



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES  
RENOVABLES**

**EFFECTOS DEL CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA EROSIÓN DE  
LA CUENCA ALTA DEL RÍO MIRA PARA EL PERIODO 1996-2017**

**PLAN DE TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**AUTOR:**

**NIXON ANTONIO CUEVA JIMÉNEZ**

**DIRECTOR:**

**ING. DARÍO PAUL ARIAS MUÑOZ, MSC.**

**IBARRA-ECUADOR**

**2021**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte de manera digital para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA :	1751570902
NOMBRES Y APELLIDOS:	NIXÓN ANTONIO CUEVA JIMÉNEZ
DIRECCIÓN:	PICHINCHA-CAYAMBE, Panamá y Olmedo
EMAIL:	Nixonantonio.95@gmail.com
TELÉFONO FIJO Y MOVIL:	0998220467

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	EFFECTOS DEL CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA EROSIÓN DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO MIRA PARA EL PERIODO 1996-2017
AUTOR:	NIXON ANTONIO CUEVA JIMÉNEZ
FECHA:	4 DE ENERO 2021
SOLO PARA TRABAJO DE TITULACIÓN	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	Ing. Paul Arias, MSc

**2. CONSTANCIAS**

El autor manifiesta que la obra de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 4 días del mes de enero de 2021

Firma: 

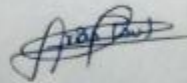
Sr. Nixon Antonio Cueva Jiménez

### **CERTIFICACIÓN**

Ing. Darío Paul Arias MSc., director de Trabajo de Titulación desarrollado por el estudiante Nixon Antonio Cueva Jiménez

### **CERTIFICA**

Que el proyecto de Tesis de grado titulado "EFECTOS DEL CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA EROSIÓN DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO MIRA PARA EL PERIODO 1996-2017", ha sido realizado en su totalidad por el señor Nixon Antonio Cueva Jiménez, bajo mi dirección, para la obtención de título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Luego de ser revisada, considerando que se encuentra concluido y cumple con la exigencias y requisitos académicos de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, autoriza su presentación y defensa para que pueda ser juzgada por el tribunal correspondiente:



---

Ing. Darío Paul Arias MSc.

**DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN**

## **AGRADECIMIENTO**

*Primero agradezco a Dios por darme la fuerza, el valor y la fortaleza de seguir adelante en este duro camino.*

*A mi director de tesis MSc. Paúl Arias por guiarme, compartir sus conocimientos, paciencia, consejos y el apoyo constante en esta investigación, buena persona y profesional, muchas gracias.*

*A mis asesores MSc. Oscar Rosales, Dr. James Rodríguez, MSc Melissa Layana por su gentileza, amabilidad, consejos y conocimientos para culminar la investigación. A la ingeniera Fernanda Herrera por su amistad y apoyo.*

*A mis amigos Álvaro, Verónica, Thalía, Dayanara, Jhonny, Edwin, Xavier, Elvis, Mayte, Diego por acompañarme en esta etapa de la vida. A las personas grandiosas, Mishell Erika muchas gracias por estar ahí siempre, les agradezco de todo corazón.*

***Nixon Cueva.***

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo a mis padres: Amable y especialmente a mi madre Carmen por los valores, enseñanzas, amor y perseverancia, todo se lo debo a ella.*

*A mis hermanos Rita, Cecilia, Yobana, Lorena, Zulay, Moisés, por sus consejos y apoyo incondicional.*

***Nixon Cueva***

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>Contenido</b>	<b>Páginas</b>
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT.....	xiii
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Revisión de antecedentes o estado del arte.....	1
1.2 Problemática de la investigación y justificación .....	3
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo general .....	5
1.3.2 Objetivos específicos .....	5
1.4 Pregunta directriz de la investigación.....	5
<b>CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>6</b>
2.1 Marco teórico referencial.....	6
2.1.1 Cuenca hidrográfica.....	6
2.1.2 Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	6
2.1.3 Herramienta de teledetección para analizar el cambio de uso de suelo y cobertura vegetal .....	7
2.1.3.1 Deforestación.....	8
2.1.4 Erosión del suelo .....	9
2.1.5 Modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (RUSLE) .....	9
2.1.6 Cambio de uso de suelo y erosión .....	10
2.2 Marco legal .....	11
2.2.1 Constitución de la República del Ecuador .....	11
2.2.2 Convenios Internacionales .....	12
2.2.3 Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización (COOTAD).....	12
2.2.4 Código Orgánico del Ambiente (COA) .....	12
2.2.5 Plan Nacional de Desarrollo.....	13
<b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....</b>	<b>14</b>
3.1 Descripción del área de estudio.....	14
3.1.2 Caracterización biofísica.....	15
3.1.3 Geomorfología.....	15
3.1.4 Ecosistemas .....	16

3.1.5 Diagnóstico social.....	17
3.2 Métodos .....	19
3.2.1 Fase 1: Análisis del cambio de uso de suelo en la cuenca alta del río Mira para el periodo 1996-2018.....	19
3.2.1.1 Pre-procesamiento de imágenes satelitales .....	19
3.2.1.2 Procesamiento de imágenes satelitales .....	20
3.2.1.3 Validación de la clasificación supervisada .....	20
3.2.1.4 Análisis del cambio de uso de suelo mediante la matriz de transición. 21	
3.2.2 Fase 2: Cuantificación de la erosión hídrica del suelo para el periodo 1996-2018.....	22
3.2.2.2 Factor de erosividad de la precipitación (R) .....	23
3.2.2.3 Factor erodabilidad del suelo (K) .....	25
3.2.2.4 Factor longitud de pendiente e inclinación (LS) .....	26
3.2.2.5 Manejo de la cobertura (C).....	26
3.2.2.6 Factor prácticas de conservación (P) .....	28
3.2.3 Fase 3: Determinación de la incidencia de los cambios de uso de suelo con la variación en las tasas de erosión.....	28
3.2.3.1 Modelo de regresión geográfica ponderada .....	28
3.3 Materiales y equipos.....	30
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>31</b>
4.1 Análisis el cambio de uso de suelo en la cuenca media alta del río Mira para el periodo 1996-2018.....	31
4.2 Factores de erosividad en los años 1996 y 2018 .....	36
4.2.1 Erosividad de la precipitación (Factor R) .....	36
4.2.2 Erodabilidad del suelo (Factor K) y Factor topográfico (LS) .....	37
4.2.3 Cobertura vegetal (Factor C).....	39
4.2.4 Modelo RUSLE .....	40
4.3 Análisis de la incidencia de los cambios de uso de suelo con la variación en las tasas de erosión .....	43
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>48</b>
5.1 Conclusiones .....	48
5.2 Recomendaciones .....	49
REFERENCIAS .....	50

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Órdenes de suelos de la cuenca alta del río Mira .....	15
<b>Tabla 2.</b> Ecosistemas de la cuenca del río Mira .....	16
<b>Tabla 3.</b> Proyección de la población para el año 2020 .....	18
<b>Tabla 4.</b> Valoración del coeficiente de Kappa .....	21
<b>Tabla 5.</b> Estaciones meteorológicas de precipitación.....	23
<b>Tabla 6.</b> Clasificación de la erosividad del IFM Latinoamérica .....	24
<b>Tabla 7.</b> Rangos del coeficiente $R^2$ para la regresión geográfica ponderada...	30
<b>Tabla 8.</b> Materiales y equipos que se utilizaron en la investigación .....	30
<b>Tabla 9.</b> Matriz de confusión de la clasificación supervisada de la imagen Satelital 2A 2018 .....	31
<b>Tabla 10.</b> Matriz de transición de cambio de uso del suelo entre 1996-2018 (%) .....	33
<b>Tabla 11.</b> Matriz de transición de las categorías de erosión hídrica (%).....	41
<b>Tabla 12.</b> Análisis de las categorías de uso de suelo y la erosión hídrica en el periodo 1996- 2018.....	43



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación de la cuenca alta del río Mira .....	14
<b>Figura 2.</b> Monograma de la textura del suelo .....	25
<b>Figura 3.</b> Cobertura vegetal del año 1996 (A) y del año 2018 (B) .....	32
<b>Figura 4.</b> Disminución y aumento (%) de la cobertura vegetal 1996-2018.....	34
<b>Figura 5.</b> Erosividad de la precipitación del año 1996 (A) y 2018 (B) .....	37
<b>Figura 6.</b> Factor K (A) y Factor LS (B).....	38
<b>Figura 7.</b> Factor C 1996 (A) y 2018 (B).....	39
<b>Figura 8.</b> Distribución de la erosión hídrica para el año 1996 (A) y 2018 (B)	40
<b>Figura 9.</b> Disminución y aumento de las categorías de erosión hídrica.....	41
<b>Figura 10.</b> Regresión geográfica pondera de la categoría bosque, $R^2$ local.....	43
<b>Figura 11.</b> Regresión geográfica pondera de la categoría cultivo, $R^2$ local ....	44
<b>Figura 12.</b> Regresión geográfica pondera de la categoría área sin vegetación, $R^2$ local.....	45
<b>Figura 13.</b> Regresión geográfica pondera de la categoría vegetación arbustiva, $R^2$ local.....	46
<b>Figura 14.</b> Regresión geográfica pondera de la categoría páramo, $R^2$ local....	46
<b>Figura 15.</b> Regresión geográfica pondera de la categoría pasto, $R^2$ local. ....	47

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Tamaño muestral.....	21
<b>Ecuación 2.</b> Erosión hídrica .....	22
<b>Ecuación 3.</b> Regresión lineal múltiple.....	24
<b>Ecuación 4.</b> Índice modificado de fournier.....	24
<b>Ecuación 5.</b> Factor K erodabilidad .....	25
<b>Ecuación 6.</b> Factor LS .....	26
<b>Ecuación 7.</b> Factor C .....	26
<b>Ecuación 8.</b> Índice de vegetación avanzada.....	27
<b>Ecuación 9.</b> Índice de suelo desnudo.....	27
<b>Ecuación 10.</b> Precipitación y evapotranspiración .....	28
<b>Ecuación 11.</b> Regresión geográfica ponderada .....	29

## RESUMEN

El suelo es un sistema dinámico donde interactúan factores bióticos y abióticos importantes para el desarrollo de la vida en el planeta, considerado como un recurso natural finito, su capacidad de regeneración se ha reducido drásticamente en el transcurso del tiempo, debido al mal manejo por las distintas actividades antrópicas. La presente investigación tuvo como objetivo analizar los efectos del cambio de uso de suelo y erosión hídrica en la cuenca alta del río Mira para el periodo 1996-2018. Se utilizó imágenes satelitales Landsat/OLI, Sentinel 2A para el año 1996 y 2018 para evaluar el cambio espacio-temporal de la cobertura vegetal y uso de suelo, empleando el software ArcGIS 10.4, a continuación, se estimó la erosión hídrica del suelo mediante la aplicación del modelo de Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo (RUSLE) y posteriormente, se aplicó la regresión geográfica ponderada para conocer la asociación espacial entre el cambio de uso de suelo y la erosión hídrica. Se obtuvo ocho (8) unidades ambientales que son: Bosque, Vegetación Arbustiva, Páramo, Pastos, Cultivos, Cuerpos de Agua, Área sin vegetación y Zona Urbana, con el coeficiente del índice kappa del 0.88% para el año 2018, durante el periodo de estudio los cultivos, área sin vegetación y zona urbana aumentaron en 25.60%, 2.38%, 0.36% respectivamente, mientras bosque, vegetación arbustiva, páramo y pasto disminuyeron en 7.32%, 18.58%, 2.18% y 10-83%. La erosión hídrica media aumentó en 6.3 t/ha/año en el periodo de estudio, sin embargo, el 68.61% del área de estudio presentó baja susceptibilidad de erosión hídrica del suelo de 0-10 t/ha/año, mientras zonas con mayor tasa de erosión superan los 200 t/ha/año corresponde al 0.01%. De acuerdo con la relación entre el cambio de uso de suelo y la erosión hídrica, existe asociación espacial entre los cultivos, área sin vegetación y vegetación arbustiva con la erosión hídrica, debido al aumento de la deforestación para establecer nuevas áreas para las actividades antrópicas.

**Palabras clave:** Cobertura vegetal, Erosión hídrica, Regresión geográfica Ponderada,

## ABSTRACT

The soil is a dynamic system where biotic and abiotic factors important for the development of life on the planet interact. The soil is considered as a finite natural resource, its regeneration capacity has been drastically reduced in the course of time, due to mismanagement by different anthropic activities. The main purpose of this investigation analyze the effects of land use change and water erosion in the upper basin of the Mira River for the period 1996-2018. Landsat / OLI satellite images, Sentinel 2A for the year 1996 and 2018 were used to evaluate the spatio-temporal change of the vegetation cover and land use, using the ArcGIS 10.4 as a principal toll. Water erosion of the soil was estimated by means of the Application of the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) model and subsequently, the weighted geographic regression was applied for spatial association between the change in land use and water erosion. Eight environmental units were obtained, which are: Forest, Shrub Vegetation, Páramo, Pastures, Crops, Bodies of Water, Area without vegetation and Urban Zone, with the coefficient of the kappa index of 0.88% for the year 2018. During the period in the study, crops, area without vegetation and urban area increased by 23.54%, 2.07%, 0.36% respectively, while forest, shrub vegetation, páramo and grass decreased by 7.32%, 16.32%, 2.18% and 0.15%. Average water erosion increased by 6.3 t \ ha \ year in the study period, however, 68.61% of the study area presented low susceptibility to soil water erosion of 0-10 t \ ha\year, while areas with higher erosion rate exceeds 200 t\ha\year corresponds to 0.01%. According to the relationship between land use change and water erosion there is a spatial association between crops, area without vegetation and shrubby vegetation with water erosion, right to increased deforestation to establish new areas for anthropic activities.

**Keywords:** Vegetation cover, Water erosion, Geographic regression pondera

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Revisión de antecedentes o estado del arte

El suelo es un sistema dinámico, que está formado por minerales, materia orgánica, organismos vegetales y animales, aire y agua, que al encontrarse en constante interacción con los factores abióticos y bióticos, aportan servicios ecosistémicos para el desarrollo la vida en la tierra (Ramírez, Limas, Ortiz y Díaz, 2011). Los microorganismos como la macrofauna, microfauna y mesofauna edáfica, juegan un papel importante en la actividad biológica del suelo, contribuyendo con una serie de funciones fundamentales para la sostenibilidad de los ecosistemas como; degradación de la materia orgánica, ciclo de nutrientes, regulación de los regímenes hidrológicos del suelo, retención de carbono entre otros (Pengfei y Wang, 2018).

La pérdida de los bosques naturales y vegetación arbustiva ha aumentado constantemente para transformarse en áreas de pastoreo, zonas agrícolas, zonas pobladas, entre otras, esto se debe al crecimiento demográfico, dado que al aumentar el número de personas también se incrementa la demanda de recursos naturales y de insumos alimenticios (Grizzetti, Lanzanova, Liqueste, Reynaud y Cardoso, 2016; Demissie, Yeshitila, Kindu y Schneider, 2017). La eliminación de la cobertura vegetal, ha causado la reducción de los servicios ecosistémicos y la pérdida de la capacidad de resiliencia de los ecosistemas (Tadesse, Suryabagavan, Sridhar y Legesse, 2017).

Un estudio realizado en la isla Borneo, analizaron el cambio de uso de suelo y la erosión hídrica, mediante la clasificación supervisada y la ecuación universal de pérdida de suelo (RUSLE). Como resultado obtuvieron que la erosión crítica abarca una superficie del 8% con valor de  $> 50$  t/ha/año, mientras que el 64% mostró una baja erosión  $< 5$  ton/ha/año. Además, determinaron las categorías de uso de suelo que presentaron mayor vulnerabilidad de erosión son: bosques secundarios, vegetación arbustiva, tierra árida y agricultura mixta (Vijith, Hurmain y Dodge,

2018). Otro estudio similar se desarrolló en cuenca del Yezat en Etiopía, en donde se aplicó la misma metodología, donde encontraron, que la cobertura vegetal disminuyó en un 91% durante el periodo 2001–2010, mientras que para el periodo 2010-2015 aumentó en un 88%. Las pérdidas anuales de suelo estimadas fueron de 7.2 ton/ha/año en 2001, 7.7 ton/ha/año 2010 y 4.8 t/ha/año en 2015 (Tadesse et al., 2017).

En América Central se desarrolló un estudio multitemporal con la finalidad de determinar el cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la cuenca del río Tecolutla, México en el periodo 1994-2010. Se utilizaron imágenes satelitales Landsat para la clasificación supervisada y posteriormente aplicaron la matriz de transición. La cobertura natural de la cuenca disminuyó en -1,1% anual específicamente en las coberturas de bosque y selva. Por lo tanto, la conversión del medio natural está asociada con el aumento de actividades agrícolas en 74%, desde el punto de vista socioeconómico es una actividad que representa una fuente de ingreso (Osuna et al., 2015).

En cambio, en el estudio realizado por Bonilla, Reyes y Magri (2010), en el centro de Chile, evaluaron la erosión hídrica, empleando el Sistema de Información Geográfica (SIG) y el método RUSLE. Se utilizaron diferentes herramientas como imágenes satelitales Landsat, estaciones pluviométricas. El estudio evidenció que el 89.3% el área presenta baja erosión, debido a la presencia de pendientes pronunciadas con cobertura vegetal, mientras que el 10.4% con una alta tasa de erosión, a causa de las pendientes empinadas, con cobertura vegetal degradadas.

Un estudio realizado en Ecuador menciona que la erosión del suelo es causada por la explotación irracional de los recursos naturales, específicamente por el cambio de cobertura vegetal debido al avance de la frontera agrícola en la Cordillera de los Andes en sus flancos Orientales y Occidentales. Además, indican los grandes impactos negativos en la pérdida de la biodiversidad y la baja capacidad de resiliencia de los ecosistemas. Como resultado afirman que alrededor del 47,9% de la superficie se encuentra afectada por la erosión y el 12% de las tierras erosionadas

se encuentra en la Cordillera de los Andes (Almeida, Trujillo, Noni, Winckell y Nouvelot, 1984). En cambio Noni y Trujillo (1986), determinaron que en Ecuador las precipitaciones y los vientos son los principales factores que causan la erosión del suelo. La presencia de nueve meses de lluvias y tres meses de vientos, principalmente en la región Sierra, además, las pendientes y las estribaciones que presenta la cordillera de los Andes hacen que sea más susceptible la erosión del suelo.

## **1.2 Problemática de la investigación y justificación**

El suelo es considerado como un recurso natural finito, dado a su capacidad de regeneración se ha reducido drásticamente en el transcurso del tiempo, debido al mal manejo por las distintas actividades antrópicas como deforestación, explotación de los recursos, avance de la frontera agrícola, entre otras (Ganasri y Ramesh, 2015). El ser humano ha transformado aproximadamente la mitad de la cobertura natural terrestre en asentamientos humanos, zonas agrícolas o zonas industriales. Por esta razón, el cambio de uso de suelo, se ha convertido en el principal causante la fragmentación de ecosistemas y una rápida erosión del recurso edáfico (Aguayo, Pauchard, Azócar y Parra, 2009; Trujillo, Mahecha y Torres, 2018).

Los bosques con el paso del tiempo han ido disminuyendo por el cambio de uso de suelo, alrededor del 50% de la superficie equivalente a 18 000 millones de hectáreas que han disminuido en los últimos 5 000 años. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2016). En consecuencia, los hábitats han fragmentado provocando la pérdida de la biodiversidad y la capacidad de resiliencia a nivel mundial y la disminución de la capacidad de recarga para el recurso hídrico. Del mismo modo, el suelo con el paso del tiempo ha perdido su capacidad de infiltración para la recarga de acuíferos (Morales, Carillo, Fárfan y Cornejo, 2016).

La pérdida de cobertura vegetal natural provocada por el aumento de las actividades agrícolas, ha conllevado a que los suelos queden expuestos a una rápida erosión,

por fenómenos climáticos por las fuertes lluvias erosivas y los vientos, estos ocasionan el desplazamiento y degradación de las partículas edáficas (Gibbs y Salmon, 2015). Además, la alteración del equilibrio dinámico del suelo a causado el deterioro de la capa fértil del recurso edáfico y con ello la reducción de la capacidad productiva del suelo (Ramírez et al., 2011).

La sobreexplotación del suelo ha ocasionado pérdidas productivas y por ende el abandono de aproximadamente 125 millones de hectáreas en las zonas tropicales (Gibbs y Salmon, 2015). El uso inadecuado del suelo, conlleva no solamente a la explotación ineficiente de los recursos naturales y los fenómenos de degradación, también en el aumento de pobreza y otros problemas sociales (Trujillo et al., 2018). En consecuencia, la presión humana sobre el recurso suelo está llegando a sus límites críticos, causando una pérdida de 0.3% del rendimiento de los cultivos debido a la erosión (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2016). En lo que concierne a la cuenca del río Mira, es evidente que los cambios de uso de suelo debido al inadecuado manejo de los recursos naturales ocasiona una rápida erosión del suelo, esto se debe al aumento de la deforestación en zonas con pendientes pronunciadas, incendios forestales, quemas agrícolas, sobrepastoreo y el avance de la frontera agrícola, conjunto con las inapropiadas formas de riego y uso de agroquímicos, que conllevan a la disgregación y transporte de las partículas edáficas hacia las superficies hídricas causando problemas ambientales (Plan de Ordenamiento Territorial de la Provincia del Carchi, 2015; Plan de Ordenamiento Territorial de la Provincia de Imbabura, 2015).

El suelo constituye el principal soporte de las actividades humanas, su degradación compromete la seguridad alimentaria de las presentes y futuras generaciones (Brausmann y Bretschger, 2018). El desarrollo de estudios sobre el estado del recurso suelo, contribuye a planificar de manera organizada el territorio, con la finalidad dar respuesta a los diferentes desafíos que presenta la sociedad y la naturaleza (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017)



El presente estudio se pretende identificar los cambios que han trascendido en la cuenca media alta del río Mira, con la finalidad de generar nueva información, para contribuir a una adecuada planificación de los recursos naturales, uso eficiente y racional del recurso edáfico. Esencialmente el estudio contribuye con el tercer objetivo establecido en el Plan de Desarrollo Toda una Vida, el cual pone en manifiesto la conservación de los ecosistemas como eje primordial para la supervivencia de los seres vivos, incluyendo la especie humana.

### **1.3 Objetivos:**

#### **1.3.1 Objetivo general:**

Evaluar los efectos del cambio de uso de suelo en la erosión de la cuenca alta del río Mira para el periodo 1996-2018.

#### **1.3.2 Objetivos específicos:**

- Analizar el cambio de uso de suelo en la cuenca alta del río Mira para el periodo 1996-2018
- Cuantificar la tasa de erosión hídrica para el periodo 1996-2018.
- Determinar la incidencia de los cambios de uso del suelo con la variación en las tasas de erosión hídrica

### **1.4 Pregunta directriz de la investigación**

¿Cuál es el efecto del cambio de uso de suelo en las tasas de erosión de la cuenca media alta del río Mira?

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **2.1 Marco teórico referencial**

##### **2.1.1 Cuenca hidrográfica**

Sheng (2010), menciona que la cuenca hidrográfica es una unidad hidrológica delimitada topográficamente, donde el agua fluye cuesta abajo hacia un drenaje en común. Además, una cuenca posee un enfoque multidisciplinario donde los factores físicos, biológicos, culturales, sociales y políticos, están en constante interacción, importantes para la gestión y planificación de los recursos naturales (Sriyana, Gijt, Kumala, y Bosco, 2020). Las cuencas hidrográficas proporcionan servicios ambientales como: suministro de agua, conservación de la biodiversidad, protege de la erosión del suelo, fija el carbono y proveen de recursos naturales que deben ser usados de manera eficiente para garantizar la sostenibilidad de los mismos y de la cuenca (FAO,2007).

##### **2.1.2 Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG)**

En la actualidad los avances tecnológicos han ayudado a que los Sistemas de Información Geográfica se conviertan en una herramienta muy útil, para comprender de mejor manera la dinámica de los cambios de uso de suelo, fenómenos naturales como; las erupciones volcánicas, inundaciones, e incendios, erosión entre otras, con esta información obtenida se puede plantear acciones para la prevenir eventos que puedan ocurrir en el futuro (Almaaitah, Azhari y Asri, 2018; Vijith et al., 2018). La teledetección o el uso de imágenes satelitales multitemporales, aglomera un nuevo concepto como es la geo-información, la cual nos permite combinar diferentes tecnologías para obtener información sobre las condiciones previas y posteriores sobre algún fenómeno natural, importante para entender de una mejor manera los distintos problemas que se suscitan en la tierra (Prasannakumar, Vijith, Abinod y Geetha, 2012).

### **2.1.3 Herramienta de teledetección para analizar el cambio de uso de suelo y cobertura vegetal**

Demissie, Yeshitila, Kindu et al., (2017), mencionan que el cambio de cobertura vegetal puede ocurrir de forma natural, debido a variaciones climáticas, erupciones volcánicas, huracanes, o puede ser impulsado por las diferentes actividades antrópicas, resultado de las interacciones entre los factores socioeconómicos, institucionales y ambientales. La cobertura vegetal es el tipo de cubierta que se encuentra en la superficie terrestre, que se encuentra en constante modificación por aumento de la deforestación, asociando al cambio de uso de suelo (Seingier, Espejel, y Fermán, 2009).

La fuerte presión del crecimiento demográfico y las actividades antrópicas sobre la naturaleza ha ocasionado la transformación de los bosques naturales, pastizales y vegetación arbustiva en áreas agrícolas, zonas pobladas, entre otras (Lambin y Turner, 2001). Además, la falta de ingresos económicos y la demanda de materia prima de los bosques, ocasiona la conversión natural (Rosa, Ortiz, Nava y Larqué, 2006). Es así, que la pérdida de cobertura vegetal es uno de los principales temas de prioridad ambiental a nivel global, debido, a la alteración la dinámica de los ecosistemas, aumenta la desertificación, acidificación, salinización y ciclos hidrológicos (FAO, 2018).

El cambio de uso de suelo y pérdida de cobertura vegetal, en las últimas décadas se ha convertido en el principal centro de investigación ambiental (Bocco, Masera y Mendoza, 2001). En la actualidad en avance de la tecnología permite obtener datos de calidad de teleducación y la utilización de los sistemas de información geográfica, complementan el trabajo de campo, para comprender la dinámica de los cambios de uso de suelo, además, de entender las causas y efectos de estos cambios, permite identificar zonas susceptibles a cambios, importante para la planificación del territorio (Osuna et al., 2015).

### **2.1.3.1 Deforestación**

FAO (2012), menciona que la deforestación es la conversión de los bosques a otro tipo de uso de la tierra, independientemente si es inducido por seres humanos o no. La deforestación de los bosques está relacionada con la expansión agrícola, crecimiento poblacional y pobreza, debido, a la carencia de medios económicos, lo que conduce a seguir impactando la naturaleza (Lambin y Turner, 2001; Rosa et al., 2006).

La deforestación es causada principalmente por la acción del ser humano, debido a la demanda de recursos madereros, para la construcción de infraestructuras, asentamientos humanos, alimento entre otros (Shvidenko, 2008). En los países tropicales y subtropicales ha causado la pérdida del 73% de los bosques, como consecuencia, los ciclos biogeoquímicos, composición y funcionamiento de los ecosistemas, régimen climático y pérdida de suelo se han alterado (FAO, 2016; Preciado, González, Mendoza y Silva, 2017).

El aumento de la deforestación provoca la pérdida y extinción de la biodiversidad, donde millones de especies dependen de los ecosistemas para poder vivir, alrededor del 70% plantas y animales viven en los bosques (García, 2016). La fragmentación y transformación de los ecosistemas ha llegado a un punto de riesgo, donde la capacidad de resiliencia de los bosques se encuentra inestable, provocando un cambio ambiental (Rosa et al., 2006).

Otro aspecto de la pérdida de los bosques son cambios en regímenes climáticos, afectando directamente al medio físico, provocando aumento de las lluvias, reducción de los glaciares, sequías y afectación a la biodiversidad por el aumento de temperatura, así como también el aumento de plagas que hacen que los bosques sean más vulnerables a las alteraciones (Mendizábal, 2015).

#### **2.1.4 Erosión del suelo**

Tayupanta y Córdova (1990), mencionan que la erosión hídrica es el arrastre de partículas edáficas por la acción de diferentes agentes como: precipitación, el viento, hielo, los animales y por las actividades humanas. Existen dos formas de erosión; la erosión natural o geológica la cual ha ido modelando las cuencas, valles, playas, por distintos procesos erosivos lentamente y la erosión antrópica es mucho más rápida, las partículas edáficas son más susceptibles a ser transportadas y provocar la erosión (Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura, 2009).

La susceptibilidad de la erosión del suelo está condicionada por un número de variables como son; la precipitación, textura del suelo, longitud de la pendiente, orientación del terreno y tipo de vegetación (Millward y Mersey, 1999). Se estima que antes que las actividades humanas empezaran, aproximadamente los ríos transportaban alrededor de 9 000 millones de toneladas/año de sedimento al océano, sin embargo, ahora los valores han aumentado dos veces y media su cantidad original a 24 000 millones de toneladas/año (Frederick y Tarbuck, 2005).

La erosión del suelo, generalmente está asociada con las prácticas agrícolas, debido a que los agricultores se han visto en la obligación de usar tierras con pendientes más elevadas para su producción, esto ocasiona que los terrenos descubiertos se erosionen más rápido por acción de la lluvia (arrastre de partículas) y acción del viento, transportando el recurso edáfico afuera de los cultivos (Narayana y Babu, 1984; Ramírez et al., 2011). Por esta razón, el suelo está perdiendo su fertilidad, es así, que cada año se pierde una media mundial 0,3% del suelo, así como también se pierde biodiversidad edáfica y la resiliencia del suelo (FAO, 2016).

#### **2.1.5 Modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (RUSLE)**

Existen varias metodologías para estimar la erosión hídrica, mediante la forma directa, que consiste en la obtención de datos en campo, donde se implementan

parcelas experimentales como las parcelas de escorrentía y los clavos de erosión, mientras los métodos indirectos son modelos físicos, matemáticos, conceptuales desarrollados en base a estadística, estima la erosión mediante variables meteorológicas, como es RUSLE (Alfaro, 2014). La ecuación universal de pérdida de suelo (RUSLE), es el modelo con difusión a nivel mundial y con mayor precisión para estimar la erosión de suelo (Jazouli, Barakat, Khellouk, Rais y Baghdadi, 2019).

El modelo RUSLE es una ecuación empírica, que basado en la lógica inductiva utiliza una serie de algoritmos matemáticos y la correlación de los factores erosivos para estimar la erosión (Alcañiz, 2018; Tesfaye y Tibebe, 2018). Este modelo integrado en SIG es una importante herramienta para estimar y obtener un mejor análisis de la erosión hídrica, debido a que ocupa varias variables como; erosividad de lluvias (R), factor de erodabilidad del suelo (K), factor topográfico (LS), factores de cobertura vegetal (C) y prácticas de manejo de conservación (P), generalmente es ocupado en la estimación de cuencas hidrográficas (Ganasri y Ramesh, 2015; Vijith et al., 2018).

### **2.1.6 Cambio de uso de suelo y erosión**

La vulnerabilidad de la erosión de suelo se identificó, cuando se asoció con el cambio de uso de suelo, la alteración del terreno, las prácticas agrícolas y la deforestación, ocasiona el aumento de la pérdida de suelo (Vijith et al., 2018; García-Ruiz, 2010). La erosión hídrica ocurre cuando los suelos alterados y son expuestos a fenómenos climáticos, donde las partículas edáficas son desprendidas, transportadas y depositadas en los valles o cuerpos de agua (Jahun, Ibrahim, Dlamini, y Musa 2015). Los suelos erosionados transportan nutrientes, productos químicos agrícolas entre otros, contaminando los cuerpos de aguas superficiales y subterráneos (Gallaher y Hawf, 1997).

La constante deforestación, actividad agrícola y crecimiento poblacional, acelera los procesos de erosión hídrica de los suelos fértiles, convirtiéndose en unos de los

problemas ambientales de prioridad a nivel mundial y de mayor interés en los últimos años (Jazouli, Barakat, Khellouk, Rais y Baghdadi, 2019). La falta de una adecuada planificación en el cambio de uso de suelo, hace que no se respeta la capacidad de la tierra, el uso natural, existe sobre uso de la tierra (Vijith et al., 2018).

## **2.2 Marco legal**

### **2.2.1 Constitución de la República del Ecuador**

EL presente estudio se sustenta en el marco de la Constitución de la República del Ecuador vigente, en el título segundo, sección segunda (Ambiente Sano) artículo 14 se estipula: “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados”

Así como también en el título séptimo (Régimen del Buen Vivir), capítulo segundo (Biodiversidad y Recursos Naturales), sección quinta (Suelo) artículo 409 y 410 mencionan: “Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión. En áreas afectadas por procesos de degradación y desertificación, el Estado desarrollará y estimulará proyectos de forestación, reforestación y revegetación que eviten el monocultivo y utilicen, de manera preferente, especies nativas y adaptadas a la zona”

“El Estado brindará a los agricultores y a las comunidades rurales apoyo para la conservación y restauración de los suelos, así como para el desarrollo de prácticas agrícolas que los protejan y promuevan la soberanía alimentaria”

### **2.2.2 Convenios Internacionales**

La convención de las naciones unidas para la lucha contra la desertificación se suscribió el 14 de octubre de 1994 y entro en vigor en el 26 de diciembre de 1996, debido, a que la desertificación de uno de los mayores problemas a nivel mundial, en el aspecto social, económico y ambiental, este acuerdo internacional está firmado por 197 países, con la finalidad de establecer proyectos para la conservación natural y la restauración de tierras degradadas.

### **2.2.3 Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización (COOTAD)**

Los gobiernos autónomos descentralizados cumplan con las competencias, garantizando un equilibrio interregional, como se estipula en los artículos 15 y 32 la armonía entre regiones, con la finalidad de que exista la complementariedad ecológica y manejo integrado de las de cuencas hidrográficas, mediante la creación de consejos de cuencas hidrográficas, de acuerdo con la ley.

### **2.2.4 Código Orgánico del Ambiente (COA)**

En relación con el Código Orgánico del Ambiente, los artículos 5, 197 mencionan que la población tiene derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, donde promueva la conservación y uso sostenible del suelo, aquellas actividades que causan la erosión, la degradación, la desertificación del suelo deberían ser reguladas, y en caso de ser necesario, restringidas por la Autoridad Ambiental Nacional. Además, en el artículo 261 la entidad encargada deberá coordinar con las entidades intersectoriales priorizar la rehabilitación y protección de las zonas vulnerables a inundaciones, sequias, heladas, degradación del suelo de acuerdo con la priorización que se dicte para el efecto.



### **2.2.5 Plan Nacional de Desarrollo**

Dentro del Plan Nacional de Desarrollo menciona en el objetivo 3 garantiza los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones, para lo cual plantea el uso sostenible de los recursos naturales renovables y no renovables con el fin de precautelar el patrimonio natural y la vida humana, así como también promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático.

# CAPÍTULO III

## METODOLÓGIA

### 3.1 Descripción del área de estudio

La cuenca media-alta del Mira es una cuenca binacional que se encuentra localizada en el norte del país y al sur Colombia, presenta una extensión de 5.045,51 km<sup>2</sup> (Figura 1). El rango altitudinal varía desde los 530 m s.n.m. hasta los 4.000 m s.n.m. Sus límites: en el Norte las cuencas del río San Juan y el río Carchi, en el Sur Nudo de Mojanda, por el Este la Cordillera Oriental de los Andes y por el Oeste la Cordillera Occidental (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2005). La cuenca está constituida por trece cantones, como; Bolívar, Espejo, Mira, Montufar, San Pedro de Huaca, San Lorenzo Ibarra, Antonio Ante, Cotacachi, Otavalo, Pimampiro y San Miguel de Urcuquí, ubicadas principalmente en las provincias de Imbabura, Esmeraldas y Carchi.

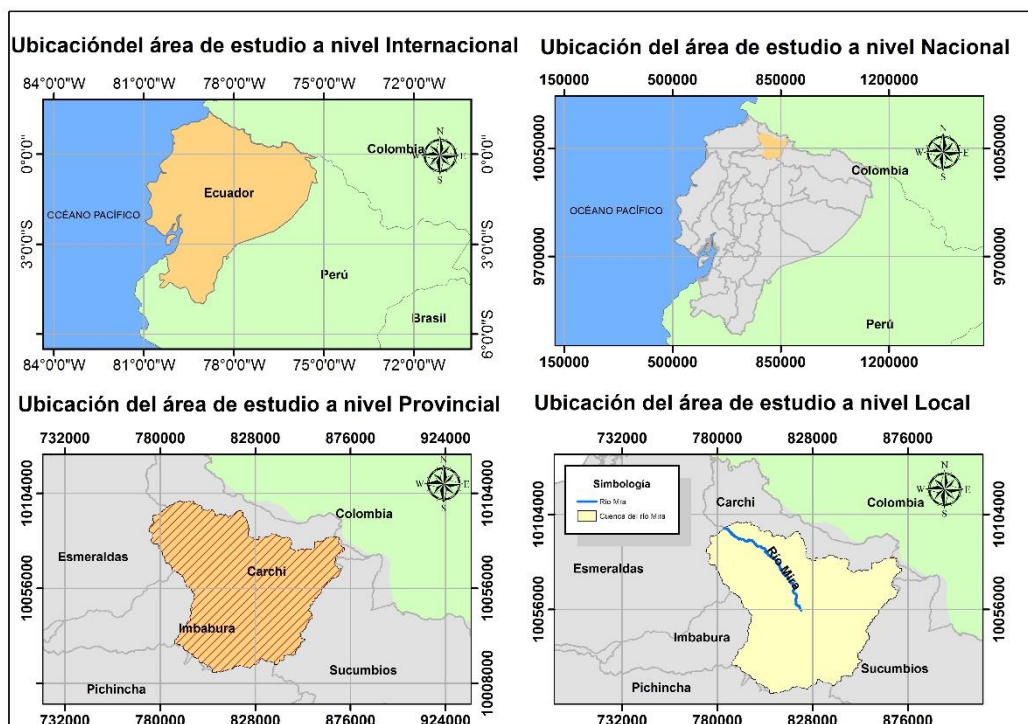


Figura 1. Ubicación de la cuenca alta del río Mira

### 3.1.2 Caracterización biofísica

La cuenca del río Mira debido a su ubicación geográfica se encuentra en dos zonas, en la zona interandina y en las estribaciones de la cordillera occidental, por los suelos son origen volcánico, y caracterizan por la presencia de depósitos piroclásticos (Tabla 1) (INAMHI, 2005).

**Tabla 1.** Órdenes de suelo de la cuenca alta del río Mira

<b>Órdenes</b>	<b>Características</b>
Entisoles	Suelos jóvenes, con poca cantidad de materia orgánica, los horizontes no se encuentran muy desarrollados
Inceptisoles	Suelos que presentan un horizonte pobre en materia orgánica, debido a las alteraciones geológicas, estas tierras se encuentran ubicadas en zonas climáticas muy frías-húmedas
Mollisoles	Suelos muy fértiles, alto contenido de materia orgánica, formación es a partir de sedimentos minerales, ubicados en zonas secas hasta húmedas

Fuente: (PDOT Carchi, 2015; PDOT Imbabura, 2015)

La cuenca del río Mira presenta un sistema orográfico influenciado por la corriente cálida del Niño, lo que ha dado origen a diferentes tipos de climas, desde páramos en las partes más altas y en las partes más bajas bosques tropicales, la precipitación media anual oscila entre los 600 y 3.000 mm (INAMHI, 2005; Altamirano, 2013; Iza y Tose, 2017). Según la clasificación climática de Pourrut (1995), la cuenca posee clima ecuatorial mesotérmico semi-húmedo a húmedo, mesotérmico seco, frío de alta montaña y mega térmico muy húmedo.

### 3.1.3 Geomorfología

La cuenca del río Mira se encuentra ubicada en tres zonas geomorfológicas; Zona interandina, se originó de varios periodos orogénicos, especialmente en el Pleistoceno, dando origen a volcanes, fallas geológicas, relieves, planicies entre otros, cubiertos por piro-clastos, flujos basálticos, andesitas, areniscas y conglomerados (Coltorti y Ollier, 1999; INAMHI, 2005). Zona de depresión

geomorfológica, ubicada en el Valle del Chota, formado por depósitos de sedimentos aluviales y finalmente la Zona de estribación de la Cordillera Occidental, caracterizada por la presencia de rocas volcánicas (INAMHI, 2005).

### 3.1.4 Ecosistemas

La cuenca del Río Mira cuenta con diferentes ecosistemas, donde existe gran biodiversidad de flora y fauna, entre los principales ecosistemas están; bosques nublados, bosque piemontano, bosque montano bajo, bosque seco y los páramos (FAO,2007; Iza y Tose, 2017) (Tabla 1).

**Tabla 2.** Ecosistemas de la cuenca del río Mira

Ecosistemas	
Categorías	Características
Páramo	Ecosistemas de alta montaña, importantes en el mantenimiento de los caudales ecológicos y almacenamiento del recurso hídrico (MAE, 2013). Se encuentran ubicados a una altitud aproximadamente de 3 600 a 4 500 m s.n.m. caracterizado por presentar alrededor del 60% de plantas endémicas. Su composición florística dominada principalmente por <i>Calamagrostis intermedia</i> , <i>Espeletia pycnophylla</i> , <i>Polylepis sp</i> , <i>Gynoxys sp</i> , entre otras (Sklen, Luteyn, Ulloa, y Dillon, 2005; Buytaert et al., 2006). Este ecosistema se encuentra amenazado por la quema de pastizal y aumento de las actividades agrícolas (Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales, 2009).
Bosque montano alto	Se encuentra ubicado entre los 3 000 hasta los 3 400 m s.n.m, se caracteriza por presentar vegetación de transición entre la ceja andina y el páramo, especies dominantes como <i>Miconia tinifolia</i> , <i>Weinmannia sps</i> , <i>Miconia tinifolia</i> , <i>Hedyosmum cumbalense</i> entre otras (Suárez, 2008). Pero, este ecosistema se encuentra alterado, debido a causas naturales (derrumbes, deslaves) y por actividades antrópicas (incendios, agricultura) (Luteyn J,1999).
Boques Nublados	Se encuentran ubicados en las zonas montañosas en un rango altitudinal entre 2 000 a 3 000 m s.n.m el clima es húmedo a hiper-húmedo, debido a la presencia de precipitación durante todo el año, una vegetación rica en epífitas como orquídeas, helechos y bromelias

---

(FAO,2007). Este ecosistema posee un alto endemismo de flora (*Meriania tomentosa*, *Meriania máxima*, *Clusia alata*) y fauna (*Thomasomys aureus*, *Prisitmantis eugeniae*, *Plathyrrhinus dorsalis*) entre otras, importantes y necesarias para la supervivencia del ecosistema (MECN, 2009).

---

Bosque Montano bajo

Ubicado desde los 1 300 hasta 1 800 m s.n.m. su composición florística se caracteriza por selvas siempre verdes con árboles que alcanzan un dosel de 25 a 30 m, los árboles dominantes son los ceibos (*Spirotheca rimbachii*) y guamuro. La humedad del ecosistema hace posible la existencia de epífitas (helechos, musgos, orquídeas) (Baquero et al., 2004). Este ecosistema de montaña posee una gran diversidad de fauna, como águila andina (*Spizaetus isidori*), camaleón sudamericano (*Anolis aequatorialis*), preñadilla (*Astroblepus aff. cyclopus*) entre otros (MECN, 2009).

---

Bosque seco interandino

Ubicado entre los 1 800 y 2 600 m s.n.m. en los valles interandinos, con precipitaciones que varían de 400 hasta 600 mm, con temperaturas entre los 18 y 22°C (Aguirre, Kvist y Sánchez, 2006; MAE, 2013). Se caracteriza por presentar bosques con un dosel hasta los ocho metros y vegetación arbustiva xenófila, espinosa con cuatro metros de altura, las especies características son; *Acacia macracantha*, *Caesalpinia spinosa*, *Opuntia cylindrica* entre otras. Existe gran diversidad de fauna aun con las condiciones climáticas como; guagsa (*Stenocercus guentheri*), falsa coral (*Lampropeltis triangulum*) entre otras (MECN, 2009).

---

### 3.1.5 Diagnóstico social

Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (2012), la proyección de la población para el año 2020 para la Provincia de Imbabura será de 476 257 habitantes y para la Provincia del Carchi será de 186 869 habitantes (Tabla 2).

**Tabla 3.** Proyección de la población para el año 2020

<b>Proyección de la Población</b>		
<b>Provincia</b>	<b>Cantón</b>	<b>Habitantes para el año 2020</b>
Carchi	Bolívar	15.528
	Espejo	13.817
	Mira	11.969
	Montufar	34.229
	San Pedro de Huaca	8.931
	Total Carchi	186.869
Imbabura	Ibarra	221.149
	Antonio Ante	54.311
	Cotacachi	44.203
	Otavalo	125.785
	Pimampiro	13.269
	San Miguel de Urcuquí	17.540
Esmeraldas	Total de Imbabura	476.257
	San Lorenzo	62.772

**Fuente:** (INEC, 2012)

### **Grupos étnicos**

La cuenca del río Mira se encuentra habitada por varios grupos étnicos; el pueblo Awá, se encuentran localizado en las provincias de Esmeraldas, Imbabura y Carchi. Se caracterizan por vivir en zonas montañosas de la selva tropical, donde las mujeres se dedican al cuidado de la familia y a la crianza de animales, mientras que los hombres se dedican a la agricultura, caza, pesca y elaboración de artesanías (Gómez, Gallego y Naranjo, 2017). Los afrodescendientes habitan en el valle del río Chota entre las provincias de Imbabura y Carchi, pueblo que mantiene su propia identificación cultural como la música bomba, las plantas del bosque son utilizadas para el alimento, medicina y para la elaboración de artesanías (PDOT Imbabura, 2015; Gómez, Gallego y Naranjo, 2017). El pueblo Otavalo se encuentra localizado en los cantones Otavalo, Cotacachi, Ibarra y Antonio Ante en la provincia de Imbabura, caracterizado principalmente por el comercio y elaboración de artesanías. Grupo étnico cuenta con vínculos con las comunidades a través de la producción agrícola, sus principales alimentos son tubérculos, maíz y mote (Rueda y Verdugo, 2017).

## **Actividades económicas**

Las principales actividades económicas que desarrollan en la provincia de Imbabura son; sector primario 8.35%, sector secundario 30.77% y el sector terciario 60.78% (PDOT Imbabura, 2015). En la provincia del Carchi el sector primario ocupa el 21.8%, sector secundario 3.6% y finalmente el sector terciario 74.7% (PDOT Carchi, 2015).

## **3.2 Métodos**

A continuación, se describen los métodos y procedimientos que se utilizaron en el presente estudio.

### **3.2.1 Fase 1: Análisis del cambio de uso de suelo en la cuenca alta del río Mira para el periodo 1996-2018**

#### **3.2.1.1 Pre-procesamiento de imágenes satelitales**

Se realizó la búsqueda y descarga en una imágenes Landsat de los sensores TM (*Thematic Mapper*), con una resolución espacial de 30 metros para el año 1996 y otra imagen Sentinel 2A con una resolución de 10 metros para el año 2018, a través del sitio web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (*Unites States Geological Survey USGS*, (<https://earthexplorer.usgs.gov/>); se verificó que las imágenes contengan el menor porcentaje de nubosidad posible, la descarga se realizó a través de Path Row 10/60 en formato Geotif (Alvear y Endara, 2018).

Las imágenes descargadas fueron corregidas geoméricamente, la corrección consistió en la proyección al sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM), DATUM WGS84 17 Sur, con el propósito de eliminar cualquier distorsión geométrica, para su integración dentro de SIG (Arevalo, González y Ambrosio, 2004). Posteriormente, se aplicó una corrección radiométrica para eliminar la interferencia de la atmósfera (vapor de agua y partículas de polvo)

(Chander, Markham, Helder y Ali, 2009). Las correcciones se realizaron mediante el software ArcGIS, finalmente las imágenes Landsat del año 1996 y Sentinel del 2018, fueron recortadas con el límite de la cuenca del río Mira, a través del software ArcMap 10.4, con la herramienta *Extract by mask*.

### **3.2.1.2 Procesamiento de imágenes satelitales**

Se aplicó la metodología de Castillejo, López, García, Peña, Sánchez, Jurado y Gonzáles (2009), que mencionan que el método consiste en identificar áreas espectralmente similares en una imagen, para lo cual en la imagen Landsat del año 1996, se procedió a realizar áreas de entrenamiento para cada categoría de cobertura vegetal y uso de suelo en el software ArcGis 10.4. Posteriormente, se realizó la clasificación supervisada de la imagen Sentinel 2(A) del año 2018 donde se realizó salidas de campo para generar firmas espectrales de las ocho categorías de uso de suelo y cobertura vegetal, se obtuvo 394 coordenadas para evaluar la precisión de la clasificación.

Las firmas espectrales de las categorías de uso de suelo fueron creadas mediante la herramienta *Create Signatures*. Además, se evaluó la función de probabilidad multidimensional para que cada píxel es asignado a la clase de mayor probabilidad de pertenencia mediante el algoritmo paramétrico de Máxima Verosimilitud o Probabilidad, el cual consistió en agrupar píxeles que tengan la misma reflectancia (Osuna et al., 2015). Finalmente, a los polígonos de las categorías de uso de suelo se aplicó un filtro de reducción de superficie, con el objetivo de eliminar áreas menores a 5 hectáreas, considerando el área mínima cartográfica, para lo cual se utilizó la herramienta *Eliminate* del software ArcGIS 10.4 (Morales et al., 2016).

### **3.2.1.3 Validación de la clasificación supervisada**

La matriz error o contingencia permite resumir datos, evaluar la exactitud de una clasificación, donde muestra la asociación de las filas que corresponden a las categorías (terreno), mientras que las columnas (mapa temático), la diagonal de la



matriz, representa la concordancia de los puntos entre el campo y el mapa, obteniendo como resultado mayor confiabilidad del uso de suelo (Hernández, González, Molina y López, 2016). Una vez realizada la clasificación supervisada de la imagen Sentinel 2(A) del 2018, se procedió a realizar la validación mediante la verificación de 72 puntos de control en campo, información que fue ingresada al software ArcGIS 10.4 para el cálculo de la matriz de contingencia. El índice de Kappa (ecuación 1) permitió evaluar la concordancia de la clasificación, los valores varían entre cero y uno, mientras más se acerque a uno mayor será la concordancia, mientras más se aleje de 1 mayor será la discordancia (Tabla 4) (Cerde y Villarroel, 2008)

**Ecuación 1.** Tamaño muestral

$$K = \frac{N\sum X_{ii} - N\sum X_{i+}X_{+i}}{N^2 - \sum X_{i+}X_{+i}}$$

X<sub>ii</sub>=Número de observaciones en el elemento de la fila i y columna i

X<sub>i+</sub>=Total de observaciones en la fila i

X<sub>+i</sub>=Total de observaciones en la columna i

N=Número total de observaciones incluidas en la matriz

**Tabla 4.** Valoración del coeficiente de Kappa

<b>Coeficiente de Kappa</b>	<b>Fuerza de concordancia</b>
0.00	Pobre
0.01-0.20	Leve
0.21-0.40	Aceptable
0.41-0.60	Moderada
0.61-0.80	Considerable
0.81-1.00	Casi perfecta

**Fuente:**( Cerda y Villarroel, 2008)

**3.2.1.4 Análisis del cambio de uso de suelo mediante la matriz de transición**

El análisis del cambio de uso de suelo y cobertura vegetal se lo realizó mediante la matriz de transición, esto permitió calcular los cambios ocurridos en el periodo de estudio, donde se empleando la intersección de los mapas de 1996 y 2018, de la cuenca del río Mira en el software ArcMap 10.4 (Silva y Rubio 2014), De esta

forma, se logró obtener patrones de cambio en la matriz, los datos que están en forma diagonal corresponde a las áreas que permanecen a la categoría de uso de suelo, mientras las que se encuentran afuera es la transición de la categoría, es decir la pérdida y ganancia (Osuna et al., 2015).

### **3.2.2 Fase 2: Cuantificación de la erosión hídrica del suelo para el periodo 1996-2018**

Para estimar la erosión del suelo se adaptó la metodología de (Vijith et al., 2018), donde utiliza la Ecuación de Pérdida de Suelo Universal revisada (RUSLE), el modelo permite obtener la pérdida de suelo anual, con la ayuda de la integración de un Sistema de Información Geográfica (SIG), para obtener un mejor análisis sobre la erosión. El modelo RUSLE considera 5 diferentes parámetros hidrológicos como son el suelo, precipitación, pendiente del terreno, vegetación y prácticas de conservación para determinar la pérdida del suelo, a continuación, se presenta la ecuación 2:

#### **Ecuación 2. Erosión hídrica**

$$A= R \times K \times LS \times C \times P$$

Donde:

A=es la pérdida anual de suelo en (t/ha/año)

R=es la erosividad de la lluvia (MJ mm/ ha/año)

K =es la erodabilidad del suelo, vulnerabilidad del suelo a la erosión (t ha ha/ ha MJ mm).

LS= es el factor de longitud de la pendiente y el factor de inclinación(adimensional)

C= es el manejo de la cobertura (adimensional)

P= es las prácticas de conservación (adimensional).

### 3.2.2.2 Factor de erosividad de la precipitación (R)

La precipitación causa el desprendimiento del suelo (impacto de las gotas de lluvia y escurrimiento), esto provoca que el horizonte fértil del suelo vaya disminuyendo constantemente y el material desprendido sea transportado hacia cuerpos de agua (Cisneros et al., 2012). Para determinar el factor R, se obtuvo datos de precipitación mensual y anual de las estaciones meteorológicas para el año 1996 y 2018, la información se obtuvo del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología de Ecuador (INAMHI) y del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) (Tabla 5).

**Tabla 5.** Estaciones meteorológicas de precipitación

Código	ESTACION	Latitud	Longitud	Altitud ( m s.n.m)	Distancia (km) al centroide de la cuenca
M0001	Inguincho	0.250189	-78.4003	3178	-
M0003	Izobamba	-0.366498	-78.5501	3058	64.44
M0103	San Gabriel	0.599843	-77.8163	2869	-
M0314	Ambuqui	0.424611	-78.0107	1819	-
5205500	Aeropuerto San Luis	0.856345	-77.6769	2964	27.75
5205010	Chiles	0.811255	-77.8451	3156	10.26
5102000	La Guayacana	1.41471	-78.4399	239	57.17
M0025	Concordia	-0.023864	-79.3714	201	124.27
5205010	El Comun	0.932216	-77.6283	3113	41.51
5102500	Biotopo	1.4085	-78.2817	506	56.26
5102500	Altaquer	1.24839	-78.0925	1004	47.87
M0358	Calacali	0.001247	-78.5123	2831	31.37
M1267	PedroVicente Maldonado	0.076577	-79.2251	336	45.97

Posteriormente, se realizó regresión lineal múltiple para estimar datos de precipitación faltantes de estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio, para lo cual se utilizó la ecuación 3. Este método consiste en expresar el grado de asociación entre las variables, coeficiente de correlación está representado por (R), este coeficiente puede estimar el grado de correlación lineal que puede existir entre estaciones, los valores varían de -1 a 1, donde el valor de cero indica una correlación nula, mientras que los valores -1 y 1 muestran una correlación total (Martínez, Tuya, Ortega, Pérez y Cánovas, 2009; Pizarro et al., 2009).

**Ecuación 3.** Regresión lineal múltiple

$$y=a+bx+cx+dx+ \dots n+$$

Donde:

Y= Precipitación estimada,

X= Precipitación de estación

a,b,c, n= Constantes de regresión

Para determinar el factor R, se obtuvo primero las variables predictoras, (latitud y longitud) con una distancia de 30 m, en el software ArcGIS 10.4 y la variable dependiente (Precipitación), estos datos fueron ingresadas en el software SPSS, para obtener de los coeficientes de correlación, es importante que R ajustado sea mayor a 0.7 para tener datos de precipitación que se acerquen a la realidad. Posteriormente se utilizó el software Excel para la aplicación de la ecuación de regresión lineal múltiple para verificar los valores obtenidos con los datos de precipitación de las estaciones. Finalmente, se aplicó el software ArcGIS 10.4, con la herramienta *raster calculator*, para la obtención de los raster de precipitación mensual y anual. Mediante el software ArcGIS 10.4, con la herramienta *raster calculator* se aplicó índice de Índice Modificado de Fournier, ecuación 4, con los datos obtenidos del SPSS, finalmente se obtuvo los raster de mensual y anual de precipitación de las estaciones, valores del IFM (Tabla 6).

**Ecuación 4.** Índice modificado de Fournier,

$$IMF = \frac{P_i^2}{P}$$

$P_i$  = es precipitación mensual (mm)

P = es una precipitación anual (mm).

**Tabla 6.** Clasificación de la erosividad del IFM Latinoamérica

Clase	Rango	Clasificación
1	0-60	Muy bajo
2	60-90	Bajo
3	90-120	Moderado
4	120-160	Alto
5	>160	Muy alto

**Fuente:** Lobo *et al.* (2006), citado por Ramírez *et al.* (2007).

### 3.2.2.3 Factor erodabilidad del suelo (K)

El factor (K) representa la susceptibilidad de la erosión del suelo, condicionada por las propiedades como la textura, porosidad, permeabilidad, cohesión y contenido de materia orgánica y por las fuertes lluvias y vientos, que determinan la vulnerabilidad de la pérdida de suelo (Wischmeier y Smith, 1978). Para el presente estudio, se utilizó los archivos shape de textura de suelo, materia orgánica, permeabilidad y para la estructura del suelo se realizó salidas de campo para identificar las diferentes estructuras. Los mapas de suelo a escala 1:25.000 se obtuvieron del MAG, se utilizó la ecuación 5 para el cálculo del factor K (Jazouli, Barakat, Khellouk, Rais y Baghdadi, 2019). Para determinar la textura del suelo se empleó el monograma (Figura 2).

#### Ecuación 5. Factor K erodabilidad

$$K = 27.66 X m^{1.14} x 10^{-8} x (12 - a) + 0.0043 x (b - 2) + 0.0033x(c - 3) \quad (5)$$

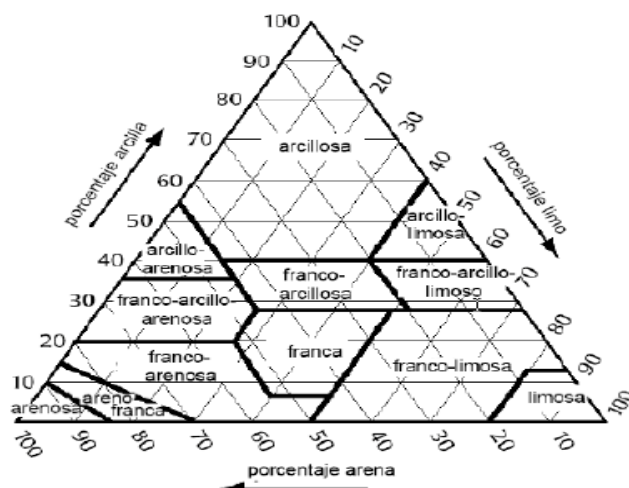
Donde:

$m = \text{limo (en\%)} + \text{arena muy fina (en\%)} \times (100 - \text{arcilla (en\%)})$

$a = \text{materia orgánica (\%)}$

$b = \text{código de estructura}$

$c = \text{código de permeabilidad}$



**Figura 2.** Monograma de la textura del suelo

**Fuente:** Mannaerts (1999)

### 3.2.2.4 Factor longitud de pendiente e inclinación (LS)

El cálculo del factor LS de la cuenca del río Mira, se lo obtuvo mediante el modelo digital de elevación (DEM) del área de estudio, con una resolución 30 m, el factor LS se genera usando la opción *Map algebra* o calculadora raster en donde se usó la ecuación 6, de acuerdo con la metodología (Aswathy y Indulekha, 2018).

#### **Ecuación 6.** Factor LS

$$LS = (Flow\ accumulation \times Cell\ size / 22.12)^{0.4} \times (\sin\ slope / 0.0896)^{1.3}$$

Donde:

Cell size=Tamaño de celda

Sin Slope= Seno de la pendiente

Flow accumulation= Acumulación de Flujo

### 3.2.2.5 Manejo de la cobertura (C)

Este factor una de las más significativos en la erosión del suelo, se debe a las alteraciones del suelo, causado por actividades antropogénicas. Los valores varían de 0 a 1, donde 0 indica que no hay cobertura vegetal, suelo erosionado, mientras que 1 indica protección de suelo por la cobertura vegetal según Pham, Degener, y Kappas, 2018; Tanyas, Kolat, y Suzen, 2015). De acuerdo con el método, este factor se calcula utilizando 5 sub-factores como se presenta en la ecuación 7.

#### **Ecuación 7.** Factor C

$$SLP = PLU * VD * SR * SM$$

PLU= Uso de suelo prioritario

VD= Densidad de vegetación

SR= Superficie de Rugosidad

SM= Humedad del suelo

Para el cálculo de la densidad de la vegetación, se utilizó el índice de vegetación avanzada (AVI), ecuación 8 y el índice de suelo desnudo (BI), ecuación 9, donde la aplicación de estos índices ayuda a tener mejor resultados de acuerdo a la cobertura vegetal (Tanyas, Kolat, y Suzen, 2015).

**Ecuación 8.** Índice de vegetación avanzada

$$AVI = [(B8 + 1) * (256 - B4) * (B8 - B4)]^{\frac{1}{3}}$$

**Ecuación 9.** Índice de suelo desnudo

$$BI = \frac{(B11+B4)-(B8-B2)}{(B11+B4)+(B8-B2)} * 100 + 100$$

La densidad de vegetación (VD), se obtiene multiplicando el AVI y el BI, los valores varían entre 0 y 1, donde la erosión disminuye a medida que aumenta los valores. El valor de VD debe estar en los mismos valores que SM y PLU, para lo cual VD se debe restar 1 y se obtiene el índice VD (Tanyas, Kolat, y Suzen, 2015).

El uso de suelo prioritario (PLU) indica los efectos de la labranza que se realiza en las zonas agrícolas, para lo cual el valor de 1 equivale para condiciones de labranza reciente, mientras que el valor de 0.45 para áreas donde no se realiza ninguna práctica de labranza en el suelo durante siete años o algún periodo específico (Tanyas, Kolat, y Suzen, 2015). Para determinar este factor se realizó 72 entrevistas con una confiabilidad del 90%, con la finalidad de conocer el tiempo labranza que se realiza en las áreas de cultivo de la cuenta del río Mira.

El sub-factor de humedad del suelo es importante en la erosión del suelo, por lo que se debe aplicar con cuidado, tomando en cuenta si en el área de estudio presenta un exceso de infiltración (Tanyas, Kolat y Suzen, 2015). Por lo anteriormente mencionado se aplicó la Ecuación 10, propuesta por Thornthwaite and Mather (1995), para determinar si en la cuenca del río Mira la precipitación es mayor que la evapotranspiración, se obtuvo que la precipitación es mayor que la evapotranspiración, por lo que existe exceso infiltración en la cuenca, en ese contexto SM obtuvo un valor de 1 (Tabari y Talae, 2013; Tanyas, Kolat, y Suzen, 2015).

### **Ecuación 10.** Precipitación y evapotranspiración

$$MI = \left(1 - \frac{PET}{P}\right) \quad P > PET$$

Donde:

P= Precipitación

EP= Evapotranspiración

El sub factor de rugosidad de la superficie (SR), se determinó empleado el índice de rugosidad (TRI), sin embargo, en el área de estudio no se tomó en consideración, debido a que los valores indicaron que el área de estudio presentaba una superficie lisa, en mayor parte de la cuenca (Abdulkareem, Pradhan, Sulaiman y Jamil, 2017). La rugosidad de la superficie se generó a partir los mapas de uso de suelo y cobertura vegetal, además se aplicó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para determinar el factor C (Erdogan, Erpul y Bayramin, 2007).

#### **3.2.2.6 Factor prácticas de conservación (P)**

El factor (P) se determinó mediante la aplicación de entrevistas a los representantes de las comunidades, con una confiabilidad al 90%, un total de 72 entrevistas que se distribuyeron en toda el área de estudio, con la finalidad de conocer si existen prácticas de conservación. Los valores varían de 0 a 1, donde el (0) indica prácticas de conservación y el 1 no hay prácticas de conservación (Tanyas, Kolat y Suzen, 2015).

#### **3.2.3 Fase 3: Determinación de la incidencia de los cambios de uso de suelo con la variación en las tasas de erosión.**

##### **3.2.3.1 Modelo de regresión geográfica ponderada**

El modelo de Regresión Geográfica Ponderada (GWR), es una extensión de la regresión estándar tradicional, permite obtener una mejor comprensión de un



conjunto de datos, esencialmente de carácter local, en lugar de global (Brunsdon, Fotheringham y Charlton, 1996). Es un tipo de estadística local, que modela relaciones que varían espacialmente, para establecer un conjunto de estimaciones de los diferentes parámetros locales, para poder comprender las posibles causas ocultas de este patrón (Fotheringham et al., y Alabama.2002). El modelo se expresa en la siguiente fórmula 11.

**Ecuación 11.** Regresión geográfica ponderada

$$y_i = B_0(u_j, v_j) + \sum_{i=1}^P B_i(u_j, v_j) X_{ij} + \varepsilon_j$$

Donde:

- uj y vj= son las coordenadas para cada ubicación j
- $\beta_0(u_j, v_j)$  = es la intersección para la ubicación j,
- $\beta_i(u_j, v_j)$  = es la estimación del parámetro local para la variable independiente
- $X_i$  = en la ubicación j.

Para determinar la incidencia del cambio de uso de suelo sobre la erosión, se dividió la cuenca del río Mira, en 25 microcuencas, posteriormente se realizó la obtención de datos de la variable independiente, la cual corresponde a la variación de cambio de uso de suelo, se obtuvo mediante la resta de la cobertura vegetal del 1996 y 2018 en hectáreas, para cada categoría de uso de suelo, excepto para la categoría cuerpo de agua, y para la variable dependiente, erosión hídrica, se obtuvo la erosión media del raster para cada microcuenca y a continuación, se realizó la resta del 2018 y 1996 en unidades de t/ha/año. Finalmente se aplicó el modelo de Regresión Geográfica Ponderada (GWR), con la variable independiente y dependiente, para la elaboración del mapa temático se ocupó el  $R^2$  local, para medir el grado de correlación espacial de las variables (Tabla 7).

**Tabla 7.** Rangos del coeficiente  $R^2$  para la regresión geográfica ponderada

<b>Rango <math>R^2</math></b>	<b>Aceptabilidad</b>
0-0.25	Muy baja
0.25-0.50	Baja
0.50-0.75	Alta
0.75-0.96	Muy alta

Fuente: Nash-Sutcliffe, 1970 citado por (Ruales y Dávila 2019)

### 3.3 Materiales y equipos

A continuación, se detallan, los materiales, equipos y software que se utilizó para la investigación (Tabla 8).

**Tabla 8.** Materiales y equipos que se utilizaron en la investigación

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
Software ArcGIS (versión 10.4)	Computadora portatil -HP
Software Arcview 3.2	Cámara fotográfica
Libreta de campo	Vehículo
Imagen satelital LANDSAT del sensor ETM, con resolución espacial de 30m del año	Navegador GPS
Imagen del satélite: SENTINEL 2A, con resolución espacial de 10m del año 2018	Impresora
Cartas topográficas del MAG escala 1:25 000	
Datos meteorológicos del INAMHI	

## CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Análisis el cambio de uso de suelo en la cuenca media alta del río Mira para el periodo 1996-2018

A continuación, se presenta los resultados obtenidos del análisis multitemporal, del cambio de uso de suelo de la cuenca alta del río Mira

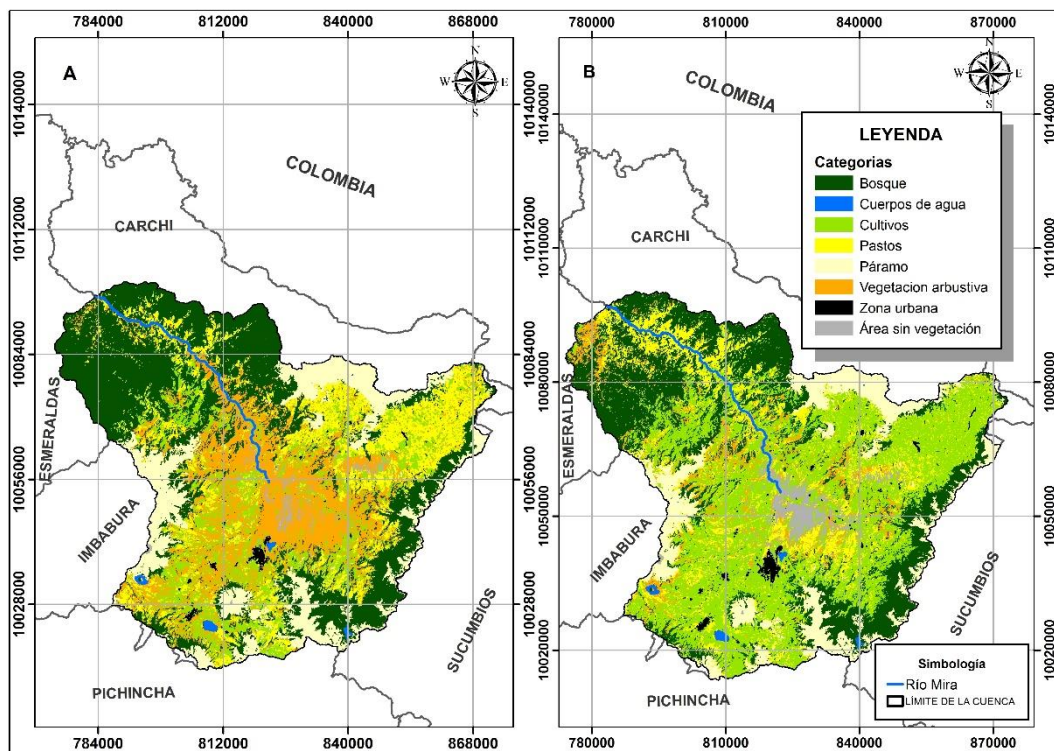
#### 4.1.1 Matriz de confusión para la validación de la clasificación supervisada

Se determinó mediante la clasificación supervisada de la cuenca alta del río Mira, un valor del coeficiente del índice kappa de 0.88% que corresponde a una clasificación “Casi Perfecta” (Tabla 9).

**Tabla 9.** Matriz de confusión de la clasificación supervisada de la imagen Satelital 2A 2018

Clases	Referencia								T otal	Exa ctitud
	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	8	0	0	0	0	0	0	0	8	100
2	0	7	0	0	0	0	0	0	7	100
3	0	0	9	2	0	0	1	0	12	75
4	0	0	0	7	0	0	0	0	7	100
5	0	2	0	0	9	1	0	0	12	75
6	0	0	0	0	0	8	0	0	8	100
7	1	0	0	0	0	0	8	0	9	88.8
8	0	0	0	0	0	0	0	9	9	100
Total	9	9	9	9	9	9	9	9	72	
Exactitud	88.8	77.7	100	77.7	100	88.8	88.8	100		

De acuerdo con el análisis multitemporal las categorías de uso de suelo y cobertura vegetal para el periodo 1996 -2018, muestra la distribución espacial del cambio de uso de suelo (Figura 3).



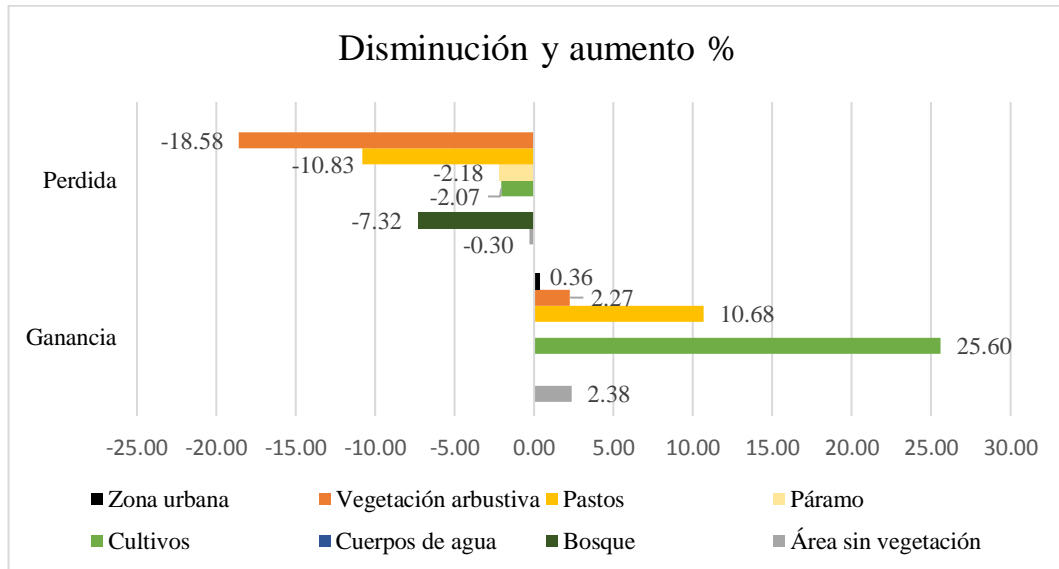
**Figura 3.** Cobertura vegetal del año 1996 (A) y del año 2018 (B)

En la matriz de transición se utilizó ocho categorías de uso de suelo, Bosque, Vegetación Arbustiva, Pastos, Cultivos, Páramo Cuerpos de Agua, Área sin Vegetación y Zona urbana, donde las categorías que presentaron mayor transición hacia cultivos fueron los pastos y vegetación arbustiva, con un valor de 10.73% y 10.67% respetivamente (Tabla 10).

**Tabla 10.** Matriz de transición de cambio de uso del suelo entre 1996-2018 (%)

		2018							Total 1996	Pérdida	
1996		Área sin vegetación	Bosque	Cuerpos de agua	Cultivos	Páramo	Pastos	Vegetación arbustiva	Zona urbana		
Área sin vegetación		0.66	0.00	0.00	0.26	0.00	0.03	0.00	0.02	0.96	0.30
Bosque		0.01	26.41	0.00	3.15	0.00	2.23	1.93	0.00	33.73	7.32
Cuerpos de agua		0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	0.00
Cultivos		0.18	0.00	0.00	11.70	0.00	1.68	0.00	0.20	13.76	2.07
Paramo		0.00	0.00	0.00	0.79	11.09	1.05	0.33	0.00	13.27	2.18
Pastos		0.07	0.00	0.00	10.73	0.00	3.91	0.00	0.03	14.74	10.83
vegetación arbustiva		2.11	0.00	0.00	10.67	0.00	5.70	4.15	0.11	22.73	18.58
Zona urbana		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	0.48	0.00
Total 2018		3.03	26.41	0.32	37.30	11.09	14.59	6.42	0.84	100.00	41.28
Ganancia		2.38	0.00	0.00	25.60	0.00	10.68	2.27	0.36	41.28	

El análisis de la matriz de transición se realizó para el periodo 1996-2018, se obtuvo que la variación de la vegetación arbustiva disminuyó en un 18.58%, mientras que los cultivos presentaron aumento en un 25.60%, los cambios de superficie están representados en la figura 4.



**Figura 4.** Disminución y aumento (%) de la cobertura vegetal 1996-2018

En la presente investigación, en el periodo 1996-2018, se registró que las coberturas: bosque, páramo, vegetación arbustiva y cuerpos de agua disminuyeron en superficie, mientras que los cultivos, pastos, zona urbana y aérea sin vegetación aumentaron en área respecto a la cuenca

El crecimiento poblacional de acuerdo con los censos realizados en los años 1990, 2001 y 2010 indican el crecimiento población de la provincia de Imbabura de 1.37%, 2.01%, 1.63% y de la provincia del Carchi de 1.27%, 0.71% y 0.81% respectivamente para los diferentes años, dando lugar al aumento de la población y por ende a zonas urbanas (INEC, 2010).

La mayor parte de la superficie de la cuenca se ha convertido en áreas dedicadas a la siembra de cultivos permanentes (frutales, caña, plátano, etc.) y cultivos transitorios (cebolla, arveja, trigo etc.) de acuerdo con las condiciones de climáticas. Un estudio realizado por Harden (1988), menciona que la presión de la población humana sobre los recursos naturales, ha causado el aumento de la deforestación de los paisajes tropicales para establecer tierras agropecuarias y asentamientos humanos.

Los resultados obtenidos coinciden con las investigaciones realizadas por Osuna et al., (2015); Pinos (2016); Carrión (2017), donde afirman que las actividades agrícolas se han convertido en la principal manifestación de cambio de uso de suelo, transformando coberturas naturales en zonas de producción agrícola, debido al aumento de la población, que ocasiona la necesidad de establecer nuevas tierras para la agricultura.

Un estudio realizado por Ochoa et al., (2013), en la en la cuenca de Zamora Huayco, Loja (Ecuador), también posee resultados semejantes al estudio, se evidenció el aumento de las actividades agrícolas, principalmente para la superficie de pastos, donde el 43% de los bosques fueron reemplazados por pastos, para la crianza de ganado, alterando la dinámica de los bosques.

Los bosques de la cuenca del río Mira en el periodo de estudio disminuyó considerablemente, el estudio realizado por Harden (1988), señala que la deforestación durante los años sesenta y setenta incrementó, debido, al aumento de la actividad agrícola. Además, un estudio realizado por Endara (2017), determinó la disminución del bosque del 0.3%, relacionado con el aumento de las actividades antrópicas. Sin embargo, las áreas protegidas que se encuentra en la cuenca, han desempeñado una función importante en la protección y conservación de los recursos biológicos y culturales (Jian y Yu, 2019; López, López, Gerique y Salazar, 2020).

Por otro lado, los ecosistemas secos son frágiles e intervenidos por la población humana, la deforestación, el desarrollo de la agricultura y ganadería, causa que los suelos disminuyan su capacidad productiva, por la erosión de nutrientes del suelo. Aguirre, Kvist y Sánchez, (2006); García y Gómez, (2017). Además, estos hábitats albergan gran diversidad biológica endémica, la cual se encuentra amenazada por la influencia de las actividades antrópicas, las características edafológicas de los suelos son muy aptas para cultivos por lo que se encuentran intervenidos (Aguirre, Kvist y Sánchez, 2006).

Cabe señalar que la clasificación de la imagen se obtuvo una representación casi perfecta de 0.88 para el año 2018. Este valor coincide con el estudio de Landis y Koch (1977), mencionan que los valores mayores a 0.81 conciernen una clasificación casi perfecta.

En contexto el cambio de uso de suelo en la cuenca alta del río Mira, se deriva del crecimiento población, debido, a la mayor demanda de productos agrícolas, esto ocasionó el aumento de la deforestación para establecer nuevas áreas para la agricultura, ganadería entre otras (Osuna et al., 2015). La constante pérdida de la cobertura natural por las diferentes perturbaciones antrópicas, está afectando a la capacidad de resiliencia de los ecosistemas y a la biodiversidad (Cuevas, 2010).

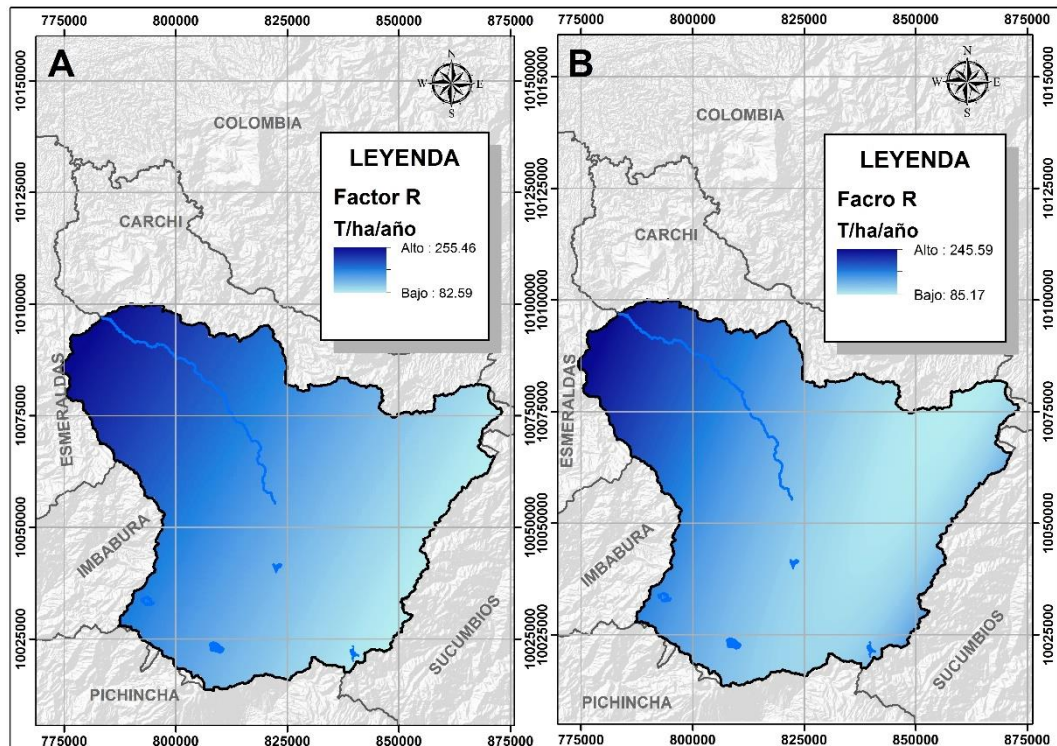
## **4.2 Factores de erosividad en los años 1996 y 2018**

### **4.2.1 Erosividad de la precipitación (Factor R)**

El factor de erosividad de la precipitación en la cuenca alta del río Mira, se evidenció que los valores del factor R, varían de 255.48 t/ha/año a 245.59 t/ha/año, este cambio se debe a la disminución de la precipitación erosiva en el área de estudio. Donde la parte superior noroeste de la cuenca, presenta la mayor erosividad, debido al poseer un clima ecuatorial mesotérmico semi-húmedo a húmedo, mientras que al sureste disminuye la erosividad de la lluvia (Pourrut, 1983). Varios estudios mencionan que la precipitación es el principal factor climático que influye en la erosión del suelo, por



la duración, intensidad y frecuencia (Ganasri y Ramesh, 2015; Noni y Trujillo, 1986; Sarathi y Padmini, 2015). Sin embargo, zonas con abundante vegetación natural la erosión de la precipitación se vuelve nula, debido la cubierta vegetal protege al suelo de las gotas de lluvia, mientras que áreas con escasa cobertura vegetal es más susceptible a erosión, mediante la formación de escorrentías (García et al., 2015; Vijith et al, 2018), de tal manera, en la parte media de la cuenca presenta un ecosistema seco, con poca vegetación es vulnerable a erosión hídrica (Figura 5).



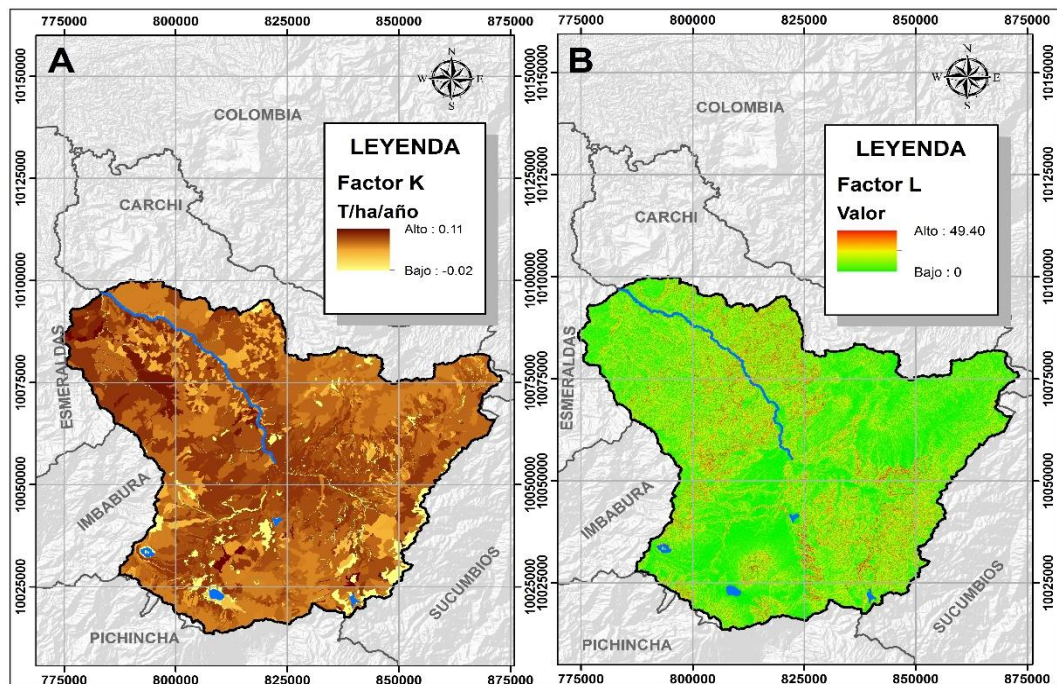
**Figura 5.** Erosividad de la precipitación del año 1996 (A) y 2018 (B)

#### 4.2.2 Erodabilidad del suelo (Factor K) y Factor topográfico (LS)

El factor K y factor LS se representan en un mapa temático debido a que no son dinámicos a través de los años, para cual se utilizó los datos para los dos años (Figura 6). La erodabilidad del suelo en este estudio indicó que los valores de factor K varían de -0.018 a 0.11 ton/ha/año, donde las texturas: limoso, arena franca y franco arenoso presentan mayor valor y susceptibilidad de erosión. Estudios similares han reportado que los suelos con arena franca, limosos, arenosos son

susceptibles a erosión por las fuertes lluvias (Alfaro, 2014; Kouli, Soupios y Villianatos, 2009). En este contexto son suelos que presentan baja capacidad de retención de agua, plasticidad, permeabilidad baja y partículas que presentan nula tendencia a formar agregados, lo que posibilita que sean arrastradas por el viento y la precipitación (Alvarado, Colmenero y Almegua, 2007; Cisneros et al., 2012).

La longitud e inclinación de la pendiente son factores topográficos importantes que influyen en la susceptibilidad a erosión, áreas con pendientes pronunciadas son más susceptibles a erosión que pendientes planas (Datta y Schack, 2010; Prasannakumar, Vijith, Abinod y Geetha, 2012). En este sentido los valores del factor LS varían de 0 a 49.39, donde la distribución espacial de los valores más altos se encuentra principalmente en zonas con relieves pronunciados, con mayor probabilidad a erosión. Erdogan et al., (2007), encontró que la combinación de pendientes pronunciadas y largas resultan en la acumulación de agua con alta velocidad erosiva. Además, el impacto de pérdida de cobertura vegetal, expone al suelo a erosión y deslizamientos de masas de tierra superior al 25%. En consecuencia, la erosión hídrica se da con mayor velocidad en pendientes pronunciadas que en pendientes suaves.



**Figura 6.** Factor K (A) y Factor LS (B)

### 4.2.3 Cobertura vegetal (Factor C)

Los valores obtenidos del factor C varían de 0.68 a 0.93, debido, por el cambio de uso de suelo, donde las áreas agrícolas y áreas sin vegetación expandieron considerablemente, incidieron en el aumento de la erosión hídrica. La cobertura vegetal es un factor determinante en la erosión hídrica del suelo, en este sentido Noni y Trujillo, (1986); Harden, (1988); Ochoa, Fries, Montesinos, Díaz y Boll, (2013), en sus hallazgos aseguran que las perturbaciones en la cobertura natural por las actividades antrópicas, en particular para fines agrícolas, contribuyen al aumento de la erosión, por la conversión hacia coberturas menos protectoras para los suelos, además, zonas sin cobertura vegetal son más susceptibles a la pérdida de suelo (Vijith et al, 2018). En este contexto la cuenca alta del río Mira en el periodo 1996-2018 la mayor superficie está dominada por las actividades agrícolas, lo que acelera los procesos erosivos por fenómenos climáticos, en zonas con coberturas menos protectoras para el suelo (Noni y Trujillo, 1986) (Figura 7).

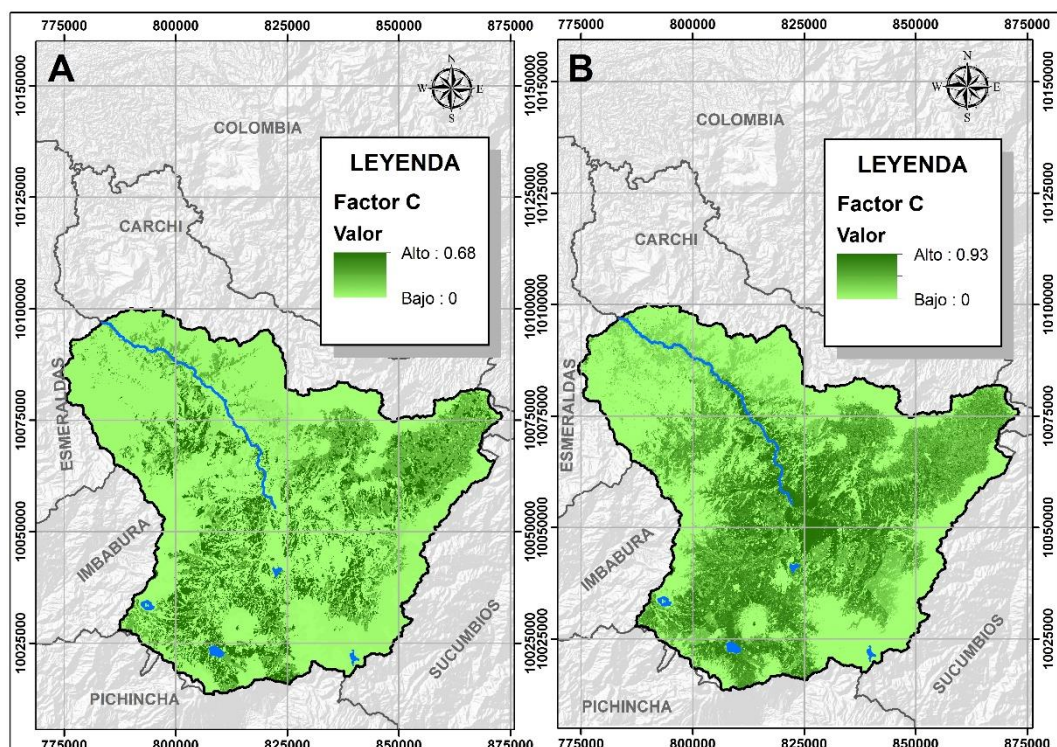
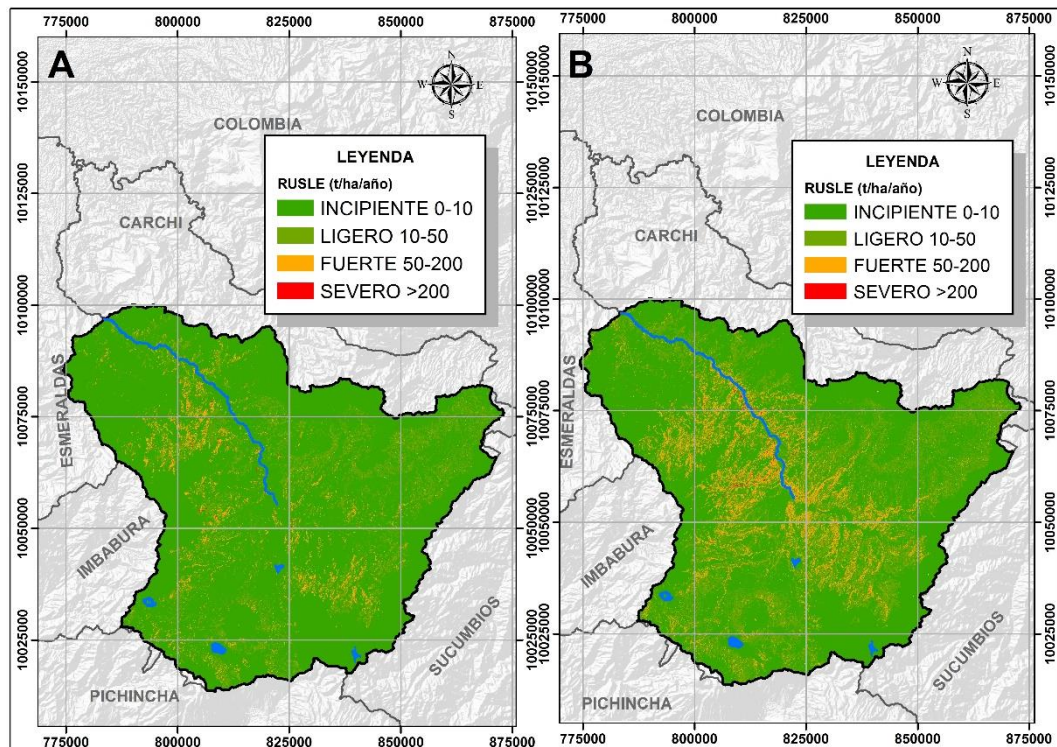


Figura 7. Factor C 1996 (A) y 2018 (B)

#### 4.2.4 Modelo RUSLE

La distribución espacial de la erosión hídrica de la cuenca del río Mira se obtuvo como resultado de los factores del modelo RUSLE, obteniendo la pérdida de suelo toneladas por año (Figura 8).



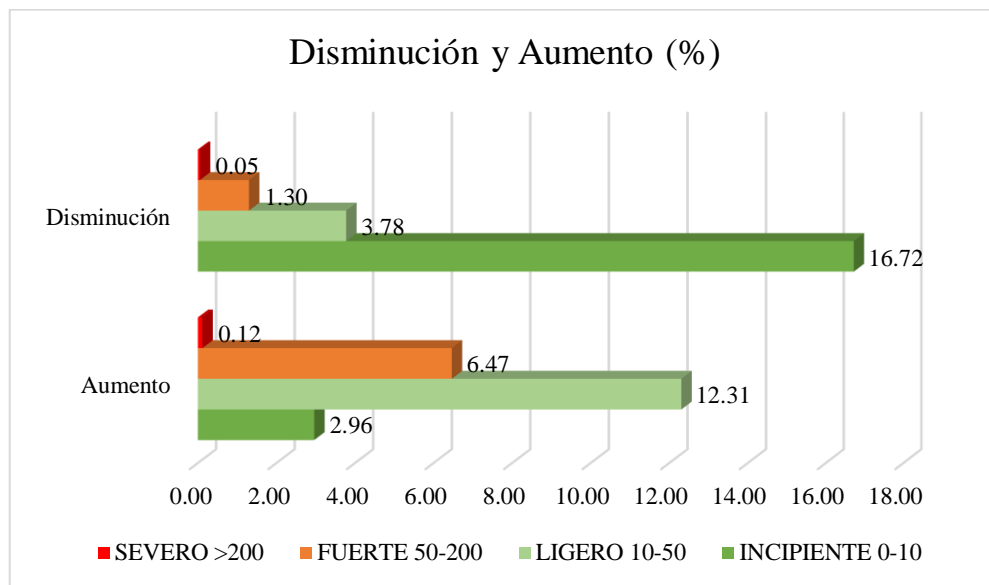
**Figura 8.** Distribución de la erosión hídrica para el año 1996 (A) y 2018 (B)

De acuerdo con la matriz de transición para el periodo de estudio 1996-2018, la mayor transición de cambio presentó la categoría incipiente de 0 a 10 t/ha/año, hacia las categorías ligero 10-50 t/ha/año y fuerte 50-200 t/ha/año, con valores de 11.16% y 5.46% respectivamente. Además, esta categoría presenta la mayor permanencia de la superficie del área con 68.61% (Tabla 11).

**Tabla 11.** Matriz de transición de las categorías de erosión hídrica (%)

		2018				Total 1996	Pérdida
Periodo	INCIPIENTE 0-10	LIGERO 10-50	FUERTE 50-200	SEVERO >200			
1996							
INCIPIENTE 0-10	68.61	11.16	5.46	0.10	85.33	16.72	
LIGERO 10-50	2.81	7.23	0.96	0.00	11.01	3.78	
FUERTE 50-200	0.15	1.15	2.30	0.01	3.60	1.30	
SEVERO >200	0.00	0.00	0.05	0.01	0.07	0.05	
Total 2018	71.57	19.54	8.76	0.13	100.00	21.85	
Ganancia	2.96	12.31	6.47	0.12	21.85		

De acuerdo con el análisis de la matriz de transición, la categoría incipiente 0-10 t/ha/año presentó reducción en 16.72%, mientras que la categoría ligera de 10-50 t/ha/año aumentó en 12.31% (Figura 9).



**Figura 9.** Disminución y Aumento de las categorías de erosión hídrica

En la cuenca alta del río Mira, se observó para el periodo de estudio 1996-2018, la categoría incipiente 0 a 10 t/ha/año disminuyó en superficie en 14.01%, mientras que las categorías; ligero de 10 a 50 t/ha/año, fuerte 50 a 200 t/ha/año y severo mayor a 200 t/ha/año aumentaron en área respecto a la cuenca, esto se debe por efecto del cambio de uso de suelo para actividades agrícolas, zonas con poca cobertura vegetal, gradiente de la pendiente y precipitación respectivamente. De

igual manera investigación realizada por Campaña, (2015), encontró que la mayor superficie del área de estudio presenta erosión hídrica menor a 10 t\ha\ año, debido, a la predominante cobertura vegetal que protege al suelo de la erosión, y, además, rangos de erosión mayores a 200 t\ha\ año por las pendientes abruptas del paisaje andino.

La mayor superficie de la cuenca alta del río Mira presentó una erosión menor a 10 t\ha\ año, debido, a que las coberturas naturales como bosques, páramos, vegetación arbustiva protegen al suelo de los efectos erosivos de la lluvia, sin embargo, zonas donde se desarrollan las actividades agrícolas han expuesto los suelos a una rápida susceptibilidad de erosión por fenómenos climáticos por la poca cobertura vegetal para contrarrestar los efectos de la erosión (Harden,1988). Varios estudios Noni y Trujillo (1986); Jahun, Ibrahim, Dlamini, y Musa (2015), afirman que la cobertura vegetal densa protege al suelo de la erosión, debido a que reduce la escorrentía hídrica y los impactos de las gotas de lluvia.

De igual manera estudio realizado por Estudio realizado por Ochoa et al, (2013), evidenció que el área de estudio registró una erosión hídrica mayor a 200t\ha\ año, los valores mínimos se encontraron en la cobertura boscosa, mientras que los valores máximos en zonas agrícolas, debido, al cambio de cobertura vegetal impulsado por el crecimiento poblacional y áreas con pendientes elevadas cubiertas por pastos, lo que facilita la formación de escorrentía por las fuertes precipitaciones que se presentan en el área de estudio.

En contexto el aumento de la erosión hídrica en la cuenca alta del río Mira, se deriva principalmente por cambio de uso de suelo, al incrementar la superficie de los sistemas agrarios, ocasiona que los suelos queden expuestos a erosión, por la formación de escorrentía (Noni, Nouvelo, y Trujillo 1986). También, las zonas áridas son más vulnerables a erosión hídrica por las condiciones hidroclimáticas y topográficas ocasiona una rápida disgregación de las partículas edáficas por la acción del viento y precipitación (Hernández 2011).

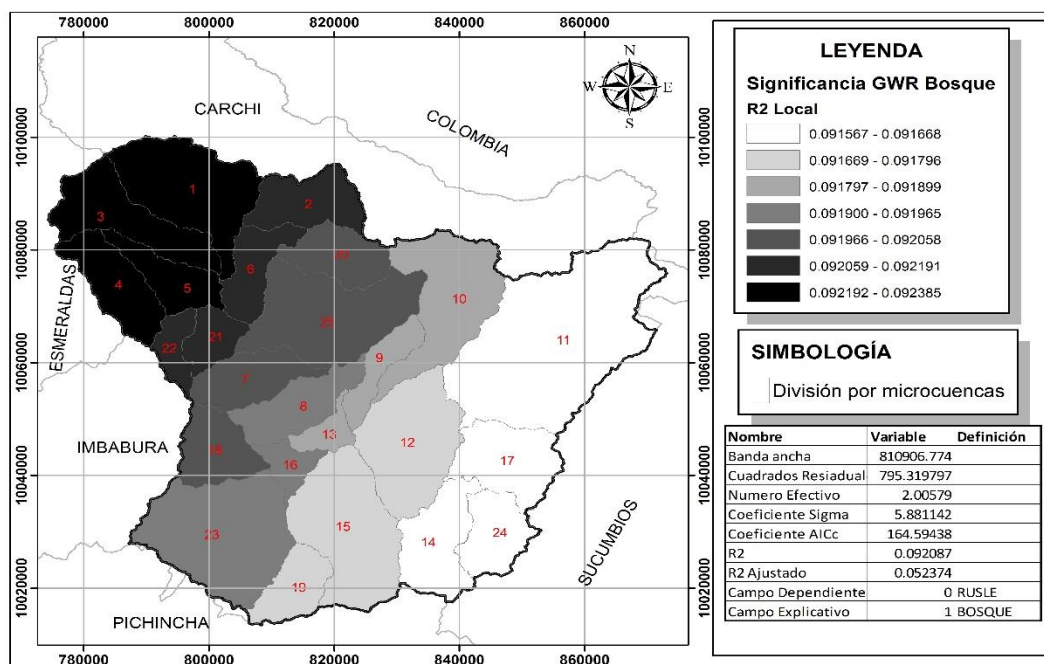
### 4.3 Análisis de la incidencia de los cambios de uso de suelo con la variación en las tasas de erosión.

En el periodo de estudio se observa que la erosión hídrica en la categoría área sin vegetación disminuyo en 0.06 t/ha/año, mientras que los pastos aumento en 5.13 t/ha/año (Tabla 12).

**Tabla 12.** Análisis de las categorías de uso de suelo y la erosión hídrica en el periodo 1996- 2018

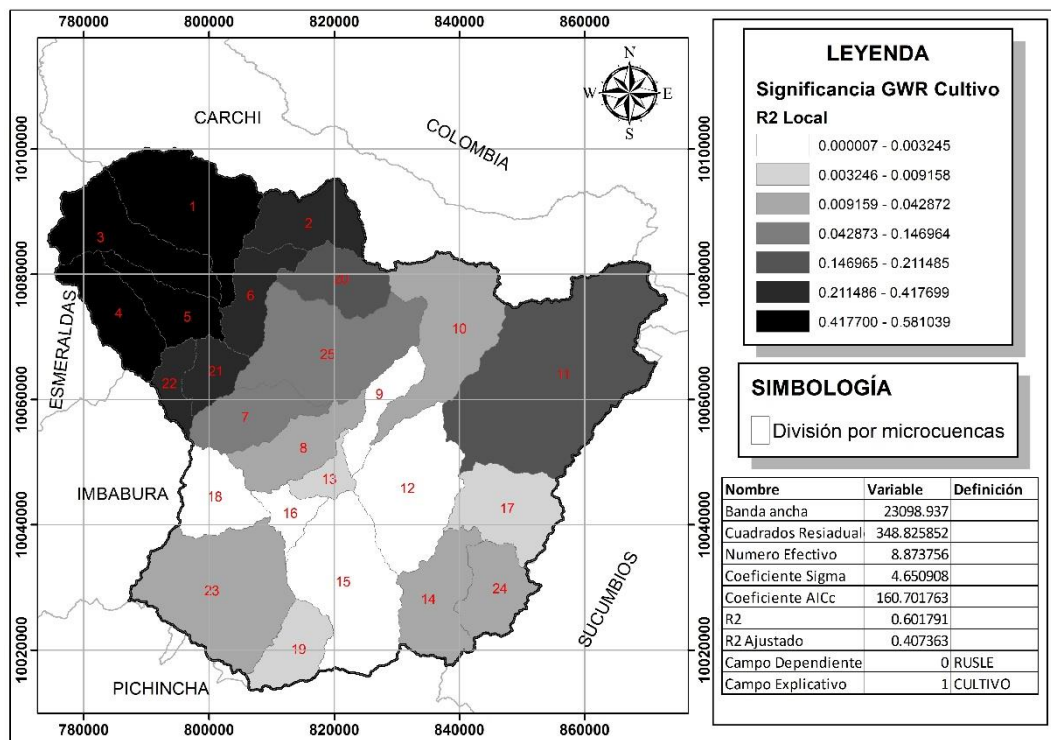
Coberturas	RUSLE 1996	RUSLE 2018	RUSLE 1996-2018	Variación
Bosque	3.11	1.32	1.80	Disminuye
Cultivos	26.20	25.23	0.97	Disminuye
Área sin vegetación	40.16	40.10	0.06	Disminuye
Vegetación arbustiva	1.65	2.27	0.62	Aumenta
Zona urbana	0.08	0.19	0.11	Aumenta
Páramo	0.45	0.38	0.07	Disminuye
Pasto	12.39	17.52	5.13	Aumenta
Cuerpo de agua	0.02	0.19	0.18	Aumenta

La Regresión Geográfica Ponderada se evidenció que no existe asociación espacial entre el bosque con la variación de erosión hídrica para el periodo 1996-2018, el valor de  $R^2$  varia de 0.091 a 0.092 (Figura 10).



**Figura 10.** Regresión geográfica pondera de la categoría bosque,  $R^2$  local

Al contrario de lo que sucede con el bosque, existe asociación espacial entre el cultivo con la variación de erosión hídrica para el periodo 1996-2018, con un valor de  $R^2$  de 0.0 a 0.58, que corresponde una relación alta. Esto se debe a la constante transformación de pastizales, matorrales y bosques hacia zonas agrícolas, lo que causa que el suelo desnudo se erosione y degrade por variaciones meteorológicas (Harden, 1988). Así como también, la predominante actividad agrícola, mal uso de maquinarias y las inadecuadas prácticas que se emplean en el manejo de los suelos andinos del Ecuador, han ocasionado pérdida del suelo y la reducción en el rendimiento de los cultivos según (Almeida, et al.,1984; Dercon et al., 2007) (Figura 11).

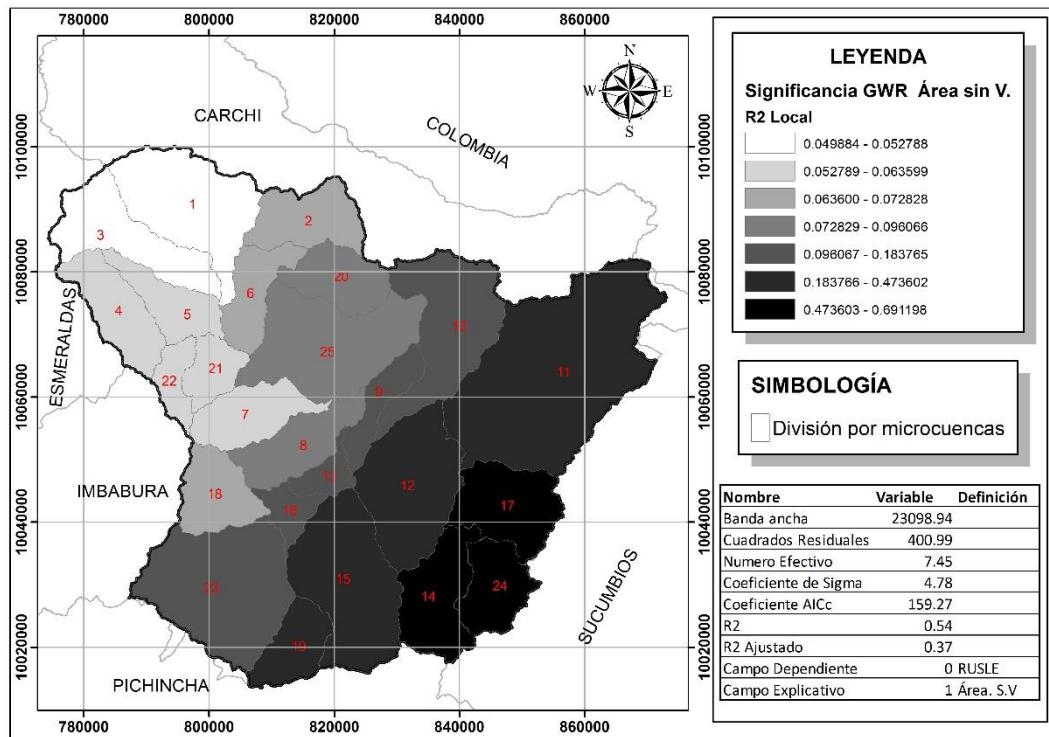


**Figura 11.** Regresión geográfica pondera de la categoría cultivo,  $R^2$  local

También se encontró que existe asociación espacial entre la categoría área sin vegetación con la variación de la erosión hídrica para el periodo 1996-2018, valor de  $R^2$  de 0.04 a 0.69 que corresponde a una relación alta. Estudios realizados por Muñoz et al., (2009); Aguila (2010) afirman que la categoría área sin vegetación presentó la mayor erosión hídrica, esto debe a las condiciones climáticas y topográficas, hacen que las partículas edáficas se desprendan y sean transportadas



con facilidad por agentes erosivos como la precipitación y vientos, atribuyendo a una rápida erosión (Figura 12).



**Figura 12.** Regresión geográfica pondera de la categoría área sin vegetación, R<sup>2</sup> local.

De igual manera, existe asociación espacial entre la categoría vegetación arbustiva con la variación de la erosión hídrica para el periodo 1996-2018, con un valor de R<sup>2</sup> de 0.04 a 0.53 (figura 13). La cobertura vegetal disminuyó por el cambio de uso de suelo para el periodo de estudio, mientras que la erosión aumentó en estas zonas. Estudio realizado por Castillo, Martínez y Albaladejo (1997), determinaron que la eliminación de cobertura vegetal, hacia otro uso de suelo, aumentó la escorrentía superficial y la erosión hídrica del suelo, por la ausencia de la cobertura natural, debido, a que reduce el impacto de la lluvia al suelo, reduce la escorrentía superficial y la erosión (González, 1998)

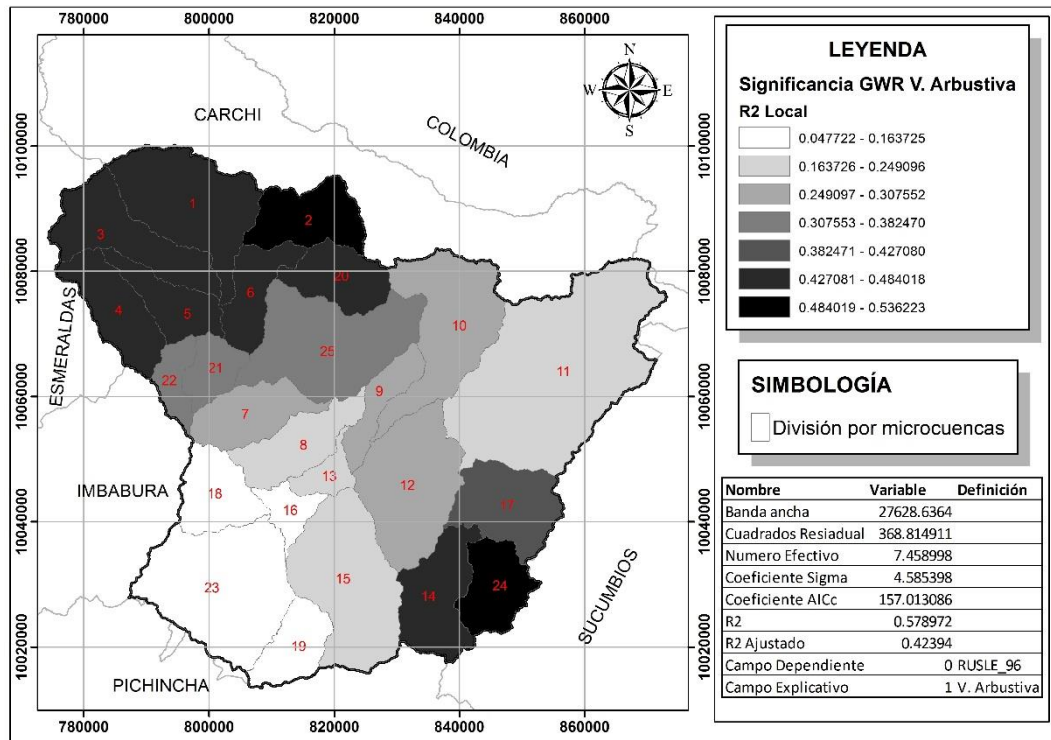


Figura 13. Regresión geográfica pondera de la categoría vegetación arbustiva, R2 local.

No existe asociación espacial entre la categoría Páramo con la variación de la erosión hídrica para el periodo 1996-2018, con un valor de  $R^2$  que varía de 0.00 a 0.38 (figura 14).

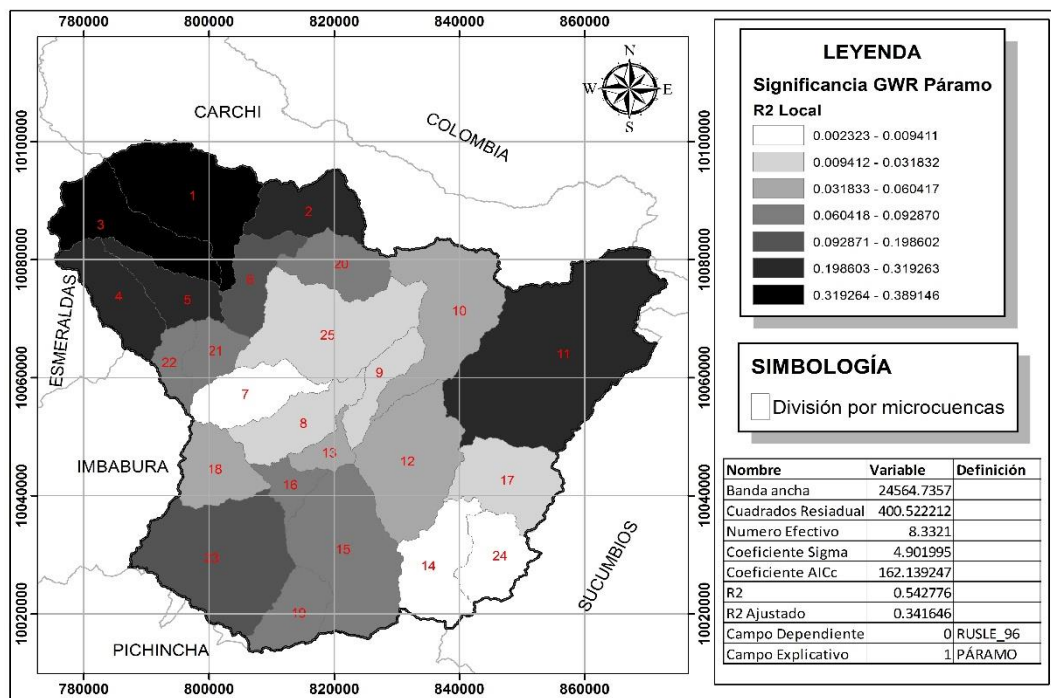
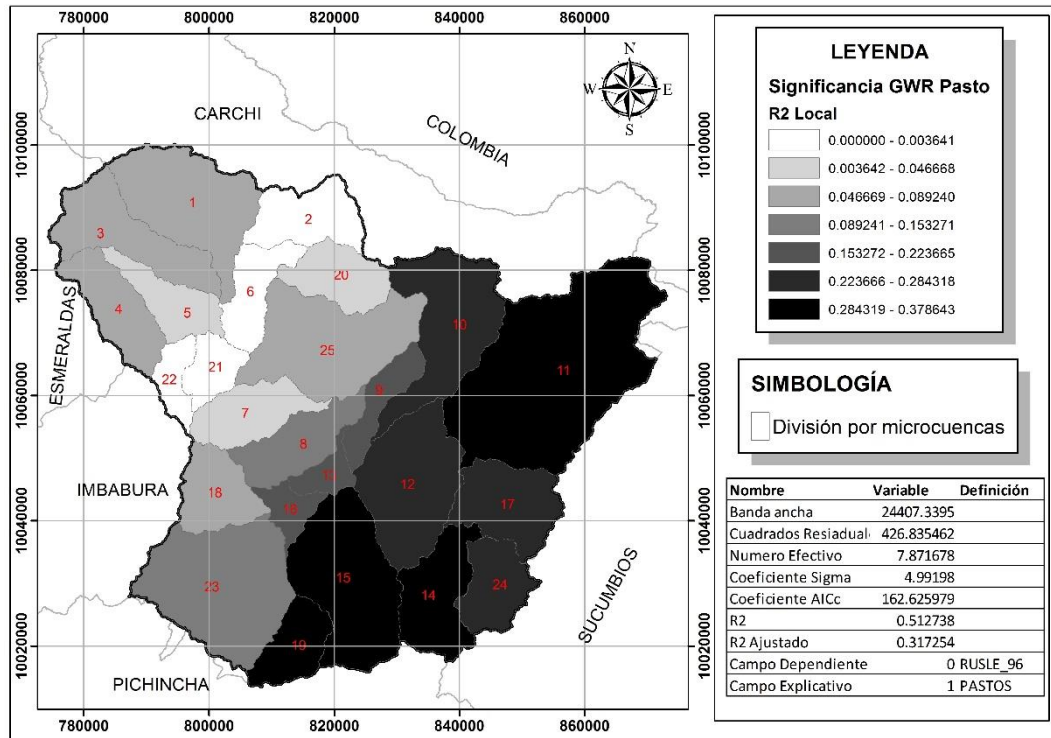


Figura 14. Regresión geográfica pondera de la categoría páramo,  $R^2$  local.

No existe asociación espacial entre la categoría pasto con la variación de la erosión hídrica para el periodo 1996-2018, con un valor de  $R^2$  de 0.00 a 0.37 (figura 15).



**Figura 15.** Regresión geográfica ponderada de la categoría pasto,  $R^2$  local.

En contexto se evidenció que las categorías área sin vegetación, cultivos y vegetación arbustiva se evidenció que existe asociación espacial con la variación de la erosión hídrica, mientras que las demás categorías no presentan correlación espacial. La expansión principalmente de la agricultura ocasiona la pérdida de bosques, pastizales, arbustos y esto ocasiona el aumento de erosión hídrica. Por lo tanto, es importante la implementación de programas de manejo de cuencas hidrográficas, contribuye a manejar los recursos naturales de una manera sostenible (Tadesse et al., 2017).

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

La variación de las categorías de uso de suelo para el periodo 1996-2018 de la cuenca alta del río Mira, obtuvo que las áreas naturales como: bosque, vegetación arbustiva, páramo y pasto disminuyeron en 7.32%, 18.58%, 2.18% y 10.83% mientras que los cultivos, área sin vegetación y zona urbana aumentaron en 25.60%, 2.38%, 0.36% respectivamente, debido a las características geomorfológicas permite que se establezcan nuevas áreas para las diferentes actividades antrópicas.

En la cuenca alta del río Mira para el periodo 1996-2018 la erosión hídrica media aumentó en 6.33 t\ha\ año, debido a que el cambio de uso de suelo es la principal acción para la erosión hídrica, la cobertura vegetal antrópica es menos protectora que la natural, lo que facilita la erosión y transporte de partículas edáficas hacia cuerpo de agua.

Existe asociación espacial entre las categorías cultivo, área sin vegetación y vegetación arbustiva con la variación de la erosión hídrica para el periodo 1996-2018, se debe principalmente a la insuficiente cobertura vegetal para proteger al suelo de fenómenos meteorológicos, las fuertes precipitaciones forman escorrentía, lo que ocasiona erosión hídrica.

Las tierras susceptibles a erosión hídrica mínima se encuentran en las coberturas naturales, mientras áreas con intervención antrópica tienen la más alta erosión hídrica, la alteración de superficie junto con la gradiente de la pendiente y precipitación hacen que estas áreas sean más vulnerables a erosión hídrica.

## **5.2 Recomendaciones**

Capacitar a los agricultores en técnicas agroforestales para asociar el manejo del bosque, cultivos, pastos y vegetación arbustiva, con la finalidad de lograr una productividad sostenible y disminuir los diferentes problemas ambientales que presenta el área de estudio.

Realizar investigaciones en áreas donde presentaron mayor erosión hídrica con la finalidad de implementar proyectos, programas para la conservación de suelos, para contribuir al desarrollo local.

Integrar la participación de GADS, parroquiales, cantonales y provinciales en la implementación de políticas ambientales para el manejo de recursos naturales de las subcuentas y microcuencas del río Mira.

## REFERENCIAS

- Abdulkareem, J. H., Pradhan, B., Sulaiman, W. N. A. y Jamil, N. R. (2017). Geoscience Frontiers Prediction of spatial soil loss impacted by long-term land-use / land-cover change in a tropical watershed. *Geoscience Frontiers*, 3(1), 1–15.
- Aguila, M. (2010). *Aplicación Del Modelo Usle/Rusle Para Estimar La Pérdida De Suelos Por Erosión Hídrica En La Microcuenca Puente Pérez - Tingo María*. (Tesis de Pegrado). Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo Maria, Perú.
- Aguirre, Z., Kvist, L. y Sánchez, O. (2006). Bosques secos en Ecuador y su diversidad. *Botánica Económica de los Andes Centrales*, 3, 162–187.
- Aguayo, M., Pauchard, A., Azócar, G. y Parra, O. (2009). Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX . Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Revista Chilena de Historia Natural*, 82, 361–374.
- Alcañiz, J. (2008). Erosión: Evaluación del Riesgo erosivo y Prácticas de Protección del suelo. En Andrés, P. y Rodríguez, R. (Eds). *Evaluación y prevención de riesgos Ambientales en Centroamérica* (pp.125–146). Girona. España. Universitaria Girona.
- Alvarado, M., Colmenero, A. y Almegua, M. (2007). La erosión hídrica del suelo en un contexto ambiental, en el Estado de Tlaxcala, México. *Ciencia Ergo Sum*, 14(3), 317–326.
- Alfaro, R. A. (2014). *Amenaza de erosión hídrica bajo escenarios de cobertura forestal en la cuenca del río Xequijel, Guatemala*. (Tesis de Posgrado). Universidad Mayor de San Simón, Guatemala.
- Almaaitah, R., Azhari, A. y Asri, R. (2018). Spatial Distribution Of Soil Erosion Risk Using Rusle , Rs And Gis Techniques. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9(10), 681–697.

- Almeida, G., Trujillo, G., Noni, G., Winckell, A. y Nouvelot, J. (1984). *Los principales procesos erosivos del Ecuador*. Quito, Ecuador: CEDIG.
- Altamirano, M. (2013). *Estudio hidroquímico y de calidad del agua superficial en la cuenca del río Mira* (Tesis de Pregrado). Universidad central del Ecuador, Quito.
- Alvear, N. (2018). *Estudio multitemporal de cambio de uso del suelo, en la microcuenca del río escudillas* (Tesis Pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Arevalo, V., González, J. y Ambrosio, G. (2004). Corrección Geométrica Para La Comparación De Imágenes De Satélite De Distinta Resolución. *Revista UCIENCIA*, 3(2), 13–19.
- Aswathy, M. y Indulekha, K. (2018). Estimation of soil erosion using Revised Universal Soil Loss Equation and GIS. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, 4, 980–984.
- Baquero, F., Sierra, R., Ordoñez, L., Tipán, M., Espinoza, L., Ribera, M. y Soria, P. (2004). *La Vegetación de los Andes del Ecuador. Memoria explicativa de los mapas de vegetación potencial y remanente de los Andes del Ecuador a escala 1:250.000 y del modelamiento predictivo con especies indicadoras*. Quito: Ecociencia.
- Bocco, G., Masera, O., y Mendoza, M. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas*, 44, 18–38.
- Bonilla, C., Reyes, J. L. y Magri, A. (2010). Water Erosion Prediction Using The Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) En ArGis Framework , Central Chile. *Chilean Journal Of Agricultural Research*, 70, 159–169.
- Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J. y Hofstede, R. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos.

*Earth-Science Reviews*, 79(1-2), 53-72.

Brausmann, A. y Bretschger, L. (2018). Economic development on a finite planet with stochastic soil degradation. *European Economic Review*, 108, 1–19.

Brunsdon, C. F., Fotheringham A. y Charlton, M. (1996). Geographically weighted regression: A method for exploring spatial nonstationarity. *Geographical Analysis* 28(4), 281-298.

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

Castillo,V., Martinez, M. y Albaladejo, J. (1997). Runoff and Soil Loss Response to Vegetation Removal in a Semiarid Environment. *Soil Science Society of America Journal*, 61, 1116-1121.

Carrión, D. (2017). *Análisis De La Dinámica De Los Cambios De Uso Del Suelo Mediante Teledetección En Una Microcuenca Alto Andina De Ecuador*. (Tesis de Posgrado).Universidad de Valladolid Campus de Palencia. España.

Castillejo, I. L., López, F., García, A., Peña, J. M., Sánchez, M., Jurado, M. y Gonzáles, M. (2009). Object- and pixel-based analysis for mapping crops and their agro-environmental associated measures using QuickBird imagery. *Computer and Electronics in Agriculture*, 68, 207–215.

Cerda, J. y Villarroel, L. (2008). Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica : Coeficiente de Kappa. *Revista Chilena Pediatría*, 79(1), 54–58.

Chander, G., Markham, B. L. y Helder, D. L. (2009). Remote Sensing of Environment Summary of current radiometric calibration coef fi cients for Landsat MSS , TM , ETM + , and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113(5), 893–903.

Cisneros, J., Cholaky, C., González, J., Reynero, M., Diez, A. y Bergesio, L. (2012).



- Erosión hídrica principios y técnicas de manejo.* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Río Cuarto, Cordova, Argentina.
- Coltorti, M. y Ollier, C. (1999). Geomorphic and tectonic evolution of the Ecuadorian Andes. *Geomorphology*, 32 (2000), 1–19.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Constitución del Ecuador. Registro Oficial N° 449, Del 20 de Octubre de 2008.* Ecuador.
- Cuevas, P. (2010). Importancia de la resiliencia biológica como posible indicador del estado de conservación de los ecosistemas : implicaciones en los planes de manejo y conservación de la biodiversidad. *Biológicas*, 12 (1), 1–17.
- Datta, P. S. y Schack, H. (2010). Erosion Relevant Topographical Parameters Derived from Different DEMs—A Comparative Study from the Indian Lesser Himalayas. *Remote Sensing*, 2, 1941–1961.
- Demissie, F., Yeshitila, K., Kindu, M. y Schneider, T. (2017). Land use/Land cover changes and their causes in Libokemkem District of South Gonder, Ethiopia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 8, 224–230.
- Dercon, G., Govers, G., Poesen, J., Sánchez, H., Rombaut, K., Vandebroeck, E. y Deckers, J. (2007). Animal-powered tillage erosion assessment in the southern Andes region of Ecuador. *Geomorphology*, 87, 4–15.
- Endara, R. (2018). *Efectos de la deforestación en la producción de caudales en la cuenca media alta del Río Mira para el periodo 2000-2014* (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra. Ecuador
- Erdogan, E. H., Erpul, G. y Bayramin, İ. (2007). Use of USLE / GIS Methodology for Predicting Soil Loss in a Semiarid Agricultural Watershed. *Environmental Monitoring and Assessment*, 131, 153–161.
- Frederick, L. y Tarbuck, E. (2005). *Ciencias de la tierra una introducción a la geología física.* Madrid, España: Pearson Educación S.A.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2010). *Global Forest Assessment 2010.*

Roma, Italia: FAO.

- Fotheringham AS, C Brunson, M. y Charlton. 2002. Geographically weighted regression: The analysis of spatially varying relationships. New York, USA. Wiley. 284 p.
- Gallaher, R. y Hawf, L. (1997). Role of Conservation Tillage in Production of a Wholesome Food Supply. *Proceedings*, 23, 23–27.
- Ganasri, B. P. y Ramesh, H. (2015). Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS -A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*, 2, 1–9.
- García, J., Beguería, S., Nadal, E., González, J., Lana, N. y Sanjuán, Y. (2015). Geomorphology Invited review A meta-analysis of soil erosion rates across the world. *Geomorphology*, 239, 160–173.
- García, M. E. (2016). La deforestación: una práctica que agota nuestra biodiversidad. *Producción Más Limpia*, 11(2), 161–168.
- García, S. y Gómez, J. (2017). Diversidad de briófitos en fragmentos de bosque seco tropical, Montes de María, Sucre, Colombia. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(4), 824–831.
- García-Ruiz, J. (2010). The effects of land uses on soil erosion in Spain *Revista Catena*, 81(11), 1–11.
- Gibbs, H. K. y Salmon, J. M. (2015). Mapping the world 's degraded lands. *Applied Geography*, 57, 12–21.
- Gómez, L., Gallego, B. y Naranjo, L. (2017). *Atlas socioambiental de las Cuencas Transfronterizas Mira y Mataje Aportes para su Ordenamiento y Gestión Integral Colombia-Ecuador*. Cali: WWF-Colombia.
- Gonzales, H. (1998). Los procesos de erosión del suelo: hechos, mitos y paradojas. Costa Rica. *Geographicalia*, 36, 47-66.

- Grizzetti, B., Lanzanova, D., Liqueste, C., Reynaud, A. y Cardoso, A. C. (2016). Assessing water ecosystem services for water resource management. *Environmental Science and Policy*, 61, 194–203.
- Harden, C. (1988). Mesoscale Estimation Of Soil Erosion In The Rio Ambato Drainage, Ecuadorian Sierra. *Mountain Research and Development*, 8(4), 331–341.
- Hérrnandez, M., Carrasco, G. y Alfaro, G. (2011). Degradación del suelo en una zona semiárida tropical de méxico. *Revista Geográfica de América Central*, 2, 1–14.
- Hernández, J., González, C., Farfán-Molina, L, y López, V. (2016). Cambio de cobertura vegetal en la región de Bahía de Banderas, México. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(1), 7-16.
- Instituto Nacional de Meteorología en Hidrología (INAMHI). (2005). *Estudio Hidrológico del Río Mira*. Quito-Ecuador.INAMHI.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2012). *Proyección de la población ecuatoriana, para años calendario, según canrones 2010-2020*. Quito-Ecuador. INEC.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2010). *Resultados del censo 2010 de la población y vivienda del Ecuador*. Quito-Ecuador. INEC.
- Iza, C. y Tose, O. (2017). *Plan binacional para la gestión integral del recurso hídrico de las cuencas transfronterizas Carchi-Guaitara y Mira-Mataje Colombia- Ecuador*. Bogotá; Quito: Colombia Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Ecuador Senagua.
- Jahun, B., Ibrahim, R., Dlamini, N. y Musa, S. (2015). Review of Soil Erosion Assessment using RUSLE Model and GIS. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 5, 36–47.
- Jazouli, A., Barakat, A., Khellouk, R., Rais, J. y Baghdadi, M. El. (2019). Remote

Sensing Applications : Society and Environment Remote sensing and GIS techniques for prediction of land use land cover change effects on soil erosion in the high basin of the Oum Er Rbia River. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 13, 361–374.

Jiang, L. y Yu, L. (2019). Analyzing land use intensity changes within and outside protected areas using ESA CCI-LC datasets. *Global Ecology and Conservation*, 20, 1–10.

Jia, X., Zhao, C., Wang, Y., Zhu, Y. y Wei, X. (2020). Agriculture , Ecosystems and Environment Traditional dry soil layer index method overestimates soil desiccation severity following conversion of cropland into forest and grassland on China’s Loess Plateau. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 291, 1–9.

Kouli, M., Soupios, P. y Vallianatos, F. (2009). Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation ( RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete , Greece. *Environmental Geology*, 53(3), 483–497.

Lambin, E. y Turner, B. (2001). The causes of land-use and land-cover change : moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11, 261–269.

Landis, R. y Koch, G. (1997). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159–174.

López, S., López, M. F., Gerique, A. y Salazar, J. (2020). Landscape change in Southern Ecuador: An indicator-based and multi- temporal evaluation of land use and land cover in a mixed-use protected area. *Ecological Indicators*, 115, 106–357.

Loredo, C., Beltrán, S., Moreno, F. y Casiano, Ma. (2007). *Riego a la erosión hídrica y proyección de las acciones de manejo y conservación del suelo en 32 Microcuencas de San Luis Potosí*. San Luis Potosí, México: INIFAN

Luteyn J. (1999). *Páramos. A checklist of plan diversity, geographical distribution*

*and botanical literature*. New York, Estados Unidos: The New York Botanical Garden Press.

Mancilla, G. (2008). *Uso de la Ecuación de Pérdida de Suelo (USLE) en el campo forestal*. (Tesis de Posgrado). Universidad de Chile. Chile.

Mannaerts. (1999). *Factores de erosión*. Curso de posgrado en el levantamiento de los recursos hídricos. Cochabamba, Bolivia. s/n.

Manrique, R. (2013). *Estimación Espacial De Erosión Hídrica En La Cuenca De Represas Calderas, Tarija-Bolivia*. (Tesis de Posgrado). Universidad Mayor de San Simón, Tarija, Bolivia.

Martínez, M., Tuya, L., Ortega, M., Pérez, A. y Cánovas, A. (2009). El Coeficiente De Correlación De Los Rangos De Spearman Caracterización. *Habanera de Ciencias Médicas*, 8(2), 1–20.

Mendizábal, G. (2015). La seguridad social ante los retos del cambio climático. *Instituto de Investigaciones Jurídicas- UNAM*, 1(143), 697–730.

Millward, A. A. y Mersey, J. (1999). Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. *Catena*, 38, 109–129.

Ministerio del Ambiente de Ecuador (MAE). (2013). *Sistema de clasificación de los ecosistemas de Ecuador Continental*. Quito, Ecuador: Subsecretaría de Patrimonio Natural

Muñoz, D., López, G., Hernández, M., Soler, A. y López, J. (2009). Impacto de la pérdida de la vegetación sobre las propiedades de un suelo aluvial, 27(3), 237–246.

Morales, J., Carillo, F., Fáfán, L. y Cornejo, V. (2016). Cambio de cobertura vegetal en la región de Bahía de Banderas, México Vegetation. *Revista Colombiana Biotecnología*, 18(1), 7-16.

Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales (MECN). (2009). *Ecosistemas del*

*Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)*. Publicación Miscelánea No. 6. Quito, Ecuador: Imprenta Nuevo Arte.

Narayana, V. y Babu, R. (1984). Estimation of soil erosion in India. *Journal of Irrigation and Drainage Engineer*, 109(4), 419–434.

Noni, G. y Trujillo, G. (1986). *La erosión actual y potencial en Ecuador: localización, manifestaciones y causas* Quito. Ecuador: CEDIG.

Noni, G., Nouvelo, J. y Trujillo, G. (1986). Estudio Cuantitativo De La Erosión Con Fines De Protección De Los Suelos: Las Parcelas De Alangasi e Ilalo. *Centro Ecuatoriano de Investigación Geográfica, Documentos de Investigación*, 6, 35–47.

Ochoa, P., Fries, A., Montesinos, P., Díaz, J. y Boll, J. (2013). Spatial Estimation Of Soil Erosion Risk By Land-Cover Change In The Andes Of Southern Ecuador. *Land Degrad y Develop*, 3, 565–573.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2007). *La nueva generación de programas y proyectos de gestión de cuencas hidrográficas*. Roma, Italia: FAO.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2012). *El estado de los bosques del mundo* Roma, Italia: FAO.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2016a). *El estado de los bosques del mundo: Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra*. Roma, Italia: FAO.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2016b). *Estado Mundial del Recurso Suelo*. Roma, Italia: FAO.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2018). *El estado de los bosques del mundo - Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible*. Roma, Italia: FAO.

- Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2009). *Propuesta de un modelo de estimación de erosión hídrica para la región de Coquimbo, Chile*. Coquimbo, Chile: PHI-LAC.
- Osuna, K., Torres, J., Sánchez, J., García, E., Valdez, J. y Vazquez, G. (2015). Evaluación de cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la cuenca del río Tecolutla, Veracruz , México; periodo 1994-2010. *Ambiente y Agua*, 10, 350–362.
- ÖzşahİN, E. y Uygur, V. (2014). The effects of land use and land cover changes (LULCC) in Kuseyr plateau of Turkey on erosion. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 4(2), 478–487.
- PDOT. Imbabura (2015). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la provincia de Imbabura 2015-2035*: GADP Imbabura, Ecuador
- PDOT.Carchi (2015). *Plan de Ordenamiento Teritorial de la Provincia de Carchi*: GAD Tulcán, Ecuador.
- Pengfei, W. y Wang, C. (2018). Differences in spatiotemporal dynamics between soil macrofauna and mesofauna communities in forest ecosystems: The significance for soil fauna diversity monitoring. *Geoderma*, 337, 266–272.
- Pham, T. G., Degener, J. y Kappas, M. (2018). Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam. *International Soil and Water Conservation Research*, 6(2), 99–110.
- Pinos, N. (2016). Prospectiva del uso de suelo y cobertura vegetal en el ordenamiento territorial - Caso cantón Cuenca. *Revista de La Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 5, 7–19.
- Pizarro, R., Ausensi, P., Aravena, D., Sangüesa, C., León, L. y Balocchi, F. (2009). Evaluación De Métodos Hidrológicos Para La Completación De Datos Faltantes De Precipitación En Estaciones De La Región Del Maule, Chile. *Aqua-LAC*, 1(2), 172–185.

- Pourrut, P. (1983). *Los climas del Ecuador*. Quito, Ecuador: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Prasannakumar, V., Vijith, H., Abinod, S. y Geetha, N. (2012). Estimation of soil erosion risk within a small mountainous sub-watershed in Kerala, India, using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and geo-information technology. *Geoscience Frontiers*, 3(2), 209–215.
- Preciado, A., González, G., Mendoza, M. E. y Silva, F. (2017). Cambio de cobertura y uso de suelo en cuencas tropicales costeras del Pacífico Central Mexicano. *Investigaciones Geográficas*, 2017 (94), 64–81.
- Ramírez, F., Hincapié, E., Sadeguián, S. y Pérez, U. (2007). Erosividad de las lluvias en la zona cafetera central y occidental del departamento de Caldas. *Cenicafé*, 58(1), 40–5.
- Ramírez, M. E., Limas, E. A., Ortiz, P. R. y Díaz, A. R. (2011). Degradación de los suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. *Papeles de Geografía*, 53(54), 77–88.
- Restrepo, L. y Gonzáles, J. (2007). De Pearson a Spearman. *Colombia de Ciencia Pecuarias*, 20(2), 183–192.
- Rosa, I., Ortiz, G., Nava, Y. y Larqué, A. (2006). La percepción sobre la conservación de la cobertura vegetal. En J. Urbina y J. Martínez (Ed.), *Más allá del cambio climático: las dimensiones psicosociales del cambio ambiental global* (pp. 123-139). Yucatán, México: Facultad de Psicología UNAM.
- Rueda, P. y Verdugo, M. (2017). Cultura y creatividad en la región de Otavalo (Ecuador). *Cuadernos de Arte de La Universidad de Granada*, 48, 153–172.
- Sarathi, S. y Padmini, B. (2015). Estimation of soil erosion using RUSLE and GIS techniques : a case study of Barakar River basin , Jharkhand, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 3(2), 1–13.



- Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo de Ecuador. (2017). Plan Nacional de Desarrollo (2017-2021). Quito, Ecuador: SENPLADES
- Sheng, T. (2010). *Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas*. Roma, Italia. FAO.
- Seingier, G., Espejel, I. y Fermán, L. (2009). Cobertura vegetal y marginación en la Costa Mexicana. *Investigación Ambiental*, 1(1), 54–69.
- Shvidenko, A. (2008). Deforestation. *Encyclopedia of Ecology*, 4, 29–34.
- Silva, A. y Rubio, M. (2014). Análisis de cambios de uso del suelo en la Delegación Municipal de Ingeniero White (Buenos Aires, Argentina: aplicación de geotecnologías. *Revista Colombiana de Geografía*, 23(8000), 133–146.
- Sklen, P., Luteyn, J., Ulloa, P. y Dillon, M. (2005). *Flora genérica de los páramos: Guía ilustrada de las plantas vasculares (Memoirs of The New York Botanical Garden*. New York, Estados Unidos: The New York Botanical Garden.
- Sriyana, I., Gijt, J. G., Kumala, S. y Bosco, J. (2020). Watershed management index based on the village watershed model (VWM) approach towards sustainability. *International Soil and Water Conservation Research*, 8(1), 35–46.
- Suárez, D. (2008). Formación de un corredor de hábitat de un bosque montano alto en un mosaico de páramo en el norte de Ecuador. *Ecología Aplicada*, 7(1), 5–11.
- Tabari, H. y Talaei, H. (2013). Moisture index for Iran: Spatial and temporal analyses. *Global and Planetary Change*, 100, 11–19.
- Tadesse, L., Suryabhadran, K. V, Sridhar, G. y Legesse, G. (2017). Land use and land cover changes and Soil erosion in Yezat Watershed, North Western Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*, 5(2), 85–94.
- Tanyas, H., Kolat, C. y Suzen, L. (2015). A new approach to estimate cover-

management factor of RUSLE and validation of RUSLE model in the watershed of Kartalkaya Dam. *Journal of Hydrology*, 528, 584–598.

Tayupanta, J. y Córdova, J. (1990). *Algunas alternativas agronómicas y mecánicas para evitar la pérdida del suelo*. Quito, Ecuador: INIAP.

Tesfaye, G. y Tibebe, D. (2018). Soil Erosion Modeling Using GIS Based RUSLE Model in Gilgel Gibe-1 Catchment. *Environmental Science y Natural Resources*, 15(5), 1–8.

Trujillo, J. M., Mahecha, J. D. y Torres, M. A. (2018). El recurso suelo: un análisis de sus funciones, capacidad de uso e indicadores de calidad. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9, 30–37.

United States Geological Survey. (2018). *Landsat-Sentinel*. Recuperado de <https://earthexplorer.usgs.gov>

Vijith, H., Hurmain, A. y Dodge, D. (2018). Impacts of land use changes and land cover alteration on soil erosion rates and vulnerability of tropical mountain ranges in Borneo. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 12, 57–69.

Wischmeier, W. y Smith, D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses- A Guide to Conservation Planning*. Washington DC: Department of Agriculture, Agriculture Handbook

Anexo:1 Entrevista realizado a representantes de las comunidades



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y**  
**AMBIENTALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES**  
**RENOVABLES**  
**ENTREVISTA PARA REPRESENTANTES DE LA COMUNIDAD**



**Objetivos:**

- Conocer la frecuencia y tipo de labranza en la comunidad
- Identificar las causas de los cambios de cobertura vegetal en la comunidad

**1. Señale los 3 principales productos agrícolas que se producen en su comunidad**

- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

**2. ¿Cada que tiempo se realiza labranza (arado) en los terrenos de su comunidad?**

- 1 a 2 veces por semana
- 2 o más veces al mes
- 1 vez al mes
- 1 vez cada 6 meses
- 1 vez al año

**3. ¿Con qué frecuencia se realiza labranza (arado) en los terrenos de su comunidad?**

- 1 a 2 veces por semana
- 2 o más veces al mes
- 1 vez al mes
- 1 vez cada 6 meses
- 1 vez al año

- 4. ¿Cuándo fue la última vez que se realizó labranza (arado) en los terrenos de su comunidad? (En promedio)**

Reciente (Hace semanas o días): \_\_\_\_\_

Un año: \_\_\_\_\_

Dos años: \_\_\_\_\_

Cuatro Años: \_\_\_\_\_

Seis Años: \_\_\_\_\_

Más de seis años: \_\_\_\_\_

**5. ¿Qué actividad agrícola realiza para evitar la degradación del suelo y el aumento de plagas?**

-----  
-----  
-----

**6. ¿Existen tierras sin cultivarse dentro de la comunidad?**

SI       NO

Podría especificar el sector \_\_\_\_\_ -

(Identificar sector en lo posible con coordenadas y fotografías)

.....  
.....

**7. En promedio ¿hace cuánto tiempo no se han cultivado las tierras que se encuentran dentro de la comunidad?**

-----  
-----  
-----

**8. En una escala de 1 10 ¿cuál cambio ha sido más significativo en su comunidad? (1 valor mínimo, 10 valor máximo)**

<b>Pérdida de bosque</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
--------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

<b>Aumento de cultivos y pastos</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-------------------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

<b>Aumento de áreas urbanas</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---------------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

**9. ¿Por qué piensa usted que se produce la pérdida de bosque dentro de su comunidad? Especifique cual sería la razón principal**

**10. ¿Cuáles factores considera usted que producen la pérdida de bosque dentro de su comunidad? Identifique el factor principal**

**DEMOGRÁFICOS**

Aumento poblacional  
Migración  
Emigración  
Otros \_\_\_\_\_

**10.1. Del factor identificado, ¿Qué nivel de impacto considera usted que este produce en la pérdida de bosque?**

- Alto
- Medio
- Bajo

**10.2. Considera que en el futuro este impacto demográfico**

- Aumentará
- Disminuirá
- Seguirá igual

**ECONÓMICOS**

Pobreza  
Intereses económicos  
Demanda del Mercado  
Falta de Productividad  
Otros.....

**10.3. Del factor identificado, ¿Qué nivel de impacto considera usted que este produce en la pérdida de bosque?**

- Alto
- Medio
- Bajo

**10.4. Considera que en el futuro este impacto económico**

- Aumentará
- Disminuirá
- Seguirá igual

**INSTITUCIONALES**

Falta de Política Pública  
Falta de Regulación  
Otros.....

**10.5. Del factor identificado, ¿Qué nivel de impacto considera usted que este produce en la pérdida de bosque?**

- Alto
- Medio
- Bajo

**10.6. Considera que en el futuro este impacto institucional**

- Aumentará
- Disminuirá
- Seguirá igual

### TECNOLÓGICOS

Desarrollo de Infraestructura/Vías

Otros.....

**10.7. Del factor identificado, ¿Qué nivel de impacto considera usted que este produce en la pérdida de bosque?**

- Alto
- Medio
- Bajo

**10.8. Considera que en el futuro este impacto tecnológico**

- Aumentará
- Disminuirá
- Seguirá igual

### CULTURALES

Minifundio/Herencia

Latifundio

Otros\_\_\_\_\_

**10.9. Del factor identificado, ¿Qué nivel de impacto considera usted que este produce en la pérdida de bosque?**

- Alto
- Medio
- Bajo

**10.10. Considera que en el futuro este impacto cultural**

- Aumentará
- Disminuirá
- Seguirá igual

**11. ¿Por qué cree usted que aumenta los cultivos y pastos en su comunidad?**

**12. ¿Cuáles son los factores que propician el aumento de cultivos y pastos en su comunidad? Señale los principales**

**DEMOGRÁFICOS**

Aumento poblacional

Migración

Emigración

Otros.....

**12.1. Del factor identificado, ¿Qué nivel de impacto considera usted que este produce en la pérdida de cultivos y pastos?**

- Alto
- Medio
- Bajo

**12.2. Considera que en el futuro este impacto demográfico**

- Aumentará
- Disminuirá
- Seguirá igual

**ECONÓMICOS**

Pobreza

Intereses económicos

Demanda del Mercado

Falta de Productividad

Otros.....

**12.3. Del factor identificado, ¿Qué nivel de impacto considera usted que este produce en la pérdida de cultivos y pastos?**

- Alto
- Medio
- Bajo

**12.4. Considera que en el futuro este impacto económico**

- Aumentará
- Disminuirá
- Seguirá igual

**INSTITUCIONALES**

Falta de Política Pública

Falta de Regulación

Otros.....



**12.5. Del factor identificado, ¿Qué nivel de impacto considera usted que este produce en la pérdida de cultivos y pastos?**

- Alto
- Medio
- Bajo

**12.6. Considera que en el futuro este impacto institucional**

- Aumentará
- Disminuirá
- Seguirá igual

### **TECNOLÓGICOS**

Desarrollo de Infraestructura/Vías

Otros.....

**12.7. Del factor identificado, ¿Qué nivel de impacto considera usted que este produce en la pérdida de cultivos y pastos?**

- Alto
- Medio
- Bajo

**12.8. Considera que en el futuro este impacto tecnológico**

- Aumentará
- Disminuirá
- Seguirá igual

### **CULTURALES**

Minifundio/Herencia

Patrones de Consumo

Otros.....

**12.9. Del factor identificado, ¿Qué nivel de impacto considera usted que este produce en la pérdida de cultivos y pastos?**

- Alto
- Medio
- Bajo

**12.10. Considera que en el futuro este impacto cultural**

- Aumentará
- Disminuirá
- Seguirá igual

**13. ¿Por qué cree usted que aumenta las zonas urbanas en su comunidad?**

**14. ¿Cuáles son los factores que propician al incremento de zonas urbanas en su comunidad? Señale los principales**

**DEMOGRÁFICOS**

Aumento poblacional

Migración

Emigración

Otros\_\_\_\_\_

**14.1. Del factor identificado, ¿Qué nivel de impacto considera usted que este produce en el incremento de zonas urbanas?**

- Alto
- Medio
- Bajo

**14.2. Considera que en el futuro este impacto demográfico**

- Aumentará
- Disminuirá
- Seguirá igual

**ECONÓMICOS:**

Pobreza

Intereses económicos

Demanda del Mercado

Falta de Productividad

Otros.....

**14.3. Del factor identificado, ¿Qué nivel de impacto considera usted que este produce en la el incremento de zonas urbanas?**

- Alto
- Medio
- Bajo

**14.4. Considera que en el futuro este impacto económico**

- Aumentará
- Disminuirá
- Seguirá igual

**INSTITUCIONALES**

Falta de Política Pública

Falta de Regulación

Otros.....

**14.5. Del factor identificado, ¿Qué nivel de impacto considera usted que este produce en el incremento de zonas urbanas?**

- Alto
- Medio
- Bajo

**14.6. Considera que en el futuro este impacto institucional**

- Aumentará
- Disminuirá
- Seguirá igual

### TECNOLÓGICOS

Desarrollo de Infraestructura/Vías

Otros.....

**14.7. Del factor identificado, ¿Qué nivel de impacto considera usted que este produce en el incremento de zonas urbanas?**

- Alto
- Medio
- Bajo

**14.8. Considera que en el futuro este impacto tecnológico**

- Aumentará
- Disminuirá
- Seguirá igual

### CULTURALES

Minifundio/Herencia

Patrones de Consumo

Otros.....

**14.9. Del factor identificado, ¿Qué nivel de impacto considera usted que este produce en el incremento de zonas urbanas?**

- Alto
- Medio
- Bajo

**14.10. Considera que en el futuro este impacto cultural**

- Aumentará
- Disminuirá
- Seguirá igual

ANEXO 2: Registro fotográfico de entrevistas



**Fotografía 1.** Entrevista en el sector de Trojeloma



**Fotografía 2.** Entrevista en el sector la Delicia Alta



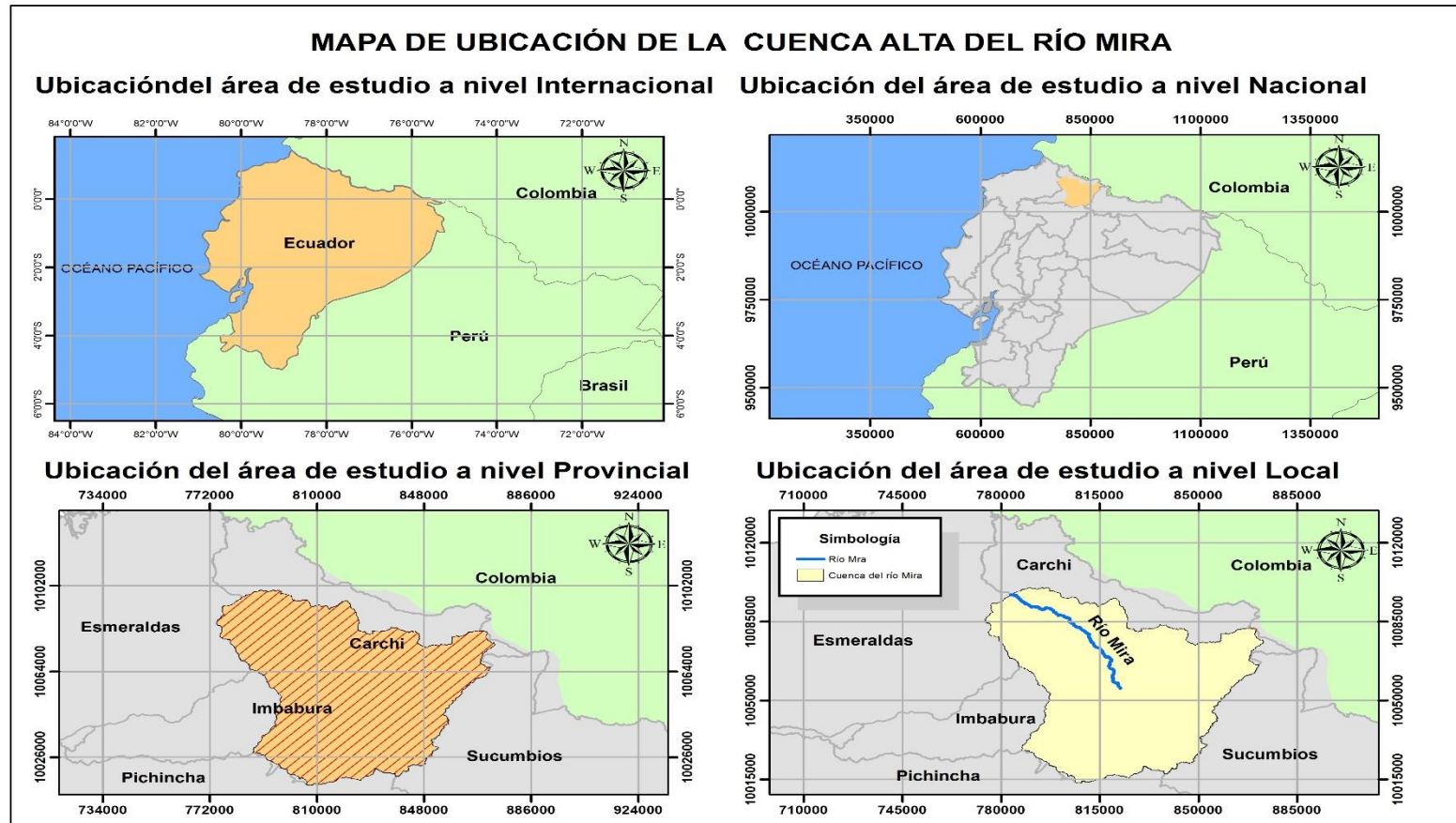
**Fotografía 3.** Entrevista en el sector San Joaquín



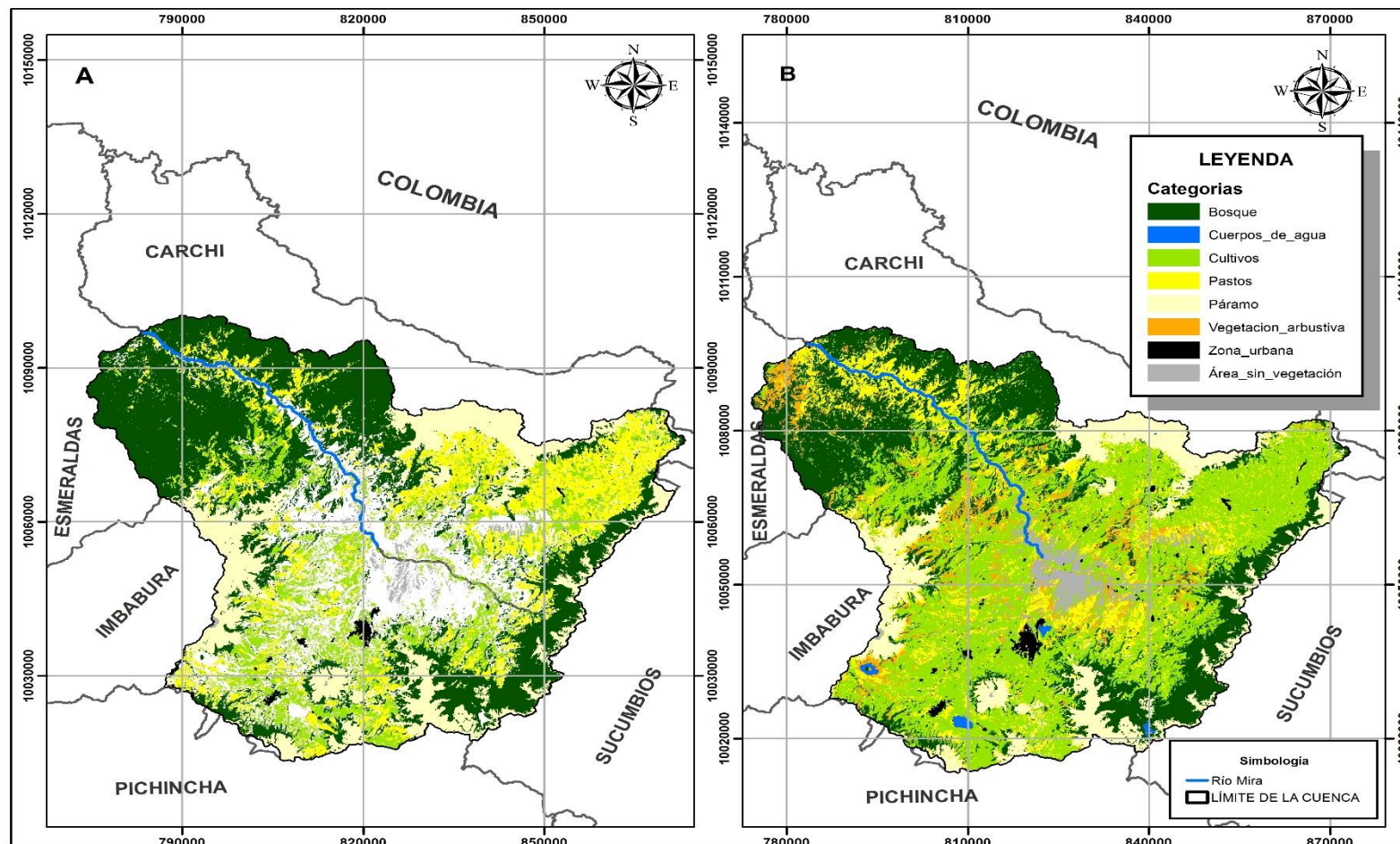
**Fotografía 4.** Entrevista en el sector de Yuquin Bajo

## **ANEXO 3: MAPAS**

**Anexo 3a:** Mapa de Ubicación de la cuenca alta del río Mira

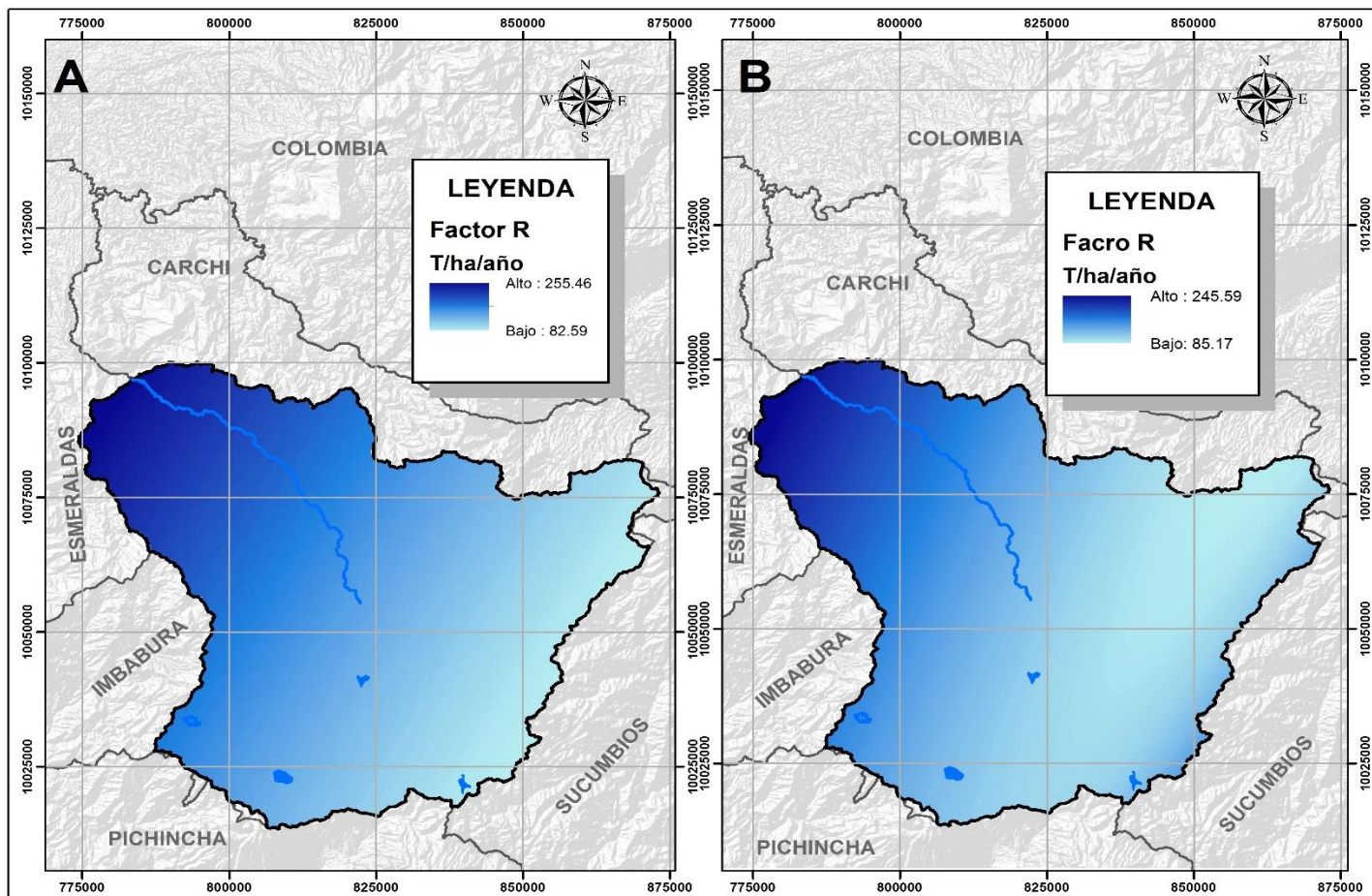


Anexo 3b: Mapa de cambio de uso de suelo de la cuenca alta del río Mira, 1996(A) y 2018(B)

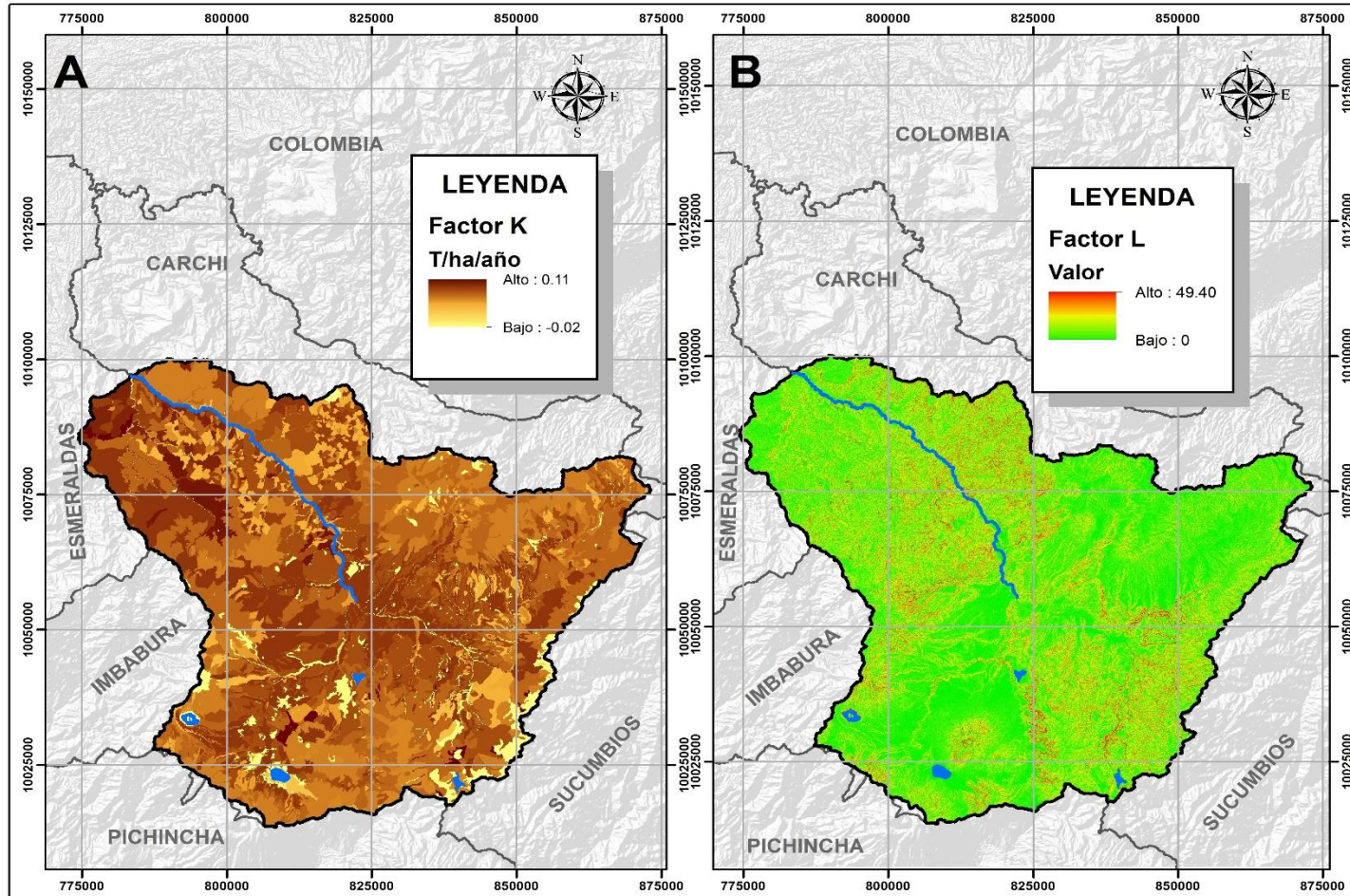




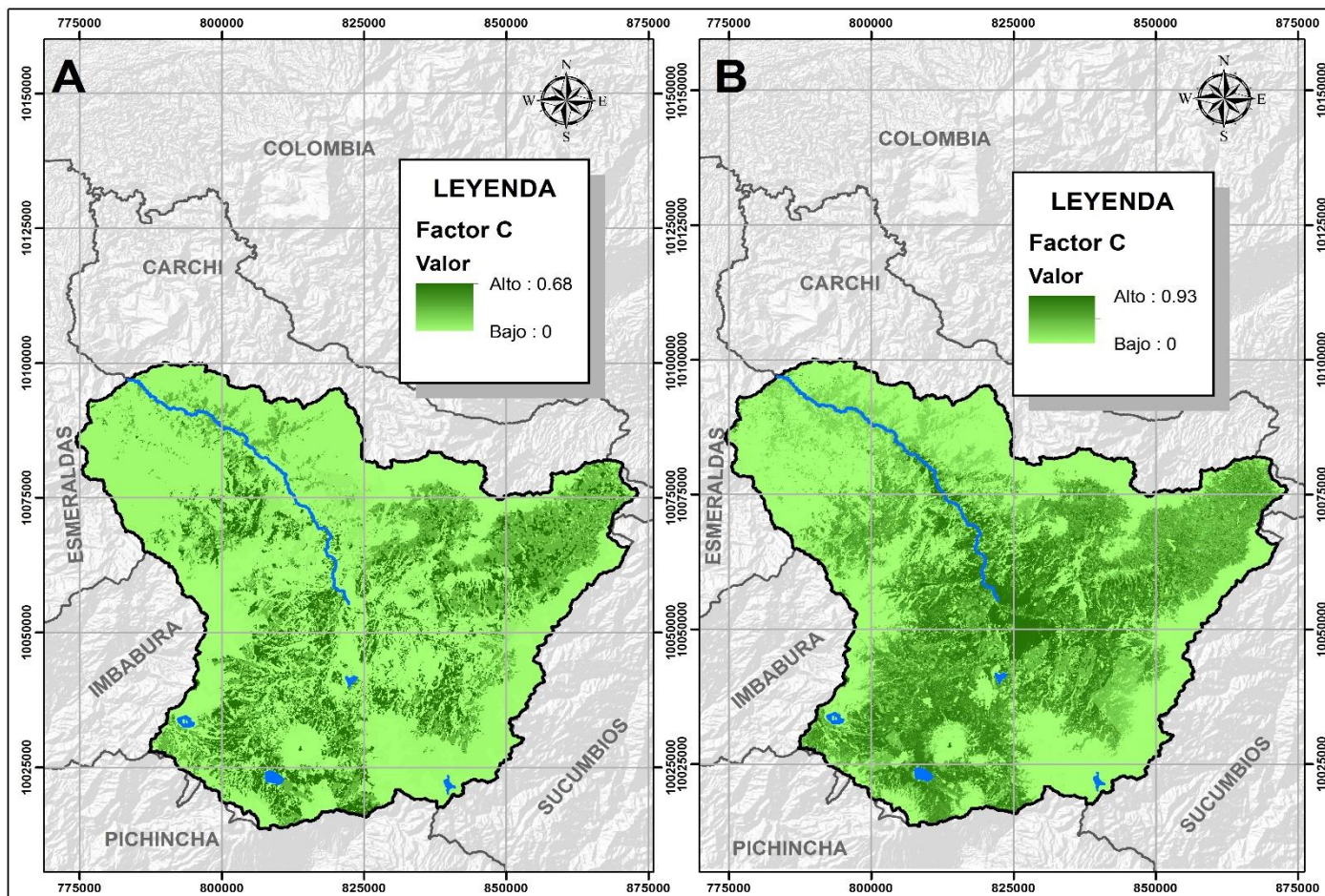
### Anexo 3c: Factor R, erosividad de la precipitación



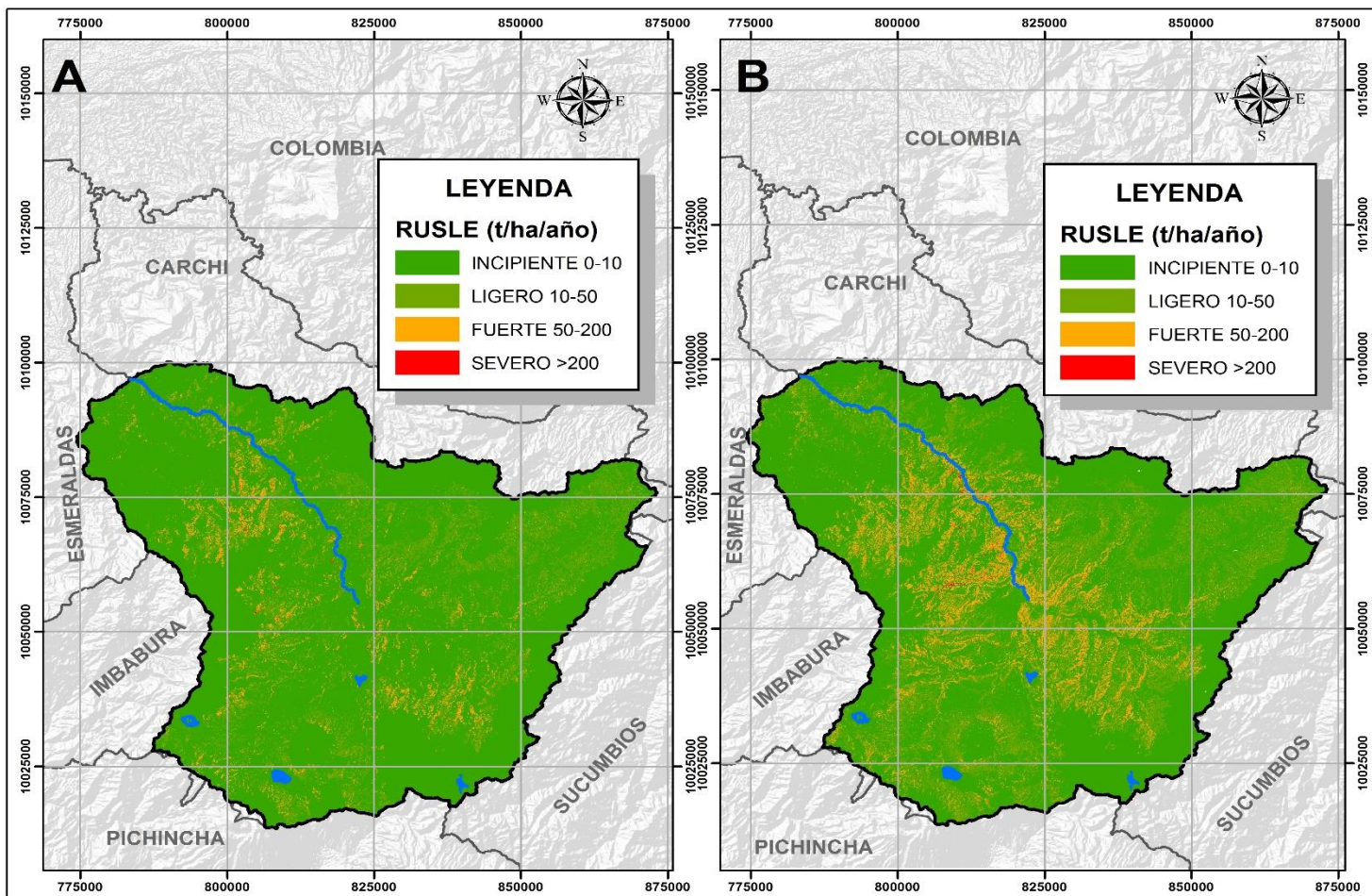
Anexo 3d: Factor k y Factor L



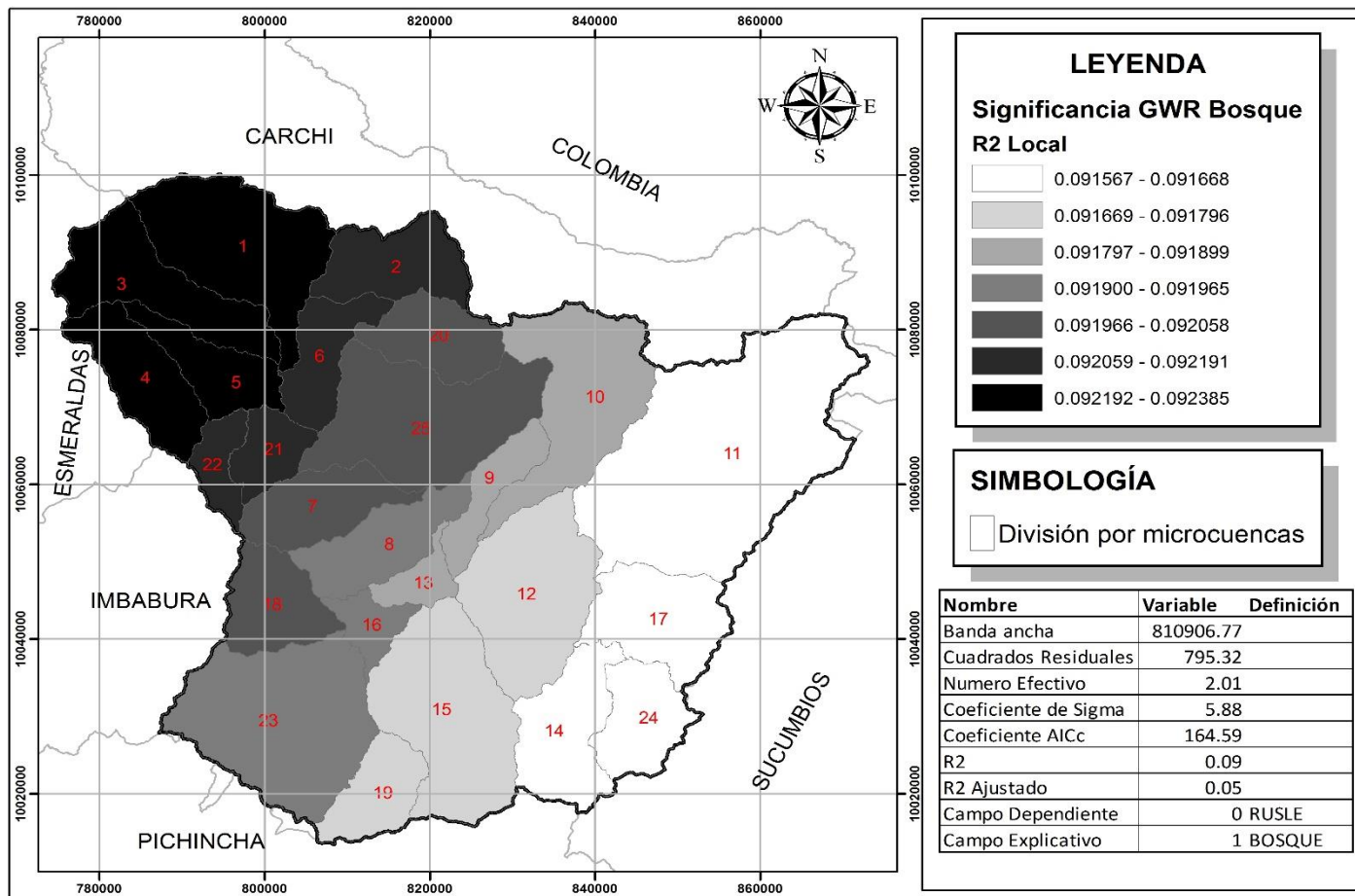
Anexo 3e: Factor C



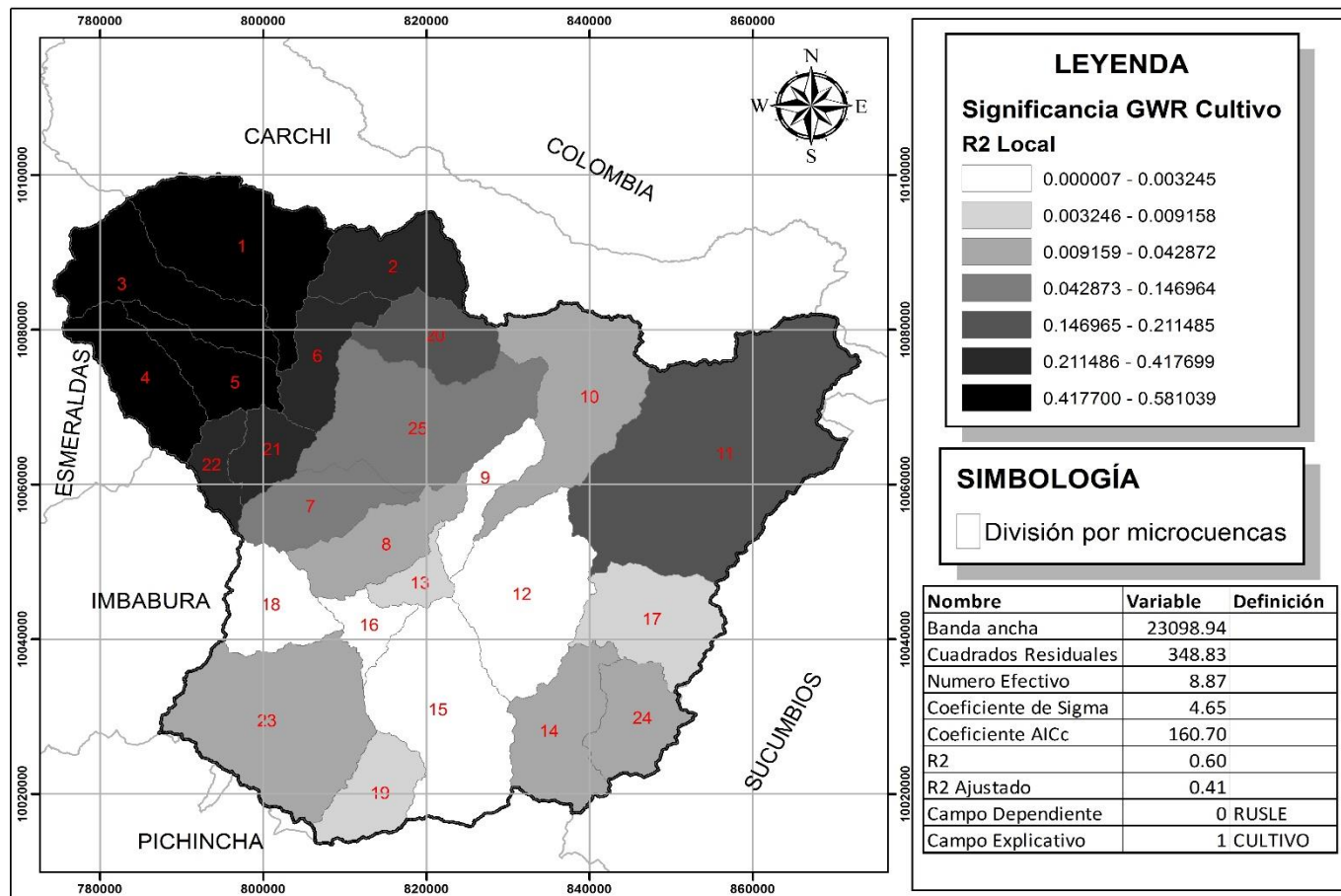
Anexo 3f: Modelo RUSLE



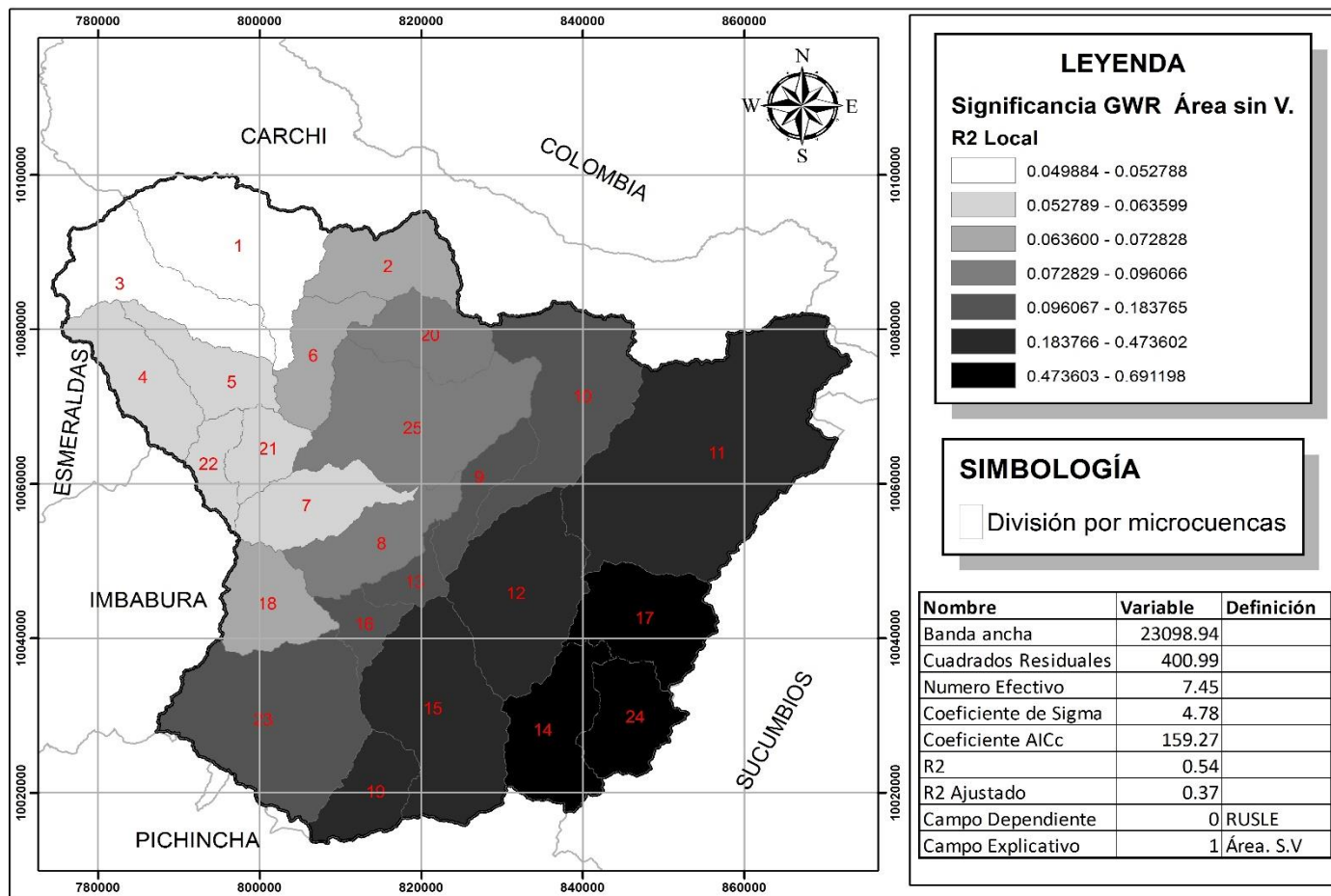
Anexo 3g: Regresión geográfica ponderada categoría bosque R<sup>2</sup> local



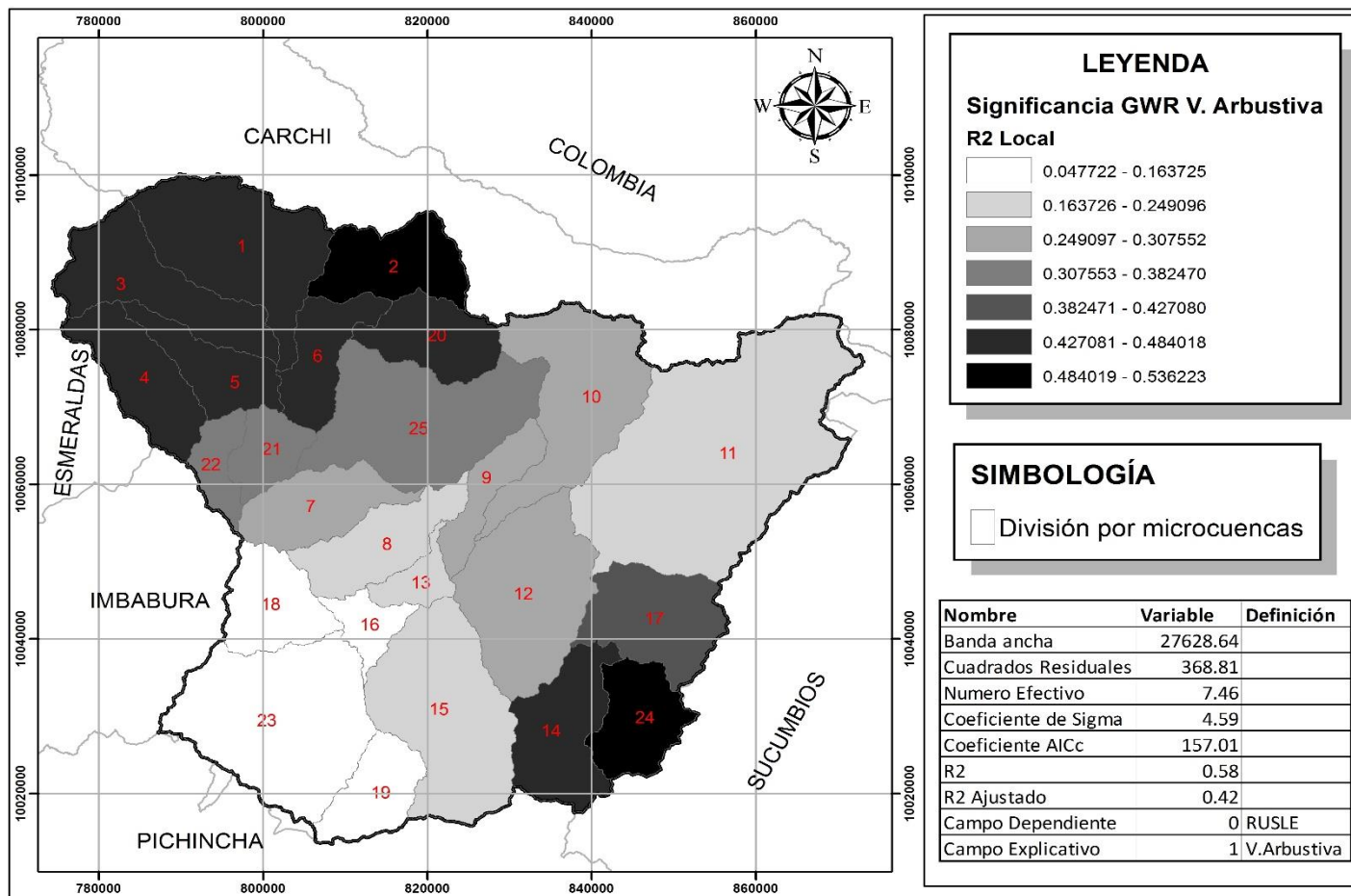
Anexo 3h: Regresión geográfica ponderada categoría cultivo R<sup>2</sup> local



Anexo 3i: Regresión geográfica ponderada categoría área sin vegetación R<sup>2</sup> local

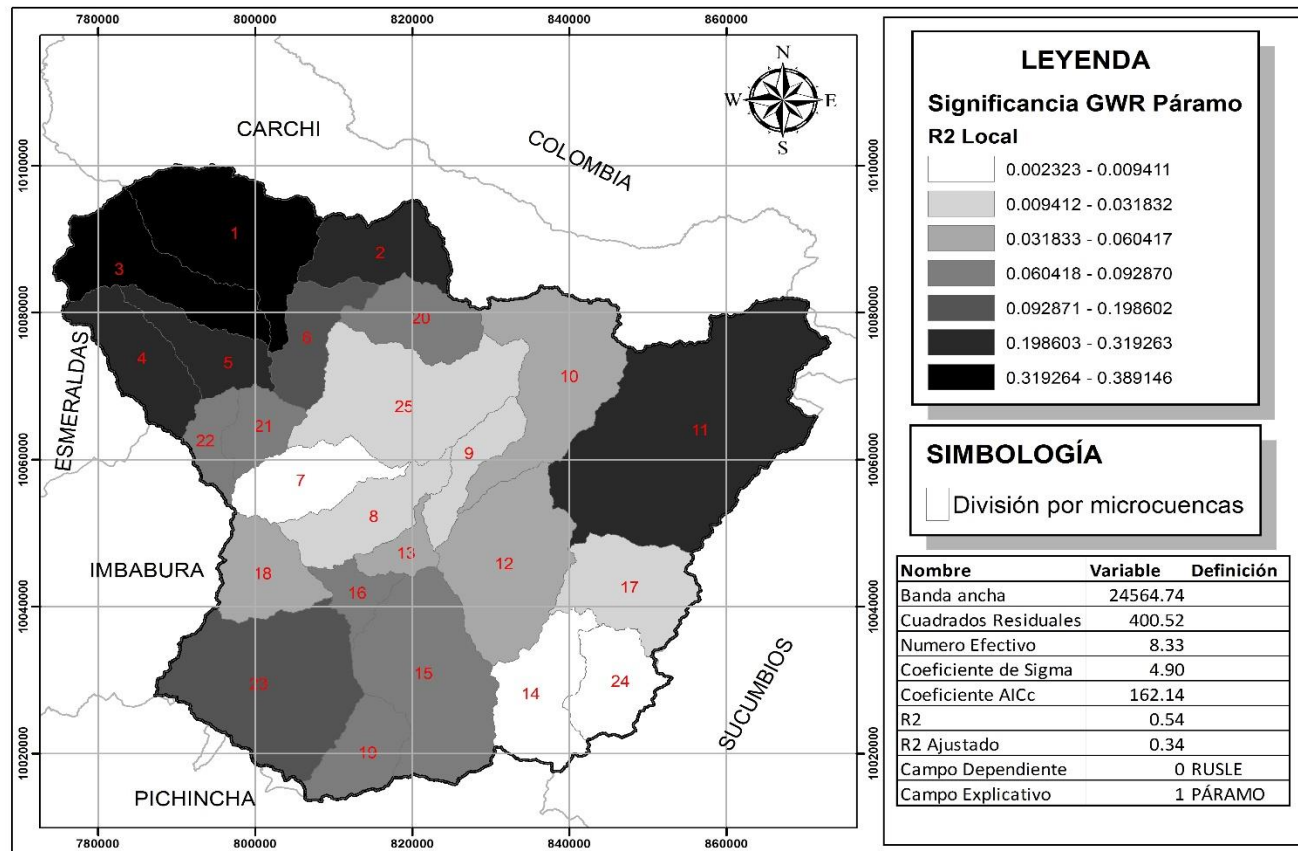


Anexo 3j: Regresión geográfica ponderada categoría vegetación arbustiva R<sup>2</sup> local





Anexo 3k: Regresión geográfica ponderada categoría páramo R<sup>2</sup> local



**Anexo 3m:** Regresión geográfica ponderada categoría pasto R<sup>2</sup> local

