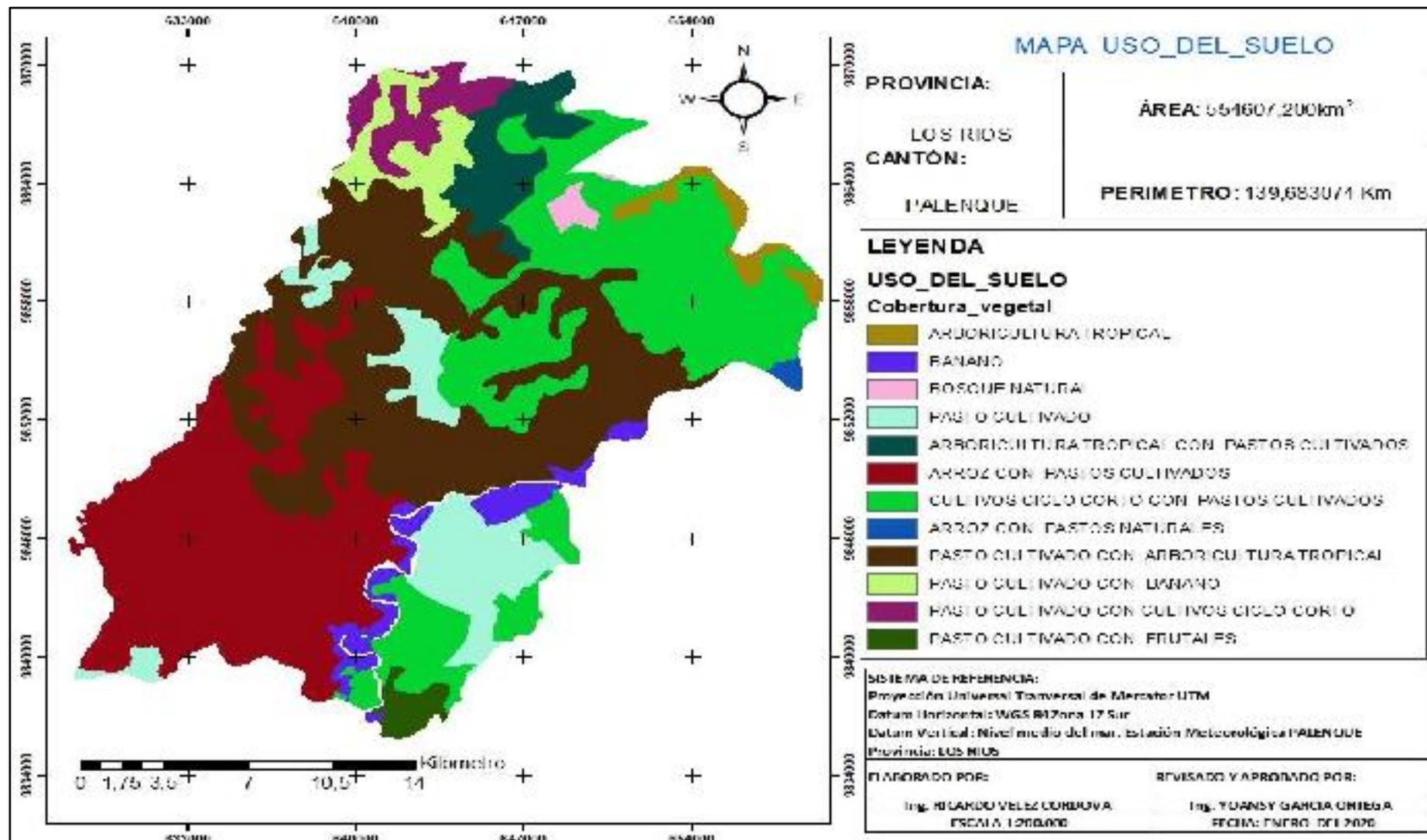


Figura 16. Mapa 16. Cobertura vegetal
CONAGE, 2020



Figura 17. Creación de mapas de la zona de estudio
Vélez, 2020



Figura 18. Interpretación del diagnóstico de la erosión del suelo
Vélez, 2020

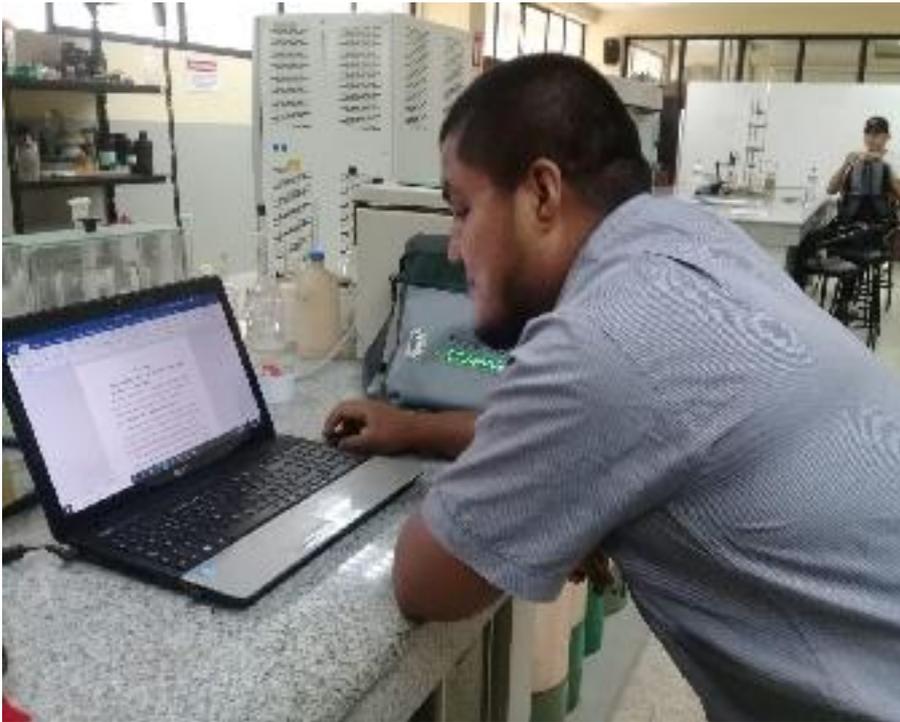


Figura 19. Determinación de la conclusión y recomendación
Vélez, 2020