

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS  
HIDROGRÁFICAS**

**EVALUACIÓN DE RIESGOS POR EROSIÓN HÍDRICA EN EL  
SUELO DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA QUITUMBE,  
PROVINCIA DE IMBABURA.**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de Magíster en  
Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas

**Autora:** Patricia Maribel Quiñónez Marret

**Director:** Ing. Gabriel Alexis Jácome Aguirre. MSc.

Ibarra - Ecuador

2022

**Conformidad con el documento final**

Ibarra, 22 de septiembre de 2021

Dra. Lucía Yépez

**Directora**

**Instituto de Postgrado**

**ASUNTO:** Conformidad con el documento final

Señora Directora:

Nos permitimos informar a usted que revisado el Trabajo final de Grado “**Evaluación de Riesgos por Erosión Hídrica en el suelo de la Microcuenca de la Quebrada Quitumbe, provincia de Imbabura**” de la maestrante Patricia Maribel Quiñónez Marret, de la Maestría de **Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas**, certificamos que han sido acogidas y satisfechas todas las observaciones realizadas.

Atentamente,

	<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>Firma</b>
Tutor	Ing. Gabriel Jácome A. MSc.	
Asesor	Ing. Oscar Rosales, MSc.	

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
 BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

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

**I. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

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

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
CÉDULA DE IDENTIDAD	0803491968		
APELLIDOS Y NOMBRES	QUIÑONEZ MARRET PATRICIA MARIBEL		
DIRECCIÓN	AV. PANAMERICANA NORTE E 35		
EMAIL	<a href="mailto:pmquinonezm@utn.edu.ec">pmquinonezm@utn.edu.ec</a>		
TELÉFONO FIJO	2710-586	TELÉFONO MÓVIL:	0992204398

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
TÍTULO:	EVALUACIÓN DE RIESGOS POR EROSIÓN HÍDRICA EN EL SUELO DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA QUITUMBE, PROVINCIA DE IMBABURA.
AUTOR:	QUIÑONEZ MARRET PATRICIA MARIBEL
FECHA: DD/MM/AAAA	23/09/2021
<b>SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO</b>	
PROGRAMA DE POSGRADO	PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO <input checked="" type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA	MAGÍSTER
TUTOR	ING. GABRIEL JÁCOME A. MSc.

## 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto 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 es la titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 30 días del mes de Marzo del año 2022.

EL AUTOR:

**Firma**



**Nombre:** Patricia Maribel Quiñónez Marret

## **DEDICATORIA**

A Dios fuente de esperanza y amor en mi vida profesional, a quien le debo todo éxito en cada paso, quien de forma espiritual me motiva cuando los problemas se tornan frecuentes y me siento desmayar.

A mis hijos Dairys Benavides y Napoleón Benavides quienes se convirtieron en mi mayor fortaleza y al mismo tiempo en mi mejor debilidad, compartiendo su hermoso tiempo en el desarrollo de esta investigación y acompañándome en los mejores momentos de mi vida, siendo fuente de inspiración para ser mejor cada día, a ellos les dedico este trabajo.

A mis padres Marlene Marret y Segundo Quiñónez son las personas a quienes admiro con el alma, fuente de amor y de inspiración quienes con una palabra han desarrollado valores de respeto y ética en mi vida, quienes han despertado en mi el deseo de superación profesional.

## **RECONOCIMIENTO**

A mi estimado tutor Ing. Gabriel Jácome quien me ha demostrado con su trabajo que siempre se puede llegar a ser mejor profesional.

A mis maestros quienes con su conocimiento y dedicación impartidos en las aulas de clases demostraron el amor y empeño que tienen a sus carreras profesionales.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	EL PROBLEMA.....	1
1.1.	Problema de investigación.....	1
1.2.	Preguntas directrices.....	2
1.3.	Objetivos de la investigación.....	3
1.3.1.	Objetivo general.....	3
1.3.2.	Objetivos específicos .....	3
1.4.	Justificación .....	4
2.	MARCO REFERENCIAL.....	6
2.1.	Antecedentes.....	6
2.2.	Marco teórico.....	7
2.2.1.	Problemática de las cuencas hidrográficas .....	7
2.2.2.	Erosión del suelo.....	8
2.2.3.	Erosión hídrica del suelo .....	9
2.2.4.	Factores que provocan la erosión del suelo .....	11
2.2.5.	Efectos de la erosión hídrica.....	13
2.2.6.	Erosión del suelo en Ecuador .....	14
2.2.7.	Ecuación universal de pérdida de suelo revisada .....	15
2.2.8.	Aplicabilidad del modelo matemático RUSLE .....	19
2.2.9.	Impacto socioambiental causados por la erosión del suelo .....	20
2.2.10.	Remediación y manejo de suelos erosionados.....	22
2.3.	Marco legal.....	23
3.	MARCO METODOLÓGICO .....	25
3.1.	Descripción del área de estudio .....	25
3.2.	Factores climáticos .....	26
3.3.	Suelo .....	26
3.4.	Morfología.....	27
3.5.	Uso de la tierra y cobertura vegetal .....	27
3.6.	Ecosistema.....	28
3.7.	Enfoque y tipo de investigación .....	28
3.8.	Procedimiento de investigación.....	29
3.8.1.	Pérdida del suelo por erosión hídrica mediante la aplicación del modelo matemático RUSLE .....	29
3.8.2.	Áreas críticas de erosión dentro de la microcuenca de la quebrada Quitumbe .....	39
3.8.3.	Análisis del impacto socioambiental generado por la erosión hídrica del suelo.....	41

3.8.4. Estrategias de manejo de suelo y prácticas de conservación .....	43
3.9. Consideraciones bioéticas .....	44
4. <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	45
4.1. Análisis de la pérdida del suelo por erosión hídrica .....	45
4.1.1. Parámetros morfométricos de la microcuenca hidrográfica .....	45
4.1.2. Factor de erosividad .....	46
4.1.3. Factor de erodabilidad del suelo (K) .....	49
4.1.4. Factor de longitud y gradiente de la pendiente (Factor LS) .....	51
4.1.5. Factor de uso de la tierra y cobertura vegetal (Factor C).....	52
4.1.6. Prácticas de manejo (P) .....	53
4.2. Áreas críticas de erosión dentro de la microcuenca de la quebrada Quitumbe .....	57
4.3. Impacto socioambiental generado por la erosión hídrica del suelo .....	62
4.3.1. Resultados de las encuestas .....	62
4.4. Propuesta de estrategias de manejo del suelo en la quebrada Quitumbe.....	75
4.4.1. Programa 1. Diversificación de cultivos y reducción en el consumo de agroquímicos.....	76
4.4.2. Programa 2. Reforestación con especies nativas .....	80
4.4.3. Programa 3. Educación ambiental .....	83
5. <b>CONCLUSIONES</b> .....	86
6. <b>RECOMENDACIONES</b> .....	87
7. <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	88
8. <b>ANEXOS</b> .....	97

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Valores de pérdida de suelo por erosión hídrica .....	14
<b>Tabla 2.</b> Valores que toma m en función del grado de pendiente.....	17
<b>Tabla 3.</b> Principales metodologías de remediación (X = proceso principal, (X) = proceso subsidiario limitado en alcance o en el rango de contaminantes afectados).....	22
<b>Tabla 4.</b> Taxonomía y propiedades del suelo de la microcuenca .....	26
<b>Tabla 5.</b> Morfología de los suelos en la microcuenca .....	27
<b>Tabla 6.</b> Uso y cobertura dentro de la microcuenca .....	28
<b>Tabla 7.</b> Información utilizada en el estudio .....	30
<b>Tabla 8.</b> Estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio.....	33
<b>Tabla 9.</b> Niveles de erosividad de la lluvia IFM.....	34
<b>Tabla 10.</b> Valores de permeabilidad y estructura del suelo de acuerdo con su textura .	36
<b>Tabla 11.</b> Valores de C asociados a la cobertura vegetal y uso de la tierra.....	38
<b>Tabla 12.</b> Niveles erosivos según el mapa de erosión hídrica de la Comunidad Autónoma del país vasco.....	40
<b>Tabla 13.</b> Tolerancias establecidas por la FAO-PNUMA-UNESCO.....	41
<b>Tabla 14.</b> Parámetros morfométricos de la microcuenca Quitumbe .....	45
<b>Tabla 15.</b> Valoración de la agresividad climática en relación con el IMF. ....	47
<b>Tabla 16.</b> Valores de erodabilidad del suelo.....	50
<b>Tabla 17.</b> Uso de suelo y cobertura vegetal, valores del factor C. ....	52
<b>Tabla 18.</b> Superficie erosión actual de la microcuenca Quitumbe. ....	55
<b>Tabla 19.</b> Áreas potencialmente erosionables según la superficie de la microcuenca. .	57
<b>Tabla 20.</b> Niveles erosivos del suelo identificado en campo.....	58
<b>Tabla 21.</b> Actores involucrados en el estudio.....	62
<b>Tabla 22.</b> Rangos de edad de las personas encuestadas.....	62
<b>Tabla 23.</b> Sexo de las personas encuestadas .....	63
<b>Tabla 24.</b> Nivel educativo.....	63
<b>Tabla 25.</b> Actividades realizadas en la Microcuenca.....	64
<b>Tabla 26.</b> Actividades intensivas realizadas en la Microcuenca .....	65
<b>Tabla 27.</b> Niveles de erosión descritos en la Microcuenca.....	65
<b>Tabla 28.</b> Niveles de erosión descritos en la Microcuenca.....	66
<b>Tabla 29.</b> Niveles de erosión actual observados en la Microcuenca .....	67
<b>Tabla 30.</b> Problemáticas identificadas en la Microcuenca .....	67

<b>Tabla 31.</b> El suelo como sustento económico.....	69
<b>Tabla 32.</b> Conflictos sociales en la microcuena.....	69
<b>Tabla 33.</b> Prácticas de conservación en la Microcuena .....	70
<b>Tabla 34.</b> Programas de capacitación en la microcuena .....	71
<b>Tabla 35.</b> Normativa local en la microcuena .....	72
<b>Tabla 36.</b> Acuerdos en la microcuena.....	73
<b>Tabla 37.</b> Prácticas de conservación en la Microcuena .....	73
<b>Tabla 38.</b> Análisis FODA identificados en la Microcuena Quitumbe .....	75
<b>Tabla 39.</b> Diversificación de cultivos y reducción en el consumo de agroquímicos.....	78
<b>Tabla 40.</b> Reforestación con especies nativas.....	81
<b>Tabla 41.</b> Educación ambiental.....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>Erosión laminar del suelo</i> .....	10
<b>Figura 2.</b> <i>Erosión en surco del suelo</i> .....	10
<b>Figura 3.</b> <i>Erosión en cárcavas del suelo</i> .....	11
<b>Figura 4.</b> <i>Área de ubicación de la microcuenca hidrográfica de la Quebrada Quitumbe</i> .....	25
<b>Figura 5</b> <i>Flujograma de procesamiento de información modelo matemático RUSLE</i> .	31
<b>Figura 6.</b> <i>Ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas en la investigación</i> .	33
<b>Figura 7.</b> <i>Monograma de textura de suelos</i> .....	36
<b>Figura 8.</b> <i>Procesamiento de la información recolectada</i> .....	44
<b>Figura 9.</b> <i>Precipitación anual de las estaciones meteorológicas utilizadas en el método de interpolación kriging.</i> .....	47
<b>Figura 10.</b> <i>Erosividad del suelo (Factor R) de la microcuenca Quitumbe representado por unidades <math>Mj*mm/ha*hr*año</math>.</i> .....	48
<b>Figura 11.</b> <i>Regresión lineal de las variables de precipitación y IMF de la microcuenca Quitumbe.</i> .....	49
<b>Figura 12.</b> <i>Erodabilidad del suelo (Factor k) de la microcuenca Quitumbe representado por unidades <math>t*ha*h/ha*MJ*mm</math>.</i> .....	51
<b>Figura 13.</b> <i>Inclinación de la pendiente (Factor LS) de la microcuenca Quitumbe.</i> .....	52
<b>Figura 14.</b> <i>Uso y cobertura (Factor C) de la microcuenca Quitumbe.</i> .....	53
<b>Figura 15.</b> <i>Áreas susceptibles a la erosión actual hídrica de la microcuenca Quitumbe.</i> .....	54
<b>Figura 16.</b> <i>Áreas susceptibles a la erosión potencial hídrica de la microcuenca Quitumbe.</i> .....	58

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
INSTITUTO DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

**EVALUACIÓN DE RIESGOS POR EROSIÓN HÍDRICA EN EL SUELO DE LA  
MICROCUENCA DE LA QUEBRADA QUITUMBE, PROVINCIA DE  
IMBABURA.**

Autor: Patricia Maribel Quiñónez Marret

Tutor: Ing. Gabriel Alexis Jácome Aguirre MSc.

Año: 2021

**RESUMEN**

La erosión hídrica se ha convertido en uno de los factores ambientales más determinantes asociados a la sobreutilización del suelo por la expansión de la frontera agrícola, deforestación y cultivos en pendientes pronunciadas, en esta investigación el objetivo fue evaluar el nivel de riesgo por erosión hídrica que permita proponer estrategias de conservación de la microcuenca de la quebrada Quitumbe ubicada en el cantón Cotacachi, parroquia Imantag. Se obtuvo información relacionada con precipitación, textura de suelos, pendientes, uso del suelo y su geomorfología para determinar así el nivel de erosión mediante el modelo matemático RUSLE. Con respecto al impacto socio-ambiental se integró la percepción de los actores involucrados en la problemática mediante la técnica de encuestas vía online y personal y se propuso estrategias en el área de investigación. El 67% de las personas encuestadas se dedican a la actividad agrícola considerándola como el sustento económico para su familia, sin embargo esta actividad está establecida por los mismos actores como la provocante de la degradación del suelo por efectos de la erosión. Además el uso excesivo de fertilizantes, herbicidas y plaguicidas implementados en sistemas agrícolas comerciales ocupa un 24% del total de las problemáticas, este estado del suelo se ha venido intensificando con el tiempo y su uso cada vez es más frecuente. Los factores que tienen mayor incidencia en la erosión del suelo de acuerdo con el modelo RUSLE son el factor LS con valores máximos de 34,4, seguido del factor R con valores mínimos y máximos de 262,15 a 411,12 Mj.mm/ha\*h\*año, se determinó datos medios de 58.6 t/ha/año correspondiente a valores categorizados según la FAO como alta susceptibilidad a erosión hídrica. Se desarrollaron planes de diversificación de cultivos y reducción en el consumo de agroquímicos, reforestación con especies nativas y educación ambiental.

**Palabras clave:** Erosión del suelo, modelo RUSLE, impacto socio-ambiental.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
INSTITUTO DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

**RISK ASSESSMENT FOR WATER EROSION IN THE SOIL OF THE MICRO-BASIN OF LA QUEBRADA QUITUMBE, PROVINCE OF IMBABURA**

Autor: Patricia Maribel Quiñónez Marret

Tutor: Ing. Gabriel Alexis Jácome Aguirre MSc.

Año: 2021

**ABSTRAC**

La erosión hídrica se ha convertido en uno de los factores ambientales más determinantes asociados a la sobreutilización del suelo por la expansión de la frontera agrícola, deforestación y cultivos en pendientes pronunciadas, en esta investigación el objetivo fue evaluar el nivel de riesgo por erosión hídrica que permita proponer estrategias de conservación de la microcuenca de la quebrada Quitumbe ubicada en el cantón Cotacachi, parroquia Imantag. Se obtuvo información relacionada con precipitación, textura de suelos, pendientes, uso del suelo y su geomorfología para determinar así el nivel de erosión mediante el modelo matemático RUSLE. Con respecto al impacto socio-ambiental se integró la percepción de los actores involucrados en la problemática mediante la técnica de encuestas vía online y personal y se propuso estrategias en el área de investigación. El 67% de las personas encuestadas se dedican a la actividad agrícola considerándola como el sustento económico para su familia, sin embargo esta actividad está establecida por los mismos actores como la provocante de la degradación del suelo por efectos de la erosión. Además el uso excesivo de fertilizantes, herbicidas y plaguicidas implementados en sistemas agrícolas comerciales ocupa un 24% del total de las problemáticas, este estado del suelo se ha venido intensificando con el tiempo y su uso cada vez es más frecuente. Los factores que tienen mayor incidencia en la erosión del suelo de acuerdo con el modelo RUSLE son el factor LS con valores máximos de 34,4, seguido del factor R con valores mínimos y máximos de 262,15 a 411,12 Mj.mm/ha\*h\*año, se determinó datos medios de 58.6 t/ha/año correspondiente a valores categorizados según la FAO como alta susceptibilidad a erosión hídrica. Se desarrollaron planes de diversificación de cultivos y reducción en el consumo de agroquímicos, reforestación con especies nativas y educación ambiental.

**Palabras clave:** Erosión del suelo, modelo RUSLE, impacto socio-ambiental

## CAPITULO I

### 1. EL PROBLEMA

#### 1.1. Problema de investigación

Según Gardi *et al.* (2014) más de la mitad de 576 millones de hectáreas de tierra cultivable de América Latina, particularmente el 45 % de Suramérica, son afectadas por procesos de degradación debido a cambios en suelo. La tasa más alta de deforestación la tiene Ecuador (FAO, 2010), lo que puede estar afectando directamente al suelo y a la condición ecológica de las fuentes de agua. “La degradación del suelo está definida como un cambio en la salud del suelo resultando en una disminución de la capacidad del ecosistema para producir bienes o prestar servicios para sus beneficiarios” (FAO, 2020). Cuando el suelo se encuentra en mal estado pierde su capacidad de resiliencia, asimismo, la capacidad de sostenibilidad o soporte de vida afectando principalmente su fertilidad y por ende la producción de servicios ecosistémicos.

Ecuador se encuentra afectado por varios procesos de erosión, los efectos negativos provocados por la degradación del suelo constituyen una de las principales causas de la degeneración de los recursos naturales; donde aproximadamente un 50% del territorio ecuatoriano se ha visto afectado (CEDIG, 1986). La fuerte presión ejercida por el crecimiento poblacional rural a nivel local es un problema que va en aumento, ya que con ello se puede evidenciar el eminente avance de la frontera agrícola para satisfacer la demanda de consumo de alimentos que tiene como resultado la desertificación de miles de hectáreas a causa de la erosión.

En la provincia de Imbabura los principales problemas se generan a causa de la sobreutilización del suelo, deforestación de las cuencas hídricas y la expansión de la frontera agrícola. Sin embargo, si las actividades de sobreexplotación se acentúan por falta de prácticas de conservación del sustrato, el número de hectáreas sin erosión pueden variar (GAD Ibarra, 2017). Las malas prácticas agrícolas como: cultivos en pendientes pronunciadas, labranza en el mismo sentido de la pendiente, sobrecarga de animales, deforestación e incendios forestales, contribuyen al aumento de los procesos erosivos, amenazando la productividad de los suelos.

El suelo de la microcuenca Quitumbe es derivado de cenizas volcánicas por lo que se encuentra en una constante producción agrícola (GAD Imantag, 2015). Sin embargo la aplicación de malas técnicas de riego, uso excesivo de agroquímicos y cultivo en pendientes conllevan una degradación progresiva del suelo.

El punto de partida para el desarrollo sustentable es la productividad de la naturaleza, con sus limitados recursos y capacidad para absorber los impactos negativos (Miller, 1994). Los sistemas tradicionales de producción agrícola, la deforestación, cambio en el uso del suelo, sobrexplotación entre otros, intensifican la erosión. Por esa razón, esta investigación tiene como objetivo proponer estrategias de manejo sustentable de suelo, que permitan mejorar sus condiciones, de manera que favorezcan los servicios ecosistémicos del área.

Actualmente existen diversos estudios que utilizan el modelo matemático de Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (RUSLE) para cuantificar la erosión del suelo (Renard *et al.*, 1989). Sin embargo, en la parroquia de Imantag no existe un estudio analizando esta problemática, por lo que es de suma importancia realizar investigaciones en la región que permitan contrastar los resultados. El presente estudio aplicó el método antes mencionado mediante sistemas de información geográfica (SIG) para la obtención de resultados cuantitativos de degradación del suelo por erosión hídrica.

## **1.2. Preguntas directrices**

¿De acuerdo con el modelo matemático RUSLE cuáles son los factores que más inciden en la degradación progresiva del suelo por erosión hídrica?

¿Cuáles son los impactos socioambientales de mayor intensidad generados por la erosión hídrica del suelo?

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo general**

- Evaluar el nivel de riesgo por erosión hídrica en el suelo de la microcuenca de la quebrada Quitumbe, que permita proponer estrategias de conservación de suelo.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Cuantificar la pérdida del suelo por erosión hídrica de la quebrada Quitumbe, provincia de Imbabura
- Identificar las áreas críticas de erosión dentro de la microcuenca de la quebrada Quitumbe.
- Analizar el impacto socioambiental generado por la erosión hídrica en el suelo de la quebrada Quitumbe.
- Diseñar estrategias de manejo del suelo en la quebrada Quitumbe a fin de promover prácticas de conservación.

#### **1.4. Justificación**

La degradación del suelo a causa de la erosión es uno de los problemas ambientales más preocupantes en el mundo, ya que ocasiona reducción en su productividad, contaminación de los cuerpos hídricos, sedimentación de ríos y embalses entre otros (Zinck, 2005). El presente estudio se basa en la evaluación del nivel de riesgos ocasionados por la erosión hídrica en el suelo utilizando el modelo matemático RUSLE propuesto por Renard *et al.* (1991), con el fin de proponer acciones o estrategias de conservación que minimicen el impacto de las actividades antrópicas y generen actividades productivas y ganaderas sustentables, para satisfacer las necesidades básicas de la población local.

Es indispensable la conservación del suelo debido al soporte de la productividad agrícola, así como también por la protección integral de las cuencas hidrográficas y la eminente escases del recurso hídrico (Suárez, 2001; Delgado, 2009). En la microcuenca Quitumbe se asocia el caso de la alta producción agrícola con la degradación de los suelos, la falta de cobertura vegetal la cual da como resultado la erosión.

El presente trabajo de investigación aporta fundamentalmente con los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, mismos que se basan en garantizar una vida digna con iguales oportunidades para todas las personas, derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones, la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria, y el desarrollo de capacidades productivas y del entorno para lograr la soberanía alimentaria y el Buen Vivir Rural.

Se considera pertinente el estudio debido a que está enmarcado en los aspectos del perfil de egreso del programa de Maestría en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas mismo que se caracterizan por su capacidad para ejecutar proyectos de investigación con bases metodológicas sólidas y capaces de comunicar sus resultados a la comunidad científica y habilidades desarrolladas para el manejo de herramientas técnicas, sociales y económicas inherentes al ámbito de cuencas y micro cuencas hidrográficas incluyendo SIG, desde la perspectiva de planificación y principios de desarrollo territorial.

De acuerdo con todos los aspectos ya mencionados se puede afirmar la amplitud de la investigación en temas de preservación del suelo y derechos de la naturaleza como parte esencial para la conservación, amparados en el plan de desarrollo, generando conocimiento científico que permite optimizar recursos tanto económicos como de tiempo al momento de tomar decisiones respecto a un problema social, cultural o ambiental. Por tal razón, se considera de importancia realizar la investigación, denominada: “Evaluación de riesgos por erosión hídrica en el suelo de la microcuenca de la quebrada Quitumbe, provincia de Imbabura”.

## CAPITULO II

### 2. MARCO REFERENCIAL

#### 2.1. Antecedentes

De acuerdo con estimaciones realizadas por la FAO se afirma que: “A causa de la desertificación, cada año dejan de ser productivas de seis a siete millones de hectáreas en el mundo, en menos de 200 años el hombre habrá agotado todas las tierras productivas del planeta” (Duarte, 1990).

El recurso suelo es en la mayoría de los casos se encuentra identificado por una serie de fenómenos ambientales y antrópicos, la erosión hídrica y eólica se constituye comúnmente las principales causas de la pérdida del sustrato (Ostovari *et al.*, 2019). Las actividades humanas aceleran el proceso natural de erosión debido a una falta de manejo en sus prácticas de cultivos de extensos territorios.

Según Dourojeanni (1993), *“el desarrollo sustentable implica crecimiento económico para satisfacer las necesidades de la población (dimensión económica) pero, a la vez, acceso igualitario a los recursos naturales (dimensión de equidad social), y para sostener ambas dimensiones se requiere mantener la calidad productiva”*.

Es indispensable optimizar el recurso hídrico principalmente en zonas áridas y semiáridas, mejorando así la productividad del suelo y su paisaje. Además, la ocurrencia de intensas lluvias registradas en periodos cortos de tiempo, exigen de forma urgente actividades enfocadas a mitigar la erosión del suelo. Un papel predominante en este factor es interpretado por las técnicas indígenas de Conservación de Suelo y Agua (CSA), que tienen antecedentes de conservación en casi todas las tierras semiáridas del mundo (Bruins, Enenari, y Nessler, 1986).

Las investigaciones de erosión desarrolladas en el siglo pasado fueron inicialmente de tipo cualitativo. Vega y Febles (2005) en su estudio sobre la investigación de suelos erosionados, explica sobre métodos e índices de diagnóstico, los cuales consistieron en varios índices para evaluar la susceptibilidad de pérdida de suelo, dando como resultado

el desarrollo de las primeras ecuaciones empíricas. Hasta el presente, se han desarrollado una variedad de metodologías para el estudio de erosión, algunas están basadas en observación directa en campo y modelación de factores, conocidos como métodos directos e indirectos.

Los métodos directos son estudios técnicos que miden directamente los valores de erosión, como por ejemplo el método de parcelas experimentales, técnica de clavos de erosión obteniendo resultados acordes a la metodología aplicada, ya que cuando se predice la erosión se debe decir si es para un día; o si se refiere a una cuenca o una parcela (Morgan, 1994). Mientras que los métodos indirectos son modelos matemáticos que estiman las pérdidas de suelo a través de variables climatológicas y características propias de cada tipo de suelo (Pizarro y Curtiño, 1997; Vega y Febles, 2005).

## **2.2. Marco teórico**

### **2.2.1. Problemática de las cuencas hidrográficas**

Cotler *et al.*, (2013) manifiestan que en México y otros lugares del mundo existen factores que afectan al ambiente: la creciente contaminación de los suelos, la pérdida de la biodiversidad, la alteración del régimen hidrológico, la reducción de los niveles de agua subterránea. Las cuencas hidrográficas se consideran ecosistemas cubiertos de sistemas complejos en los que la materia y la energía fluyen y se almacenan mediante procesos que operan a diferentes escalas espaciales y temporales (Osmond *et al.*, 1980).

En lo que respecta a nuestro país, Salas (2014) argumenta que la problemática de las cuencas en el Ecuador está relacionada con la escasa planificación de ordenamiento territorial, aprovechamiento irracional de los recursos naturales, incumplimiento de la normativa ambiental vigente y poca gestión de instituciones del Estado. Frente a la vulneración de derechos de un ambiente sano, ocasionada por la degradación de las cuencas, la sociedad ha incrementado su participación en la conservación del agua, debido a su estrecha relación con la satisfacción de necesidades básicas (OPS 2011).

Los cambios en los patrones de temperatura, precipitación y escurrimiento afectan la dinámica hidrológica que conlleva el aporte de agua disponible para las actividades productivas, el consumo humano y la ocurrencia de eventos extremos como las sequías

y las inundaciones. (Cuevas, Garrido, Pérez & González, 2010). De acuerdo con Ruiz & Febles (2004) la erosión representa un importante problema social y económico y es un factor determinante en el deterioro de los sistemas terrestres. Afectando no sólo la productividad de los terrenos, también tiene impacto aguas abajo a través de la sedimentación y la contaminación provocada por el arrastre de las partículas del suelo (Gómez *et al.*, 2007). Según Röder *et al.*, 2006 refiere que la disminución de la cobertura vegetal podría desaparecer la capa protectora del suelo y por consiguiente exponerlo aún más al efecto erosivo de la lluvia lo cual desencadenaría en la baja la capacidad productiva del suelo. Todo esto manifiesta que la conservación y el buen manejo de nuestro patrimonio o capital natural es clave para aspirar a un desarrollo sustentable (dimensiones ambiental, social, cultural y económica) en el futuro próximo (Cotler *et al.*, 2013).

### **2.2.2. Erosión del suelo**

El proceso de erosión del suelo implica la separación de las partículas del suelo, transporte de sedimentos (por el impacto de la gota de agua y la fuerza de corte del agua) y la deposición (Meyer y Wischmeier, 1969; Wischmeier y Smith, 1978). El suelo tiene como actividad esencial la productividad agrícola y ganadera. Sin embargo, el aprovechamiento inadecuado del mismo debido al incremento de actividades productivas ha desencadenado inadecuadamente en la degradación de la parte superficial del suelo.

Los procesos de degradación física de los suelos se manifiestan a través de la erosión hídrica y eólica que se considera comúnmente como una de las principales causas de la pérdida de suelo (Ostovari, Ghorbani-Dashtaki, Bahrami, Naderi y Melo, 2017); El concepto de erosión del suelo también puede referirse a la erosión antrópica, que es de desarrollo rápido en comparación con la erosión natural o geológica de evolución muy lenta (Mutchler, 1988).

En la actualidad, la erosión en el suelo es generada por la sobreexplotación de los recursos naturales y el uso intensivo de las actividades antropogénicas como sobrepastoreo, deforestación, cultivos en pendientes, sistemas inadecuados de riego, entre otros (Raffino, 2020).

### **2.2.3. Erosión hídrica del suelo**

La erosión hídrica del suelo es la porción neta de suelo movido por la acción disgregante y de transporte de las gotas de lluvia o del escurrimiento superficial (Gaspari *et al.*, 2009). Este fenómeno se puede representar por la cantidad de sedimentos desprendidos principalmente de las cuencas altas con factores de pendientes pronunciadas.

La degradación del suelo por erosión hídrica tiene relación con la precipitación media anual. Cuando la misma supera los 1000 mm y existe una cobertura vegetal completa, ésta protege efectivamente al suelo del impacto de las gotas de lluvia (Thurow, 1991). Sin embargo, cuando la capa superficial de vegetación es extraída de forma parcial o total, la erosión del suelo aumenta debido a diversos factores siendo el principal la precipitación.

Se han realizado numerosos estudios para evaluar la erosión hídrica utilizando métodos directos (Barthes *et al.*, 2000, Fanning, 1994; Coronato y del Valle, 1993; Torres, 1987) e indirectos (Almaguer *et al.*, 1990; Curiel, 1990; Reyes *et al.*, 1990; Oropeza y Flores, 1990). Las cifras de erosión hídrica reportadas varían ampliamente dependiendo de las condiciones del área y del método empleado para estimarla. Este tipo de erosión se clasifica en:

- Erosión laminar
- Erosión en surcos
- Erosión en cárcavas

#### ***2.2.3.1. Erosión laminar***

La erosión, considerada como la pérdida de suelo por escurrimiento hídrico superficial, se denomina erosión laminar, este fenómeno hace referencia al deslizamiento superficial donde no existe cobertura vegetal, probablemente sea el proceso más importante de la erosión (Honorato *et al.*, 2001). De acuerdo con Vahrson (1991) la salpicadura provocada por la lluvia se mantiene en la superficie del suelo como una capa delgada, se conoce este fenómeno como erosión laminar, cuando este ocurre en áreas de pendientes fuertes la mitad del suelo se pierde debido a este factor.

Cuando un área está desprovista de vegetación la degradación del suelo por erosión laminar es el proceso que más afecta la agricultura por la pérdida del horizonte A, lo que desencadena significativamente a la producción de sedimentos en los ríos.



*Figura 1. Erosión laminar del suelo*

#### **2.2.3.2. Erosión en surcos**

La erosión en surcos es la forma de erosión más fácilmente perceptible, tiene su origen a causa del escurrimiento superficial del agua que se concentra en sitios irregulares o depresiones superficiales del suelo desprotegido o trabajado inadecuadamente (FAO, 2000). Este tipo de erosión es más frecuente en zonas donde la pendiente es inclinada, el flujo se acumula en el sentido de la pendiente hasta formar surcos. (Lal, 1980 citado por Valcarcel, 1989).



*Figura 2. Erosión en surco del suelo*

### **2.2.3.3. Erosión en cárcavas**

Cárcava es la condición del suelo más progresiva, se da a partir de los surcos. En función de la pendiente, y la longitud de la ladera el flujo concentrado del cuerpo hídrico ocasiona el incremento de las superficies de los surcos, hasta transformarse en cárcavas (FAO, 2000). Al respecto Morgan (1997), señala que, este fenómeno se produce principalmente por un incremento en la escorrentía superficial, debido a periodos de precipitación prolongados, actividades antrópicas, cambio de uso de suelo etc. Además, poseen mayor profundidad, menor anchura y transportan una mayor cantidad de sedimentos. Este fenómeno se produce principalmente por un incremento en la escorrentía superficial, debido a periodos de precipitación prolongados, actividades antrópicas, cambio de uso de suelo etc.



**Figura 3.** *Erosión en cárcavas del suelo*

### **2.2.4. Factores que provocan la erosión del suelo**

En las cuencas hidrográficas existen diversos factores que intensifican la erosión del suelo en zonas determinadas, estas condiciones dependen de forma directa del uso y manejo del suelo, las condiciones hídricas etc. Según Dourojeanni (2000) los procesos de la erosión hídrica se relacionan de acuerdo con su acción (activa y pasiva) y se clasifican en:

- Factor activo: precipitación
- Factores pasivos: cobertura vegetal, suelo y topografía

#### ***2.2.4.1. Precipitación***

Según Suárez (1980), citado por Pizarro (2005), el factor climático que más influye en la erosión es la precipitación. De su cantidad, intensidad y distribución depende el tamaño de la corriente de agua que se desplaza en capas uniformes sobre el suelo, llevando sustancias minerales. El tiempo y la frecuencia están vinculadas con la intensidad de la lluvia, si este fenómeno va acompañado de la intensidad y periodicidad, pueden desarrollar una mayor actividad erosiva en los suelos (Yanchapaxi y Pozo, 1993).

#### ***2.2.4.2. Escurrimiento***

La formación de escurrimiento superficial dependerá de la intensidad y frecuencia de las lluvias y de las propiedades del suelo, si estas características admiten la infiltración de un porcentaje de agua igual o superior a la que aporta la precipitación, no se producirá ninguna corriente superficial; en el caso de que las características del suelo sean desfavorables, se creará una lámina superficial que escurrirá en función de la pendiente del área (Mintegui y López, 1990).

#### ***2.2.4.3. Suelo***

La estructura del suelo, relacionada con los contenidos de humus y de cal, es otro factor determinante en la infiltración, por el efecto que ejerce la mayor o menor cantidad de poros (Ayres, 1960). Los suelos arenosos tienen una gran capacidad de infiltración, absorbiendo la mayor parte del agua sin originar escorrentía superficial, sin embargo, la baja capacidad de unión de los agregados favorece el arrastre de sus partículas en lluvias intensas (Cubero, 1994).

#### ***2.2.4.4. Cobertura vegetal***

La vegetación presente en los suelos es la superficie terrestre que lo protege de la acción erosiva hídrica. “Los elementos aéreos, como hojas y tronco, absorben un porcentaje de la energía de las gotas de agua en movimiento, por lo tanto, su consecuencia es menor que si actuaran directamente sobre el suelo, mientras que los componentes subterráneos” (Morgan, 1997).

#### ***2.2.4.5. Pendiente***

Sobre una superficie plana las gotas de lluvia salpican las partículas del suelo aleatoriamente en todas direcciones, mientras que, en un terreno en pendiente, más partículas de suelo son salpicadas pendiente abajo que pendiente arriba (Morgan, 1997). Según Mardones (2007), la erosión se va incrementando a medida que aumenta la pendiente del terreno ya que también lo hacen la cantidad y la energía de la escorrentía superficial.

#### ***2.2.4.6. Actividades antrópicas***

Las prácticas inadecuadas como excesivo laboreo, preparación y surcado del terreno en sentido de la pendiente y un mal manejo del agua de riego exponen al suelo a mayores riesgos de erosión (Tayupanta, 1993). Costumbres tradicionales como tumba, roza, quema y posterior establecimiento de cultivos producen efectos negativos en el suelo, tales como:

- Disminución de la materia orgánica y microorganismos.
- Obstrucción de poros.
- El fuego destruye la lignina y celulosa de los vegetales
- Los suelos sin cobertura vegetal están expuestos a mayores riesgos por erosión hídrica (Tayupanta, 1993).

#### **2.2.5. Efectos de la erosión hídrica**

Según los estudios realizados por el grupo técnico intergubernamental sobre el estado de los recursos de suelos en el mundo según la (FAO, 2015) demuestran que la erosión del suelo se lleva de 25 a 40.000 millones de toneladas de la capa arable del suelo cada año, este proceso reduce altamente la producción de los cultivos y la capacidad del suelo para almacenar y completar el ciclo del carbono, los nutrientes y el agua. Si no se anudan esfuerzos para minimizar la erosión, las proyecciones nos llevan a una menor producción en cereales de más de 253 millones de toneladas en 2050. Con esta premisa se considera una pérdida de rendimiento equivalente a prescindir de 1,5 millones de kilómetros cuadrados de tierras agrícolas.

La erosión es un proceso interactivo entre los factores del ambiente y las actividades antrópicas. Sus efectos directos inciden en la pérdida de retención de agua en el suelo; mientras los indirectos incluyen la acumulación de sedimentos en ríos, lagos. (Maass, 1998 y Chmelová y Sarapatka 2002). Los efectos de la erosión se miden sobre la base de toxicidad de los productos químicos y compuestos que entran en el agua. Por ello, es importante el estudio de la erosión para evitar las consecuencias que conlleva este fenómeno (Raffino, 2020). Además de conocer los impactos producidos por la erosión del suelo, es importante abordar medidas que conlleven a su control.

### 2.2.6. Erosión del suelo en Ecuador

La erosión del suelo en el Ecuador avanza en forma acelerada, a lo largo del Callejón Interandino se observan extensas áreas desertificadas a causa de este fenómeno. Los factores que afectan de forma negativa a este fenómeno son muchos, sin embargo, el proceso de erosión hídrica se podría considerar como uno de los más nocivos para la degradación del suelo (Tayupanta, 1993).

De acuerdo con los análisis desarrollados en la región sierra por el Departamento de Suelos de Agricultura y Ganadería (MAG) y el Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM) (De Noni, *et al.* 1986), demostraron que los resultados sobre las parcelas de Alangasí e Ilaló situadas a 30 km al este de Quito, promediaron entre 200 a 500 toneladas de suelo perdido por hectárea por año. Según estos valores se revela los altos porcentajes de suelo perdido de acuerdo con la Tabla 1 formulada por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2018).

**Tabla 1.** Valores de pérdida de suelo por erosión hídrica

Erosión hídrica	Pérdida de suelo en t/ha/año
Ninguna a ligera	<10
Moderada	10-50
Alta	50-200
Muy alta	>200

Nota: FAO (2018)

### 2.2.7. Ecuación universal de pérdida de suelo revisada

La ecuación universal de pérdida de suelo revisada (RUSLE) es un modelo matemático implementado desde una amplia información empírico sobre suelos estadounidense, destacando su relativa simplicidad, así como su facilidad de uso. Para la aplicación de este modelo matemático se integran bases de datos experimentales, sustentadas en información estadística donde intervienen diferentes componentes que están afectando la pérdida del suelo (Wischmeier y Smith, 1978).

Actualmente el modelo más utilizado para el cálculo de erosión es la ecuación RUSLE, una versión revisada del modelo original USLE (Renard *et al.*, 1994). Esta actualización del modelo está sustentada en el análisis estadístico de datos de 10 000 campo-año (Wischmeier & Smith, 1965, 1978). RUSLE es apropiada para el cálculo de erosión hídrica media anual en pendiente, por erosión laminar y erosión en surcos (no para cárcavas) (Renard et al., 1997).

De acuerdo con la RUSLE, la tasa de pérdidas de suelo por erosión hídrica, es una función de: la erosividad de la lluvia, (R), la erodabilidad de los suelos, (K), cobertura vegetal, (C), práctica de conservación (P) y el factor relacionado con la pendiente y su longitud, (LS); todos estos factores conforman la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Renard *et al.*, 1994), la cual en forma matemática es:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

Donde:

A, es la pérdida de suelo en t/ha/año.

R, es el factor erosividad de la lluvia en Mjmm/ha/año.

K, es el factor erosionabilidad el suelo en (t/ha) / (Mj.mm/ha.h)

L, es el factor longitud del terreno (adimensional).

S, es el factor pendiente del terreno (adimensional).

C, es el factor cobertura y manejo de la vegetación (adimensional).

P, es el factor prácticas de conservación (adimensional).

#### 2.2.7.1. Factor Erosividad de la lluvia (R)

Para el cálculo del índice de erosividad de la lluvia propuesto por Wischmeier debe existir información pluviométrica específica difícil de obtener, numerosos autores

señalan la dificultad para aplicar este índice donde la red de pluviógrafos es escasa (González, 1996). Para su cálculo hay numerosos índices utilizados en modelos de predicción del riesgo de erosión, siendo el más conocido el factor R (Wischmeier, 1978)

Existen varios índices que calculan de forma simple el factor de erosividad: uno de ellos es el índice de agresividad climática de Fournier (1960) que muestra una alta correlación con el total de sedimentos transportados por la escorrentía. El índice modificado de Fournier (IMF) propuesto por Arnoldous (1980) analiza la precipitación mensual del mes más húmedo, así como la del resto de los meses. Se calcula de la siguiente manera:

$$IMF = \frac{Pi2}{P}$$

Donde:

IMF= Índice de agresividad climática

(Pi)2 = Precipitación del mes i (mm)

P= Precipitación media anual (mm)

#### **2.2.7.2. Factor de erosionabilidad del suelo (K)**

En suelos con menos del 70% de limo y arenas muy finas el nomograma resuelve la siguiente ecuación: (USDA, 1951; Wischmeier *et al.*, 1978; USDA, 1978)

$$K = 2,1 M^{1,14} (10^{-4})^{(12-a)} + 3,25 (b-2) + 2,5 (c-3)$$

Donde:

M = (% limo modificado). (%limo + % arena)

Limo modificado= 0,002 – 0,1 mm

a= % de materia orgánica.

b= código clase de estructura.

c= código clase de permeabilidad.

### 2.2.7.3. Factor de longitud y gradiente de la pendiente (LS)

La longitud de la pendiente está definida por la distancia del punto de origen del escurrimiento superficial al punto donde cambia el grado de la pendiente (Wischmeier y Smith, 1978). El almacenamiento del flujo escurrido, aumenta el volumen de desprendimiento y traslado del flujo.

Para definir el cálculo de L se emplea un método sencillo, con datos alcanzados con parcelas de escurrimiento, de esta forma el factor (L) está determinado por la siguiente relación (Becerra, 2005):

$$L = (x/22.13) m^8$$

En donde:

L = Factor de longitud de pendiente;

X = Longitud de la pendiente en m

m = Coeficiente

**Tabla 2.** Valores que toma m en función del grado de pendiente.

Grado de pendiente (%)	Valores de m
1. < 1	2. 0,2
3. < 3 - > 1	4. 0,3
5. < 5 - > 3	6. 0,4
7. > 5	8. 0,5

Nota: Wischmeier y Smith, 1978

La relación para determinar el factor S (grado de pendiente) es la siguiente:

$$S = 0.065 + 0.045s + 0.0065s^2$$

En donde:

S = Gradiente de la pendiente;

s = Gradiente de la pendiente (%)

Los parámetros de L y S del modelo matemático RUSLE, pueden ser valorados en forma agrupada (LS) utilizando la siguiente ecuación:

$$L * S = (x/22.13) m * (0.065 + 0.045 * s + 0.0065 * s^2) 10$$

#### **2.2.7.4. Factor de cobertura del suelo (C)**

Según Figueroa *et. al.*, (1991) una cobertura vegetal exuberante minimiza la erosión del suelo a límites permisibles. La eficacia de la vegetación obedece a la altura y secuencia de la vegetación aérea, su densidad en el suelo y la cantidad de raíces. Los impactos de la vegetación se modifican dependiendo del suelo y clima, así como el crecimiento de la vegetación, tipo de raíces, características del follaje, tipo de residuos que proporciona y nivel de maduración (INAFAP, 2007).

Para el cálculo del factor C ocupa valores de 0 a 1, este valor hace referencia a un suelo desnudo. El valor de C en la ecuación es multiplicativo y cuando aumenta la cobertura vegetal en densidad y frecuencia en la superficie, esta cantidad tiende a disminuir (INAFAP, 2007).

#### **2.2.7.5. Factor de las prácticas de manejo (P)**

Cuando se implantan sistemas agrícolas en suelos con pendiente, en ocasiones se utilizan técnicas mecánicas que minimizan el agua de escurrimiento y por consecuencia la cantidad de suelo que se puede trasladar (Figueroa et al. 1991).

El factor de prácticas de manejo hace referencia a la relación de degradación del suelo por erosión con una práctica de conservación y la pérdida de suelo en un área de cultivo en dirección de la pendiente, este valor es adimensional y va de 0 a 1. Cuando P adopta valores cercanos a 0 el suelo no está en proceso de erosionado debido a las prácticas mecánicas de conservación; cuando su valor es 1, indica que se tiene la erosión máxima debido a que el tipo de prácticas agrícolas las cuales no mitiga los efectos negativos de la agricultura (Wischmeier y Smith, 1978).

Su valor depende de la pendiente del terreno, su cálculo es a través de tablas, sus valores varían entre 0 y 1. Cuando no existen prácticas, P es igual a 1.

### **2.2.8. Aplicabilidad del modelo matemático RUSLE**

En México, en la microcuenca de la presa Madín se realizaron estudios basados en la erosión actual y potencial con base en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) desarrollada por Wischmeier and Smith (1965). para el cálculo del factor R se utilizó un ráster de isoyetas promediando sus resultados anuales, el factor K se obtuvieron valores estimados para el tipo de suelo y su textura conforme datos generados por la FAO en 1979, los factores LS, C, y P se obtuvieron mediante (DEM) modelos de elevación del terreno. La erosión actual de la microcuenca es de 7,58 ton/ha/año pudiendo incrementarse hasta 166,6 ton/ha/año, si se perdiera completamente la cobertura vegetal. En este estudio se comprobó que la longitud de la pendiente y la erosividad de la lluvia determinan la erosión del suelo (Castro, 2013).

En la cuenca del río Siguan en Arequipa se utilizó el modelo USLE (Universal Soil Loss Equation) donde se pretende demostrar la eficacia de los SIG en la aplicación del modelo matemático. Para el cálculo del factor R se utilizó la ecuación propuesta por Roose en 1995, citado por Ramos (2001), en los factores K, LS y C se utilizaron mapas temáticos y DEM. Las tasas de pérdida de suelo llegan hasta 1400 t/ha/año, en zonas donde las pendientes se encuentran en rangos de 70 a 100%. El valor de erodabilidad  $K = 0.48 \text{ t.ha.h/ha.MJ.mm}$ , determina suelos moderadamente susceptibles al desprendimiento por lo que este factor se implicara directamente en la erosión del suelo (Portuguez, 2016).

Según los estudios de Pando et al. (2003) sobre erosión hídrica del suelo de la microcuenca ubicada en el municipio de Hualahuises, se realizó la comparación de dos métodos (directo-indirecto), para el método indirecto se aplicó la ecuación RUSLE, en el método directo se aplicó clavos con rondanas ubicados sistemáticamente en 44 áreas homogéneas de la microcuenca. El modelo RUSLE se basó en la delimitación de unidades homogéneas con los factores de pendiente, vegetación, uso y tipo de suelo; para el cálculo de R se utilizó el propuesto por la FAO el cual utiliza el índice de Fournier, además del método que describe a "R" como la mitad de la precipitación propuesta por Young 1989. Se utilizó fotografías aéreas y mapas topográficos para

calcular el resto de factores. El método indirecto estimó la mayor tasa de erosión (38 y 149 t/ha/año) tendiendo a sobreestimar los valores de erosión en las unidades geomorfológicas con pendientes medias y altas.

Jaramillo (2015) en su trabajo de investigación aplica la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) en la subcuenca río Portoviejo. El factor R se calculó mediante la ecuación de Arnoldus (1978), la erodabilidad se determinó con mapas de geopedología y edafológicos, para el factor C se utilizó las imágenes satelitales de RapidEye y Landsat 7 donde se asignaron valores según Wischmeier y Smith (1978). Los resultados reflejaron que las pérdidas potenciales de erosión no superan las 10 t/ha al año con una superficie total de 97,18%, esto debido a la cobertura vegetal existente en zonas donde las precipitaciones presentaron valores altos. Para comprobar la veracidad del factor R se aplicó la regresión lineal entre las dos variables como son la precipitación anual y el índice de Fournier (IF), donde  $r = 0,99$  y  $R^2 = 0,98$  indicando correlación en los datos.

En la actualidad se emplea prioritariamente RUSLE, una versión revisada del modelo original USLE (Renard *et al.*, 1994). Con base a lo expuesto el presente estudio empleó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada RUSLE el cual se adapta a cuencas interandinas y proporciona análisis cuantitativos empleando información temática del área de estudio.

### **2.2.9. Impacto socioambiental causados por la erosión del suelo**

La cantidad y diversidad de contaminantes se encuentra en incremento a causa del desarrollo agroquímico e industrial. Los efectos de contaminación del suelo también dependen sus propiedades, ya que controlan la movilidad, biodisponibilidad y tiempo de residencia de los contaminantes (FAO y GTIS, 2015). Las principales fuentes de contaminación del suelo son antropogénicas, lo que resulta en la acumulación de contaminantes del suelo que pueden alcanzar niveles preocupantes (Cachada *et al.*, 2018). El ingreso de contaminantes de manera directa (descarga de efluentes) o indirecta (riego con agua contaminada) contamina extensiones de suelos, afectando a la producción de cultivos y la salud humana a través de la contaminación de los alimentos (Saha *et al.*, 2017). Insumos agrícolas como fertilizantes, plaguicidas etc., presentes en abono animal y el tratamiento de infecciones en plantas son los principales contaminantes potenciales en tierras agrícolas (AMS, 2017).

La cantidad y la calidad nutricional de los alimentos contribuyen a la salud humana. El 95 por ciento de la producción de alimentos depende del suelo (Oliver y Gregory, 2015; FAO, 2015), pero sólo los suelos sanos pueden prestar los servicios ecosistémicos. La prestación de servicios ecosistémicos se define como *“la capacidad de procesos y componentes naturales para suministrar bienes y servicios que de manera directa o indirecta satisfagan las necesidades humanas”* (Groot, 1992). Seguridad alimentaria es *“la disponibilidad, acceso, utilización y estabilidad del abasto de alimentos”*. La contaminación del suelo reduce la seguridad alimentaria al disminuir el rendimiento agrícola debido a niveles tóxicos de contaminantes haciendo que cultivos sean inseguros para el consumo (FAO y GTIS, 2015).

Según la investigación realizada por Helena, (2007) denominada *“¿Cuánto cuesta la erosión de suelos?”*, donde se cuantificaron los costos promedios de la erosión del suelo en referencia a la disminución de su productividad y por pérdida de nutrientes, el 45% de su trabajo se realizó con base a parcelas (suelo dedicado a la agricultura), y se concluyó con lo siguiente: El costo promedio de los daños a causa de la erosión es de aproximadamente de 16.2 a 32.4 dólares, sustituir los nutrientes perdidos costaba alrededor de 22.1 dólares por hectárea (Helena, 2007).

El deficiente manejo de los sistemas de producción agrícolas debido al implemento de una agricultura de subsistencia acelera la contaminación del suelo, por el uso intensivo de fertilizantes y plaguicidas usados en sistemas comerciales para aumentar la productividad y reducir las pérdidas en las cosechas. Cuando los contaminantes en el suelo multiplican su valor, la producción agrícola también puede ser afectada. Por lo tanto, además de poner en riesgo la salud humana y el medio ambiente, la contaminación del suelo también puede generar pérdidas económicas.

Un punto importante que tratar es el impacto socioambiental que tiene la erosión del suelo referente a la migración de los agricultores de las zonas rurales a zonas urbanas de un país. Los agricultores constituyen una importante aportación en la economía, siendo quienes se encargan de ejercer la columna socioeconómica del mundo, cuando el suelo ya no se considere útil para la agricultura, los agricultores se verán en la necesidad de emigrar a otras zonas para conseguir un sustento económico.

## 2.2.10. Remediación y manejo de suelos erosionados

Las técnicas de remediación pueden ser divididas en dos grupos: in situ (en el sitio) y ex situ (tratamiento fuera del sitio). Las opciones disponibles de remediación incluyen tratamientos físicos, químicos y biológicos como se muestra en la Tabla 3 (Scullion, 2006).

**Tabla 3.** Principales metodologías de remediación (X = proceso principal, (X) = proceso subsidiario limitado en alcance o en el rango de contaminantes afectados).

Tratamiento del proceso	Dstrucción degradación	Separación de sólidos	Extracción / pérdida	Estabilización
<b>Metodologías de remediación física</b>				
<b>Térmica</b>	X		X	
<b>Solidificación</b>	(X)			X
<b>Extracción de vapores</b>			X	
<b>Aspersión por aire</b>	(X)		X	
<b>Lavado/bombeo tratamiento</b>	(X)		X	
<b>Electro-remediación</b>	(X)		X	
<b>Clasificación de partículas</b>		X		
<b>Metodologías de remediación química</b>				
<b>Oxidación</b>	X		X	X
<b>Reducción</b>	(X)		X	X
<b>Hidrólisis</b>	X		X	
<b>Solubilización</b>	(X)		X	
<b>Decloración</b>	(X)			
<b>Manipulación de pH</b>	(X)		X	X
<b>Metodologías de remediación biológica</b>				
<b>Actividad microbiana</b>				
<b>Cultivo de la tierra</b>	X		(X)	X
<b>Biopilas</b>	X		(X)	X

<b>Compostaje</b>	X	(X)	X
<b>Biorreactor</b>	X		(X)
<b>Biofiltrado</b>		X	
<b>Actividad de las plantas</b>			
<b>Fitoestabilización</b>	(X)	(X)	X
<b>Fitoextracción</b>	(X)	X	(X)
<b>Fitodegradación</b>	X	(X)	(X)

Fuente: Scullion, 2006.

La siembra de árboles con buena resistencia a los altos niveles de sustancias tóxicas y una alta capacidad para recolectar y almacenar contaminantes, también puede ser una buena práctica para el proceso de biorremediación en los suelos (Paz y Sigua, 2013). El manejo integrado de los cultivos (MIC) de los cultivos combina lo mejor de la tecnología moderna con algunos de los principios básicos de las buenas prácticas agrícolas y es una estrategia agrícola integral a largo plazo (CE, 2002).

El manejo integrado de plagas (MIP) es un enfoque basado en la prevención, monitoreo y control que ofrece la oportunidad de eliminar o reducir drásticamente el uso de plaguicidas, incluyendo estrategias culturales, biológicas y estructurales (Beyond, 2018). Además, el MIP fomenta el uso de la rotación de cultivos que puede reducir considerablemente la necesidad de plaguicidas (García *et al.*, 2004).

### 2.3. Marco legal

La Constitución de la República del Ecuador (2008), capítulo II, diversidad biológica y recursos naturales establece en el artículo 396, que es deber del Estado la protección del patrimonio natural y cultural del territorio. Asimismo en el artículo 276, la recuperación y conservación de la naturaleza garantizando la calidad del suelo. El Estado adoptará políticas y medidas oportunas que eviten los impactos del medio ambiente y garanticen el cumplimiento de la normativa. La microcuenca presenta numerosos casos de degradación de suelo por lo que es pertinente la ejecución de planes de protección de los recursos naturales del área para no solo mitigar los impactos ambientales, también generar metodologías sustentables económica y ambientalmente.

El Reglamento de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (2015) en el Título II recursos hídricos, en los artículos 7, 8, 53, 54 y 65 instituye la defensa, recuperación y conservación de fuentes hídricas con sistemas comunitarios, y juntas de riego. El ARCA será el encargado de la gestión integral del recurso. El área de estudio debe garantizar la protección de la cobertura vegetal en zonas (márgenes de la quebrada Quitumbe) donde la escasez de la cobertura vegetal es evidente, aumentando así el riesgo de sedimentación en el cuerpo hídrico.

El Código Orgánico de Ambiente (2018) en el Título II de los derechos, deberes y principios ambiental. En los Arts. 5, 6, 7 y 109, señala al funcionamiento forestal sustentable con orientaciones a: Conservar la cobertura boscosa; prevenir, evadir y detener la erosión o degradación del suelo. Estas orientaciones deben aplicarse de forma parcial al área de estudio (microcuenca Quitumbe) principalmente lo referente a la cobertura boscosa ya que esta es escasa principalmente en la parte media y baja de la microcuenca donde la agricultura ha ganado gran parte del terreno, la repoblación con especies nativas en zonas donde la erosión potencial hídrica es evidente, también es una de las principales medidas de mitigación para el área.

El Reglamento del Código de Ambiente (2019) establece en los Arts. 285, 700 y 787 que las funciones primordial de los bosques y vegetación protectora es preservar las cuencas hidrográficas, especialmente en las zonas de alta pluviosidad y cuerpos de agua, evitar la erosión del suelo, la gestión control y vigilancia del uso del suelo haciendo cumplir las normativas legales vigentes.

Norma de Calidad Ambiental del Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados (2003) instituye en su libro VI: De Calidad Ambiental, del Texto Unificado de la Legislación Secundaria. La precaución de la contaminación al recurso suelo se basa en las buenas prácticas de manejo aplicado a todos los procesos sistemas agrícolas como fin primordial la preservación y conservación de la calidad del recurso. Los suelos de la microcuenca no presentaron contaminación visible por desechos industriales o municipales ya que su población es mayoritariamente agrícola, las afectaciones primarias están sujetas al uso de agroquímicos debido a las exigencias de su trabajo, razón por la cual se debe implementar una agricultura orgánica que limite el uso excesivo de estos productos y proponga buenas prácticas.

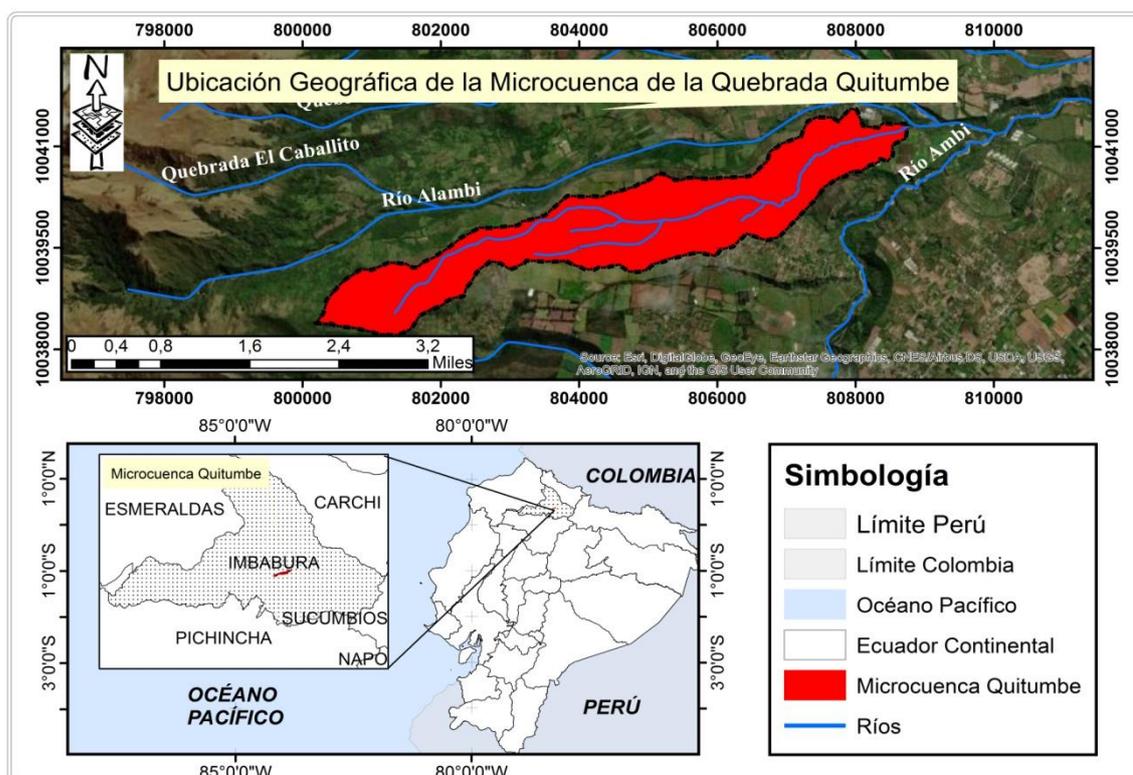
## CAPITULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Descripción del área de estudio

El área de estudio se localiza en la parte norte del Ecuador en la provincia de Imbabura, Cantón Cotacachi, Parroquia Imantag; la microcuenca Quitumbe posee una superficie de 768 hectáreas (Figura 4) y se localiza dentro de la subcuenca del río Alambí y cuenca hidrográfica del río Ambi.

Los ecosistemas frágiles identificados en la parroquia corresponden principalmente a la reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, bosque protector Peribuela y los Páramos. Los recursos mayormente degradados principalmente se deben a las actividades antrópicas como son la agricultura lo que ha generado la ampliación de la frontera agrícola y en consecuencia la alteración de otros factores bióticos.



**Figura 4.** Área de ubicación de la microcuenca hidrográfica de la Quebrada Quitumbe.

### 3.2. Factores climáticos

La microcuenca presenta dos tipos de Clima Ecuatorial mesotérmico Semihúmedo y el Ecuatorial de Alta Montaña, el promedio anual de precipitaciones va desde 500 hasta 1500 mm, con mayor pluviosidad en las zonas bajas 700 msnm, con rangos de temperatura de 4 °C hasta los 16 °C (CEDIG, 1986).

### 3.3. Suelo

De acuerdo con el Sistema Norteamericano del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), Claves para la Taxonomía de Suelos 2006 se identificó la taxonomía de suelos del área de estudio. Las propiedades físicas se obtuvieron de la cartografía de suelos del Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (SIGTIERRAS, 2014) como se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Taxonomía y propiedades del suelo de la microcuenca

N°	Orden	Subgrupo	Textura	Superficie ha	% Superficie ha
1	<i>Andisols</i>	<i>Vitric Hapludands</i>	Franco Franco arcilloso	129,16	16,89
2	<i>Molisols</i>	<i>Entic Hapludolls</i>	Franco arcilloso	0,68	0,09
3	<i>Andisols</i>	<i>Humic Udivitrands</i>	Franco arenoso	60,46	7,91
4	<i>Molisols</i>	<i>Vitrantic Haplustolls</i>	Franco Franco arenoso	326,88	42,75
5	<i>Entisols</i>	<i>Typic Ustipsamments</i>	Franco arenoso	24,83	3,25
6	<i>Molisols</i>	<i>Vitrantic Hapludolls</i>	Franco arenoso	4,40	0,58
7	<i>Molisols</i>	<i>Typic Haplustolls</i>	Franco Franco arenoso	145,77	19,07
8	<i>Entisols</i>	<i>Udic Ustifluvents</i>	Franco	46,32	6,06
9	<i>Entisols</i>	<i>Lithic Ustorthents</i>	Franco arenoso	5,23	0,68
10	<i>Molisols</i>	<i>Udic Haplustolls</i>	Franco	14,26	1,86
11	No aplicable	No aplicable	No aplicable	6,58	0,86
<b>Total</b>				764,57	100

Según la clasificación presentada los suelos que predominan en la microcuenca Quitumbe son los molisoles subgrupo (*Hapludolls- Haplustolls*) y andisoles subgrupo (*Hapludands- Udivitrands*) con un porcentaje acumulado de superficie total 64,35 y 24,8 respectivamente.

Según la clasificación (USDA, 2006) las características del molisol es poseer un epipedón mólico (con alto contenido de materia orgánica), que es un suelo de color oscuro de textura franca, excelentes suelos agrícolas. Los andisol poseen una capa encima de un contacto dénsico, a una profundidad entre 40 y 50 cm a partir de la superficie del suelo mineral con propiedades ándicas de suelo (USDA, 2006).

### 3.4. Morfología

En la Tabla 5 se muestran los tipos de relieve existentes en la microcuenca Quitumbe con sus respectivas áreas. Estos datos fueron calculados a partir de un DEM obtenido del portal web Topography Mission (SRTM) en su portal web <https://portal.opentopography.org>.

**Tabla 5.** *Morfología de los suelos en la microcuenca*

<b>Tipos de relieve</b>	<b>Pendientes</b>	<b>Superficie ha</b>
<b>Plano</b>	0-3	50,30
<b>Ligeramente plano</b>	3-7	163,92
<b>Ondulado</b>	7-12	185,97
<b>Fuertemente ondulado</b>	12-25	257,71
<b>Fuertemente quebrado</b>	25-50	106,39
<b>Total</b>	764,57	100

Según datos de la tabla descrita en la microcuenca predominan relieves ondulados y fuertemente ondulados con superficies de 185,97 y 257,71 ha respectivamente, tomando en cuenta este factor como indicador en la erosión del suelo se podría considerar muy susceptible a la pérdida de este.

### 3.5. Uso de la tierra y cobertura vegetal

En la Tabla 6 se observa los diferentes tipos de cobertura vegetal del suelo de la microcuenca de la quebrada Quitumbe (SIGTIERRAS, 2015).

**Tabla 6.** *Uso y cobertura dentro de la microcuenca*

Usos	Área ha
Área urbana	7,76
70% vegetación arbustiva / 30% cultivos ciclo corto	40,14
Cultivos de ciclo corto	175,57
Cultivos de ciclo corto en áreas en proceso de erosión	380,03
70% maíz / 30 % pasto cultivado	161,08
<b>Total</b>	<b>764,57</b>

El área más representativa de la microcuenca son los cultivos de ciclo corto en áreas en proceso de erosión con una superficie de 380,03 hectáreas seguidos de cultivos de ciclo corto con 175,57 ha. Para minimizar el impacto de la erosión se debe considerar la frecuencia de la vegetación, su tipo y altura, así como la distribución de sus raíces, de acuerdo con estos datos la microcuenca Quitumbe debe implementar sistemas de cobertura vegetal adecuada.

### **3.6. Ecosistema**

De acuerdo con la clasificación de ecosistemas del Ecuador Continental (2013), la microcuenca posee un ecosistema AsSn01 Arbustal siempreverde y Herbazal del Páramo con bioclima húmedo e hiperhúmedo. La composición y estructura cambia en las cotas más bajas, la altura de los arbustos y el número de especies incrementa. En el país este ecosistema se caracteriza por la presencia de *Calamagrostis spp.* y especies arbustivas de los géneros *Baccharis*, *Gynoxys*, *Brachyotum*, *Escallonia*, *Hesperomeles*, *Miconia*, *Buddleja*, *Monnina* e *Hypericum*.

### **3.7. Enfoque y tipo de investigación**

La presente investigación tiene un enfoque mixto de investigación basado en la combinación de datos cuantitativos (ecuaciones empíricas, datos estadísticos) y datos cualitativos (encuestas) que ayudan a obtener información más precisa.

En cuanto al tipo de investigación, se asumen los distintos criterios de acuerdo con fuentes de información (documental y de campo); según su alcance: exploratorio y descriptivo ya que puntualiza algunas características fundamentales de fenómenos y utiliza criterios sistemáticos que permiten conocer su estructura o comportamiento, con

lo cual se pueden obtener resultados que describan la realidad del área de estudio (Hernández et al., 2014).

### **3.8. Procedimiento de investigación**

Los métodos de esta investigación se realizaron de acuerdo con los objetivos específicos planteados descritos a continuación.

#### **3.8.1. Pérdida del suelo por erosión hídrica mediante la aplicación del modelo matemático RUSLE**

Para el análisis de riesgo por erosión hídrica en la microcuenca del río Quitumbe mediante el modelo de la Ecuación de Pérdida de Suelo propuesta por Wischmeier y Smith (1978), se utilizó los datos de ocho estaciones meteorológicas (Inguincho, Atuntaqui, Otavalo, Pablo Arenas, Cotacachi - Hda.Esth, Apuela-Intag, Hda.La María, Anexas y Gualsaqui) ubicadas en áreas cercanas a la cuenca. Se emplearon los sistemas de información geográfica (SIG), las cuales crearon entidades geográficas para posteriormente tener como resultado un mapa base que representa los riesgos por erosión hídrica en la zona.

Después de haber obtenido la información base de la microcuenca Quitumbe se recopiló y evaluó información basada en coberturas y bibliografías de estudios relacionados con la erosión hídrica del suelo, así como datos de edafológicos, topografía, clima, sistemas agrícolas, usos del suelo, zonas susceptibles a ser erosionadas entre otros. Esta información se encuentra disponibles en los geoportales de las siguientes Instituciones Públicas como: Instituto Geográfico Militar (<http://www.geograficomilitar.gob.ec/>); Instituto Espacial Ecuatoriano (<https://www.gob.ec/iee>); Ministerio de Agricultura y Ganadería (<https://www.agricultura.gob.ec/>); Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (<https://www.inamhi.gob.ec/>).

##### ***3.8.1.1. Imágenes satelitales y sistemas de referencia***

Se utilizaron imágenes Landsat 7 de 2008, del sensor OLI seleccionada con un valor menor al 30% de nubosidad (path 10 y row 60); de 7 bandas siendo las principales las de color rojo, azul y verde, de 30 metros por pixel, se eliminan distorsiones

geométricas indeseables y adaptarla a proyecciones cartográficas deseadas; además cuentan con su respectiva georreferenciación por lo que se verificó observando para cada una de ellas los datos de latitud y longitud respectivas, y que la imágenes posea el sistema de coordenadas de Proyección (WGS 84), Esferoide (Clarke, 1866), y Datum para el Ecuador como se muestra en la (Tabla 7).

**Tabla 7. Información utilizada en el estudio**

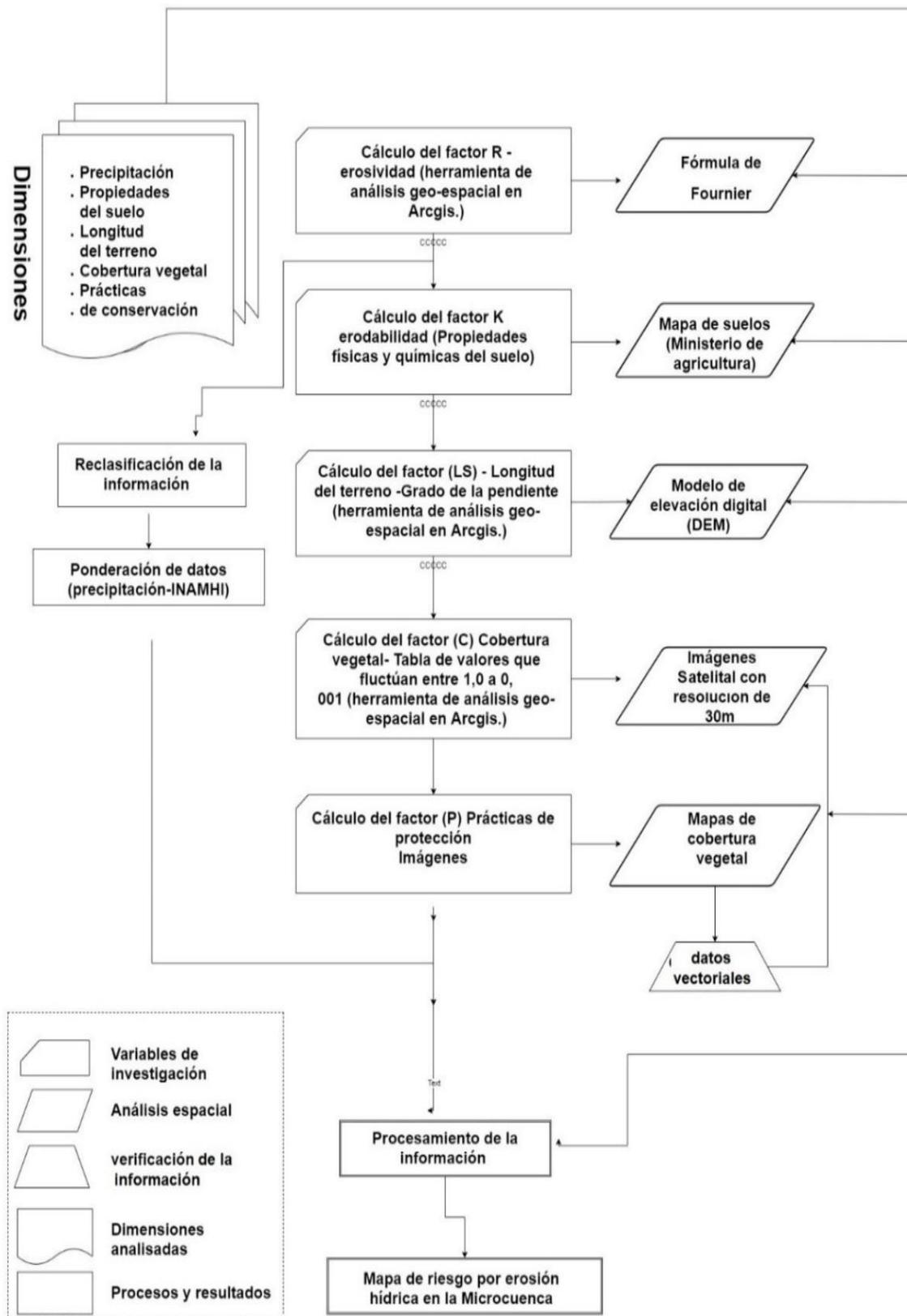
<b>Imagen satelital</b>	<b>Fuentes</b>
Landsat 7 – Imagen de 2008 de 7 bandas	Glovis-USGS
<b>Información ráster</b>	
(M.D.E) obtenido del Satélite Radar	Topography Mission (SRTM).
<b>Información vectorial</b>	
Capa espacial de polígonos sobre límites administrativos de la Provincia de Imbabura.	IGM
Vectorial de polígonos de edafología nacional.	SIN-SIGAGRO
Vectorial de centros de poblados.	IGM
Vectorial de coberturas y vegetación nacional.	MAG
Vectorial de uso de suelos nacional.	SIN-SIGAGRO
Vectorial de ríos simples y dobles nacional.	IGM
Datos climáticos/meteorológicos.	INAMHI

En este estudio se empleó el sistema de coordenadas implementado en la cartografía básica y temática Datum WGS 84, la cual se encuentra conformado por coordenadas geográficas y planas, a nivel mundial nos permite localizar un punto geográficamente dentro de la tierra, siendo sus siglas las siguientes: World Geodesic System 84.

### **3.8.1.1. Flujo de análisis de la información**

La información requerida de entrada de datos según Walter Wischmaier y Dwight Smith, 1978 (precipitación, propiedades físicas y químicas del suelo, longitud y pendiente del terreno, cobertura vegetal y prácticas de conservación), genera como resultado mapas vectoriales de (erosividad-factor R; erodabilidad-factor K; factor-LS; factor C; Factor-P), cada uno de ellos representaron un factor ambiental (variables) en

particular, los cuales determinaron la pérdida de suelo por erosión hídrica. El procedimiento para evaluar la investigación se detalla en la Figura 5.



**Figura 5** Flujograma de procesamiento de información modelo matemático RUSLE

### **3.8.1.2. Cálculo de factores de erosión hídrica**

Para la determinación de los factores de riesgo por erosión hídrica se utilizó el modelo matemático RUSLE propuesto por Walter Wischmaier y Dwight Smith 1978, en el cual expresa la siguiente ecuación:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Dónde:

**A:** es la pérdida de suelo total (Ton/ha/año),

**R:** es el índice de erosividad de la precipitación (MJ ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>),

**K:** es el factor de la erodabilidad del suelo,

**L:** es el factor de longitud de la pendiente,

**S:** es el factor de inclinación de la pendiente,

**C:** es el factor de la cobertura vegetal y

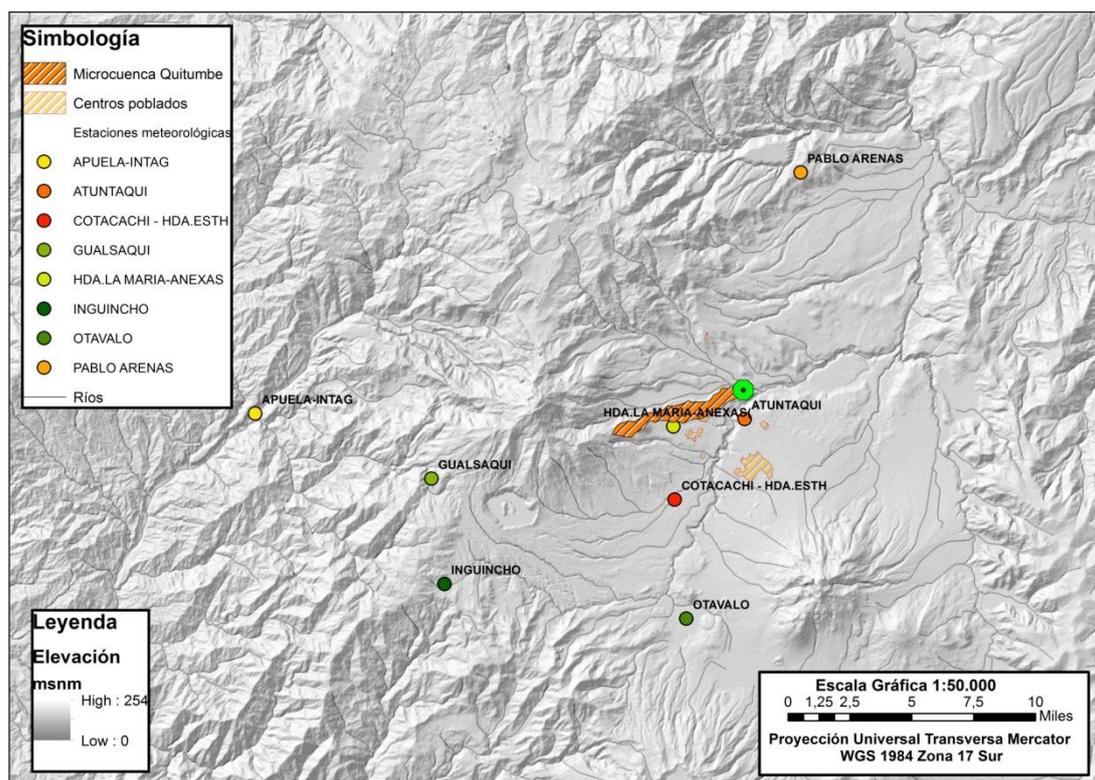
**P:** es el factor de prácticas de conservación.

De acuerdo con los factores descritos anteriormente para el cálculo de la erosión hídrica del suelo a continuación, se detallan los procedimientos de cada aspecto evaluado:

### **3.8.1.3. Cálculo de erosividad de la lluvia (factor R)**

Determina la agresividad o erosividad de la lluvia, lo cual se expresa en (Mj\*mm/ha\*hr\*año), siendo el que define la capacidad potencial de las precipitaciones en provocar erosión en el suelo por un periodo de lluvia determinada (Wischmeier y Smith, 1978).

Se utilizaron datos de precipitación mensual de 16 años (2000-2015) de registros meteorológicos de 8 estaciones cercanas a la microcuenca Quitumbe (Figura 6). Los datos de precipitación se interpolaron mediante el método de Kriging el cual permite estimar los valores de una variable mediante procesos geoestadísticos en lugares no muestreados utilizando la información proporcionada por las estaciones meteorológicas.



**Figura 6.** Ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas en la investigación

En la Tabla 8 se muestra los datos de las estaciones meteorológicas del INAMHI comprendida en los periodos 2000 a 2015. Para extraer los valores de las estaciones se utilizó la herramienta de *Spatial Analysis: Extract Values Multi Points* para posteriormente interpolar con el método de Kriging.

**Tabla 8.** Estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio.

WGS_1984_UTM_Zone_17S						
No.	Código	Nombre	Coordenada x	Coordenada y	Altitud (msnm)	Precipitación anual
1	M001	Inguincho	789319	10028583	3140	1,340.80
2	M021	Atuntaqui	808625	10039130	2200	686.10
3	M105	Otavalo	806121	10026926	2550	871.60
4	M312	Pablo Arenas	812487	10055577	2340	753.5
5	M317	Cotacachi - Hda.Esth	804046	10033750	2410	1,415.90
6	M318	Apuela-Intag	776755	10039275	1620	1,677.90

<b>7</b>	M328	Hda.La María- Anexas	803921	10038545	2600	1,077.00
<b>8</b>	M909	Gualsaqui	788482	10035498	2710	947.5

Nota: INAMHI (2020).

Para determinar la erosividad de la lluvia en el suelo se obtuvo la ecuación de Arnoldus (1980) los valores tomados se detallan en la (Tabla 9), lo cual se encuentra fundamentada mediante el índice modificado de Fournier, esta ecuación se aplica en estudios de influencia del clima en el suelo, y donde existe poca información de eventos hidrológicos. La ecuación se define de siguiente manera:

$$IMF = \frac{P2}{P}$$

Dónde:

**IMF**: Índice de Fournier

**P2**: Precipitación mensual en milímetros (mm).

**P**: Precipitación anual en milímetros (mm).

**Tabla 9.** Niveles de erosividad de la lluvia IMF.

<b>IFM</b>	<b>Agresividad Climática</b>
<b>0 – 60</b>	Muy Baja
<b>60 – 90</b>	Baja
<b>90 – 120</b>	Moderada
<b>120 – 160</b>	Alta
<b>&gt; 160</b>	Muy Alta

Nota: Verbist *et al.*, (2010)

Con los datos de precipitación se determinó la lluvia mensual y el valor del Factor R, agrupando por meses y se aplicó la ecuación establecida por de Rojas (2016):

$$R = 2,56 * (IMF ^{1,065})$$

#### 3.8.1.4. Cálculo de erodabilidad del suelo (factor K)

La erodabilidad se la describe como la susceptibilidad o desprendimiento de un suelo que provoca una erosión, ésta se generaría por la caída de la lluvia en un lugar determinado. Para el cálculo del factor K, se emplearon datos sobre el contenido de materia orgánica, la estructura del suelo, la textura y permeabilidad según el método propuesto por Wischmeier y Smith, 1978 citado (CENEPRED, 2013).

Esta información fue obtenida en forma digital con mapas de geología y edafológicos, para lo cual se establece una ecuación en función de las variables representativas de las propiedades físicas del suelo de la microcuenca.

Se expresa de la siguiente manera:

$$K = \frac{[10^{-4} * 2.71 * M^{1.14} * (12 - mo) * + 4.20 (s - 2) + 3.23 (p - 3)]}{100}$$

$$M = (\%limo + \%arena\ muy\ fina)(100 - \%arcilla)$$

Donde:

*K*: Factor de erodabilidad del suelo (t.ha.h) / (ha.Mj.mm)

*mo*: Materia orgánica (%)

*s*: Código de la estructura del suelo

*p*: Código de permeabilidad

*M*: Producto de las fracciones del tamaño de las partículas

Para determinar los porcentajes de arena limo y arcilla se utilizó el monograma propuesto en la (Figura 7) donde se relacionó las texturas de suelo obtenidas de forma digital en el portal (SIGTIERRAS, 2014).



orgánica del suelo cuyos resultados fueron extrapolados y promediados de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

### 3.8.1.5. Factor de longitud y grado de la pendiente (LS)

Este factor representa el efecto que genera la longitud y el grado de la pendiente en un suelo determinando su erosión. La longitud (L), se la define como la distancia de inicio del punto del flujo en el terreno, hasta el punto final donde se depositan los sedimentos provocados por la lluvia.

La pendiente (S), refleja la gradiente que se genera en una pendiente provocando la erosión y, esta se expresa en porcentaje (Wischmeier y Smith, 1978). Para el cálculo de este factor se obtuvo un modelo de elevación digital con resolución de 30 metros sacado del portal web <https://earthexplorer.usgs.gov>

Para el cálculo de este factor se aplica la ecuación de Kim (2014):

$$LS = \left( \frac{\text{flow accumulation} \times \text{cell size}}{22,13} \right)^{0,4} \times \left( \frac{\sin \text{slope}}{0,0896} \right)^{1,3}$$

Donde:

LS: Longitud de la pendiente y pendiente inclinada. Basada en el flujo de caudal y la inclinación de la pendiente

*Flow accumulation*: Número de celdas que contribuyen al flujo de una celda dada

*Cell size*: Es la longitud del tamaño de un lado de las celdas (3m)

22.13: Constante de la longitud estándar de la pendiente

*Sinslope*: Es el seno de la pendiente en radianes

El cálculo de la pendiente en radianes se lo realizó con los valores de *Slope*\* (3.1416/180).

### 3.8.1.6. Factor de uso y cobertura del suelo (C)

El factor C nos indica el estado de protección vegetal y comportamiento del suelo frente a un área de intensidad generada por la precipitación caída y la disminución del efecto erosivo en el suelo (Wischmeier y Smith, 1978). Para la obtención del uso y cobertura del suelo, se evaluó las coberturas existentes, cuya información y clasificación se realizará del archivo digital en formato shapefile del mapa de uso y cobertura del suelo del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Se asignaron valores al Factor C de acuerdo con las clases de coberturas vegetal clasificadas. Para el cálculo de este factor se aplican los datos de cobertura vegetal y uso de la tierra que se encuentran en la (Tabla 11) de Saborio (2002):

**Tabla 11.** Valores de C asociados a la cobertura vegetal y uso de la tierra

<b>Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra</b>	<b>Factor C</b>
Bosque intervenido	0.03
Bosque claro	0.03
Afloramiento rocoso, mina, grava	0.03
Cultivos ciclo corto	0.6
Cultivos anuales	0.6
Cultivo ciclo corto y largo	0.6
Cultivo de papa y maíz	0.6
Páramo	0.21
Pasto cultivado	0.21
Pastizal cultivado manejado	0.21
Vegetación arbustiva	0.05
Matorral	0.05
Pasto natural	0.07
Pastizal natural	0.07
Pastizal natural pastoreado	0.07
Área erosionada	1
Área urbana	1

Bosque natural	0.0065
Bosque denso	0.0065
Frutales	0.6
Caña de azúcar	0.22
Cuerpo de agua natural	0
Nieve y hielo	0

Nota: Saborio (2002)

### **3.8.1.7. Factor prácticas de conservación de suelos (P)**

El factor P es considerado en los estudios de erosión cuando se aplica la ecuación de RUSLE, como variable independiente del factor C, lo cual se le considera como uno de los procesos de recuperación del suelo muy empleado por conservacionistas (Wischmeier y Smith, 1978). Debido a que no existe información con respecto al factor P en el área de estudio, se asignó un valor constante a toda la microcuenca  $P = 1,0$ ; esta metodología también fue utilizada por López (2017), donde se determina el valor constante de 1,0 en áreas sin practicas de conservación de suelo.

### **3.8.2. Áreas críticas de erosión dentro de la microcuenca de la quebrada Quitumbe**

Según Bertoni y Lombardi (1985) “las tierras agrícolas se vuelven parcialmente menos productivas por cuatro razones principales, bajo rendimiento de la estructura del suelo, menor cantidad de la materia orgánica, pérdida del suelo, y nutrientes”. El efecto de la degradación del suelo debido a su remoción artificial puede ser observado desde los primeros estados de crecimiento de los cultivos (Sparovek et al., 1990 y May y Souza, 1990).

Para determinar las áreas críticas de erosión hídrica del suelo se elaboró un mapa de erosión potencial (EP), mediante un sistema de información geográfica, utilizando la metodología de Portuguez, (2016). Se proporcionaron datos de erosividad, mapas de erodabilidad, y longitud de la pendiente con la ayuda del Software Arc GIS, extensiones: 3D Analyst for ArcGIS y Spatial Analyst for ArcGIS. Para la elaboración del mapa de estados erosivos según el modelo (RUSLE) se realizó la superposición de

mapas (análisis espacial) elaborados con los factores reseñados anteriormente (K, L.S, R).

Para obtener las áreas críticas se generó un mapa de erosión potencial (EP) mediante un sistema de información geográfica utilizando la metodología de Portuguez, (2016) donde se generaron mapa ubicación espacial de las estaciones, mapa de suelo y, precipitación media anual, Software Arc GIS, extensiones: 3D Analyst for ArcGIS y Spatial Analyst for ArcGIS. Para la elaboración del mapa de estados erosivos según el modelo (RUSLE) se ha procedido a la superposición de mapas (análisis espacial) de los mapas elaborados con los factores reseñados anteriormente (K, L.S, R).

Actualmente, ante los distintos patrones de cobertura vegetal con degradación espaciales y temporales, fue necesario obtener datos de la microcuenca Quitumbe, mediante la verificación en campo donde se presentan en la (Tabla 12) los criterios referentes a los niveles de erosión que fueron utilizados para el análisis de resultados. Dichos resultados permiten comparar la erosión actual y diferentes trabajos ejecutados con la misma metodología.

**Tabla 12.** Niveles erosivos según el mapa de erosión hídrica de la Comunidad Autónoma del país vasco.

<b>Perdidas de suelo</b> (t/ha/año)	<b>Interpretación</b>
0	Zonas no susceptibles al proceso erosivo, como pueden ser espacios urbanos, carreteras y cuerpos de agua.
0-5	Zonas con niveles de erosión muy bajos y pérdidas de suelo tolerables. No existe erosión neta.
5-10	Zonas con niveles de erosión bajos y pérdidas de suelo que pueden ser tolerables. Probablemente no existe erosión neta.
10-25	Zonas con procesos erosivos leves. Existe erosión, aunque no es apreciable a simple vista.
25-50	Zonas con procesos erosivos moderados. Existe erosión, aunque no es apreciable a simple vista
50-100	Zonas con procesos erosivos graves. Existe erosión y es apreciable a simple vista
100-200	Zonas con procesos erosivos muy graves. Existe erosión y es apreciable a simple vista
>200	Zonas con procesos erosivos extremos. Existe erosión y es evidente a simple vista

Fuente: Gobierno Vasco (2005).

En la Tabla 12 se muestran los niveles de erosión alto (A) medio (M) y bajo (B) establecidos en el estudio de erosión potencial.

**Tabla 13. Tolerancias establecidas por la FAO-PNUMA-UNESCO**

<b>Clases de erosión</b>	<b>Perdidas de suelo (t/ha/año)</b>
Nula- ligera	< a 10
Moderada	10-50
Alta	50-200
Muy alta	>200

### **3.8.3. Análisis del impacto socioambiental generado por la erosión hídrica del suelo**

#### **3.8.3.1. Identificación de actores**

La caracterización de actores consiste en sacar un listado de posibles implicados en una problemática en específico de un territorio, conocer sus acciones y los objetivos del por qué están en el territorio y sus perspectivas en un futuro inmediato (Ceballos M., 2004). Para el análisis del impacto socioambiental causado por el riesgo de erosión hídrica se tomaron en cuenta los principales representantes involucrados de forma directa e indirecta con la problemática de estudio en la microcuenca Quitumbe.

#### **3.8.3.2. Métodos de recopilación de datos**

La elección del método depende de la estrategia de recopilación de datos (Cochran, 1977). Para la recopilación de información del impacto socio ambiental de la microcuenca Quitumbe se empleó la técnica de encuesta de tipo probabilística de diagnóstico social y de opinión según Delgado y Ramos (2017), puesto que indaga el pensamiento de los encuestados sobre determinado tema. Los tipos de encuestas utilizados fueron vía emails con el cuestionario adjuntado (link) según la metodología propuesta por Madge (2006) y personales las cuales se desarrollan en un mismo espacio y tiempo según la metodología de (Díaz de Rada, 2007).

La elaboración del instrumento de investigación (cuestionario de preguntas) se llevó a cabo tomando en cuenta los indicadores socioambientales con preguntas abiertas y cerradas, donde se evaluó la degradación del suelo por efecto de la erosión hídrica. Se utilizó la metodología propuesta por (Leiva, 1988 y citado por Jácome, 2015) la cual considera la eficacia de cada pregunta dentro de la investigación.

### 3.8.3.3. *Tamaño de la muestra*

La población de la parroquia de Imantag de acuerdo con el censo de población y vivienda INEC (2010), es de un total de 4941 habitantes. La población económicamente activa (PEA) de Imantag, está compuesta por el 58.18% en hombres y el 20.06% en mujeres. De estas 931 personas desarrollan actividades de agricultura, silvicultura, caza y pesca. Para determinar el tamaño de la muestra se utilizó la fórmula propuesta por Murray y Larry (2005).

$$n = \frac{Z^2 \times N \times p \times q}{i^2(N + 1) + Z^2 \times p \times q}$$

Dónde:

$n$ : tamaño muestral

$N$ : tamaño de la población

$Z$ : valor correspondiente a la distribución de gauss,  $z\alpha = 0.05 = 1.96$  y  $z\alpha = 0.01 = 2.58$

$p$ : prevalencia esperada del parámetro a evaluar, en caso de desconocerse ( $p = 0.5$ ), que hace mayor el tamaño muestral

$q$ :  $1 - p$  (si  $p = 70\%$ ,  $q = 30\%$ )

$i$ : error que se prevé cometer si es del  $10\%$ ,  $i = 0.1$

$$n = \frac{1.96^2 \times 931 \times 0.9 \times 0.1}{0.2^2 \times 931 + 1.96^2 \times 0.9 \times 0.1} = 87$$

De acuerdo con la aplicación de la fórmula el tamaño de la muestra para el desarrollo de encuestas es de 87 personas identificadas anteriormente como actores involucrados en la problemática.

### 3.8.3.4. *Indicadores de evaluación*

Por indicador de impacto ambiental se entiende la expresión medible de un impacto ambiental (Gómez, 2003). En este estudio se realizó la valoración de los indicadores socioambientales causados por los riesgos de erosión del suelo en la microcuenca. De acuerdo con la metodología propuesta por la Asociación Internacional para la Evaluación de Impactos (IAIA) se desarrollaron los indicadores de impacto social. Con

respecto a el indicador ambiental estos deben reflejar las principales restricciones del suelo, en congruencia con las funciones principales que se evalúan según la metodología propuesta por Astier *et al.* (2002). Los datos recabados han sido integrados conjuntamente con la información cartográfica para la generación de estrategias de manejo de suelo.

Después de valoradas las metodologías se desarrollaron los indicadores siguientes:

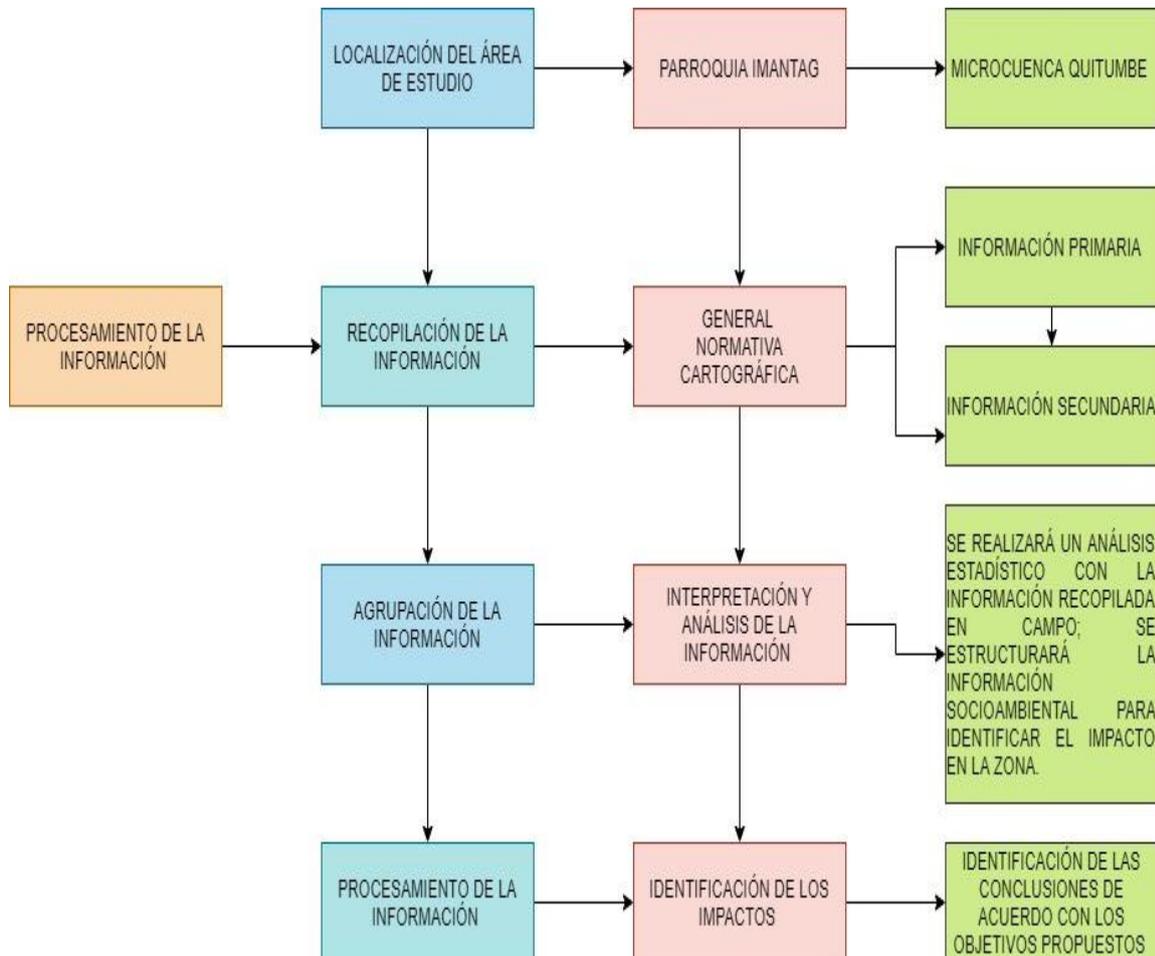
- Usos del suelo
- Contaminación del suelo por agentes erosivos
- Deforestación
- Abandono de tierras por desertificación
- Generación de empleo
- Conflictos sociales por el suelo y agua
- Principales actividades económicas
- Concepción de conservación del suelo
- Estrategias de conservación

Los datos obtenidos mediante la aplicación de las encuestas se clasificaron, registraron, tabularon y codificaron para proponer estrategias de conservación. A continuación, se detalla el flujo de datos utilizados en el análisis del proceso investigativo.

#### **3.8.4. Estrategias de manejo de suelo y prácticas de conservación.**

Con base en los datos obtenidos de las áreas susceptibles a la erosión mediante la aplicación del modelo RUSLE, y la evaluación de impactos socioambientales con la aplicación de encuestas las cuales se clasificaron, registraron, tabularon y codificaron (Figura 8) para proponer estrategias de conservación.

Posteriormente se realizó un análisis de los resultados mediante una matriz FODA, donde se identificaron principales factores fuertes y débiles que comprenden la situación económica productiva y ambiental del área de estudio, diagnosticando en su conjunto los posibles escenarios internos y externos como propone la metodología de Thompson y Strikland (1998) citado por Serna Gómez (2008).



*Figura 8. Procesamiento de la información recolectada*

### 3.9. Consideraciones bioéticas

La información recabada contó con el consentimiento informado y voluntario de los actores involucrados en la problemática de estudio. La identidad de las personas fue anónima y exclusiva para los fines de la investigación. El uso de los datos se utilizó específicamente para el desarrollo de esta investigación la cual contribuye al manejo de

## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Análisis de la pérdida del suelo por erosión hídrica

##### 4.1.1. Parámetros morfométricos de la microcuenca hidrográfica

En la Tabla 14 se muestran los cálculos obtenidos con el software arcgis referente a los parámetros morfométricos de la microcuenca donde se determino la pendiente, red de drenaje, altitudes promedio y su forma a partir del cálculo de datos numéricos.

**Tabla 14.** Parámetros morfométricos de la microcuenca Quitumbe

<b>Propiedades de la superficie</b>	
Área	7,68 km <sup>2</sup>
Perímetro	20,51 km
<b>Cotas(msnm)</b>	
Máxima	3317,53
Mínima	2154,53
<b>Centroide WGS_1984_UTM_Zone_17S</b>	
X centroide	804667
Y centroide	10039828
<b>Altitud(msnm)</b>	
Altitud media	2662,03
Altitud más frecuente	3712,02
Altitud de frecuencias	3816
<b>Pendiente</b>	
Pendiente promedio de la microcuenca	33,36(%)
<b>Red hídrica</b>	
Longitud del curso principal	8,82 km
Orden de la red hídrica	5
Longitud de la red hídrica	222,29 km
Pendiente promedio de la red hídrica	3,01(%)
Tiempo de concentración	0,0806 horas

Los datos de la curva hipsométrica de la microcuenca de la quebrada Quitumbe, presentan valores altitudinales elevados de más de 2000 msnm con una pendiente promedio de 33,36% lo que corresponde a un relieve montañoso que tienen mayor frecuencia en los márgenes del curso principal. Según el tiempo de concentración una gota de agua escurrida superficialmente tardara 0,080 horas en transportarse desde la parte más lejana de la microcuenca hasta el punto de aforo.

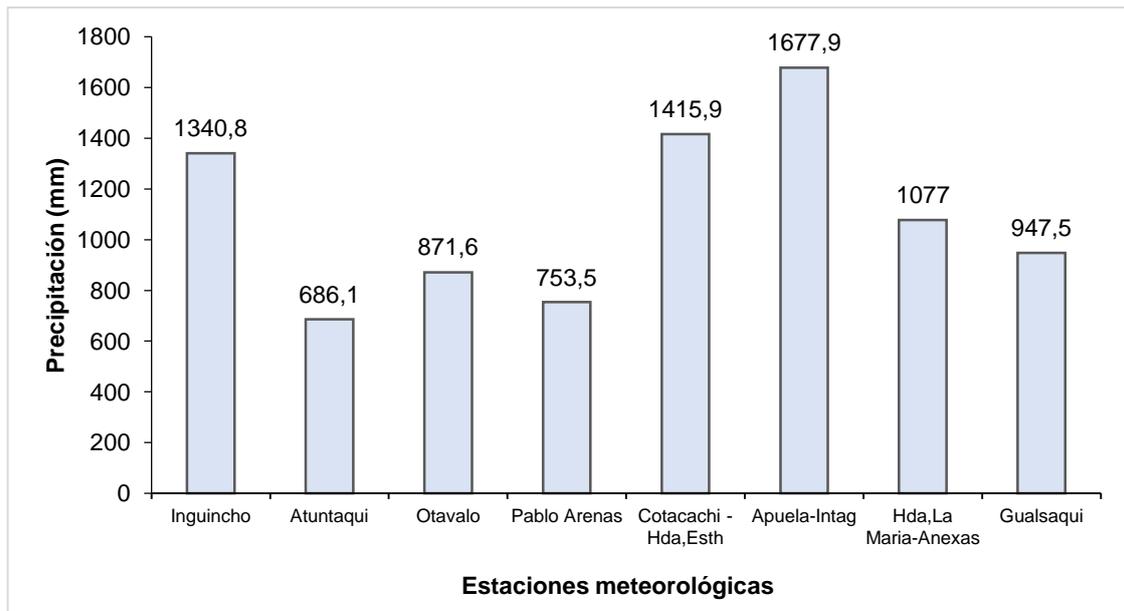
A continuación se detallan los resultados de los factores calculados en el modelo matemático RUSLE:

#### **4.1.2. Factor de erosividad**

Las variaciones de intensidad de lluvia se establecieron principalmente mediante datos de precipitación tomados del INAMHI y el cálculo del Índice Modificado de Fournier (IMF):

Después de analizados los datos de precipitación correspondientes a los años 2000-2015 se calculó el promedio mensual de ocho estaciones empleadas en el método de *kriging*, donde se determinó que las mayores precipitaciones están localizadas en la parte alta de la microcuenca Quitumbe, sus límites máximos promedios son de 117,59 mm, mientras que en la parte baja de la microcuenca se obtuvieron precipitaciones de 77,43 mm.

Las estaciones meteorológicas que presentaron mayor precipitación anual fueron Apuela Intag con valores de 1677,9 mm seguido de la estación Cotacachi con precipitaciones de 1415,24 mm, y la de menor valor fue con un valor de 683,1 mm. año, perteneciente a la estación meteorológica Atuntaqui, Los datos de las estaciones meteorológicas coinciden con los resultados del método de *Kriging* los cuales presentan mayores precipitaciones en la parte alta de la microcuenca como se muestra en la Figura 9.



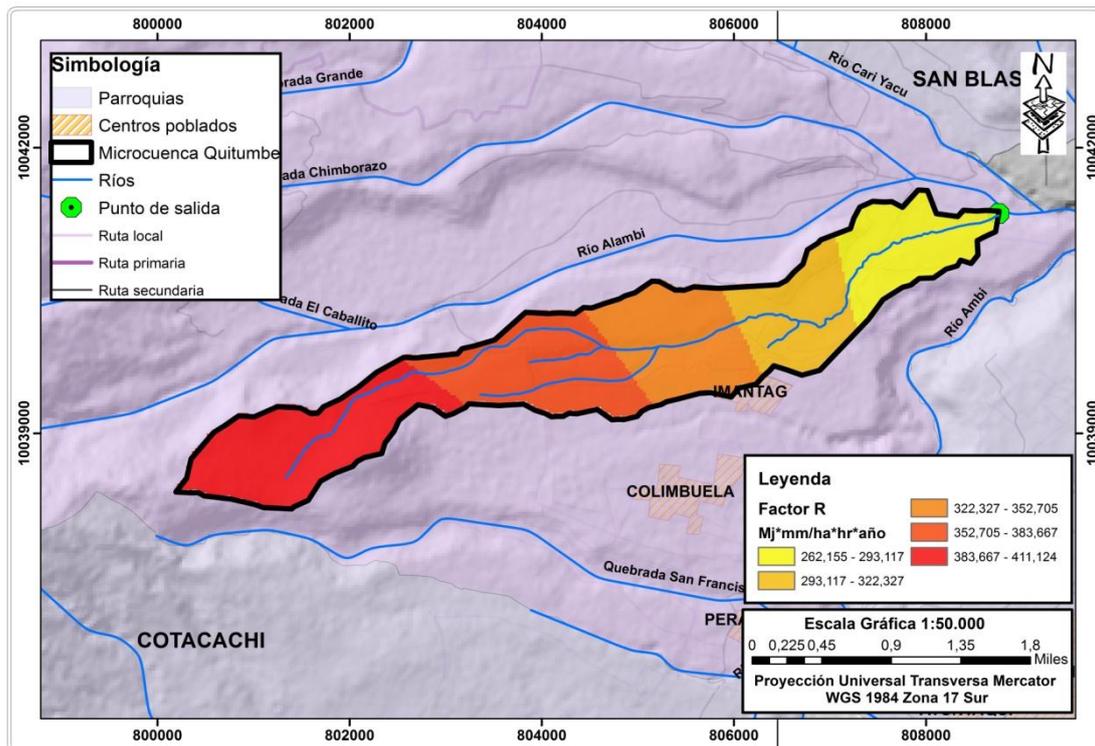
**Figura 9.** Precipitación anual de las estaciones meteorológicas utilizadas en el método de interpolación kriging.

Mediante el índice modificado de Fournier (IMF) se puede evidenciar la agresividad climática presente en la microcuenca Quitumbe como se indica la (Tabla 15), la cual muestra los resultados del IMF en cada estación meteorológica. En la (Figura 10), se expresa de forma gráfica los valores asignados a cada celda referente al factor R, los cuales están diferenciados por colores para cada nivel de erosividad calculados dentro del área de estudio.

**Tabla 15.** Valoración de la agresividad climática en relación con el IMF.

No.	Código	Nombre	IMF (mm. año)	Agresividad Climática
1	M001	Inguincho	138.10	Alta
2	M021	Atuntaqui	70.71	Baja
3	M105	Otavalo	86.52	Baja
4	M312	Pablo Arenas	79.03	Baja
5	M317	Cotacachi - Hda.Esth	141.47	Alta
6	M318	Apuela-Intag	189.02	Muy alta
7	M328	Hda.La Maria-Anexas	109.43	Moderada
8	M909	Gualsaqui	95.54	Moderada

Una vez aplicado el índice de Fournier los datos varían entre: 70,71 a 189,02 mm/año, con un valor promedio de 108,23 mm/año, y una media de precipitación anual de 359,35 mm/año. Estos valores indican una agresividad climática moderada en niveles de erosividad de la lluvia, según los cálculos el mayor valor fue registrado en la estación meteorológica Apuela-Intag que se encuentra dentro de la parroquia de Imantag con un total de 189.02 mm/año (Tabla 15).

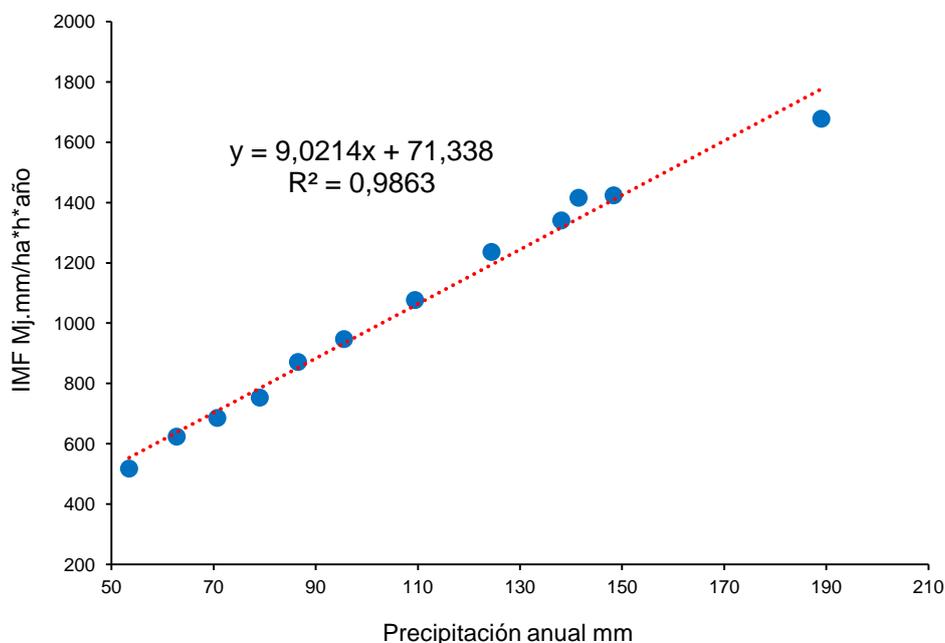


**Figura 10.** Erosividad del suelo (Factor R) de la microcuenca Quitumbe representado por unidades  $Mj \cdot mm/ha \cdot hr \cdot año$ .

Los datos obtenidos mediante el índice modificado de Fournier muestran los niveles espaciales de erosividad del suelo mediante el cálculo del factor R, los cuales están representados en el mapa. Como se muestra en la (Figura 10) la parte alta de la microcuenca muestra mayor erosividad con un rango de 287,78  $Mj \cdot mm/ha \cdot h \cdot año$  a 411,12  $Mj \cdot mm/ha \cdot h \cdot año$ , estos resultados están relacionados con los rangos de precipitación calculados con el método de *kriging* donde presentaron altas precipitaciones (117,61 mm) en la microcuenca alta con pendientes de pronunciada en esta zona. Los valores generales del factor R varían entre: 263,90 a 411,12  $Mj \cdot mm/ha \cdot h \cdot año$ , con un valor medio de 336,65  $Mj \cdot mm/ha \cdot h \cdot año$ , para un promedio de precipitación anual de 359,35 mm.

En la investigación desarrollada por Lince en 2015, utilizó la ecuación del Índice modificado de Fournier (IMF), en la región cafetera de Colombia para mapas erosivos y; Sonneveld en 1999, estableció que el Índice de Fournier, es el mejor estimador de la erosividad de las lluvias del factor R, de la RUSLE, para el uso de modelamientos en los procesos erosivos.

Mediante las variables de índice de Fournier (IMF) y la precipitación anual se realizó el análisis de regresión lineal, se muestran los resultados el área de estudio (Figura 11), de  $r$  de Pearson = 0,99, indicando que existe una correlación positiva de alta intensidad entre las variables, por lo que se confirmaría la veracidad de la información aplicada.



**Figura 11.** Regresión lineal de las variables de precipitación y IMF de la microcuenca Quitumbe.

#### 4.1.3. Factor de erodabilidad del suelo (K)

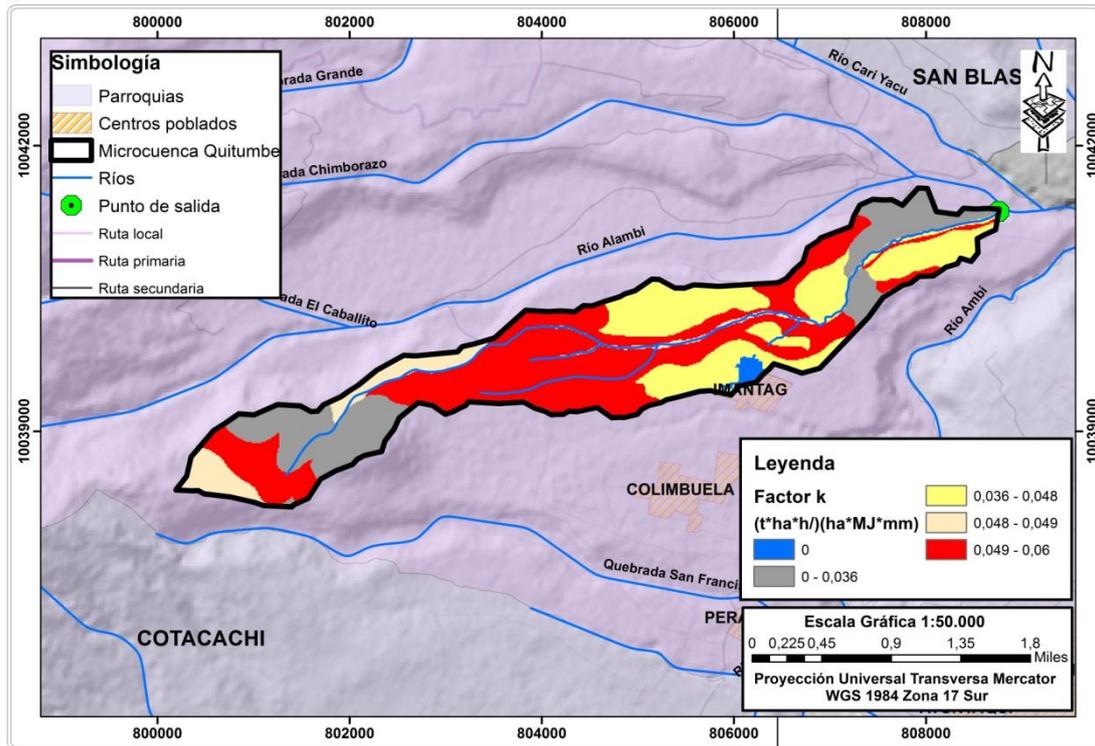
Los datos de pérdida de suelo según el índice de erosión de lluvias (factor K) dentro de la microcuenca Quitumbe, tuvo como resultado espacial variaciones entre 0,0 a 0,0647 con un valor medio de 0,0428 t.ha.h/ha.Mj.mm. Los suelos que presentaron valores de erodabilidad más altos con rangos de 0,030-0,047 t.ha.h/ha.Mj.mm fueron de subgrupos *Haplustolls*, *Ustorthents*, *Ustipsamments*, *Hapludolls*, siendo predominante en superficie los *Vitrandic Haplustolls* (111,43

ha) seguido por *Typic Haplustolls* 68,74 ha (Tabla 16).

**Tabla 16.** Valores de erodabilidad del suelo

<b>Subgrupo de suelo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Factor K USDA</b>	<b>Factor K kirby y Morgan</b>	<b>Factor K</b>
<i>Vitric Hapludands</i>	42,6758	0,0502	0,0490	0,0496
<i>Entic Hapludolls</i>	0,0202	0,0076	0,0275	0,0175
<i>Humic Udivitrands</i>	43,5988	0,0427	0,0223	0,0325
<i>Humic Udivitrands</i>	16,8626	0,0427	0,0275	0,0351
<i>Entic Hapludolls</i>	0,6633	0,0298	0,0258	0,0278
<i>Vitrantic Haplustolls</i>	111,4272	0,0502	0,0487	0,0495
<i>Typic Ustipsamments</i>	12,1773	0,0803	0,0491	0,0647
<i>Vitric Hapludands</i>	31,2016	0,0318	0,0241	0,0280
<i>Vitric Hapludands</i>	30,8349	0,0502	0,0477	0,0490
<i>Vitrantic Hapludolls</i>	4,4049	0,0803	0,0481	0,0642
<i>Vitric Hapludands</i>	24,4500	0,0502	0,0483	0,0493
<i>Typic Ustipsamments</i>	6,7563	0,0803	0,0457	0,0630
<i>Typic Haplustolls</i>	9,3146	0,0502	0,0467	0,0485
<i>Vitrantic Haplustolls</i>	24,7523	0,0502	0,0457	0,0480
<i>Typic Ustipsamments</i>	5,8963	0,0803	0,0477	0,0640
<i>Udic Ustifluvents</i>	46,3214	0,0276	0,0353	0,0315
<i>Typic Haplustolls</i>	8,9213	0,0427	0,0312	0,0369
<i>Vitrantic Haplustolls</i>	35,9760	0,0502	0,0457	0,0480
<i>Lithic Ustorthents</i>	5,2325	0,0803	0,0463	0,0633
<i>Udic Haplustolls</i>	14,2590	0,0377	0,0277	0,0327
<i>No aplicable</i>	6,5835	0,0000	0,0000	0,0000
<i>Typic Haplustolls</i>	10,8893	0,0502	0,0473	0,0488
<i>Typic Haplustolls</i>	68,7470	0,0502	0,0463	0,0483
<i>Typic Haplustolls</i>	47,8951	0,0502	0,0467	0,0485
<i>Vitrantic Haplustolls</i>	154,7219	0,0803	0,0483	0,0643
<b>Total</b>	764,570			

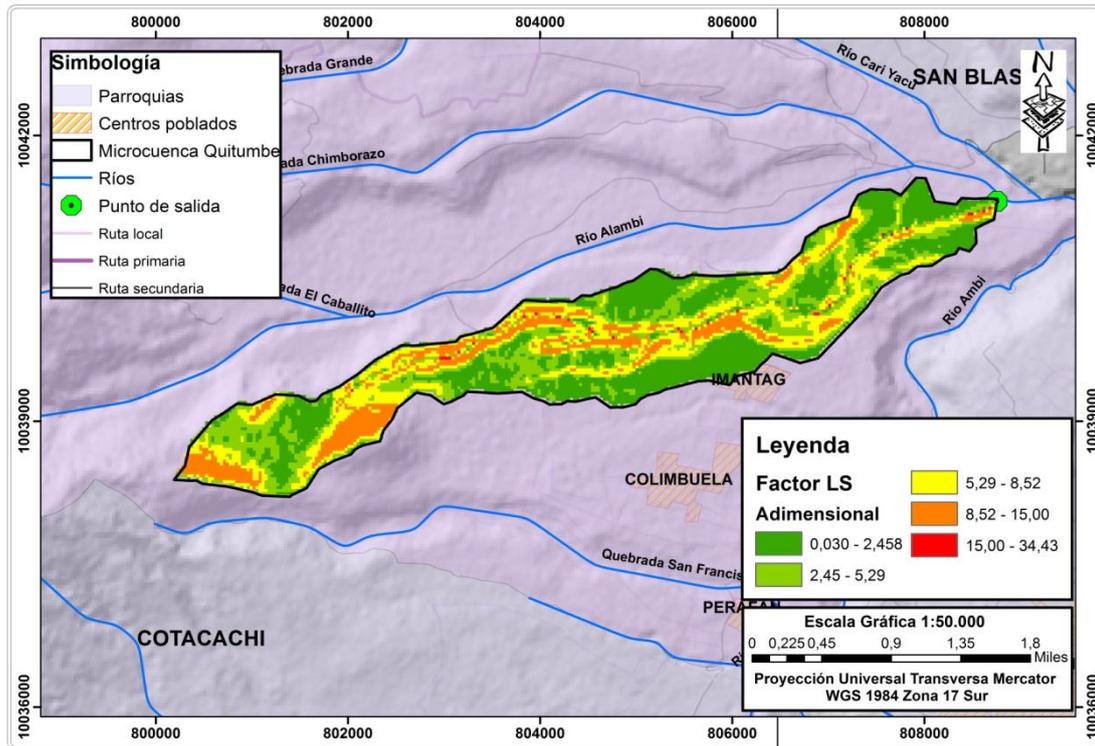
La distribución espacial del factor K se muestra en la (Figura 12), su mayor influencia está en la parte media de la microcuenca correspondiendo a suelos degradados del área.



**Figura 12.** Erodabilidad del suelo (Factor  $k$ ) de la microcuenca Quitumbe representado por unidades  $t \cdot ha \cdot h / ha \cdot MJ \cdot mm$ .

#### 4.1.4. Factor de longitud y gradiente de la pendiente (Factor LS)

De acuerdo con el factor LS en la microcuenca Quitumbe se observan rangos de datos desde 0,030 a 34,43 con un valor medio de 10,95. Este factor hace referencia a la inclinación del terreno y su longitud distribuida en el área. Mientras mayor es la extensión de la pendiente mayor será la velocidad de escurrimiento (Renard *et al.*, 1997). En la (Figura 13) se muestra como gran parte del área presenta pendientes consideradas entre planas y abruptas acumulándose espacialmente en los márgenes de la quebrada, siendo este factor uno de los más influyentes en la erosión hídrica.



**Figura 13.** *Inclinación de la pendiente (Factor LS) de la microcuenca Quitumbe.*

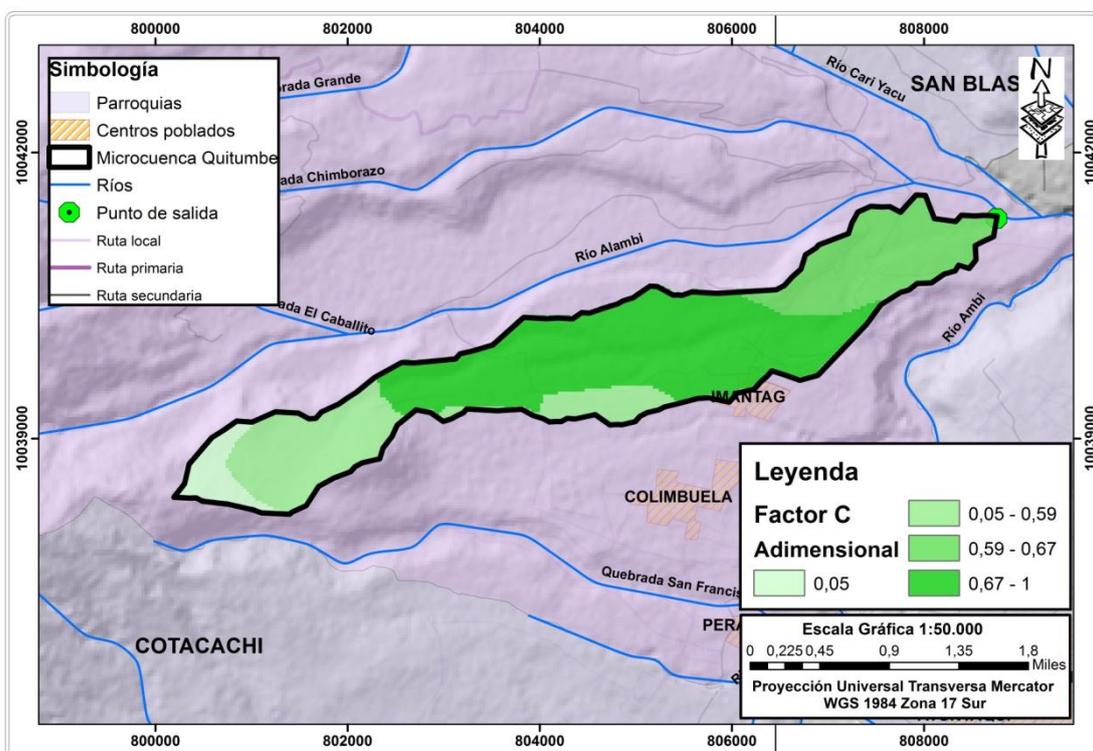
#### 4.1.5. Factor de uso de la tierra y cobertura vegetal (Factor C)

El factor de cobertura vegetal determinó la capacidad de la vegetación para minimizar el arrastre de suelo (Tabla 17). Se observó que los menores valores del factor cobertura y uso de la tierra (C) fue el de vegetación arbustiva con cultivos de ciclo corto con un valor de 0,05. Según los estudios realizados por Pacheco (2019), en la Cuenca del río Carache se pudo corroborar valores del factor C del 30% aproximadamente entre 0,5 y 1, lo que indica altos procesos erosivos en los sectores de baja cobertura vegetal y alta pendiente.

**Tabla 17.** *Uso de suelo y cobertura vegetal, valores del factor C.*

No.	Descripción	FACTOR C
1	Área urbana	1
2	70% vegetación arbustiva / 30% cultivos ciclo corto	0.05
3	Cultivos de ciclo corto	0.6
4	Cultivos de ciclo corto en áreas en proceso de erosión	0.6
5	70% maíz / 30 % pasto cultivado	0.6

En la (Figura 14) se observa cómo está distribuido espacialmente en la microcuenca el factor de cobertura. La parte alta de la microcuenca de la quebrada Quitumbe se caracteriza por poseer un remanente de vegetación arbustiva, así como también árboles frutales, la cobertura de ciclo corto se está incrementando en esta zona. La parte media y baja de la microcuenca se representa por la siembra de los cultivos asociados como: ciclo corto con pasto, cultivos de ciclo corto en áreas en proceso de erosión, al ser un área sumamente agrícola el factor cobertura favorece parcialmente al suelo, sin dejar de lado el tipo de vegetación.



**Figura 14.** *Uso y cobertura (Factor C) de la microcuenca Quitumbe.*

#### 4.1.6. Prácticas de manejo (P)

Rodríguez (2007) refiere el valor de 1 cuando no se evidencian prácticas de control de la erosión ni de manejo de las actividades productivas. Debido a que no se observaron prácticas de manejo en la microcuenca Quitumbe se asignó el valor de 1 a la práctica de conservación.

#### 4.1.6.1. Aplicación del modelo matemático *RUSLE* erosión actual (EA).

En la Figura 15 se indica la distribución espacial de la erosión en la microcuenca de la quebrada Quitumbe. Las áreas de erosión normal están distribuida parcialmente en la zona alta media y baja, corresponde a un remanente de vegetación arbórea nativa (zona alta) donde no se observa actividades antrópicas, en las áreas medias y bajas corresponden a cultivos agrícolas con incorporación de especies arbóreas en forma de cercas vivas e implementación de plantaciones principalmente de eucalipto (*Eucalyptus globulus*). Por otra parte, las zonas con erosión ligera y moderada están estrechamente relacionadas a actividades antrópicas (implementación de cultivos de ciclo principalmente frejol y maíz,) en algunos casos se ha intervenido la cobertura vegetal. Las zonas de erosión severa y muy severa están ubicadas principalmente en la parte media del área donde se han desarrollado cultivos en pendientes pronunciadas.

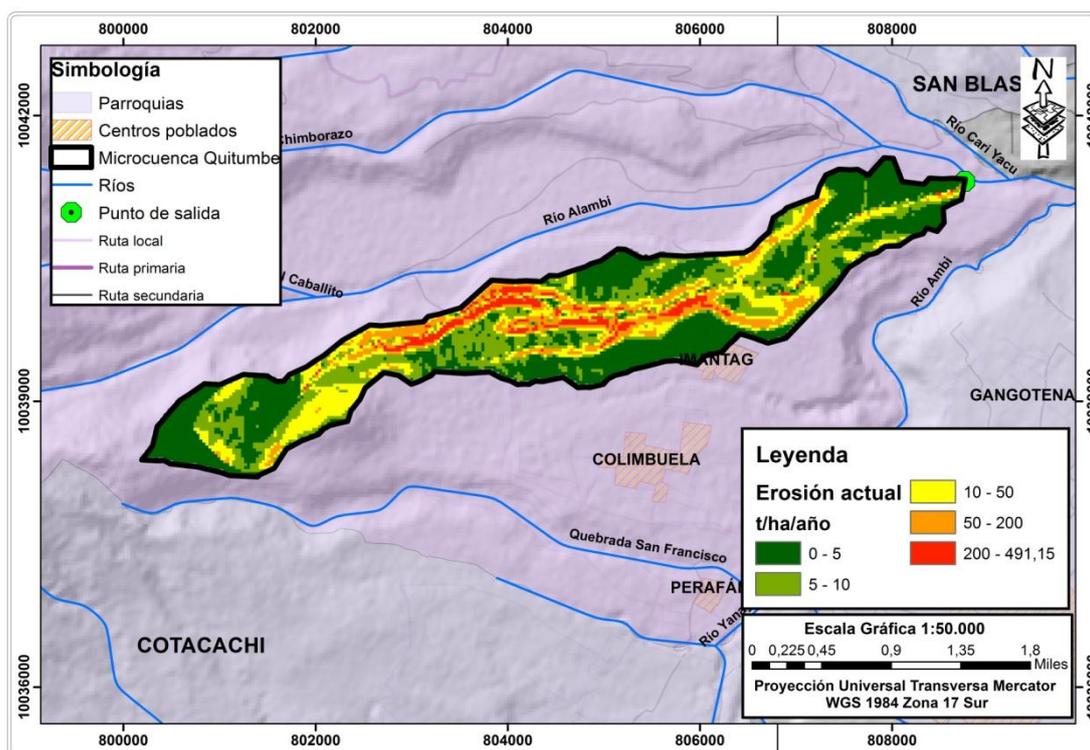


Figura 15. Áreas susceptibles a la erosión actual hídrica de la microcuenca Quitumbe.

En la Tabla 18, se presentan los valores de erosión actual de acuerdo con su superficie. Estos resultados están ubicados en cinco grupos de acuerdo con los rangos de erosión. La erosión normal a ligera ocupa una superficie de 143,67 ha (18,90%) de la microcuenca; los de erosión moderada ocupa 336,95 ha (44,30%) y finalmente los que presentan una erosión muy severa con unas 2,08 ha (0,27%). Los datos nos muestran que el área de estudio muestra una mayor incidencia de erosión en rangos moderados seguido por erosión severa de acuerdo su área, por lo que la aplicación de estrategias de manejo de suelo se debería aplicar para minimizar los impactos ocasionados al suelo.

**Tabla 18.** Superficie erosión actual de la microcuenca Quitumbe.

Rangos t/ha/año	Condición	Superficie ha	Superficie %
0-5	Normal	53,67	7,02
5-10	Ligera	91	11,90
10-50	Moderada	338,95	44,33
50-100	Severa	278,95	36,48
>200	Muy severa	2,083	0,27
<b>Total</b>		764,57	100

En la parroquia de San José de Minas (Pichincha), en la microcuenca del río Perlaví se emplearon dos metodologías para determinar la erosión hídrica del suelo. La primera consiste en un simulador de lluvia establecido en 24 zonas homogéneas, la segunda mediante ecuación (RUSLE) aplicando los factores R-K-LS-C y P. Después de procesar la información se obtuvieron tasas de erosión menores a 10 t/ha/año en el 99.23% del área de la microcuenca. Para el modelo RUSLE reflejaron tasas de erosión máximos de 567,041 t/ha/año, esto por las pendientes pronunciadas del paisaje andino (Campaña. 2015). De acuerdo con el estudio de erosión evaluación de riesgos por erosión hídrica en la microcuenca Quitumbe, desarrollada en el presente estudio se empleo la ecuación universal de pérdida de suelo (RUSLE) donde se evidenciaron valores mayores a 200 t/ha/año los cuales representan el 0,27 % de la superficie de pérdida de suelo, estas zonas también se encuentran determinadas por pendientes pronunciadas propias del paisaje andino.

De acuerdo con los estudios realizados por Salazar (2016) de restauración hidrológica en la cuenca del estero Potrerillos en la provincia del Guayas, donde aplicó el modelo USLE produciéndose una erosión moderada (entre 10 y 50 t/ha/año) en un 30.36% de la

superficie total, una erosión alta (entre 50 y 200 t/ha/año) en un 8.96% y una erosión muy alta (superior a 200 t/ha/año) en un 13.73%. Se concluyó que la cuenca se encuentra en un estado no aceptable frente a la erosión. De acuerdo con los rangos de erosión en esta investigación se demostró que normal a ligera ocupa una superficie de 143,67 ha (18,90%) de la microcuenca; erosión moderada ocupa 336,95 ha (44,30%) y finalmente los que presentan una erosión muy severa con unas 2,08 ha (0,27%). Por lo que se puede concluir que los datos de erosión presentan rangos altos en cuanto a pérdida de suelo.

En el siguiente estudio se obtuvo una tasa de pérdida promedio de suelo de 58.6 t/ha/año, con valores máximos superficiales de 336,95 ha (44,30%), por lo que se determinó una erosión moderada. Para el cálculo del factor R se realizó una regresión lineal simple entre el valor de R mensual (Índice de Fourier) y la precipitación mensual con un coeficiente de  $r^2 = 0.99$ . Para el cálculo del factor K se utilizó el mapa de geología y edafológicos, se tuvo como resultado espacial variaciones entre 0,0 a 0,0647 donde los suelos que presentaron valores de erodabilidad más altos con rangos de fueron de subgrupos haplustolls, ustorthents, ustipsamments, hapludolls. En el factor LS se observan rangos de datos desde 0,030 a 34,43 con mayor incidencia en los márgenes de la Quebrada. Para el factor C se identificaron sectores de baja cobertura vegetal y alta pendiente. Comparando estos resultados con los trabajos realizados por Campaña (2015) y, Salazar (2016) se puede corroborar la veracidad en la aplicación del modelo en cuencas hidrográficas en Ecuador. Los problemas de erosión hídrica presentes en las cuencas se dan principalmente por pendientes pronunciadas e implementación de cultivos causando los procesos de deforestación, sin embargo también se pudo evidenciar poca disponibilidad en los datos hidrológicos para el cálculo del factor R por lo que se tiene que recurrir a metodologías adicionales. Algunos autores manifiestan que se tiende a sobrestimar el factor LS por lo que se recomienda hacer la comparación del modelo RUSLE con otras metodologías.

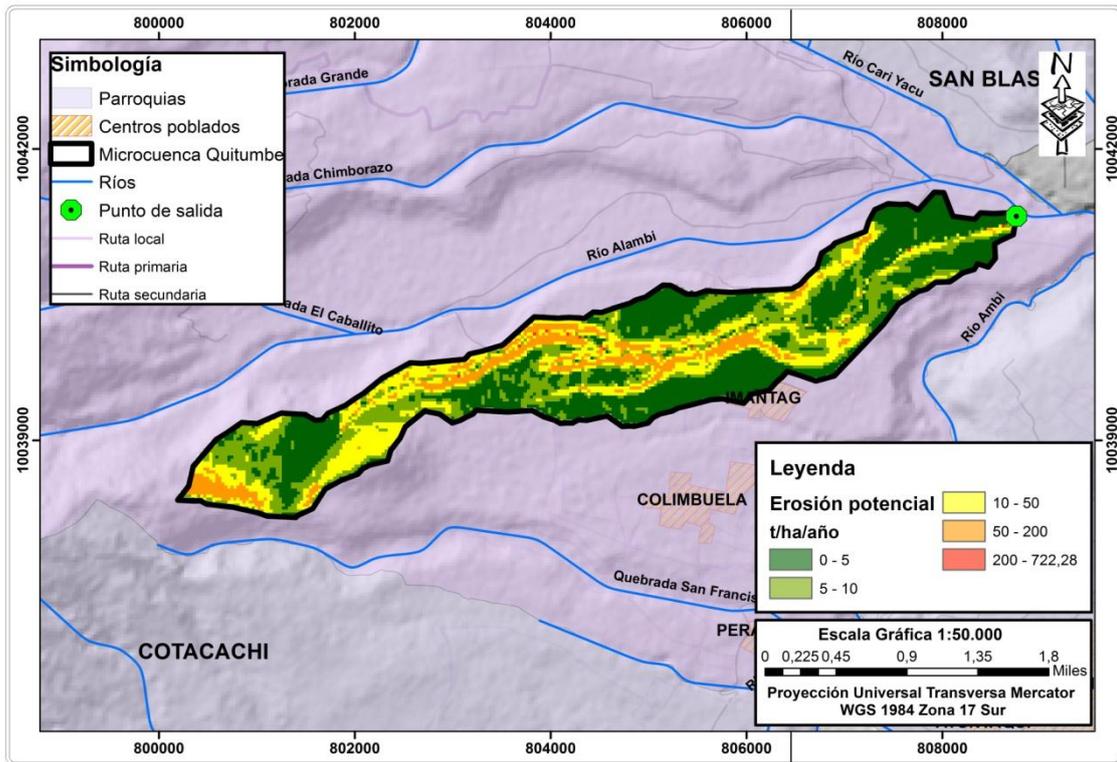
#### 4.2. Áreas críticas de erosión dentro de la microcuenca de la quebrada Quitumbe

En la Tabla 19 se indica la distribución de las áreas potencialmente erosionables las cuales mayoritariamente ocupan 645,81 ha entre rangos de erosión moderada a severa, estos datos corresponden al 84,94% de la superficie total de la microcuenca, sin embargo, con una superficie menor de 51,36 ha se encuentran pérdidas de suelo de más de 200 t/ha/año considerada como muy severa, con un valor de 63,11 ha (8,30%) no se encuentran con problemas de erosión.

*Tabla 19. Áreas potencialmente erosionables según la superficie de la microcuenca.*

Rangos t/ha/año	Condición	Superficie ha	Superficie %
0-5	Normal	19,59	2,56
5-10	Ligera	44,69	5,85
10-50	Moderada	268,35	35,10
50-100	Severa	379,52	49,64
>200	Muy severa	52,42	6,86
<b>TOTAL</b>		764,57	100

Las áreas con mayores problemas de erosión potencial se encuentran distribuidas espacialmente en la cuenca media y partes de la cuenca alta donde la longitud de la pendiente en algunos casos se encuentra con más frecuencia (Figura 16). Cabe resaltar que para el cálculo de este factor no se considero la cobertura vegetal, por lo que se estima a la superficie como suelo desnudo, siendo el factor de longitud de la pendiente el más relevante. En la parte alta de la microcuenca existe vegetación arbórea nativa sin embargo se encuentra pendientes superiores al 30%.



**Figura 16.** Áreas susceptibles a la erosión potencial hídrica de la microcuenca Quitumbe.

De acuerdo con la verificación realizada en campo referente a las áreas críticas de la erosión hídrica del suelo en la microcuenca Quitumbe se visualizan zonas con procesos erosivos leves y graves, mismas que coinciden con las superficies detalladas en el mapa de erosión potencial, por lo que se confirma la efectividad del modelo aplicado (Tabla 20).

**Tabla 20.** Niveles erosivos del suelo identificado en campo.

Registro fotográfico	Perdidas de suelo (t/ha/año)	Interpretación
	0	Zonas no susceptibles al proceso erosivo, en el área se identificaron casas y carreteras principalmente en la cabecera parroquial de Imantag con un valor porcentual de 2,57%.

	<p>0-5 Zonas con niveles de erosión muy bajos y pérdidas de suelo tolerables. En su vegetación predominan arbustos y árboles frutales.</p>
	<p>5-10 Zonas con niveles de erosión bajos y pérdidas de suelo que pueden ser tolerables, superficie de 5,73%.</p>
	<p>10-50 Zonas con procesos erosivos moderados. Existe erosión, se evidencia la sucesión de arbustos a la agricultura neta donde predominan los cultivos de maíz y frejol, superficie de 35,16%.</p>
	<p>25-50 Zonas con procesos erosivos moderados. Presencia de vegetación xerofítica que se desarrolla en áreas como ladeas y quebradas.</p>
	<p>50-100 Zonas con procesos erosivos graves. Existe erosión y es apreciable a simple vista, suelos desnudos y sin presencia de materia orgánica superficie de 49,78%.</p>

	100-200	Zonas con procesos erosivos muy graves, escasa vegetación y cultivos en pendientes mayores al 50%. Existe erosión y es apreciable a simple vista
	>200	Zonas con procesos erosivos extremos con pendientes mayores al 70%, superficie de 6,76%.

Según Morgan (2006) se estima que la tasa máxima permisible cuando se habla de erosión del suelo es de 10 t/ha/año, debido a que esta es la velocidad en la que el suelo se genera; cuando hablamos de pérdidas considerables de suelo en una cuenca se tiene que superar dichos valores. Bajo esta premisa en cálculo de la tasa de erosión potencial (EP) se identificaron pérdidas de suelo mayores a 10 t/ha/año con un promedio de 82,56 t/ha/año como se muestra en la Tabla 20, las cuales se identificaron como áreas potencialmente erosionables.

Portuguez (2016) manifiesta que después de analizar datos de la estación meteorológicas ubicadas en la cuenca del río Sigas, y procesar estos valores mediante la metodología de Fournier (1960) usando la precipitación mensual y anual (mm), se obtuvo valores aproximados de 8.65 a 337.35 MJ mm /ha h. este valor indica que la zona de estudio presenta un régimen de precipitaciones de moderado. Una vez aplicado el índice de Fournier en la microcuenca Quitumbe los datos varían entre: 70,71 a 189,02 mm/año, con un valor promedio de 108,23 mm/año, y una media de precipitación anual de 359,35 mm, para el factor R se obtuvieron valores de 287,78 Mj.mm/ha\*h\*año a 411,12 Mj.mm/ha\*h\*año lo que nos indican una agresividad climática moderada en niveles de erosividad de la lluvia.

Según el estudio realizado por Portuguez (2016) el 48.6 % de la extensión de la cuenca presenta valores de factor topográfico (LS) de 8.7 cuyas pendientes corresponden a suelos entre 24 a 30 %, y 1.58% de la extensión de la cuenca presenta valores de este factor de 25.2, que corresponden a suelos con pendientes más pronunciadas entre 70 a 100% , las tasas de pérdida de suelo llegan hasta 1400 t/ha/año, correspondientes a zonas de mayor pendiente y a suelos correspondientes a conglomerados y arenas aluviales. Las zonas identificadas con mayor riesgo de erosión corresponden a sectores de fuertes pendientes distribuidas en los márgenes del cuerpo de agua donde predomina la longitud de la pendiente y la escasa cobertura vegetal en la microcuenca Quitumbe.

De acuerdo con López (2017), en su estudio sobre erosión hídrica en la unidad hidrológica del río Ambato, en sus resultados muestra rangos de erodabilidad de 0,006 a 0,72 Mg.ha.hr/ha.MJ.mm, y menciona que en zonas donde se registran valores bajos son suelos con textura franco-arenosa, disminuyendo la existencia de escorrentía superficial por su alta capacidad de infiltración. En la microcuenca se encontraron de forma predominante suelos de textura franco-arenosa distribuidos parcialmente en toda el área con valores de 0,01 a 0,064.

En la microcuenca Quitumbe se encontraron zonas con procesos erosivos moderados donde se evidencia la sucesión de arbustos a la agricultura neta donde predominan los cultivos de maíz y frejol, teniendo en cuenta que es de suma importancia que el suelo se encuentre cubierto de vegetación para evitar su degradación por erosión hídrica ya que se cuenta con una erosividad moderada con un valor máximo de 411,12 Mj.mm/ha\*h\*año, se debe considerar el tipo de cobertura y la intensidad de la pendiente en el área, los cultivos de ciclo corto minimizan en algo el impacto del agua sobre el suelo, sin embargo las especies arbóreas desarrollan mejores resultados en el área.

Según los datos expuestos la erosión potencial está siendo determinada principalmente por los factores LS y R, ya que estas presentan los valores más altos en la microcuenca, las áreas determinadas con erosión severa corresponden a aquellas donde predomina la longitud de la pendiente con agresividad climática alta, por lo que es recomendable la aplicación de prácticas de conservación que minimicen la degradación del suelo en la microcuenca.

### 4.3. Impacto socioambiental generado por la erosión hídrica del suelo

Para realizar este análisis se aplicó una encuesta a los principales implicados en la problemática de estudio (Tabla 21), misma que contenía principalmente temas de contaminación del suelo, relación económica, social y ambiental los cuales se describen a continuación:

**Tabla 21.** Actores involucrados en el estudio

Actores primarios	Actores secundarios
Agricultores	MAE
Propietarios de terrenos	MAG
Técnicos GADM	INEC
Técnicos GADPR	IGM
Personal de Juntas de agua	ONG
Técnicos Restauración forestal	INAMHI

De acuerdo con el tamaño de la muestra para la aplicación de la encuesta 15 personas no accedieron a responder las preguntas planteadas.

#### 4.3.1. Resultados de las encuestas

##### 1- Edad

De acuerdo con los datos analizados en la Tabla 22 el 31% de las personas encuestadas tienen un rango de edad de 31-40 años, mientras que solo el 17% representa a los mayores de 51 años.

**Tabla 22.** Rangos de edad de las personas encuestadas

Rangos edad	Valor N°
20-30	19
31-40	22
41-50	19
51 a más	12

## 2- Sexo

El mayor porcentaje de personas encuestadas con 56% respondieron Masculino para esta pregunta cómo se observa en la Tabla 23, siendo este género el de mayor desarrollo en actividades relacionadas al suelo se corrobora la veracidad en las respuestas, sin embargo, el género femenino también demostró su preocupación sobre esta problemática.

**Tabla 23.** *Sexo de las personas encuestadas*

<b>Sexo</b>	<b>Valor N°</b>
Masculino	40
Femenino	32

## 3- Nivel educativo

Como se puede observar en la Tabla 24 el 52% de las personas tienen un nivel de educación de general básico, también fueron encuestados actores indirectos involucrados en el área de estudio en el ámbito técnico forestal-ambiental con un nivel de educación de tercer nivel los cuales representaron un porcentaje de 21%. Estos datos nos hacen deducir que la información será representada en diferentes perspectivas según los ámbitos de cada actor.

**Tabla 24.** *Nivel educativo*

<b>Educación</b>	<b>Valor N°</b>
General básico	37
Bachillerato	15
Tercer nivel o pregrado (Universitario)	15
Cuarto nivel, maestría o posgrado	5

### *Actividades que realiza en la microcuenca de la quebrada de Quitumbe.*

#### **4- *¿Cuál de estas actividades realiza usted en la microcuenca de la quebrada de Quitumbe, parroquia Imantag-cantón Cotacachi?***

Según el 67% de las personas encuestadas se dedican a esta actividad siendo en muchos casos la única fuente de ingreso del hogar y aplicándola de forma inadecuada según versiones de las personas que habitan en el sector. Siendo la agricultura la base de la economía de muchas familias es indispensable fundamentar técnicas adecuadas para el uso y manejo de suelos degradados o en procesos de degradación minimizando así el impacto socioambiental del área. Los recursos naturales existentes hacen que esta parroquia tenga particularidades propias siendo así se tiene que la principal actividad económica es la agricultura. De acuerdo con la clasificación presentada los suelos que predominan en la microcuenca Quitumbe son los molisoles cuyas características es poseer un epipedón mólico (con alto contenido de materia orgánica), excelentes para la agricultura.

**Tabla 25.** *Actividades realizadas en la Microcuenca*

<b>Actividades</b>	<b>Valor N°</b>
Agricultura	48
Ganadería	5
Pesca	1
Otras	18

#### **5- *¿Cuál de las actividades mencionadas considera usted que ocasionan una degradación progresiva del suelo?***

Los datos tabulados nos muestran que la agricultura con sistemas técnicos mal aplicados, o a su vez, en suelos no aptos para el desarrollo de esta actividad, ocasionan un desgase progresivo del suelo. Los datos nos muestran cómo se mencionaba, respecto a la respuesta anterior, uno de los puntos débiles que comienzan a ser observados es la agricultura en condiciones no adecuadas para el suelo.

**Tabla 26.** *Actividades intensivas realizadas en la Microcuenca*

<b>Actividades</b>	<b>Valor N°</b>
Agricultura	55
Ganadería	13
Pesca	0
Otras	4

*Impacto socioambiental generado por la erosión hídrica en la microcuenca de la quebrada de Quitumbe- De acuerdo con los niveles descritos 1 se considera el nivel más bajo y 5 cinco se considera el más alto.*

**6- ¿Qué nivel de erosión cree usted que la productividad agrícola intensiva ocasiona al suelo?**

De acuerdo con las valoraciones expresadas en la Tabla 27, el 68% de los encuestados observa un nivel de erosión del suelo promedio de (2 a 4) debido a la actividad agrícola, la percepción de los encuestados coinciden con lo establecidas por la FAO-PNUMA-UNESCO (2004) donde se determina zonas con procesos erosivos muy graves, existe erosión y es apreciable a simple vista (rangos mayores a 50t/ha/año). Este dato se relaciona de similar manera con la pérdida anual de suelo calculado para este estudio el cual corresponde a un promedio de 58,6 t/ha/año y esta considera como una pérdida considerable para el área.

**Tabla 27.** *Niveles de erosión descritos en la Microcuenca*

<b>Nivel de erosión</b>	<b>Valor N°</b>
1	9
2	16
3	16
4	17
5	14

**7- ¿Qué nivel de erosión cree usted que la productividad ganadera intensiva ocasiona al suelo?**

De acuerdo con las valoraciones expresadas en la (Tabla 28) el 60% de los encuestados observa un nivel de (1 a 2) en el suelo debido a la actividad ganadera, cabe resaltar que las actividades que se realizan en la microcuenca no son en gran parte dedicadas a la ganadería por lo que la percepción de las personas respecto a este factor no es altamente significativa.

**Tabla 28. Niveles de erosión descritos en la Microcuenca**

Nivel de erosión	Valor N°
1	23
2	20
3	7
4	10
5	12

**8- En la actualidad, ¿qué nivel de erosión observa usted en el suelo?**

Las valoraciones expresadas en la Tabla 29 el 78% de los encuestados observa un nivel de (3 a 4) en el suelo. Este dato se corrobora con lo observado en campo donde no se evidencio prácticas de manejo de suelo para actividades agrícolas principalmente en pendientes pronunciadas donde la pérdida de suelo es apreciable a simple vista. Para la preparación del suelo se observó el uso de herramientas manuales y en pocos casos el uso de tractor.

En el estudio desarrollado por Montatixe y Eche (2021) de Degradación del suelo y desarrollo económico en la agricultura familiar se analizaron las características de los suelos y las técnicas de labranza comúnmente empleadas por los pobladores de la parroquia Emilio María Terán. Se determinó que el 38,8 % de los pobladores emplean labranza mixta (tractor y manual), el 34,2 % utilizan únicamente tractor, el 20,4 % lo hace de forma manual, y el 6,6% utiliza tracción animal.

**Tabla 29.** Niveles de erosión actual observados en la Microcuenca

Nivel de erosión	Valor N°
1	6
2	10
3	37
4	19
5	0

**9- ¿Cuáles de los problemas mencionados a continuación considera que están ocasionando mayor intensidad de erosión hídrica en el suelo de la microcuenca parroquia de Imantag, cantón Cotacachi?**

Según los datos de las personas encuestadas, la remoción de la cobertura vegetal nativa para instalación de sistemas agrícolas de ciclo corto y ciclo largo es una de las principales problemáticas en la microcuenca con un porcentaje del 28%. La falta de cobertura vegetal debe ser tomada en cuenta para la implementación de un manejo de suelo adecuado.

**Tabla 30.** Problemáticas identificadas en la Microcuenca

Problemática	Valor N°
Remoción de cobertura vegetal nativa para instalación de sistemas agrícolas de ciclo corto y ciclo largo.	20
Establecimiento de sistemas agrícolas intensivos en terrenos con pendientes pronunciadas	9
Quema de la cobertura vegetal por creencias culturales	5
Inadecuado uso y manejo de los recursos naturales	3
Deficiente manejo de los sistemas de producción agropecuarios debido a implementación de una agricultura de subsistencia.	4
Implementación de sistemas de riego inadecuados que intensifican la erosión hídrica del suelo	2
Uso excesivo de fertilizantes, herbicidas y plaguicidas implementados en sistemas agrícolas comerciales	17
Desgaste de los nutrientes del suelo por el establecimiento de cultivos de una sola especie	6
Sobreexplotación del suelo	5

El pisoteo de los animales provocando la compactación del suelo	0
Excesivo consumo de agua para consumo animal y establecimiento de pasturas	0
Deslizamientos, avalanchas y derrumbe provocado por la ganadería	0
Repercusión en las propiedades físicas y químicas del suelo por excretas generadas de la ganadería	0
Cambio de uso del suelo para la implementación de pasturas	0
Aridez del suelo	0
Otras	1

El uso excesivo de fertilizantes, herbicidas y plaguicidas implementados en sistemas agrícolas comerciales ocupa un 24% del total de las problemáticas, según versiones de los encuestados este estado del suelo se ha venido intensificando con el tiempo y su uso cada vez es más frecuente, por lo que tomar acciones como la disminución en algún tiempo los agroquímicos y cambiando las prácticas de manejo evitando así acumulación en suelos para una posterior transferencia al cuerpo hídrico.

Según los estudios realizados por Silva y Correa (2019), demuestran que el uso excesivo de plaguicidas atentan contra el mundo animal y vegetal alterando el suelo y los sistemas biológicos que intervienen en la fertilidad, estas alteraciones están estrechamente relacionadas con las técnicas agrícolas mal aplicadas.

***10- ¿Qué impacto tiene para usted el mal uso de agua y suelo en la microcuenca Quitumbe?***

El mal uso del suelo pone en riesgo la producción agropecuaria de la microcuenca, así como el acelerado desarrollo urbano. La percepción principalmente de la gente que habita en la microcuenca es la afectación al suelo por un uso excesivo de agroquímicos, al ser una población mayoritariamente agrícola es un problema que va en aumento y se está viendo reflejada en la calidad de agua de la microcuenca. El manejo inadecuado del suelo por la degradación de la flora y fauna es una más de las afectaciones que ocasionan desequilibrios ecológicos e impactos ambientales.

### ***11- ¿Considera al suelo como un sustento económico para su familia?***

Como se observa en la Tabla 31 el 94% de las personas encuestadas considera la agricultura como sustento económico para su familia, sin embargo, en muchos casos el estado del suelo juega un papel importante ya que, si el suelo esta degradado su inversión es mayor y el nivel de ganancia depende del precio del mercado externo, por lo que a veces no resulta muy rentable.

**Tabla 31.** *El suelo como sustento económico*

<b>Consideración</b>	<b>Valor N°</b>
<b>Sí</b>	68
<b>No</b>	1
<b>Otras</b>	3

### ***12- ¿Existen conflictos sociales en la microcuenca Quitumbe por el uso de agua y suelo?***

El 67% de las personas encuestadas consideran que, si existen conflictos sociales en la microcuenca, esta problemática está reflejada principalmente por el uso de agua en el sector. La disponibilidad de agua en relación con la población local dentro de la microcuenca enfrenta una conflictividad por su uso, esto ocurre principalmente en verano donde el flujo de agua disminuye, esta problemática ocurre por el aumento en la captación de agua. El suelo referente a su legalidad no genera conflicto, sin embargo, la deforestación y desertificación de tierras se manifiesta en algunos sectores.

**Tabla 32.** *Conflictos sociales en la microcuenca*

<b>Consideración</b>	<b>Valor N°</b>
<b>Sí</b>	48
<b>No</b>	24

**13- ¿En el caso de que su respuesta sea afirmativa describa los tipos de conflictos que se han generado por el mal uso de agua y suelo en la microcuenca Quitumbe parroquia de Imantag, cantón Cotacachi?**

El mal manejo de los recursos, consiguiente con la tala de árboles en la parte alta de la microcuenca, la deforestación en los márgenes de la quebrada son los tipos de conflictos que se evidencian, además la inequidad en el reparto del recurso hídrico, problemas ambientales como erosión y cambio del uso de suelo también se mencionaron como conflictos. La deforestación y degradación forestal se da por el desarrollo económico y social lo que ha contribuido a la pérdida y la degradación de los bosques. El desarrollo de las infraestructuras y la agricultura itinerante también forma parte de este factor (FAO, MAGBMA y CAFI, 2018).

**Medidas de mitigación/adaptación que se han aplicado en la microcuenca de la quebrada de Quitumbe**

**14- ¿Cuáles de las siguientes prácticas de conservación se están realizando en la microcuenca Quitumbe parroquia de Imantag, cantón Cotacachi?**

De acuerdo con el 50% de las personas encuestadas, manifiestan que se realizaron actividades de reforestación en el área mediante el Programa Nacional de Reforestación, el cual fue avalado por el Ministerio del Ambiente, sin embargo, estas actividades no cumplieron con los objetivos propuestos ya que las plantaciones no tuvieron la sobrevivencia adecuada por lo que en la actualidad el número de especies reforestadas es casi nulo intensificando así un desgaste de suelo al no contar con cobertura vegetal (Tabla 33). Alusivo a este tema los agricultores no presentaron buenas referencias sobre prácticas de conservación del suelo, siendo este la base de su economía se recomienda aplicar las estrategias de conservación de suelos a los actores principales de la microcuenca.

**Tabla 33. Prácticas de conservación en la Microcuenca**

<b>Prácticas</b>	<b>Valor N°</b>
Cultivo moderado en pendientes.	7
Reforestación del suelo.	36
Limitación en el uso de agroquímicos.	3

Procesos de deforestación controlados.	4
Diversificación de cultivos.	6
Otras	16

**15- ¿Existen programas de capacitación sobre el manejo adecuado de los recursos suelo y agua en la microcuenca de la quebrada de Quitumbe parroquia de Imantag, cantón Cotacachi?**

Un amplio porcentaje (68%) de los encuestados manifiesta que no existen capacitaciones sobre el manejo del recurso suelo, el resto de la población encuestada declara que existen capacitaciones por parte del Ministerio de Agricultura, sin embargo, estas capacitaciones no están direccionadas a la remediación de suelos erosionados o a su vez aplicación de técnicas mejoradas basadas en una agricultura orgánica.

Para lograr un desarrollo sustentable del área de estudio es de vital importancia la capacitación de las personas involucradas en la problemática de la microcuenca, el acceso al conocimiento se sustenta como la base para generar oportunidades, desarrollar habilidades y destrezas principalmente en las familias que tienen a la agricultura como único sustento económico. Según el estudio realizado por Sánchez (2009) donde realiza una propuesta de capacitación de Educación Ambiental no formal para la comunidad de San Andrés, Pinar del Río recomienda Implementar e introducir en la práctica la propuesta de capacitación de Educación Ambiental.

**Tabla 34. Programas de capacitación en la microcuenca**

Consideración	Valor N°
Sí	21
No	49
Otras	2

**16- ¿Conoce ud de una normativa local que proteja el ecosistema de la microcuenca de la quebrada de Quitumbe?**

El 65% de las personas no conoce la normativa que protege el ecosistema de la microcuenca. Según el estudio realizado por Jácome (2015) señala los conflictos socioambientales como problema estructural que se ocasiona por fines institucionales o formales. Uno de los puntos débiles que comienzan a ser observados, es la poca difusión que hacen las diferentes autoridades en lo concerniente a sus funciones, estrategias, responsabilidades y logros alcanzados, enfatizando su disposición a mejorar las condiciones principalmente de los agricultores. Se recomienda capacitación ambiental sobre normativa local y protección del ambiente.

**Tabla 35. Normativa local en la microcuenca**

<b>Consideración</b>	<b>Valor N°</b>
<b>Si</b>	25
<b>No</b>	47
<b>Otras</b>	0

**17- ¿Existen acuerdos entre la comunidad local y el GAD Parroquial que incentiven la conservación de la microcuenca Quitumbe parroquia de Imantag, cantón Cotacachi?**

De acuerdo con el 51% de los encuestados no existen acuerdos entre la comunidad local y el GAD Parroquial que protejan la biodiversidad de la microcuenca y ejecuten la planificación juntamente con otras instituciones. Respecto al tema se evidencia la falta de conocimiento de la comunidad sobre normativas locales ya que La Ley de Recursos Hídricos (2014) establece en el Art. 12 que es responsabilidad del estado, comunidad local, juntas de agua de riego, consumidores y usuarios, la protección y recuperación de fuentes hídricas tanto como su manejo integro.

**Tabla 36. Acuerdos en la microcuenca**

<b>Consideración</b>	<b>Valor N°</b>
<b>Si</b>	35
<b>No</b>	37
<b>Otras</b>	0

**18- ¿Qué alianzas ha generado el GAD Parroquial en cuanto a la conservación de la microcuenca Quitumbe parroquia de Imantag, cantón Cotacachi?**

El 49% de la población manifiesta que no existe alianzas que incentiven a la conservación de la microcuenca, este factor es importante ya que una cuenca con porcentaje de erosión moderado es fundamental general alianzas para el tratamiento de esta, el cual que genere responsabilidad por daños ambientales además de las sanciones correspondientes, y la restauración de los ecosistemas. Las competencias en la gestión de cuencas hidrográficas según el COOTAD (2010) señala que se debe planificar junto con otras instituciones del sector público y actores de la sociedad el ordenamiento territorial y el mantenimiento de las cuencas hidrográficas.

**Tabla 37. Prácticas de conservación en la Microcuenca**

<b>Alianzas</b>	<b>Valor N°</b>
ONGs	0
GAD Municipal	18
Ministerio del Ambiente y Agua	1
Instituciones Educativas	5
Asociación Agrícola	6
Ninguna	35
Otras	7

De acuerdo con la investigación realizada para esta microcuenca el 94% de las personas considera la agricultura como sustento económico para su familia, sin embargo el uso

excesivo de agroquímicos está generando contaminación del suelo conjuntamente con la remoción de la cobertura vegetal para la implementación de sistemas agrícolas, lo que está generando una degradación del suelo por erosión. Según los estudios realizados por Montatixe C. (2020) se determinó que la causa principal de la degradación del suelo en la parroquia Emilio María Terán, Tungurahua-Ecuador es provocada por la erosión antropogénica, el tipo de riego, el uso inadecuado de agroquímicos, y diferentes fuentes de contaminación

En la microcuenca Quitumbe la pérdida anual de suelo tiene un promedio de 58,6 t/ha/año lo cual esta considera como una pérdida considerable para el área, este valor es apreciable a simple vista ya que los encuestados consideran niveles altos (2-4) en la zona. No se evidenciaron prácticas de manejo del suelo que minimicen la degradación de este. En el estudio desarrollado por Olivares B. (2015) se aplicó el modelo USLE en parcelas de erosión bajo prácticas de conservación de suelos y aguas en la parroquia San Pedro de Melipilla, Chile tuvo como resultado una erosión significativa ( $> 2,5 \text{ Mg. ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) con prácticas de manejo que favorecieron la erosión, como suelo desnudo y labranza tradicional, ya que los valores estimados por el modelo no superaron el 50 % del valor de erosión observado, con una probabilidad de 0,05 Olivares B. (2015).

El 68% de los encuestados manifiesta que no existen capacitaciones sobre el manejo del recurso suelo, el resto de la población encuestada declara que existen capacitaciones por parte del Ministerio de Agricultura, mismas que no se dan de forma frecuente y no hacen énfasis en la recuperación de suelo degradados por la erosión. La Educación ambiental en las instituciones, organizaciones y actores sociales de la comunidad de San Andrés, demostró que aún son insuficientes los conocimientos y acciones que se realizan a nivel local, para detener o eliminar los principales problemas ambientales que afectan la comunidad, condicionados fundamentalmente por la acción antrópica Sanchez A. (2009).

#### 4.4. Propuesta de estrategias de manejo del suelo en la quebrada Quitumbe

La implementación de terrazas como técnica de conservación de suelos, puede brindar una oportunidad para incrementar la diversidad ambiental y mejorar el funcionamiento general del ecosistema (Zaccagnini y Canavelli, 2001). La restauración de suelo se debe establecer especies arbóreas que se encuentren en remanentes de vegetación de la región según Lugo y Helmer 2004.

La microcuenca Quitumbe evidencia superficies mayoritariamente agrícolas considerándose esta actividad como base de la economía de muchas familias. Para realizar un análisis de esta situación se realizó una verificación de campo donde se identificaron los principales problemas relacionados a la erosión hídrica, así como sus ventajas para posteriormente realizar las estrategias de manejo de suelo mediante un análisis FODA.

Lo detallado se presenta a continuación.

**Tabla 38.** Análisis FODA identificados en la Microcuenca Quitumbe

<b>Análisis de erosión del suelo en la Microcuenca de la Quebrada Quitumbe</b>	
<b>Análisis interno</b>	<b>Análisis externo</b>
<b>FORTALEZAS</b>	<b>OPORTUNIDADES</b>
-limitación en la ganadería intensiva.	-Tipos de suelos presentes en el área de estudio.
-limitación en el uso de maquinaria pesada para la labranza del suelo.	-Programa Nacional de Reforestación
-Implementación de agricultura orgánica.	-Programa Socio Bosque.
-Implementación de técnicas de reforestación y forestación	-MAG (Agricultura climáticamente responsable)
-Técnicas de terrazas para protección del suelo	
-Cercas vivas	

DEBILIDADES	AMENAZAS
-Zonas con pendientes pronunciadas distribuidas parcialmente en el área.	-Precipitaciones con mayor frecuencia en zonas de poca cobertura vegetal.
-Usos de suelo con cultivos de ciclo corto	-Desastres naturales
-Prácticas de conservación de suelo en la microcuenca.	-Control en el incumplimiento de la normativa local que protege los suelos.
-Uso excesivo de agroquímicos en suelos poco fértiles.	-Ambigüedad en leyes que limiten los cultivos en pendientes pronunciadas.
-Remoción de la cobertura vegetal para implementación sistemas agrícolas.	-Educación deficiente sobre el recurso suelo.
-Labranzas en sentido de la pendiente	

Para el desarrollo de este objetivo se plantearon lineamientos para la conservación de suelo de acuerdo con las principales problemáticas identificadas en la microcuenca así como sus fortalezas (implementación de monocultivos en pendientes pronunciadas, excesivo uso de agroquímicos, deforestación, labranza en sentido de la pendiente, poco conocimiento sobre la normativa de protección de cuencas hidrográficas, tipos de suelo, programas de conservación y reforestación, incentivos). Se propuso tres estrategias para el manejo del recurso suelo según el Plan Nacional de Restauración Forestal 2019. Los cuales se describen a continuación: diversificación de cultivos y reducción en el consumo de agroquímicos, reforestación con especies nativas y educación ambiental; esto será posible con el apoyo de las comunidades de Quitumbe, Imantag, El Morlan, El Morlan bajo, Chiriacu y Parcasacha, esta población tiene relación directa al estar inmersas en el área de estudio.

A continuación, se presentan los programas que permitirán el manejo del suelo con base al estudio de este.

#### **4.4.1. Programa 1. Diversificación de cultivos y reducción en el consumo de agroquímicos**

En la actualidad la agricultura moderna y de subsistencia implementada especialmente por los agricultores con escasos recursos técnicos y económicos, trae resultado el uso excesivo de plaguicidas y fertilizantes sintéticos y de la especialización del

monocultivo, que conllevan a una degradación progresiva del suelo. Esta problemática ha tenido un impacto nocivo sobre la diversidad de los recursos y las variedades de cultivos sobre la diversidad de los ecosistemas. De tal forma este proyecto está enfocado a proponer buenas prácticas agrícolas (diversidad de la vegetación dentro y alrededor un agroecosistema, permanencia de diversos cultivos, la intensidad del manejo y el grado de aislamiento del agroecosistema con relación a la vegetación natural) que conlleven a la disminución del uso de agroquímicos en el área. La implementación de estas técnicas beneficiará a los pobladores dentro de la microcuenca (Tabla 39).

### **Objetivo general**

- Proponer técnicas agrícolas responsables que conlleven a la disminución de uso y abuso de los agroquímicos, para así mitigar la degradación del suelo y generar condiciones en los cultivos.

### **Objetivos específicos**

- Desarrollar una diversidad en los cultivos agrícolas para poder aportar así mejores nutrientes al suelo cambiando su condición de erosión potencial.
- Capacitar en técnicas de sistemas agrícolas orgánicos para mitigar la degradación de suelos.
- Exhortar las prácticas de conservación de suelos convirtiéndolos en sumideros de carbono.

**Tabla 39. Diversificación de cultivos y reducción en el consumo de agroquímicos**

Proyecto	Alcance	Actividades	Indicadores	Responsabilidades	Presupuesto
Diversidad de cultivos agrícolas.	Zonas agrícolas rurales Microcuenca Quitumbe	<p>Talleres sobre un plan de acción para la diversificación de cultivos adaptados al clima.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incorporar cultivos de leguminosas, separando los mismos en espacio y tiempo evitando que sean susceptibles a pestes y enfermedades.</li> <li>• Realizar asociación entre cultivos con especies leñosas evitando así mayor pérdida de suelo por erosión hídrica.</li> </ul>	<p>Numero de Talleres convocadas por el Gad Parroquial de Imantag</p> <p>Registro fotográfico y de asistencia</p>	<p><b>*GAD</b> Municipal y Parroquial (socialización- apoyo técnico-plantas)  <b>Comunidad</b> (mingas comunitarias)  <b>**MAATE</b> (personal técnico)-<b>GPI</b> (plantas)  <b>***MAG</b> (personal técnico- plantas)</p>	<b>3 250,00</b>
Prácticas de conservación de suelos.	Zonas agrícolas rurales Microcuenca Quitumbe	<p>Capacitaciones sobre periodos de descanso o roza para el suelo recuperando así el carbono e intensificando los resultados con la siembra de pastos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementación de una agrosilvicultura como medida inmediata en suelos poco fértiles.</li> <li>• Uso de cultivos de cobertura para evitar el suelo desnudo.</li> <li>• Implementación de cultivos terrazas en laderas como acción a la erosión.</li> </ul>	<p>Numero de Asambleas convocadas por el Gad Parroquial de Imantag</p> <p>Registro fotográfico y de asistencia</p>	<p><b>MAG</b> (personal técnico)  <b>MAE</b> (personal técnico)  <b>Comunidad</b> (mingas comunitarias)  <b>GAD</b> Parroquial (socialización- apoyo técnico)</p>	<b>2 100,00</b>

Técnicas de sistemas agroforestales orgánicos.	Zonas agrícolas rurales Microcuenca Quitumbe	Capacitar de forma inmediata a los líderes comunitarios en técnicas agroforestales orgánicas, cultivo moderado en pendientes, disminución en el uso de agroquímicos. Este se prevé realizar con el apoyo de varias instituciones.	Numero de Talleres convocadas por el Gad Parroquial de Imantag  Registro fotográfico y de asistencia	<b>MAG</b> (presupuesto económico) <b>MAATE</b> (personal técnico) <b>GPI</b> (presupuesto económico) <b>GAD</b> Parroquial (socialización- apoyo técnico-presupuesto económico)	<b>3 300,00</b>
<b>TOTAL</b>					<b>8 650,00</b>

\*GAD Parroquial y Municipal-Comunidades, responsables de la gestión para el manejo integro de la microcuenca Quitumbe.

\*\* MAATE encargado de las capacitaciones sobre forestación y reforestación. GPI (incentivos).

\*\*\* MAG Encargados de socialización de buenas prácticas agrícolas e incentivos.

#### **4.4.2. Programa 2. Reforestación con especies nativas**

La remoción de la cobertura vegetal para el establecimiento de sistemas agrícolas es una realidad en la microcuenca Quitumbe, siendo este un medio de subsistencia en la mayoría de la población se pretende generar las acciones pertinentes para el cumplimiento del Objetivo 15 ODS, “*Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad*”, la realidad inmersa en las comunidades de la microcuenca es diversa, sin embargo se tiene como factor común la agricultura como sustento económico por lo que reforestar grandes cantidades de tierra con especies nativas no es económicamente sustentable para el agricultor, este proyecto pretende implementar técnicas que sean ajustables a los sistemas ya establecidos en el sector Tabla 40.

##### **Objetivo general**

- Desarrollar un sistema de conservación con especies nativas *in situ* que reconozca los valores de biodiversidad de ciertas áreas.

##### **Objetivos específicos**

- Regeneración natural asistida en la parte alta de la microcuenca donde quedan remanentes de bosque.
- Capacitar en técnicas de reforestación para mitigar la degradación de suelos.
- Reforestación, revegetación y enriquecimiento en zonas estratégicas de la microcuenca.

**Tabla 40. Reforestación con especies nativas**

Proyecto	Alcance	Actividades	Indicadores	Responsabilidades	Presupuesto
Regeneración natural asistida	Zonas agrícolas rurales Microcuenca Quitumbe	-Capacitación sobre el cercado Control y vigilancia. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erradicación de especies invasoras</li> </ul> -Implementación de medidas para facilitar la dispersión por especies de fauna	Numero de Talleres convocadas por el Gad Parroquial de Imantag. Registro asistencia de reuniones con instituciones externas  Registro fotográfico y de asistencia	* <b>Comunidad</b> (mingas comunitarias) <b>GAD</b> Parroquial (socialización- apoyo técnico) ** <b>MAATE</b> (personal técnico)	<b>2 650,00</b>
Reforestación, revegetación y enriquecimiento.	Zonas agrícolas rurales Microcuenca Quitumbe	-Taller sobre plantado y enriquecimiento con especies nativas y naturalizadas que inicien la sucesión ecológica. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Plantaciones en línea en sistemas agrícolas.</li> <li>• Incorporación de especies arbóreas en pendientes fuertes</li> <li>• Implementación de especies de sombra para ganado</li> </ul> -Mantenimiento de las áreas en procesos de restauración <ul style="list-style-type: none"> <li>• Post aprovechamiento forestal</li> </ul>	Numero de Talleres convocadas por el Gad Parroquial de Imantag  Registro fotográfico y de asistencia	<b>MAATE</b> (personal técnico) <b>GPI</b> (plantas) <b>Comunidad</b> (mingas comunitarias) <b>GAD</b> Parroquial (socialización- apoyo técnico-plantas) <b>MAG</b> (personal técnico-plantas)	<b>3 900,00</b>

Técnicas de reforestación.	Zonas agrícolas rurales Microcuenca Quitumbe	Capacitación en temas de forestación enriquecimiento de sistemas agroforestales y enriquecimiento de sistemas silvopastoriles.	Numero de Talleres convocadas por el Gad Parroquial de Imantag Registro asistencia de reuniones con instituciones externas  Registro fotográfico y de asistencia	<b>MAG</b> (presupuesto económico) <b>MAE</b> (personal técnico) <b>GAD</b> Parroquial (socialización- apoyo técnico)	<b>1 200,00</b>
<b>Total</b>					<b>7 750,00</b>

\*\*GAD Parroquial y Municipal-Comunidades, responsables de la gestión para el manejo integro de la microcuenca Quitumbe.

\*\* MAATE encargado de las capacitaciones sobre forestación y reforestación. GPI (incentivos).

\*\*\* MAG Encargados de socialización de buenas prácticas agrícolas e incentivos.

#### **4.4.3. Programa 3. Educación ambiental**

La estrategia de educación ambiental se realiza con base a la preparación en temas técnicos sobre el manejo adecuado del suelo, logrando un equilibrio ecológico en las áreas más afectadas de la microcuenca (Tabla 41).

##### **Objetivo general**

- Ejecutar programas técnicos ambientales que permitan capacitar a los actores principales del área de estudio, generando así un desarrollo sostenible en la microcuenca Quitumbe.

##### **Objetivos específicos**

- Solicitar el apoyo técnico de las diferentes instituciones para que imparta sus conocimientos ambientales a las comunidades.
- Contar con capacitaciones permanentes con el apoyo del GAP de Imantag.
- Incentivar al desarrollo sustentable de la microcuenca por medio de incentivos.

**Tabla 41. Educación ambiental**

<b>Proyecto</b>	<b>Alcance</b>	<b>Actividades</b>	<b>Indicadores</b>	<b>*Responsabilidades</b>	<b>Presupuesto</b>
Apoyo técnico	Zonas agrícolas rurales Microcuenca Quitumbe	MAG- Capacitaciones sobre establecimiento de sistemas agrícolas orgánicos sustentables.  MAE capacitaciones en campo sobre conservación y restauración ecológica.	Registro asistencia de reuniones con instituciones externas  Registro fotográfico y de asistencia	<b>*Comunidad</b> (mingas comunitarias) <b>*GAD</b> Parroquial (socialización- apoyo técnico) <b>**MAATE</b> (personal técnico)	<b>2 400,00</b>
Capacitaciones permanentes	Zonas agrícolas rurales Microcuenca Quitumbe	El personal técnico del GAD Parroquial realizara juntas permanentes con las comunidades sobre desarrollo sustentable del suelo.  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cumplimiento de la normativa que protege de forma íntegra las cuencas hidrográficas COOTAD (2010).</li> <li>• Proyectos de normativa municipal que limiten el establecimiento de sistemas agrícolas en pendientes pronunciadas.</li> </ul>	Registro asistencia de reuniones con instituciones externas  Registro fotográfico y de asistencia	<b>GPI</b> (apoyo económico) <b>Comunidad</b> (asistencia a talleres) <b>GAD</b> Parroquial (socialización- apoyo técnico)	<b>3 000,00</b>

Desarrollo sustentable de la microcuenca.	Zonas agrícolas rurales Microcuenca Quitumbe	<p>-Coordinar con el GAP Parroquial el apoyo de organizaciones que incentiven el cuidado del medio ambiente.</p> <p>-Difusión y aplicabilidad de la normativa que protege el buen uso del suelo y sanciona el daño ocasionado al medio ambiente especialmente a las personas dedicadas a la agricultura.</p>	<p>Registro asistencia de reuniones con instituciones externas</p> <p>Registro fotográfico y de asistencia</p>	<p><b>MAG</b> (presupuesto económico)  <b>MAATE</b> (personal técnico)  <b>GAD</b> Parroquial (socialización- apoyo técnico)  <b>Comunidad</b> (beneficiarios)  <b>GPI</b> (apoyo económico)</p>	<b>2 360,00</b>
<b>TOTAL</b>					<b>7 760,00</b>

\*\*GAD Parroquial y Municipal-Comunidades, responsables de la gestión para el manejo integro de la microcuenca Quitumbe.

\*\* MAATE encargado de las capacitaciones sobre forestación y reforestación. GPI (incentivos).

\*\*\* MAG Encargados de socialización de buenas prácticas agrícolas e incentivos.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES

Los factores que tienen mayor incidencia en la erosión hídrica del suelo de acuerdo con el modelo RUSLE son el factor LS con valores máximos de 34,4, seguido del factor R con una agresividad climática promedio de 108,23 mm/año y valores máximos de R de 411,12 Mj.mm/ha\*h\*año donde se determinó datos de 58.6 t/ha/año correspondiente a valores categorizados según la FAO como alta susceptibilidad a erosión hídrica.

De acuerdo con los rangos de erosión en esta investigación se demostró que la erosión moderada ocupa 336,95 ha (44,30%) y la erosión muy severa con unas 2,08 ha (0,27%). Estos datos muestran pérdidas de suelo superior a 10 t/ha/año por lo que se puede concluir que los datos de erosión presentan rangos altos en cuanto a pérdida de suelo.

Los suelos donde se presentaron los mayores rangos de erosión hídrica fueron de texturas, franco, franco arcilloso, siendo estos suelos utilizados en actividades agrícolas con cultivos perennes, y cultivos de ciclo corto y largo. Se determinó que la erosión en la microcuenca se debe a la nula aplicación de prácticas de conservación adecuadas, tanto para los tipos de suelos y cultivos lo que conlleva a la sobre explotación y bajo contenido de materia orgánica en el suelo.

Se logró identificar que los impactos socioambientales de mayor intensidad coinciden con la expansión de la frontera agrícola con pendientes pronunciadas y exceso uso de agroquímicos en el suelo, el 67% de las personas encuestadas se dedican a esta actividad considerándola como el sustento económico para su familia, en consecuencia, la pérdida anual de suelo se encuentra en valores altos apreciables a simple vista como mencionan el 78% de encuestados.

La aplicabilidad de las estrategias para la conservación del recurso propuestas pueden minimizar la erosión actual y potencial de los suelos en la microcuenca Quitumbe principalmente con la restauración de especies arbóreas en áreas donde el suelo se encuentra desprovisto de vegetación y la erosión es mayor a 200t/ha/año.

## **6. RECOMENDACIONES**

Continuar con la investigación relacionada con la erosión hídrica del suelo ya que se pudo evidenciar el desencadenamiento de diferentes problemáticas como la disminución del caudal y conflictividad en el uso de agua en las épocas de verano principalmente.

Se recomienda la sistematización e implementación de estaciones meteorológicas e hidrológicas en áreas estratégicas representadas por cuencas hidrográficas para facilitar el estudio de factores temáticos como la erosión, ya que es una problemática que se está intensificando en alguna de las cuencas ecuatorianas.

Se recomienda la implementación de normativa local y estatal que proteja a las cuencas hidrográficas del establecimiento de sistemas agrícolas no tecnificados en pendientes pronunciadas que superan el 30% de la superficie intensificando los problemas de erosión del suelo.

Se debe tener continuidad en el estudio de erosión del suelo en la microcuenca analizando de forma individual cada uno de los factores de acuerdo con el modelo RUSLE para adoptar medidas de mitigación que ayuden a minimizar las áreas de erosión potencial.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arnoldus, J. Arab, J. Geosci (1980). Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco. *FAO Soils Bulletin*, (34), 39–51.
- Astier, C.M., Mass-Moreno, M. y Etchevers, B.J. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelo en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36: 605-620  
Recuperado de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572/541>.
- Ayres Q. (1960). *La erosión del suelo y su control*. Barcelona, España. Ediciones Omega S.A.
- Becerra, A. (2005). *Escorrentía, erosión y conservación de suelos*. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Bertoni, J. y Lombardi Neto, F. 1985. *Conservação do solo*. Piracicaba, Livroceres, 392 p. tomado de <http://www.fao.org/3/t2351s/T2351S06.htm>.
- Beyond Pesticides. 2018. What Is Integrated Pest Management? In: *Beyond Pesticides* recuperado el 3 April 2020. De <https://beyondpesticides.org/resources/safety-source-on-pesticideproviders/what-is-integrated-pest-management>.
- Cachada, A., Rocha-Santos, T. & Duarte, A.C. 2018. Chapter 1 - Soil and Pollution: An Introduction to the Main Issues. *Soil Pollution*, pp. 1–28. Academic Press. (also available at <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128498736000017>).
- Campaña, D., (2015). *Aplicación del modelo RUSLE para el cálculo de erosión hídrica en la Microcuenca del río Perlaví*. Tesis de grado. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/5225/1/T-UCE-0004-36.pdf>. el 29/05/2020.
- Castro, I. 2013. Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madín, México. *Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental*. 34 (2): 3-15 pp.
- Ceballos, M. M. (2004) “Manual para el desarrollo del mapeo de actores claves – MAC”, elaborado en el marco de la consultoría técnica GITEC-SERCITEC.
- CEDIG. (1986). *La erosión en el Ecuador*. Recuperado de [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers08-01/23658.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers08-01/23658.pdf).

- Chmelová, R., y Sarapatka B. (2002). "Soil Erosion by Water: Contemporary Research Methods and their Use", *Geographia* 37.
- Cochran, W.G. (1977). *Sampling techniques*. 3ª ed., Londres, John Wiley & Sons, Inc., 428p. Recuperado de <http://www.fao.org/3/x2465s/x2465s09.htm#TopOfPage>
- Código orgánico del ambiente. Registro Oficial Suplemento No. 983, Ecuador, 12 de abril de 2017.
- Cubero Fernández, D. (1994). *Manual de manejo y conservación de suelos y aguas*. Costa Rica; s. n.
- De Noni, G, Viennot, M., y Trujillo, G. (1986). La erosión agrícola de los suelos en el Ecuador. En ORSTOM, *La erosión antrópica* p. 18. Quito: s/n.
- Decreto Legislativo. Constitución de la república del Ecuador. Registro Oficial No. 449, Ecuador, 20 de octubre de 2008.
- Decreto No 3516-2015. Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados. Registro Oficial Edición Especial No. 387, Ecuador, 04 de noviembre de 2015.
- Decreto No 650-2015. Reglamento ley de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua. Registro Oficial Suplemento No. 483, Ecuador, 20 de abril de 2015.
- Decreto No 752-2019. Reglamento al código orgánico del ambiente. Registro Oficial Suplemento No. 507, Ecuador, 12 de junio de 2019.
- Delgado, F., 2009. *Introducción a la conservación del suelo en tierras altas en Venezuela*. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- Delgado, K. y Ramos, Y. (2017). *Evaluación del impacto socioambiental causado por la actividad minera en las comunas de Angostura y Playa de Oro, Cantón Eloy Alfaro, Provincia de Esmeraldas (Tesis de Pregrado)*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Díaz de Rada, V. (2007). El trabajo de campo con encuesta presencial: Algunas reflexiones derivadas de la práctica profesional. *Investigación y Marketing*, 96, 11- 26.
- Dourojeanni, A. (2000). *Procedimientos de gestión para el desarrollo sustentable*. Santiago de Chile. Eclac.
- Dourojeanni. (1993). *Procedimientos de gestión para un desarrollo sustentable*. ONU/CEPAL. Santiago de Chile, Chile. Duarte, R. 1990. *Contribución del representante y jefe de la misión diplomática de la FAO en México al Primer*

- Simposium Nacional sobre Degradación de Suelos. pp. 97-103. In: Memorias del Simposium. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Duarte, R. 1990. Contribución del representante y jefe de la misión diplomática de la FAO en México al Primer Simposium Nacional sobre Degradación de Suelos. pp. 97-103. In: Memorias del Simposium. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- European Commission 2002. Integrated Crop Management Systems in the EU., p. 157. No. 1882/BDB/May 2002. European Commission DG Environment.
- FAO (2018). Erosión y pérdida de fertilidad del suelo. FAO. Obtenido el 27/03/2021 de: <http://www.fao.org/3/t2351s/T2351S06.htm>
- FAO y GITPS. 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR) - Main Report. Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. (also available at <http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>).
- FAO. (2000). Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de tierras y aguas de la FAO N°8. Roma. Consultado en 20 de Marzo de 2021. Disponible en: <http://books.google.com.bo/books?id=->
- FAO. (2010). Global Forest Assessment 2010: Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Forestry Paper 163. Recuperado de [[www.fao.org/forestry/fra/en/](http://www.fao.org/forestry/fra/en/); accessed: verified March 2013]
- FAO. (2015). El estado de los recursos de suelos en el mundo. Recuperado de <http://www.fao.org/news/story/es/item/357165/icode/>.
- FAO. (2020). Portal de Suelos de la FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/es/>.
- FAO, MAGBMA y CAFI. (2018). Estudio de las causas de la deforestación y degradación forestal en Guinea Ecuatorial 2004-2014. 13-69. Recuperado el 18 de Septiembre de 2021, de <http://www.fao.org/3/CA0399ES/ca0399es.pdf>.
- Figuerola, S., Amante, O., Cortés, H., Pimentel L., Osuma, C. et al (1991). Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión SARH. México: Colegio de Posgraduados. Centro regional para estudios de zonas áridas y semiáridas.
- GAD Ibarra. (2017). Plan Provincial de Riego y Drenaje de Imbabura. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Ibarra. Recuperado de [www.imbabura.gob.ec](http://www.imbabura.gob.ec).

- GAD Parroquial de Imantag (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDyOT). Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Imantag. Imbabura.
- García, F., Ernst, O., Siri, G. y Terra, J. (2004). Integrating no-till into crop– pasture rotations in Uruguay. *Soil and Tillage Research*, 77(1): 1–13. <https://doi.org/10.1016/j>.
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz, C., Encina, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça, S., Brefin, M., Montanarella, L., Muñiz, O., Schad, P; Vara Rodríguez, M. & Vargas, R. (2014). Atlas de suelos de América Latina y el Caribe. Luxembourg, Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, 176 p.
- Gobierno Vasco (2005). Mapa de erosión de suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi: IDER Ingeniería y Desarrollo Rural, S.A. Recuperado de [https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/mapa\\_erosion/es\\_erosion/adjuntos/memoria.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/mapa_erosion/es_erosion/adjuntos/memoria.pdf).
- Gómez Orea, D. (2003). Evaluación de impacto ambiental: un instrumento preventivo para la gestión ambiental. Mundi-Prensa, Madrid.
- González Hidalgo, J. C. (1996). Los índices de agresividad de la lluvia y su aplicación en la valoración de la erosión del suelo. Cuadernos de la SEG, nº 10. Geoforma Ediciones. Logroño (España).
- Helena Cotler, C. A.-T. (2007). ¿Cuánto nos cuesta la erosión de suelos? Recuperado el 20 de Abril de 2021, de <https://remexcu.org/documentos/boletines/DS-2018-04-%20Cotler.pdf>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (1997). Metodología de la investigación. México. Tomado de [https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n\\_Sampieri.pdf](https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf).
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (2007). Riesgo a la erosión hídrica y proyección de acciones de manejo y conservación de suelo en 32 cuencas de san Luis de potosí. disponible en URL: <http://www.iec.cat/mapasols/DocuInteres/PDF/Llibre31.pdf> (Consulta 29 de marzo de 2021).

- INAMHI, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. 2020. Boletines climáticos y agrícolas. Recuperado el 20/04/2020, de <http://www.serviviometeorologico.gob.ec/boletines-climaticos-y-agricolas>.
- INEC. 2010. «Censo de Población y Vivienda 2010». <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>.
- Jácome, G., Valarezo, C y Yoo, C. (2018). Assessment of water quality monitoring for the optimal sensor placement in lake Yahuarcocha using pattern recognition techniques and geographical information systems. *Environmental Monitoring and Assessments*, 1-15.
- Jácome, G. (2015). *Propuesta de gestión de los conflictos socioambientales generados por el agua de consumo humano dentro de la microcuenca de la Laguna de Yahuarcocha*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Jaramillo, J. (2015). Estudio del riesgo por erosión hídrica del suelo utilizando el modelo U.S.L.E, mediante herramientas S.I.G. Manabí. Tomado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/4235>.
- Kirkby, M., & Morgan, R. (1980). *Erosion del suelo*. John Wiley and Sons Ltd.
- López, J. (2017). *Erosión hídrica en la unidad hidrológica del río Ambato, en un escenario de cambio climático mediante el modelo USLE/RUSLE* (Tesis de Pregrado) Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador.
- Lugo AE, E Helmer. (2004). Emerging forests on abandoned land: Puerto Rico's new forests. *Forest Ecology and Management* 190: 145-61. Recuperado de [https://www.fs.fed.us/global/iitf/pubs/ja\\_iitf\\_2004\\_lugo001.pdf](https://www.fs.fed.us/global/iitf/pubs/ja_iitf_2004_lugo001.pdf) el 12-03-2021.
- Maass, M. M. (1998). “Erosión de suelos en México: una consecuencia de la transformación del hábitat y uno de los problemas más serios de degradación ambiental”, en Toledo G. y M. Leal-Pérez (edit.). *Destrucción del hábitat*. Programa Universitario de Medio Ambiente (PUMA), UNAM
- Magde, C. (2006). *Exploring online research methods in a virtual training environment*. University of Leicester. Recuperado el 11/09/2021, de <https://cdsa.academica.org/000-106/392.pdf>.
- Mardones. (2007). *Influencia de la pendiente y la precipitación en la erosión de taludes desprotegidos*. Obtenido de Universidad de [http://cybertesis.ubiobio.cl/tesis/2011/hernandez\\_d/doc/hernandez\\_d.pdf](http://cybertesis.ubiobio.cl/tesis/2011/hernandez_d/doc/hernandez_d.pdf).
- Miller, T. (1994). *Ecología y medio ambiente*. Grupo Editorial Iberoamérica. México.

- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2013). Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito. Recuperado el 11/08/2021, de [https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDAECOSISTEMAS\\_ECUADOR\\_2.pdf](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDAECOSISTEMAS_ECUADOR_2.pdf)
- Mintegui, J.; López, F. (1990). La ordenación agrohidrológica en la planificación. Victoria, España: Departamento de Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco.
- Montatixe Sánchez, C. I. ., & Eche Enriquez, M. D. . (2021). Degradación del suelo y desarrollo económico en la agricultura familiar de la parroquia Emilio María Terán, Píllaro. *Siembra*, 8(1), e1735. <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i1.1735>
- Morgan, I. (2005). Sistema de información ambiental de la IX región de Chile: deforestación y erosión del suelo. Disponible en URL: <http://www.ima.ufro.cl/siamb/p06011.html>[ consulta 13 de diciembre de 2020]
- Morgan, R.P.C. 1997. Erosión y conservación de suelos. Madrid, España. Consultado el 20 de marzo 2021, disponible en: [http://books.google.cl/books?id=JcFqaFlu1UC&printsec=frontcover&dq=morgan&source=gb\\_s\\_summary\\_r&cad=0#PPP1,M1](http://books.google.cl/books?id=JcFqaFlu1UC&printsec=frontcover&dq=morgan&source=gb_s_summary_r&cad=0#PPP1,M1)
- Oliver, M., A. y Gregory, P., J. 2015. Soil, food security and human health: a review: Soil, food security and human health. *European Journal of Soil Science*, 66(2): 257–276. <https://doi.org/10.1111/ejss.12216>
- Ostovari, Y., Ghorbani-Dashtaki, S., Bahrami, H., Naderi, M., y Melo, J.A.(2017). Soil loss prediction by an integrated system using RUSLE, GIS and remote sensing in semi-arid región. *GEODRS*. 1-44.doi: 10.1016/j.geodrs.2017.06.003
- Pacheco, Henry A., Cevallos, Richard X., Vinces, Carlos. 2019. Calculo del factor C de la RUSLE, en la cuenca del río Carache, TrujilloVenezuela usando imágenes del Satélite Miranda VRSS-1. Recuperado de <https://www.revistaespacios.com> el 22-02-2021.
- Pando, M., Gutiérrez, M., Maldonado, A., Palacio, J., y Estrada, A. (2003). Comparación de métodos en la estimación de erosión hídrica; *Investlgaclones Geográficas*, Boletln del Instituto de Geografla, UNAM Num. 51, 2003, pp. 23-36.
- Paz, A., y Sigua, G., (2013). Phytoremediation: A Green Technology to Remove Environmental Pollutants. *American Journal of Climate Change*, 02(01): 71–86. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2013.21008>

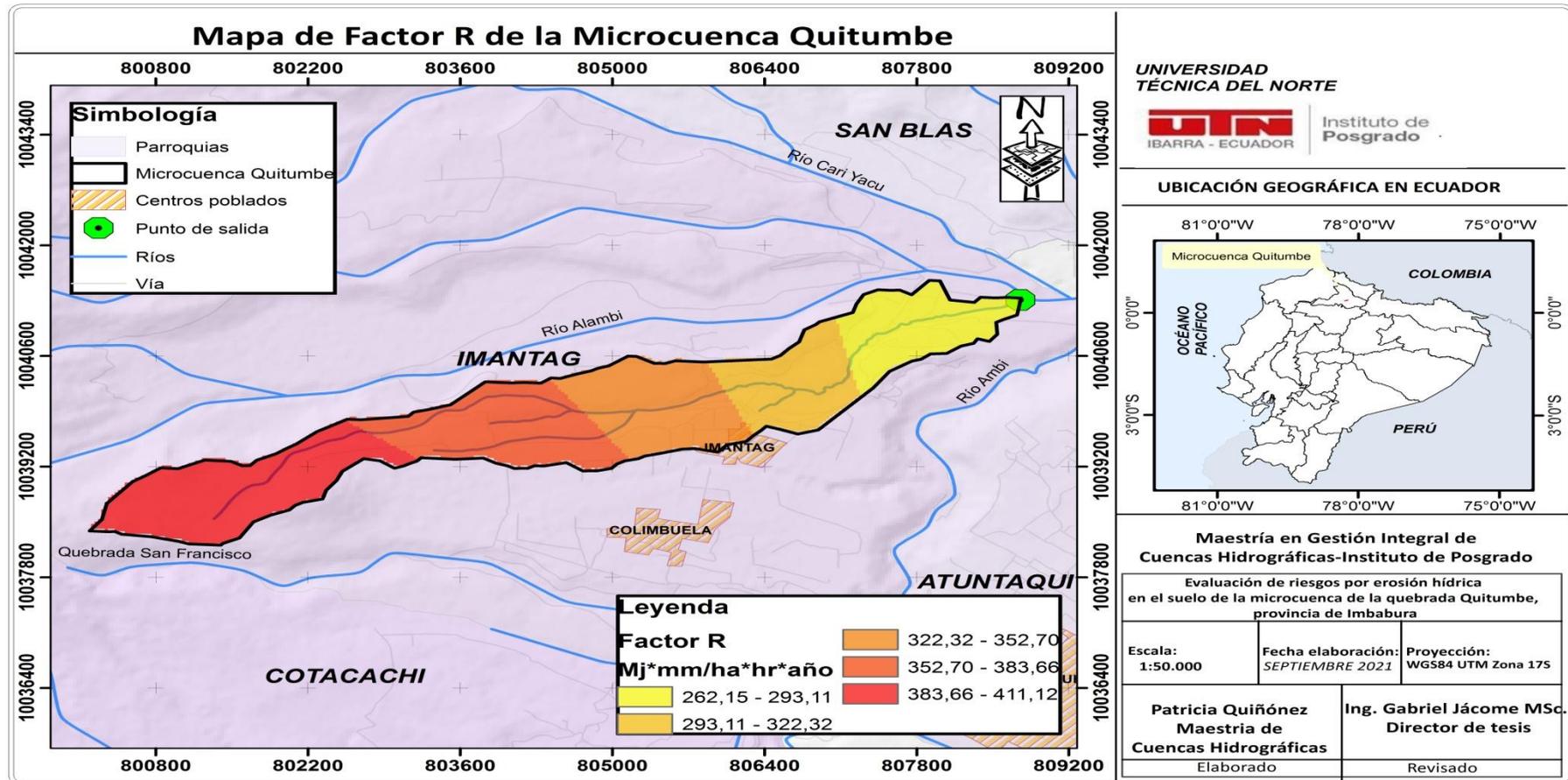
- Pizarro R., Sangüesa C., Flores P., Martínez E. (2005). Elementos de ingeniería hidrológica para el mejoramiento de la productividad silvícola. Talca, Chile.
- Portuguez, M. (.2016). Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río siguas utilizando geoinformatica .Anales Científicos Vol. 76 No 2, pp. 324-329-325. Lima – Perú.
- Raffino, M (2020). Erosión del Suelo. Concepto de erosion. p. 13-14 Recuperado de <https://concepto.de/erosion-del-suelo>.
- Ramos, C. 2001. Modelamiento Ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del rio Cañete y determinación del mapa de erosión (Sistema de Información Geográfica). Consultado el 1 de Setiembre del 2020. Disponible en <http://tarwi.lamolina.edu.pe/~cramost/MODELO%20DE%20EROSION%20HIDRICA%20-%20SIG.pdf>
- Renard, K. Foster, G., Weesies, G., McCool, D. & Yoder, D. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation. Agricultural Research Service (USDA-ARS) Handbook No. 703. US Department of Agriculture: Washington, DC.
- Renard, K. G. y G.R. Foster (1994): “RUSLE revisited: Status, questions, answers, and the future”, Journal of Soil and Water Conservation, vol. 49(3): 213–220.
- Saborío, J. (2002). Informe final: Estudio erosión potencial, cuenca del río Savegre, Costa Rica. Instituto Costarricense de Electricidad, Costa Rica. 41 p
- Saha, J.K., Selladurai, R., Coumar, M.V., Dotaniya, M.L., Kundu, S. & Patra, A.K. (2017). Soil Pollution - An Emerging Threat to Agriculture. Environmental Chemistry for a Sustainable World. Singapore, Springer Singapore. (also available at <http://link.springer.com/10.1007/978-981-10-4274-4>).
- Salazar Yáñez, N. A. (2016). Restauración hidrológico-forestal en una cuenca hidrográfica. Caso de estudio: cuenca del Estero Potrerillos (provincia de Guayas). 172 hojas. Quito: EPN. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15033>. El 21/04/202.
- Sánchez, 2009. Propuesta de capacitación de Educación Ambiental no formal para la comunidad de San Andrés, La Palma, Pinar del Río. Recuperado de <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/xmlui/bitstream/10469/2496/2/Propuesta+de+capacitaci%C3%B3n+de+Educaci%C3%B3n+Ambiental...+Aida+Guadalupe+S%C3%A1nchez.pdf>.

- Scullion, J. (2006). Remediating polluted soils. *Naturwissenschaften*, 93(2): 51–65.  
<https://doi.org/10.1007/s00114-005-0079-5>
- Serna Gómez, H. (2008). *Gerencia Estratégica (DÉCIMA EDICIÓN ed.)*. (Panamericana Editorial Ltda., Ed.) Bogotá, Colombia: 3R Editores.  
Recuperado el agosto 27, 2021, de [file:///C:/Users/hp/Documents/sextosemestre/planificacionestrategica/Libro\\_gerencia-estrategica-humberto-serna-gomez.pdf](file:///C:/Users/hp/Documents/sextosemestre/planificacionestrategica/Libro_gerencia-estrategica-humberto-serna-gomez.pdf)
- SIGTIERRAS, (2017). *Mapa de Órdenes de Suelos del Ecuador*. Escala 1:4 300.000. Quito, Ecuador.
- Silva Arroyave, S. Correa Restrepo, F. (2009). *Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica*. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/seec/v12n23/v12n23a2.pdf> el 24-03-2021.
- Soil Survey Staff, (2006) *Claves para la Taxonomía de Suelos*. Décima edición (2006). Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Washington, Estados Unidos de Norteamérica.
- Suárez F. (1980). *Conservación de suelos*. 3a. edición. San José, Costa Rica. Ed. IICA.
- Suárez, J., 2001. *Control de erosión en zonas tropicales*. Instituto de Investigaciones sobre erosión y Deslizamientos; Universidad Distrital Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Tayupanta J., J. R. (1993). *La erosión hídrica: proceso, factores y formas*. Quito, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Departamento de Suelos. (Boletín Divulgativo no. 229).
- Thompson, A.y Strikland, K.F.C. (1998). *Dirección y administración estratégicas. Conceptos, casos y lecturas*. México: MacGraw-Hill Interamericana. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/292/29212108.pdf> el 12/09/2021.
- USDA. 1951. *Soil Conservation Service. Soil Survey Staff. Soil Survey Manual Handbook 18*. U.S.Govt.Print.Off. Washington, DC. 503 pp.
- USDA. 1978. *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*. Agriculture Handbook Number 537. 69 pp.
- Velásquez, S. 2012. *Erosión de suelos utilizando la EUPSR (RUSLE)*. Notas de clase. Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

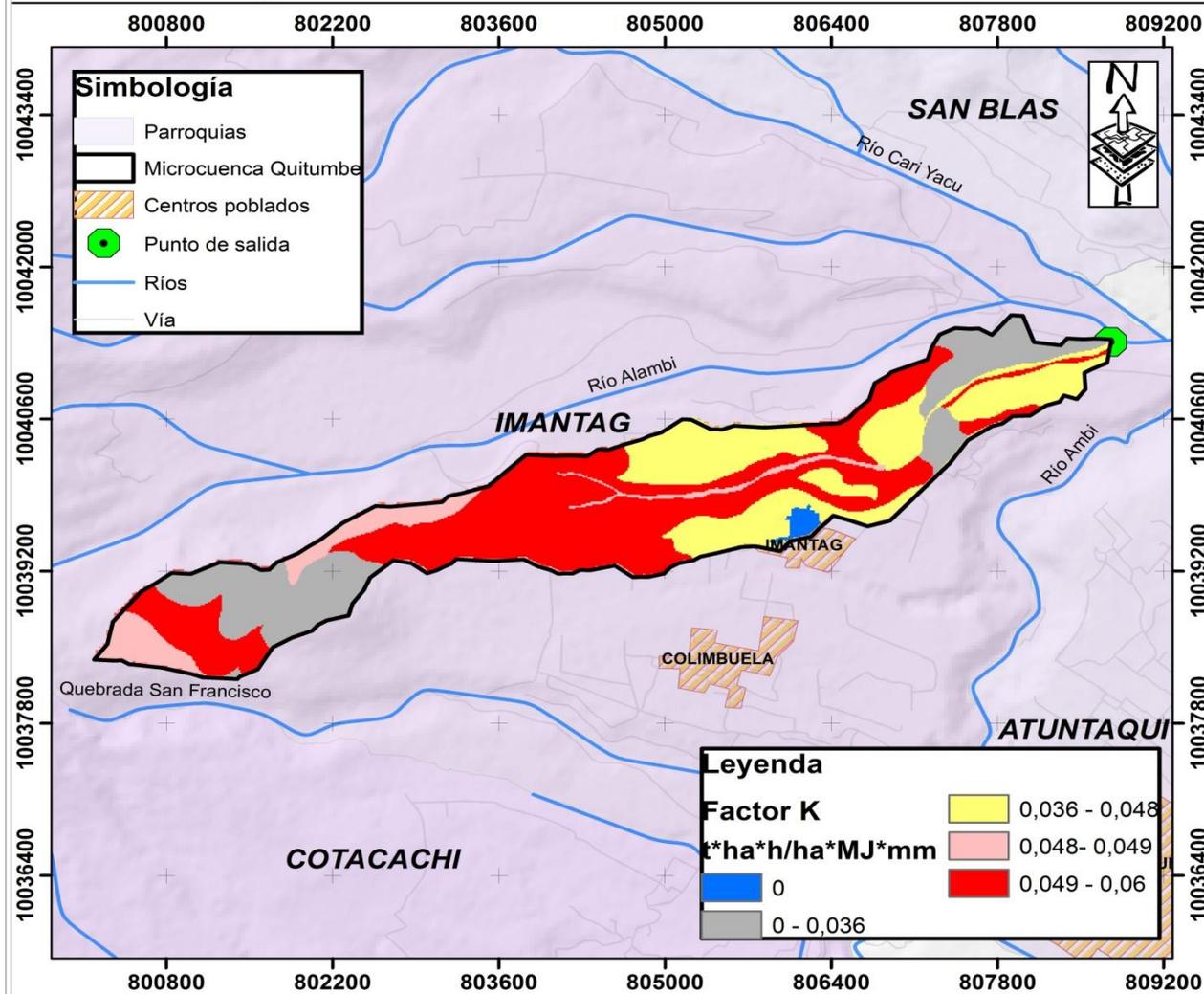
- Wischmeier, W. & Smith, D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. USDA. SEA. Agriculture Handbook p. 537. Washington, D.C.
- Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. (1965). Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains. US: Agr. Handbook
- Yanchapaxl G, y Pozo M. (1995). "Manual ambiental de control de la erosión y conservación de suelos". Quito, Ecuador: Instituto Interamericano de cooperación para la Agricultura, Ministerio de Bienestar Social.
- Zaccagnini M.E. y N. Calamari 2001. Labranzas Conservacionistas, Siembra Directa y Biodiversidad. En: Pág. 29-68: Panigatti, J.L., D. Buschiazzo y H. Marelli Eds. Siembra Directa II. INTA, 377pp.

## 8. ANEXOS

### Anexo 1. Factores utilizados para el cálculo del modelo RUSLE



## Mapa de Factor K de la Microcuenca Quitumbe



UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DEL NORTE



Instituto de  
Posgrado

### UBICACIÓN GEOGRÁFICA EN ECUADOR



### Maestría en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas-Instituto de Posgrado

Evaluación de riesgos por erosión hídrica  
en el suelo de la microcuenca de la quebrada Quitumbe,  
provincia de Imbabura

Escala:  
1:50.000

Fecha elaboración:  
SEPTIEMBRE 2021

Proyección:  
WGS84 UTM Zona 17S

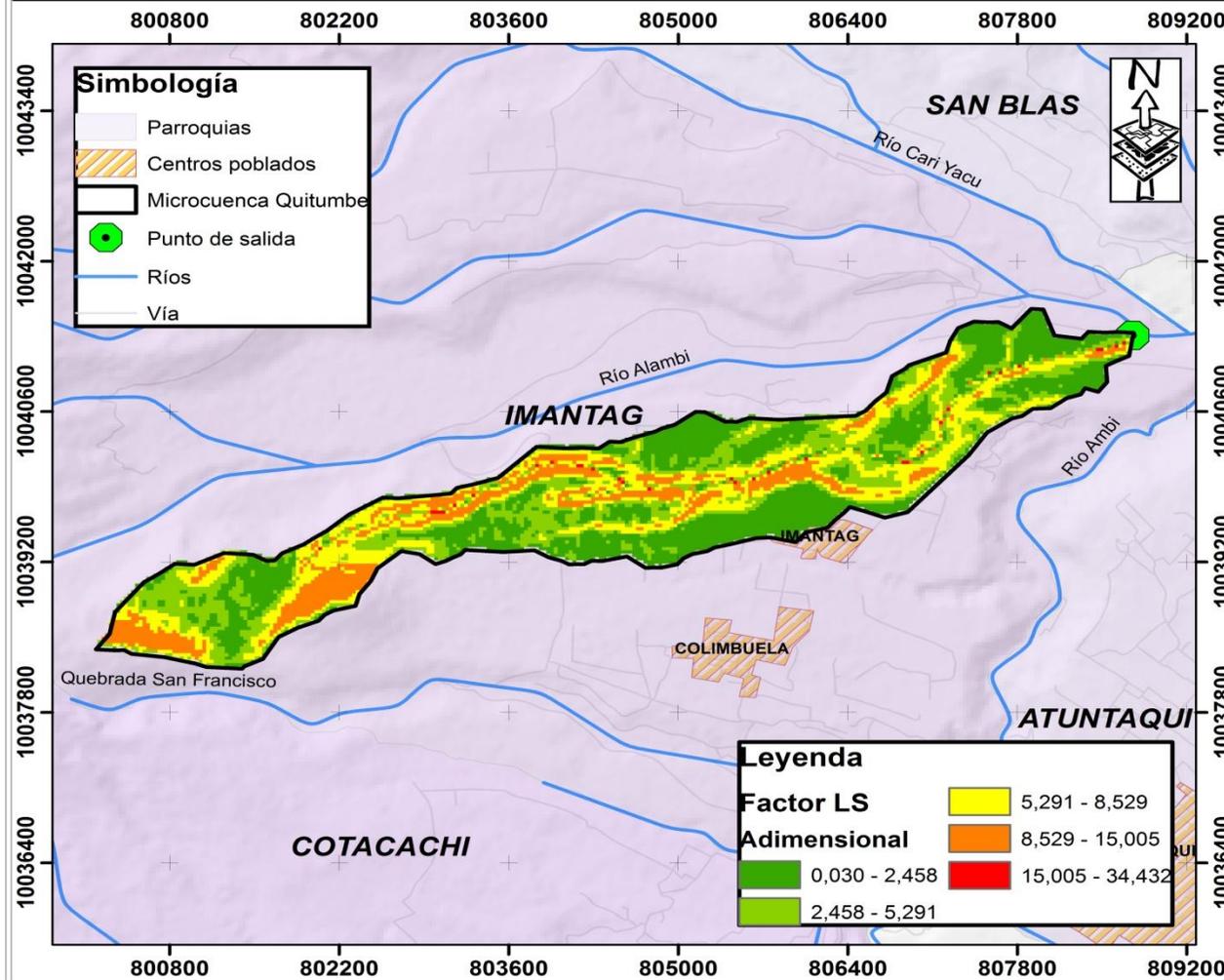
Patricia Quiñónez  
Maestría de  
Cuencas Hidrográficas

Ing. Gabriel Jácome MSc.  
Director de tesis

Elaborado

Revisado

## Mapa de Factor LS de la Microcuenca Quitumbe

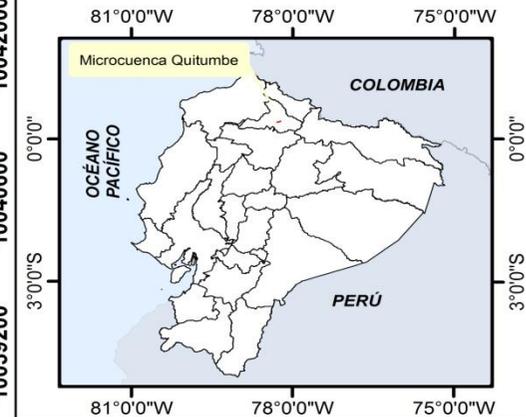


UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DEL NORTE



Instituto de  
Posgrado

### UBICACIÓN GEOGRÁFICA EN ECUADOR



### Maestría en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas-Instituto de Posgrado

Evaluación de riesgos por erosión hídrica  
en el suelo de la microcuenca de la quebrada Quitumbe,  
provincia de Imbabura

Escala:  
1:50.000

Fecha elaboración:  
SEPTIEMBRE 2021

Proyección:  
WGS84 UTM Zona 17S

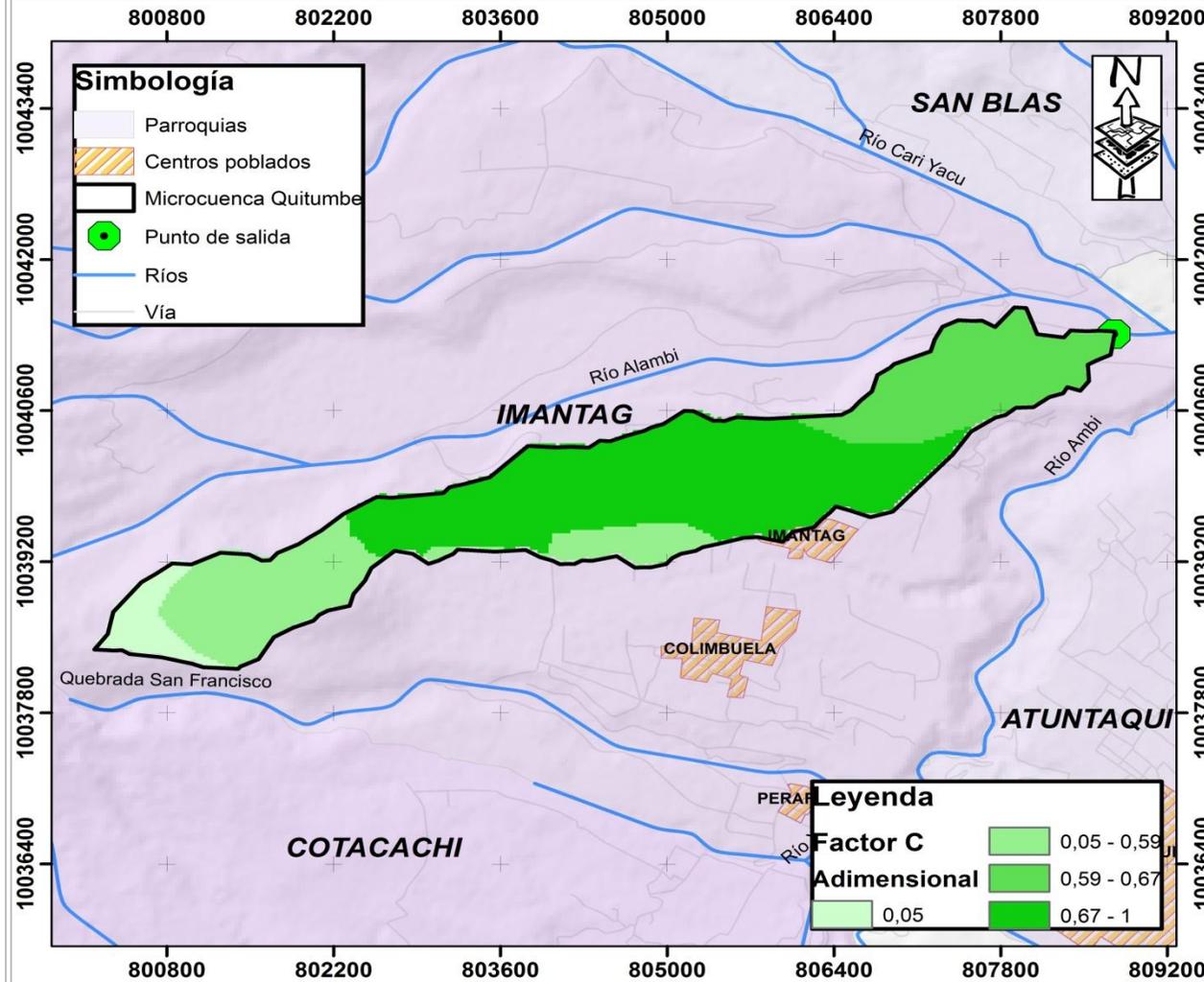
Patricia Quiñonez  
Maestría de  
Cuencas Hidrográficas

Ing. Gabriel Jácome MSc.  
Director de tesis

Elaborado

Revisado

## Mapa de Factor C de la Microcuenca Quitumbe

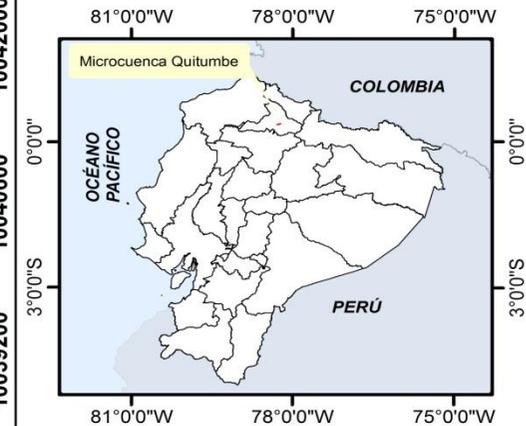


UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DEL NORTE



Instituto de  
Posgrado

### UBICACIÓN GEOGRÁFICA EN ECUADOR



### Maestría en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas-Instituto de Posgrado

Evaluación de riesgos por erosión hídrica  
en el suelo de la microcuenca de la quebrada Quitumbe,  
provincia de Imbabura

Escala:  
1:50.000

Fecha elaboración:  
SEPTIEMBRE 2021

Proyección:  
WGS84 UTM Zona 17S

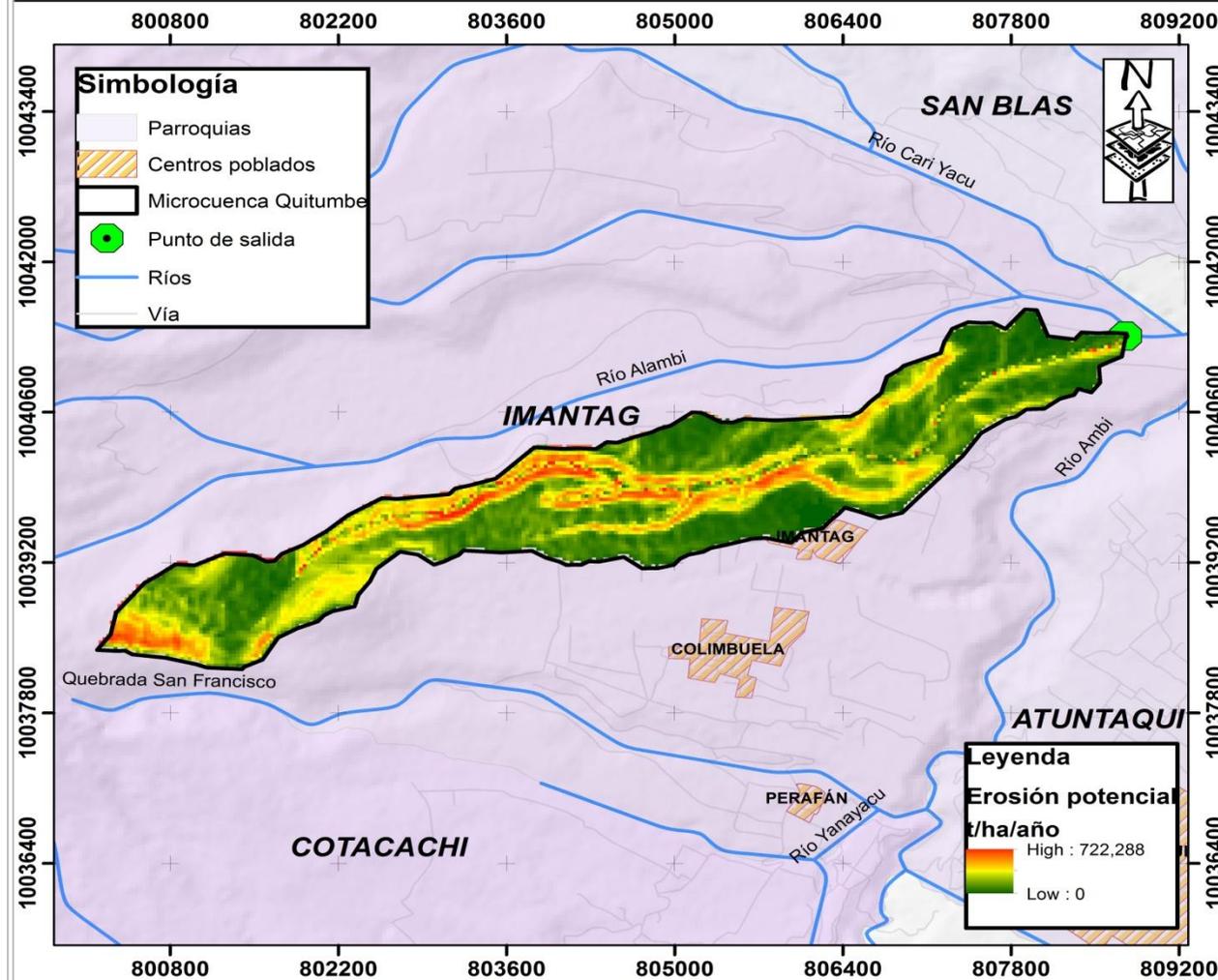
Patricia Quiñónez  
Maestría de  
Cuencas Hidrográficas

Ing. Gabriel Jácome MSc.  
Director de tesis

Elaborado

Revisado

## Mapa de erosión potencial de la Microcuenca Quitumbe

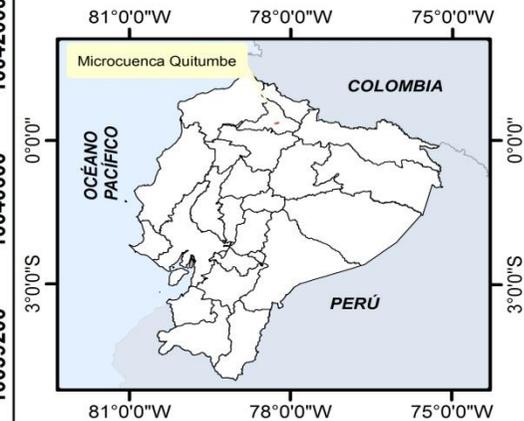


UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DEL NORTE



Instituto de  
Posgrado

### UBICACIÓN GEOGRÁFICA EN ECUADOR



### Maestría en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas-Instituto de Posgrado

Evaluación de riesgos por erosión hídrica  
en el suelo de la microcuenca de la quebrada Quitumbe,  
provincia de Imbabura

Escala:  
1:50.000

Fecha elaboración:  
SEPTIEMBRE 2021

Proyección:  
WGS84 UTM Zona 17S

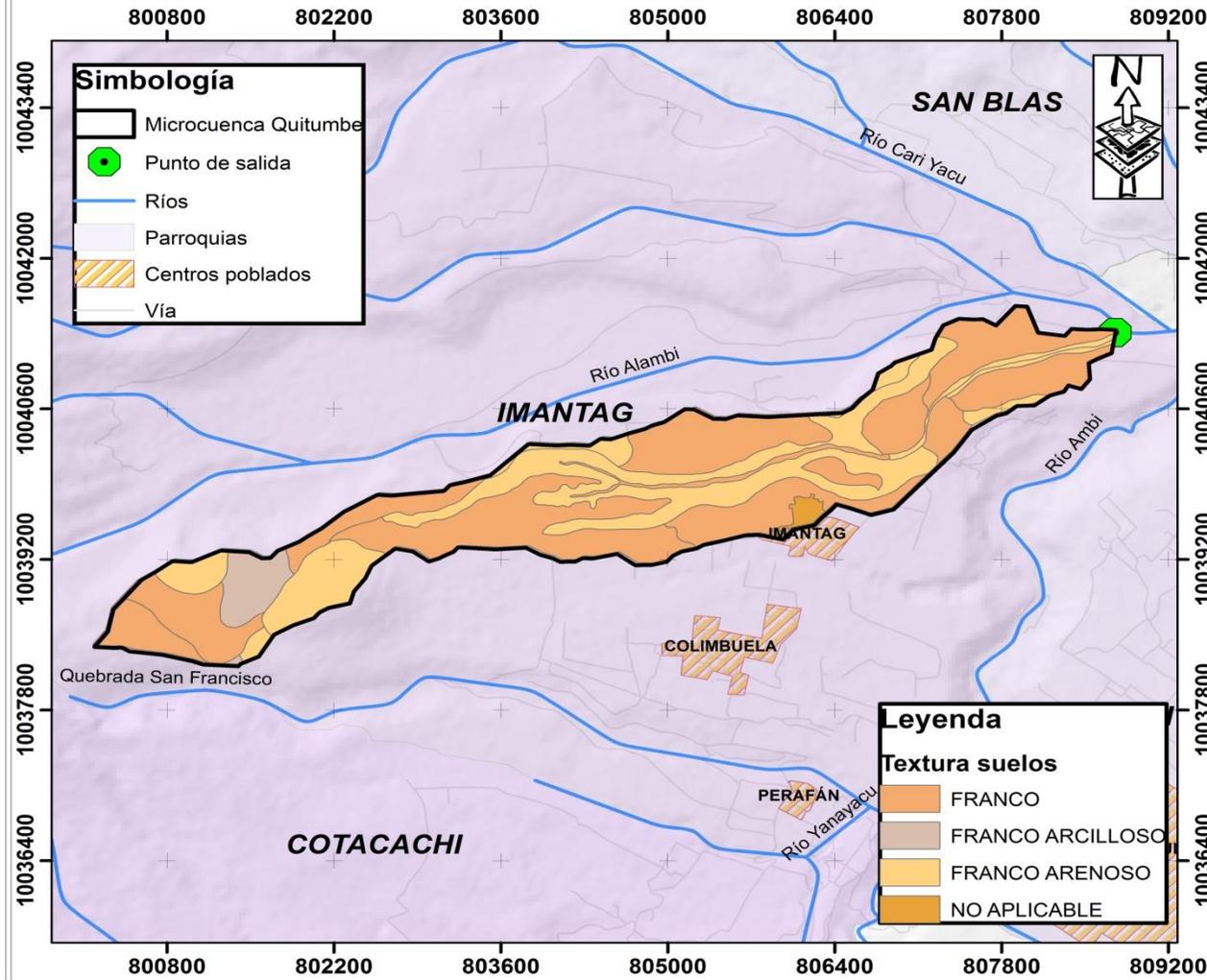
Patricia Quiñónez  
Maestría de  
Cuencas Hidrográficas

Ing. Gabriel Jácome MSc.  
Director de tesis

Elaborado

Revisado

# Mapa de textura de suelos de la Microcuenca Quitumbe

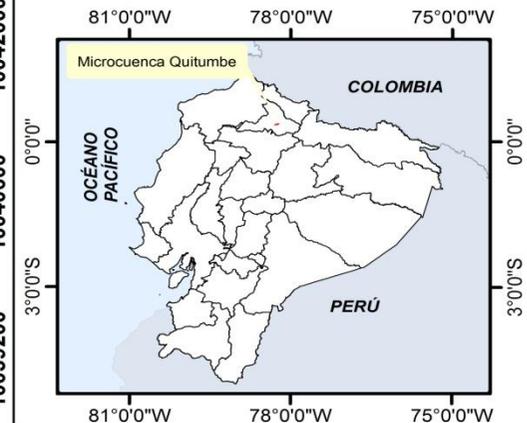


UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DEL NORTE



Instituto de  
Posgrado

## UBICACIÓN GEOGRÁFICA EN ECUADOR



## Maestría en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas-Instituto de Posgrado

Evaluación de riesgos por erosión hídrica  
en el suelo de la microcuenca de la quebrada Quitumbe,  
provincia de Imbabura

Escala:  
1:50.000

Fecha elaboración:  
SEPTIEMBRE 2021

Proyección:  
WGS84 UTM Zona 17S

Patricia Quiñónez  
Maestría de  
Cuencas Hidrográficas

Ing. Gabriel Jácome MSc.  
Director de tesis

Elaborado

Revisado

## Anexo 2. Fotografías del trabajo en campo, microcuenca Quitumbe



**Cultivos en pendientes pronunciadas**



**Áreas con erosión moderada**



**Vegetación xenofita**



**Aplicación de la encuesta a la Comunidad**



**Actividades agrícolas realizadas en el área**



**Actores involucrados en el área**

**Anexo 2. Formulario de encuestas realizada a las comunidades ubicadas dentro de la parroquia Imantag.**



## ENCUESTAS A LA COMUNIDAD LOCAL- PARROQUIA IMANTAG, CANTÓN COTACACHI.

Con la finalidad de desarrollar la investigación titulada "EVALUACIÓN DE RIESGOS POR EROSIÓN HÍDRICA EN EL SUELO DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA QUITUMBE, PROVINCIA DE IMBABURA", para la obtención del título de Magister en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas, se solicita su colaboración en la recolección de datos necesarios para la ejecución de la misma, cabe indicar que esta encuesta es totalmente confidencial y los resultados serán tabulados y se darán a conocer de forma impersonal en la culminación de la investigación. La microcuenca se localiza dentro de la subcuenca del río Alambí y cuenca hidrográfica del río Ambi.

**Objetivo:** Determinar la percepción de los actores sociales sobre los riesgos de la erosión hídrica en el suelo de la microcuenca de la quebrada Quitumbe.

**Instrucciones:** Por favor lea detenidamente cada una de las preguntas descritas y señale su respuesta.

\* Obligatorio

### 1. Edad \*

*Tipología del encuestado*

- 20-30
- 31-40
- 41-50
- 51 a más

2. Sexo \*

*Tipología del encuestado*

Masculino

Femenino

3. Nivel educativo \*

*Tipología del encuestado*

General básico

Bachillerato

Tercer nivel o pregrado (Universitario)

Cuarto nivel, maestría o posgrado

4. Está usted de acuerdo en responder las preguntas de esta encuesta para utilizarlas con fines académicos. \*

*Consentimiento Informado*

Si

No

5. ¿Cuál de estas actividades realiza usted en la microcuenca de la quebrada de Quitumbe, parroquia Imantag-cantón Cotacachi? \*

*Actividades que realiza en la microcuenca de la quebrada de Quitumbe*

Agricultura

Ganadería

Pesca

Otras

6. ¿Cuál de las actividades mencionadas considera usted que ocasionan una degradación progresiva del suelo? \*

*Actividades que realiza en la microcuenca de la quebrada de Quitumbe*

7. ¿ Que nivel de erosión cree usted que la productividad agrícola intensiva ocasiona al suelo? \*

*Impacto socioambiental generado por la erosión hídrica en la microcuenca de la quebrada de Quitumbe- De acuerdo con los niveles descritos 1 se considera el nivel mas bajo y 5 cinco se considera el mas alto.*

1   2   3   4   5  
           

8. ¿ Que nivel de erosión cree usted que la productividad ganadera intensiva ocasiona al suelo? \*

*Impacto socioambiental generado por la erosión hídrica en la microcuenca de la quebrada de Quitumbe- De acuerdo con los niveles descritos 1 se considera el nivel mas bajo y 5 cinco se considera el mas alto.*

1   2   3   4   5  
           

9. ¿En la actualidad, qué nivel de erosión observa usted en el suelo? \*

*Impacto socioambiental generado por la erosión hídrica en la microcuenca de la quebrada de Quitumbe-De acuerdo con los niveles descritos 1 se considera el nivel mas bajo y 5 cinco se considera el mas alto.*

1   2   3   4   5

10. ¿Cuáles de los problemas mencionados a continuación considera que están ocasionando mayor intensidad de erosión hídrica en el suelo de la microcuenca parroquia de Imantag, cantón Cotacachi? \*

*Impacto socioambiental generado por la erosión hídrica en la Microcuenca de la quebrada de Quitumbe*

- Remoción de cobertura vegetal nativa para instalación de sistemas agrícolas de ciclo corto y ciclo largo..
- Establecimiento de sistemas agrícolas intensivos en terrenos con pendientes pronunciadas
- Quema de la cobertura vegetal por creencias culturales
- Inadecuado uso y manejo de los recursos naturales
- Deficiente manejo de los sistemas de producción agropecuarios debido a implementación de una agricultura de subsistencia.
- Implementación de sistemas de riego inadecuados que intensifican la erosión hídrica del suelo
- Uso excesivo de fertilizantes, herbicidas y plaguicidas implementados en sistemas agrícolas comerciales
- Desgaste de los nutrientes del suelo por el establecimiento de cultivos de una sola especie
- Sobreexplotación del suelo
- El pisoteo de los animales provocando la compactación del suelo
- Excesivo consumo de agua para consumo animal y establecimiento de pasturas
- Deslizamientos, avalanchas y derrumbe provocado por la ganadería
- Repercusión en las propiedades físicas y químicas del suelo por excretas generadas de la ganadería
- Cambio de uso del suelo para la implementación de pasturas
- Aridez del suelo
- 
- Otras

11. ¿Que impacto tiene para usted el mal uso de agua y suelo en la microcuenca Quitumbe? \*

*Impacto socioambiental generado por la erosión hídrica en la microcuenca de la quebrada de Quitumbe*

12. ¿Considera al suelo como un sustento económico para su familia? \*

*Impacto socioambiental generado por la erosión hídrica en la microcuenca de la quebrada de Quitumbe*

Si

No

Otras

13. ¿Existen conflictos sociales en la microcuenca Quitumbe por el uso de agua y suelo? \*

*Impacto socioambiental generado por la erosión hídrica en la microcuenca de la quebrada de Quitumbe*

Si

No

14. ¿ En el caso de que su respuesta sea afirmativa describa los tipos de conflictos que se han generado por el mal uso de agua y suelo en la microcuenca Quitumbe parroquia de Imantag, cantón Cotacachi? \*

*Impacto socioambiental generado por la erosión hídrica en la microcuenca de la quebrada de Quitumbe*

15. ¿Cuáles de las siguientes prácticas de conservación se están realizando en la microcuenca Quitumbe parroquia de Imantag, cantón Cotacachi ? \*

*Medidas de mitigación/adaptación que se han aplicado en la microcuenca de la quebrada de Quitumbe*

Cultivo moderado en pendientes.

Reforestación del suelo.

Limitación en el uso de agroquímicos.

Procesos de deforestación controlados.

Diversificación de cultivos.

Otras

16. ¿Existen programas de capacitación sobre el manejo adecuado de los recursos suelo y agua en la microcuenca de la quebrada de Quitumbe parroquia de Imantag, cantón Cotacachi ? \*

*Medidas de mitigación/adaptación que se han aplicado en la microcuenca de la quebrada de Quitumbe*

Si

No

Otras

17. ¿Conoce ud de una normativa local que proteja el ecosistema de la microcuenca de la quebrada de Quitumbe? \*

*Medidas de mitigación/adaptación que se han aplicado en la microcuenca de la quebrada de Quitumbe*

Si

No

Otras

18. ¿Existen acuerdos entre la comunidad local y el GAD Parroquial que incentiven la conservación de la microcuenca Quitumbe parroquia de Imantag, cantón Cotacachi? \*

\*

*Medidas de mitigación/adaptación que se han aplicado en la microcuenca de la quebrada de Quitumbe*

Si

No

Otras

19. ¿Qué alianzas ha generado el GAD Parroquial en cuanto a la conservación de la microcuenca Quitumbe parroquia de Imantag, cantón Cotacachi? \*

*Medidas de mitigación/adaptación que se han aplicado en la microcuenca de la quebrada de Quitumbe*

ONGs

GAD Municipal

Ministerio del Ambiente y Agua

Instituciones Educativas

Asociación Agrícola

Ninguna

Otras