

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



## FACULTAD DE INGENIERÍA

### CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental

#### TRABAJO DE TITULACIÓN

##### **Título del proyecto**

APLICACIÓN DEL MODELO USLE PARA ESTIMAR  
CUANTITATIVAMENTE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL  
RÍO CHIBUNGA.

##### **Autor(es):**

Viviana Anabel Chitalogro Yánez  
Evelyn Thalia Llamatumbi Paillacho

##### **Tutor:**

Ing. Patricia Andrade MsC.

**Riobamba - Ecuador**

**Año 2021**

## REVISIÓN DEL TRIBUNAL

Los miembros del tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título:  
**“APLICACIÓN DEL MODELO USLE PARA ESTIMAR CUANTITATIVAMENTE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CHIBUNGA”.**

Presentado por: Viviana Anabel Chitalogro Yánez y Evelyn Thalia Llamatumbi Paillacho, dirigido por: el Ing. Patricia Andrade MsC.

Una vez escuchado la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para la constancia de lo expuesto firman:

Ing. Ana Patricia Andrade Orosco MsC.

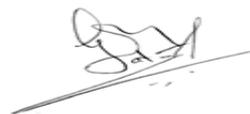
**Tutor del Proyecto de Investigación**



**Firma**

Ing. Guido Patricio Santillán Lima MsC.

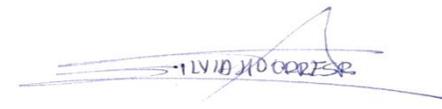
**Miembro del Tribunal**



**Firma**

Dra. Silvia Hipatia Torres Rodríguez PhD.

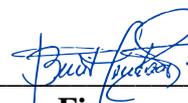
**Miembro del Tribunal**



**Firma**

Ing. Benito Guillermo Mendoza Trujillo PhD

**Presidente del Tribunal**



**Firma**

## **DECLARACIÓN EXPRESADA DE TUTORÍA**

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del grado de **INGENIERO AMBIENTAL**. Con el tema: “**APLICACIÓN DEL MODELO USLE PARA ESTIMAR CUANTITATIVAMENTE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CHIBUNGA**”, ha sido elaborado por **VIVIANA ANABEL CHITALOGRO YÁNEZ Y EVELYN THALIA LLAMATUMBI PAILLACHO**, el mismo que ha sido revisado y analizado en un cien por ciento con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de Tutor, por lo que se encuentra apto para su presentación y defensa respectiva. Es todo cuanto puedo informarle en honor a la verdad.



.....  
**Ing. Patricia Andrade MsC.**  
**C.I.: 0602142499**

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Nosotros, Chitalogro Yánez Viviana Anabel, con la cédula de identidad No. 230068280-0 y Llamatumbi Paillacho Evelyn Thalia, con cédula de identidad No. 172447418-2; hacemos constar que somos autores del presente trabajo de investigación, titulado: **“APLICACIÓN DEL MODELO USLE PARA ESTIMAR CUANTITATIVAMENTE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CHIBUNGA”**, el cual constituye una elaboración, dirigida por el Tutor del Proyecto, Ing. Ana Patricia Andrade Orozco MsC.

En tal sentido, manifestamos la originalidad de la Conceptualización del trabajo, interpretación de datos y la elaboración de las conclusiones, con el aporte de varios autores que se han referenciado debidamente en el texto del documento.



---

**Viviana Anabel Chitalogro Yánez**  
**C.I. 230068280-0**



---

**Evelyn Thalia Llamatumbi Paillacho**  
**C.I. 172447418-2**

## **AGRADECIMIENTO**

El presente trabajo de investigación agradecemos a Dios por habernos permitido culminar una etapa donde adquirimos conocimientos necesarios que son herramientas para el camino profesional, a nuestros familiares y amigos más cercanos que nos apoyaron en este proceso.

Un especial agradecimiento a la Universidad Nacional de Chimborazo, a los docentes de la facultad Ingeniería Ambiental por habernos compartido sus conocimientos y enseñanzas a lo largo de la carrera. Nuestra gratitud y consideración a la Ing. Patricia Andrade MsC., que a partir de su experiencia, consejos y sugerencias, supo orientarnos adecuadamente en la culminación del trabajo de investigación.

También agradecemos al Ing. Franklin Cargua, Investigador Forestal GIS - Consultor Forestal por las asesorías brindadas en cuanto a los Sistemas de Información Geográfica y a las demás personas que estuvieron a lo largo de este proceso.

*Viviana Anabel Chitalagro Yánez  
Evelyn Thalia Llamatumbi Paillacho*

## **DEDICATORIA**

Con todo mi cariño este trabajo lo dedico a mi madre María Uvaldina por todo su amor, paciencia y apoyo incondicional en cada decisión tomada, por haberme enseñado que con esfuerzo, trabajo y dedicación todo es posible. A mi padre Segundo Amable por sus consejos, apoyo y motivación para superarme cada día, gracias por sus palabras de aliento que me ayudaron a cumplir con una meta más que me he propuesto.

A mi abuelita Nieves por todos sus consejos y amor. A mis padrinos María Transito y Oscar y demás familiares por su confianza depositada y por estar siempre a mi lado apoyándome y guiándome a lo largo de mi vida.

A mis amigos Joselin, Maribel, Vivi, Alex, Yaha, Fernando, Álvaro..., por enseñarme el valor de la amistad y por todo lo vivido en esta etapa que siempre recordare con cariño.

***Evelyn Thalia Llamatumbi Paillacho***

## **DEDICATORIA**

Dedico principalmente a Dios, por darme la fortaleza para culminar mi carrera. A mi madre Elsa por su apoyo incondicional, amor, confianza y gran esfuerzo el cual me enseñó que todo es posible sin importar las dificultades. A mi padre Humberto por enseñarme a ser una mujer fuerte e independiente. A mi hermano Boris por estar presente en cada etapa de mi vida apoyándome, consintiéndome y guiándome con su ejemplo.

A mi prima Miriam por su bondad, consejos y cariño que me brindo a lo largo de esta etapa. A mi primo Milton por sus buenos deseos y mensajes de aliento a pesar de la distancia. A mi amiga incondicional Katherine, quien siempre estuvo disponible en momentos difíciles.

A mis amigos más cercanos que no solo demostraron ser incondicionales, sino una gran familia: Hillary, Danny, Evelin, Paulina, Deivis, Jefferson, Karina, Bryan, Jess, Joselin, Maribel y Yahaira...

Gracias a todos ustedes que hicieron posible la realización de este trabajo de investigación.

***Viviana Anabel Chitalogro Yáñez***

## **SIGLAS Y ABREVIATURAS**

<b>A:</b>	Pérdida de suelo promedio anual
<b>C:</b>	Factor ordenación de los cultivos (cobertura vegetal)
<b>DEM:</b>	Modelo Digital de Elevación
<b>FAO:</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
<b>IMF:</b>	Índice Modificado de Fournier
<b>INAMHI:</b>	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
<b>K:</b>	Factor de erodabilidad del suelo
<b>L:</b>	Factor del grado de longitud de la pendiente
<b>P:</b>	Factor de prácticas de conservación
<b>PNUMA:</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
<b>R:</b>	Ambiente
<b>S:</b>	Factor erosividad de las lluvias
<b>USDA:</b>	Factor del grado de pendiente
<b>USLE:</b>	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo

## ÍNDICE GENERAL

REVISIÓN DEL TRIBUNAL.....	I
DECLARACIÓN EXPRESADA DE TUTORÍA .....	II
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
DEDICATORIA .....	V
SIGLAS Y ABREVIATURAS.....	VI
ÍNDICE GENERAL .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
ÍNDICE DE TABLA .....	IX
RESUMEN .....	X
ABSTRAC.....	XI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
3. JUSTIFICACIÓN .....	3
4. OBJETIVOS .....	4
4.1 Objetivo General:.....	4
4.2 Objetivos Específicos.....	4
CAPITULO I.....	5
5. MARCO TEÓRICO.....	5
5.1 Erosión del suelo .....	5
5.2 Tipos de erosión .....	5
5.3 Erosión Hídrica .....	6
5.3.1 Erosión laminar.....	6
5.3.2 Erosión por surcos.....	6
5.3.3 Erosión por cárcavas .....	7
5.4 Proceso de erosión hídrica.....	7
5.4.1 Tamaño e impacto de la gota de lluvia .....	7
5.4.2 Salpicado y dispersión del suelo.....	7
5.4.3 Escorrentía .....	8
5.4.4 Transporte y sedimentación .....	8
5.5 Degradación del suelo en el Ecuador .....	8
5.6 Consecuencias de la erosión hídrica.....	8
5.7 Factores físicos que intervienen en la erosión hídrica.....	9
5.7.1 Factores climáticos.....	9
5.7.2 Factores edáficos.....	9

5.7.3	Factores topográficos .....	9
5.7.4	Cobertura vegetal .....	9
5.8	Tasas de erosión tolerable .....	10
5.9	Modelos de estimación de las pérdidas de suelo.....	10
5.10	Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo .....	11
5.11	Factor de erosividad de la lluvia R .....	11
5.12	Índice de Fournier Modificado .....	12
5.13	Factor de erodabilidad del suelo K.....	12
5.14	Factor topográfico LS .....	12
5.15	Factor del manejo de vegetación, cobertura y uso del suelo C.....	12
5.16	Factor de prácticas de conservación del suelo (P).....	13
CAPÍTULO II.....		14
6.	METODOLOGÍA .....	14
6.1	Descripción del área de estudio.....	14
6.2	Datos e información .....	15
6.3	Esquema de predicción de la pérdida de suelo.....	16
6.4	Determinación de los factores USLE .....	16
6.1	Cálculo del factor de erosividad de la lluvia (factor R) .....	17
6.1	Cálculo del factor erodabilidad del suelo (factor K) .....	17
6.2	Cálculo del factor topográfico de longitud y grado de la pendiente LS.....	18
6.3	Cálculo del factor de cobertura vegetal (Factor C) .....	19
6.8.1	Salidas de campo .....	19
6.8.2	Clasificación supervisada .....	19
6.4	Cálculo del factor de prácticas de conservación (Factor P) .....	19
CAPÍTULO III.....		20
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	20
7.1	Variabilidad de precipitación .....	20
7.2	Índice de erosividad de lluvia Factor R.....	20
7.3	Índice de erodabilidad del suelo Factor K.....	24
7.4	Factor topográfico LS.....	26
7.5	Factor del manejo de vegetación, cobertura y uso del suelo C .....	28
7.6	Factor de prácticas de conservación del suelo (P).....	33
7.7	Pérdida de suelo por unidad de superficie (A) .....	33
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	36
8.1	CONCLUSIONES .....	36
8.2	RECOMENDACIONES .....	37
9.	BIBLIOGRAFÍA .....	38

10. ANEXOS .....	42
------------------	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación geográfica de la microcuenca del río Chibunga. ....	14
<b>Figura 2.</b> Esquema para el cálculo de la erosión actual de la zona de estudio. ....	16
<b>Figura 3.</b> Precipitación promedio mensual 2000-2013 .....	20
<b>Figura 4.</b> Mapa de distribución espacial del Factor R .....	22
<b>Figura 5.</b> Mapa de distribución espacial del Factor K .....	25
<b>Figura 6.</b> Mapa de distribución espacial del Factor LS .....	27
<b>Figura 7.</b> Mapa de usos de suelo .....	29
<b>Figura 8.</b> Mapa de distribución espacial del Factor C .....	32
<b>Figura 9.</b> Mapa de distribución espacial del Factor A .....	34

## ÍNDICE DE TABLA

<b>Tabla 1.</b> Estaciones pluviométricas utilizadas para el cálculo del factor R .....	15
<b>Tabla 2.</b> Tipos de coberturas identificadas en la zona de estudio .....	19
<b>Tabla 3.</b> Distribución de la precipitación en la microcuenca del río Chibunga .....	21
<b>Tabla 4.</b> Coeficiente de correlación de Pearson del Factor R .....	21
<b>Tabla 5.</b> Categorías de Riesgo de Erosión en la Microcuenca del río Chibunga. ..	23
<b>Tabla 6.</b> Porcentaje de los componentes del suelo para el cálculo del Factor K ....	24
<b>Tabla 7.</b> Resultados del Factor de erodabilidad del suelo en la microcuenca del río Chibunga .....	24
<b>Tabla 8.</b> Resultados del Factor topográfico en la microcuenca del río Chibunga ..	26
<b>Tabla 9.</b> Tipos de cobertura vegetal en la microcuenca del río Chibunga .....	28
<b>Tabla 10.</b> Tipos de cobertura predominante en la microcuenca del río Chibunga .	29
<b>Tabla 11.</b> Tipos de cobertura vegetal en la microcuenca del río Chibunga .....	31
<b>Tabla 12.</b> Riesgo de erosión de la microcuenca del río Chibunga .....	33

## **RESUMEN**

El presente estudio establece la evaluación de la erosión hídrica del suelo en la microcuenca del río Chibunga, con una superficie de 43.951 ha, localizada al noroeste de la provincia de Chimborazo, perteneciente a la subcuenca del río Chambo, mediante el análisis de los factores que corresponden a la Ecuación Universal de las Pérdidas de Suelo USLE logrando identificar variables como Erosividad (R), erodabilidad (K), longitud y grado de la pendiente (LS), vegetación cobertura y uso del suelo (C), prácticas de conservación del suelo (P) y como resultado final el factor de pérdidas de suelo (A).

Las variables utilizadas fueron: precipitación en el periodo (2000-2013); estructura textural del suelo: arena, limo, arcilla y materia orgánica obtenida de FAO-2007; el modelo digital de elevación (DEM) con resolución de 30 m<sup>2</sup>; la cobertura vegetal generada mediante la clasificación supervisada, utilizando ortofotos con resolución (1,19 m<sup>2</sup>) SAS PLANET-2020, procesados en un software de sistemas de información geográfica.

El resultado de la aplicación del modelo USLE determinó que la microcuenca del río Chibunga presenta un grado de erosión por acción hídrica predominando las categorías ligera y moderada el cual representa el 30,47% y 46,17% respectivamente para el área de estudio.

Los insumos como las bases de datos geográficos, las capas geográficas y mapas temáticos generados serán de utilidad para los actores a cargo de la gestión del territorio, mediante la implementación de buenas prácticas agrícolas, garantizando el manejo sustentable del recurso edáfico.

**Palabras claves:** USLE, Erosión hídrica, Mapas temáticos, Datos geográficos.

## **ABSTRAC**

This study establishes the evaluation of soil water erosion in the Chibunga river micro-basin, with an area of 43,951 ha, located to the northwest of the Chimborazo province, belonging to the Chambo river sub-basin, by analyzing the factors that correspond to the USLE Universal Soil Loss Equation, managing to identify variables such as erosivity (R), erodibility (K), length and degree of slope (LS), vegetation cover and land use (C), soil conservation practices (P) and as a final result the soil loss factor (A).

The variables used were: precipitation in the period (2000-2013); Soil textural structure: sand, silt, clay, and organic matter obtained from FAO-2007; the digital elevation model (DEM) with a resolution of 30 m<sup>2</sup>; the vegetation cover generated through the supervised classification, using orthophotos with resolution (1.19 m<sup>2</sup>) SAS PLANET-2020, processed in a geographic information systems software.

The result of the USLE model's application determined that the Chibunga river micro-basin presents a degree of erosion due to water action, predominantly the light and moderate categories, which represents 30.47% and 46.17%, respectively, for the study area.

The inputs such as geographic databases, geographic layers, and thematic maps generated will be useful for the actors in charge of land management by implementing acceptable agricultural practices, guaranteeing the sustainable management of the edaphic resource.

**Keywords:** USLE, Water erosion, Thematic maps, Geographic data.

## 1. INTRODUCCIÓN

La erosión hídrica del suelo en la actualidad, es uno de los problemas ambientales más importantes sobre todo a nivel de las cuencas hidrográficas. Según la FAO (2016), la erosión hídrica ocurre cuando el flujo superficial transporta partículas del suelo desprendidas por el impacto de las gotas de lluvia formando canales, surcos o cárcavas. Ecuador se encuentra en proceso de erosión con un 25% en la región interandina (Rosales, 2020a)

Las cuencas hidrográficas en la región interandina establecen indicadores los cuales señalan cinco categorías: crítica con un 39.13%, alta con un 28,26%, moderada con un 4.35%, potencial con un 26.09% y normal con un 2.17, dando efectos graves como la pérdida de la biodiversidad, degradación de los suelos, alta sedimentación de los principales reservorios, causas de los ríos de la parte baja de las cuencas y graves inundaciones (Rosales, 2020a)

La microcuenca del río Chibunga está localizada al noroeste de la provincia de Chimborazo, esta microcuenca perteneciente a la subcuenca del Chambo, representa un recurso hídrico con gran incidencia en el desarrollo del cantón Riobamba, la población en las riveras utilizan el recurso en actividades como la agricultura y ganadería. La erosión hídrica en la microcuenca se encuentra afectada por la interacción de las precipitaciones generando desbordes que afectan a las obras de infraestructura vial, de riego y terrenos de cultivo (Haro, 2018).

La necesidad de monitorear el estado actual de la microcuenca y sus procesos erosivos requiere actualizar con métodos más precisos como es la aplicación de Sistema de Información Geográfica (SIG), para la elaboración de mapas temáticos útiles para la planificación y toma de decisiones fundamentales para el aprovechamiento sostenido de los recursos (Ovalles, 2014). Por lo tanto, el control de la pérdida de suelo asociado al uso y manejo sostenible, es vital frente al escenario actual de rápida degradación.

Por lo tanto, la presente investigación tuvo como objetivo estimar la erosión hídrica del suelo en la microcuenca del río Chibunga mediante la aplicación del modelo USLE utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG), para la obtención de resultados cuantitativos, que permitan identificar el grado de erosión en la microcuenca los mismos que han sido plasmados en mapas temáticos para su mejor comprensión y manejo sostenible de la microcuenca.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La pérdida de suelo es un problema global, que se debe a diversos factores, afectando especialmente los ecosistemas y la producción agrícola. “Las tasas promedio de erosión del suelo en el mundo se calculan entre 12 y 15 ton/ha.año, lo que quiere decir que cada año, la superficie de la tierra pierde alrededor de 0,90 a 0,95 mm de suelo” (Pham, Degener, & Kappas, 2018).

Tanto en Ecuador como a nivel global los factores físicos (clima, precipitación y viento) son los responsables del deterioro del suelo; De igual forma las diferentes características topográficas y las actividades antropogénicas las cuales provocan consecuencias en la calidad y productividad del suelo (Peralta, 2015). Con el desarrollo de modelo USLE se pretende predecir la pérdida del suelo por efecto de la precipitación. Al modelo también se lo conoce como “Ecuación Universal de Perdida de Suelo” con ello podemos identificar las áreas expuestas a la erosión mediante diferentes variables (López, 2017).

En Ecuador la degradación del suelo varía en función de la pendiente, la cual se encuentra en un intervalo de 5 -50 Tm/ha.año, cabe señalar que la región más afectada es la interandina con un 4% en la provincia de Chimborazo causando infertilidad en el suelo y por lo tanto dificultando la capacidad productiva (Vimos, 2015).

Por los problemas antes mencionados, se ha considerado a la microcuenca de río Chibunga como zona de estudio, debido a los diferentes servicios que ofrece como: la seguridad alimentaria, suministro de agua, recreación, entre otros (Rios, Mejía, & Mendoza, 2011).

Cabe recalcar que, a pesar de la presencia de gran cantidad de asentamientos humanos, no se puede menospreciar los aspectos económicos, sociales y ambientales para la gestión sostenible de los recursos. Por ello con este estudio, se pretendió estimar cuantitativamente el grado de erosión en la microcuenca, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG), cuyos resultados fueron evidenciados en el desarrollo de mapas temáticos.

### 3. JUSTIFICACIÓN

En Ecuador, el interés por la preservación de los ecosistemas, ambiente y cuencas hidrográficas, ha llevado a la generación de diversos estudios en la microcuenca del río Chibunga, con el fin de conocer el estado de la misma. Dentro de la microcuenca se asientan sectores como zonas urbanas, agrícolas, industriales, ganaderas, recreación y centros de educación dichas actividades han originado el deterioro ecológico de la microcuenca (Rios et al., 2011).

La deforestación, el manejo deficiente de suelo y la erosión natural han contribuido al aumento de sedimentación de los ríos como también, a un declive de la productividad agrícola local (Calderón, 2020). En la microcuenca del río Chibunga existen estudios ambientales sobre la calidad de agua; en cuanto al manejo integrado de la cuenca hidrográfica existe poca información, el cual presenta un impacto al ambiente en los recursos agua y suelo provocando problemas de erosión, contaminación natural y antropológica (Rios et al., 2011). La ambición económica irracional del hombre ha puesto en peligro los ecosistemas.

La degradación física de los suelos se manifiesta a través de la erosión hídrica y eólica que se considera comúnmente como una de las principales causas de la pérdida de suelo a nivel de cuencas hidrográficas (Arroyo & Jaramillo, 2019).

La cuenca hidrográfica es considerada un territorio en el cual se concentran recursos naturales como: agua, suelo y biodiversidad (ecosistemas, flora y fauna), por ello es necesario conocer el estado actual de los mismos para planificar su uso de manera sostenible. Siendo las microcuencas las responsables de drenar agua a las subcuencas y ésta al cauce principal resulta indispensable realizar estudios para obtener resultados más precisos y manejables (Ovalles, 2014).

Es así que la microcuenca del río Chibunga en este momento no cuenta con estudios previos sobre la degradación o pérdida de suelo por acción hídrica, por esta razón, a través de esta investigación se analizó el grado de erosión del suelo mediante la aplicación del modelo empírico USLE en un Sistema de Información Geográfica (SIG), con el fin de determinar las zonas más susceptibles y de esta manera emplear la información que se obtuvo en la realización de una planificación adecuada del territorio, logrando con ello disminuir el impacto sobre el recurso.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo General:**

- Aplicar el modelo USLE para estimar cuantitativamente la erosión hídrica en la microcuenca del río Chibunga

### **4.2 Objetivos Específicos**

- Recopilar información de las variables del modelo USLE en la microcuenca del río Chibunga.
- Incorporar todas las variables (R, K, L, S, C y P) de la zona de estudio, en el Sistema de Información Geográfica (SIG) para su posterior desarrollo.
- Elaborar una cartografía del estado erosivo de la microcuenca, que permita visualizar las áreas propensas a la erosión.
- Identificar el grado de erosión por acción hídrica en la microcuenca del río Chibunga.

## CAPÍTULO I

### 5. MARCO TEÓRICO

#### 5.1 Erosión del suelo

La erosión del suelo es un proceso natural que consiste en la remoción, transporte y desgaste de las partículas superficiales por acción del agua y el viento (Duque & Escobar, 2016). La erosión, es considerada la amenaza principal para mantener productivas las tierras agrícolas y forestales, sin embargo existen dos agentes erosivos el agua y el viento, de esto depende su denominación como erosión hídrica o erosión eólica (Campaña, 2015).

Según Paz and Vidal (2017), la degradación del suelo es considerada progresiva e irreversible ya que, por una parte el tiempo que se requiere para formar un nuevo suelo es considerablemente largo y la masa de suelo perdida suele ser irrecuperable convirtiéndose en uno de los problemas ambientales más importantes del siglo XXI.

Las causas principales de la degradación del suelo son la expansión urbana, la construcción de carreteras, la minería y la industria, también existe otras formas de degradación como es la salinización, daños físicos y biológicos (FAO, 2016).

En la actualidad es realmente preocupante ver como la erosión merma las funciones del suelo imposibilitando retener el agua y almacenar nutrientes en casi todas las cuencas y subcuencas de nuestro país, por ello es importante conocer el proceso de la erosión causado por la precipitación para implementar medidas de conservación (López, 2017).

#### 5.2 Tipos de erosión

La acción de las fuerzas naturales afecta al suelo provocando el desplazamiento de sus partículas, la fuerza de gravedad es uno de los principales factores que determina la velocidad de los procesos erosivos en una pendiente, siempre y cuando esta sea suficientemente elevada para permitir el deslizamiento. En caso del viento, su fuerza degrada, desprende y arrastra a grandes distancias partículas de suelo. La erosión hídrica depende de la fuerza del agua y de las características del terreno, sin embargo, es la que presenta mayores efectos negativos tanto ambientales como económicos en el recurso suelo (López, 2017).

Existen diversas causas de degradación de suelo como el deterioro de la calidad y cantidad de los recursos hídricos y recursos bióticos. La erosión de suelo puede darse de forma natural: como los fenómenos meteorológicos extremos que causan encostramiento e inundaciones; en cuanto al deterioro de forma antrópica se debe a actividades

agropecuarias, forestales, mineras, industriales, sobreexplotación de los recursos, etc., sin embargo puede ser la combinación tanto natural como antrópica (Ovalles, 2014; López, 2017).

### **5.3 Erosión Hídrica**

La erosión hídrica promueve la eliminación de la capa fértil del suelo, afectando la productividad, por causa de un mal manejo del recurso. La cobertura vegetal puede ser removida parcial o total; la erosión hídrica es directamente proporcional a la precipitación y por ende a la degradación del ecosistema (Ovalles, 2014). La utilización de los fertilizantes y la degradación de los cultivos dan como resultado un impacto ambiental y económico.

Los agentes erosivos de la pérdida de suelo son la escorrentía y la lluvia el cual se debe a tres procesos el primero es el desprendimiento de las partículas, el segundo es el transporte y el ultimo la sedimentación del material rocoso (Calderón, 2020).

#### **5.3.1 Erosión laminar**

La erosión laminar se relaciona claramente con la salpicadura que provoca la gota de lluvia al impactarse con el sustrato dando como resultado la remoción del suelo sin la necesidad de la formación de canales. La erosión laminar es menos evidente que otros tipos, sin embargo, afecta a la agricultura puesto que aporta a la pérdida del horizonte A es decir el que se encuentra bajo cultivo (Rosales, 2020). La parte superficial de los suelos que genera el incremento de producción de sedimentos en los ríos. La erosión laminar puede afectar en mayor grado a suelos no protegidos (sin presencia de vegetación) y suelos con pendientes mayores (Campaña, 2015).

#### **5.3.2 Erosión por surcos**

La erosión por surcos es la más apreciable debido a su origen que es causado por el escurrimiento superficial, cuyas aguas se concentra en sitios irregulares especialmente en suelos manipulados de forma inadecuada. La escorrentía se concentra en sitios hasta conseguir la velocidad y volumen necesario, provocando cortes en forma de surcos. Al precipitar las gotas de lluvia el flujo aumenta, haciendo pequeños drenajes en el suelo, como canales los cuales progresan tanto en anchura como en profundidad (Rosales, 2020).

### **5.3.3 Erosión por cárcavas**

La erosión por cárcavas es el estado más avanzado de la erosión por surcos. Se encuentra en función de la pendiente y la longitud de la pendiente del terreno, se da por la concentración de flujo de agua, el cual provoca el aumento de dimensiones de los surcos hasta formarse grandes zanjas al cual se lo denomina cárcavas (Rosales, 2020a).

### **5.4 Proceso de erosión hídrica**

El proceso de erosión hídrica sigue diferentes rutas en el suelo donde el agua sigue su curso. Por una parte el agua cae de forma directa sobre la superficie del suelo, la otra parte es receptada por la cobertura vegetal, esta devuelta a la atmosfera por medio del proceso físico de la evaporación y las gotas que chocan con las hojas o exceso es receptada por el suelo. La lluvia que cae directamente en los folios provoca erosión por salpicadura conocida también como erosión laminar. (Campaña, 2015). La erosión hídrica incluye tres procesos mecánicos: primero el desprendimiento de las partículas, segundo el transporte de las partículas y por último la sedimentación de las partículas (Peralta, 2015).

Inicia con el desprendimiento de las partículas del suelo el cual se da por acción de la gravedad (impacto las gotas de lluvia sobre la superficie del terreno). En cuanto al segundo proceso, es el transporte de las partículas desprendidas por agentes erosivos, sin embargo pueden actuar como agentes abrasivos es decir al chocarse con otras partículas o la superficie del suelo estimula el desprendimiento de nuevas partículas (Peralta, 2015).

Finalmente, por medio de la escorrentía las partículas desprendidas son transportadas de un lugar a otro formando en el camino socavaciones y comenzando del proceso de sedimentación, los sedimentos gruesos se depositan primero y posteriormente los sedimentos finos. Todo el proceso está controlado por la litología, el clima y la pendiente. (Peralta, 2015).

#### **5.4.1 Tamaño e impacto de la gota de lluvia**

El tamaño de las gotas de lluvia va a variar de acuerdo a la precipitación que caiga, el diámetro promedio oscila entre 5 a 6 mm, de formas y pesos variables hasta caer venciendo las fuerzas de sustentación, con una velocidad de 2 hasta 9 m/s. El proceso más importante inicia con el impacto de la gota de lluvia en la superficie del suelo, debido a que construye a la pérdida del horizonte A (Campaña, 2015).

#### **5.4.2 Salpicado y dispersión del suelo**

Uno de los agentes importantes para el desprendimiento es la salpicadura, provocada por las lluvias continuas e intensas que debilitan el suelo, por el golpeo directo de las gotas sobre el suelo desnudo, donde las partículas del suelo pueden ser transportadas a varios centímetros de distancia. Mediante procesos bioquímicos y meteorización mecánica el suelo se disgrega (Campaña, 2015).

#### **5.4.3 Escorrentía**

El flujo superficial, se produce en las laderas debido a la intensidad y volumen de las lluvias que superan la capacidad de infiltración de suelo (Campaña, 2015).

#### **5.4.4 Transporte y sedimentación**

El transporte de las partículas se debe a la escorrentía, el cual al seguir su camino va formando socavaciones e inicia el proceso de sedimentación, donde en primer lugar se deposita los sedimentos gruesos y posteriormente los sedimentos finos (Campaña, 2015).

### **5.5 Degradación del suelo en el Ecuador**

Ecuador caracterizado por una gama de recursos naturales, destacando principalmente sus magníficos volcanes y gran potencial agrícola. Sin embargo, la erosión del suelo asciende de manera preocupante considerando a la erosión el principal aspecto de degradación de los recursos naturales. El 50% de territorio se ve afectado, lo cual contribuye a la pérdida progresiva de este recurso (Campaña, 2015; Peralta, 2015)

La degradación se debe a procesos de transformación de los recursos naturales a cultivos, pastizales, infraestructuras, etc. afectando considerablemente los ecosistemas. La capa superficial fértil se ha ido degradando por falta de prácticas de manejo de suelo como también por el excesivo uso de químicos, deforestación y monocultivo a lo que son expuestos los suelos de Ecuador, generando también perjuicios económicos (FAO, 2018).

Ecuador tiene un alto índice de deforestación a comparación de otras regiones de América Latina (Calderón, 2020). Al dejar el suelo expuesto contribuye a procesos de erosión por acción hídrica como consecuencia de la precipitación. La dispersión de las partículas del suelo, se da por la precipitación, posterior a esto ocurre el escurrimiento superficial el cual al no tener un control, va desbordando el lecho de río contribuyendo al arrastre de las partículas el cual termina contaminando el río (Haro, 2018).

### **5.6 Consecuencias de la erosión hídrica**

Tras el deslizamiento o movimiento del suelo se genera un desgaste en los materiales que encuentran a su paso, por ello la erosión hídrica tiene como consecuencia la pérdida de fertilidad, la sedimentación de ríos y tanques, la formación de dunas litorales, los deslizamientos de tierras, lenta descomposición de la superficie de las rocas, la destrucción de los suelos, y la posterior deposición o acumulación de sedimentos dando como resultado final la desertificación (Ovalles, 2014).

Todos estos aspectos o efectos negativos, difícilmente puedan tener solución favorable sin una atención seria hacia ellos.

### **5.7 Factores físicos que intervienen en la erosión hídrica**

Los factores físicos condicionantes de la erosión hídrica se agrupan en 4 categorías:

#### **5.7.1 Factores climáticos**

La erosión hídrica es una unidad de espacio y tiempo al momento que ocurre la lluvia. La erosión depende de la intensidad, duración y frecuencia de eventos de precipitación; la temperatura es directamente proporcional a la materia orgánica esto quiere decir, a mayor temperatura la materia orgánica se descompone más rápido, originando la pérdida de absorción del suelo y por ende un mayor escurrimiento superficial (Tapia, 2012).

#### **5.7.2 Factores edáficos**

Los suelos desarrollados son más resistentes a la erosión puesto que dependen de factores como la permeabilidad, textura, humedad, distribución de partículas y la pedregosidad de esta manera aumentando la resistencia a su dispersión y reduciendo el escurrimiento (López, 2017).

#### **5.7.3 Factores topográficos**

La pendiente de un terreno está influenciada con la magnitud de erosión, debido a que en pendientes pronunciadas la pérdida de suelo es mayor. En pendientes planas no se produce erosión. Las pendientes están relacionadas con la magnitud de la pérdida de suelo y la orientación cuando superan el 3% bajo ciertas condiciones climáticas. Las pendientes orientadas al sur son menos exhibidas a la radiación, por ello el suelo contiene mayor humedad y existe mayor escurrimiento que una ladera orientada al norte (López, 2017).

#### **5.7.4 Cobertura vegetal**

A mayor densidad de cobertura vegetal, mayor protección del suelo, puesto que reduce los impactos de la precipitación. La cobertura vegetal obstaculiza a las gotas de lluvia, así reduciendo su energía al momento de chocar en los estratos de la vegetación, es decir cumple un efecto de amortiguamiento (Rosales, 2020a). La vegetación ayuda a disminuir la escorrentía superficial, como también a disminuir caudales máximos de avenida, debido al aumento de la permeabilidad del suelo, reduciendo la velocidad del escurrimiento (Tapia, 2012).

### **5.8 Tasas de erosión tolerable**

La tasa de erosión es primordial para solventar problemas relacionados a la degradación del suelo, a través del manejo y medidas de conservación apropiadas por lo cual es importante conocer el proceso y la velocidad de pérdida del suelo para obtener datos confiables (Campaña, 2015).

Según la FAO, PNUMA y UNESCO (1981), los niveles de erosión se definirán en varias categorías, como:

- Erosión ligera < 10 Ton/ha.año
- Erosión moderada de 10 a 50 Ton/ha.año
- Erosión alta de 50 a 200 Ton/ha.año
- Erosión Muy Alta > 200 Ton/ha.año

De acuerdo a la FAO la tasa aceptable de pérdida de suelo agrícola debe ser menor a 10 Mg/ha.año en climas cálidos. La tasa tolerable de suelo debe ser igual o menor a la tasa de recuperación natural. La pérdida de 10 a 15 ton/ha corresponde a la degradación de 1 mm de suelo (López, 2017).

### **5.9 Modelos de estimación de las pérdidas de suelo**

Existen varios modelos matemáticos para estimar la pérdida de suelo, que se dan con frecuencia en zonas de cultivos o en cuencas hidrográficas. Los modelos matemáticos son de gran importancia especialmente en aspectos económicos y ambientales, tiende a ser complejos por los diversos factores que intervienen y esto dificulta predecir con precisión la pérdida de suelo en dicha área (López, 2017).

Hay muchos modelos propuestos para estimar las pérdidas del suelo, sin duda, la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) propuesto por Wischmeier y Smith en 1978, es la más aceptada y difundida, lo cual es de gran utilidad para la toma decisiones (López, 2017).

## 5.10 Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelos se desarrolló a partir del año 1950, como medidas de mitigación y conservación, ya en 1978 el modelo (U.S.L.E), fue reformulada y mejorada por Wischmeier y Smith para estimar la pérdida de suelo promedio anual. Para muchos investigadores del suelo, lo consideran un método empírico que se ha venido mejorando hasta perfeccionarlo para desarrollar mejores interpretaciones en sus resultados (Jaramillo, 2015).

Este modelo matemático estima la pérdida de suelo al año en un periodo de tiempo dando como resultado un valor promedio, que representa una superficie al estar expuesta a la erosión laminar y en surcos cuyo proceso es controlado por el clima, relieve, suelo, usos y la vegetación (Rosales, 2020)

Las pérdidas de suelo A (en ton/ha/año expresadas en el Sistema Internacional) vienen dadas por la siguiente expresión:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Dónde:

A = Pérdida de suelo promedio anual en [Mg/ha.año]

R = Factor erosividad de las lluvias en [MJ. mm/ha. hr. año]

K = Factor de erodabilidad del suelo en [Mg. ha. hr/ha. MJ. mm]

L = Factor del grado de longitud de la pendiente, es adimensional

S = Factor del grado de pendiente, es adimensional

C = Factor ordenación de los cultivos (cobertura vegetal), adimensional.

P = Factor de prácticas de conservación (conservación de la estructura del suelo), adimensional (López, 2017)

El modelo estima la erosión hídrica actual cuando se incluyen todos los factores que la integran; en cambio si no se incluye el factor P, estima la erosión hídrica potencial, es decir, la cantidad de suelo que se estaría perdiendo sin prácticas de conservación (López, 2017).

## 5.11 Factor de erosividad de la lluvia R

El factor R se caracteriza por el impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo; si aumenta la intensidad de la lluvia, la degradación del suelo es más intensa Wischmeier y Smith en 1978 presento la relación directamente proporcional entre la intensidad de la lluvia y la energía cinética (Rosales, 2020). “Este factor se mide en MJ.mm/ha.h.año” (López, 2017).

### **5.12 Índice de Fournier Modificado**

El Índice Fournier Modificado se utilizó para estimar el factor erosividad (R). Se planteó el IMF tomando en cuenta la precipitación no solo de un mes si no de todos los meses del año, así como también el promedio anual como lo establece Arnoldus (1980) (Gvozdenovich, 2016; López, 2017)

### **5.13 Factor de erodabilidad del suelo K**

Según López (2017), afirma que este factor K es susceptible a la precipitación. El conjunto de propiedades físicas del suelo de la zona de estudio provenientes de la página Digital Soil Map of the World (FAO, 2007). Donde se va extraer los porcentajes de arena, limo, arcilla y materia orgánica (Rosales, 2020).

### **5.14 Factor topográfico LS**

El factor topográfico es la combinación de la longitud del terreno y el grado de la pendiente. En terrenos planos las partículas se propagan de forma aleatoria en diferentes direcciones mientras que en terrenos inclinados las partículas se propagan hacia la parte baja del terreno, incrementando el desprendimiento de nuevas partículas (Rosales, 2020a) A mayor pendiente mayor pérdida de suelo. Según Ganasri y Ramesh (2016), la peor erosión ocurre entre 10 y 25% de pendiente (Calderón, 2020)

La influencia del relieve puede ser determinante de la cantidad de suelo perdido a consecuencia de una lluvia por dos motivos principales:

- El ángulo de la pendiente establece la permanencia de agua que transita en la superficie, independiente del volumen de escorrentía generado. En los terrenos llanos o con poca inclinación el agua tiene más posibilidad de infiltrarse que en las zonas inclinadas, en las que la escorrentía circula más rápidamente hacia las zonas de menor cota (Calero, 2017)
- Cuanto mayor sea la longitud y el ángulo de inclinación de una ladera mayor será la energía cinética que alcanzará el agua circulante por su superficie, por lo que mayor será su capacidad de desagregación y transporte y por tanto su poder erosivo (Ibáñez, Moreno, & Gisbert, 2012).

### **5.15 Factor del manejo de vegetación, cobertura y uso del suelo C**

La vegetación es la capa protectora frente a la intensidad de precipitación, originada en una determinada área o zona de estudio, es decir, la erosión del suelo disminuye de

acuerdo a la cobertura vegetal existente. Para obtener uso y cobertura del suelo existente en la zona de estudio se realizara mediante formatos shapefile (López, 2017).

### **5.16 Factor de prácticas de conservación del suelo (P)**

Muchas veces la presencia de vegetación no evita el escurrimiento superficial, por ello es necesario implementar prácticas de conservación que minimicen el flujo de agua. Este factor refleja la eficacia en el control de la erosión conseguida con la implantación de diferentes medidas conservacionistas. Las técnicas consideradas son el laboreo a nivel, el cultivo en fajas alternantes y el aterrazado (Ibáñez et al., 2012).

El valor del factor P se encuentra en un rango de 0 a 1; cuando el valor se acerca a 0 muestra buenas prácticas de conservación y cuando el valor que se acerca 1 muestra malas prácticas de conservación. Según Morgan y Nearing (2011), P es el valor más precario debido a su difícil valoración, ya que es necesario realizar observaciones directas en la zona de estudio para establecer el tipo de uso de la tierra e identificar el sistema de cultivo. Los valores de P se pueden derivar de clasificaciones de imágenes usando datos de sensores remotos, estudios previos o incluso conocimiento experto (Calderón, 2020).

## CAPÍTULO II

### 6. METODOLOGÍA

#### 6.1 Descripción del área de estudio

La microcuenca del río Chibunga, cuenta con un área de 43.951 hectáreas, localizada al noroeste de la provincia de Chimborazo, perteneciente a la subcuenca del río Chambo, donde se forma por vertientes y deshielos del nevado Chimborazo, en la parte alta el río toma el nombre de Chimborazo, el cual atraviesa la parroquia de San Juan desplazándose hasta los 2900 m.s.n.m. donde se une con el río Sicalpa en el sector de la Unión Cementera Nacional Cemento Chimborazo (UCEM). El río atraviesa la ciudad de Riobamba de noroeste a sureste, el cual desemboca en el río Chambo, representando un recurso hídrico con gran incidencia en el desarrollo del cantón Riobamba, la población en las riveras utilizan en actividades como la agricultura y ganadería. A su vez debido a las actividades antrópicas, las orillas del río se encuentran alteradas provocando disminución, en cuanto a calidad de fertilidad del terreno, capacidad de retención de agua (Haro, 2018).

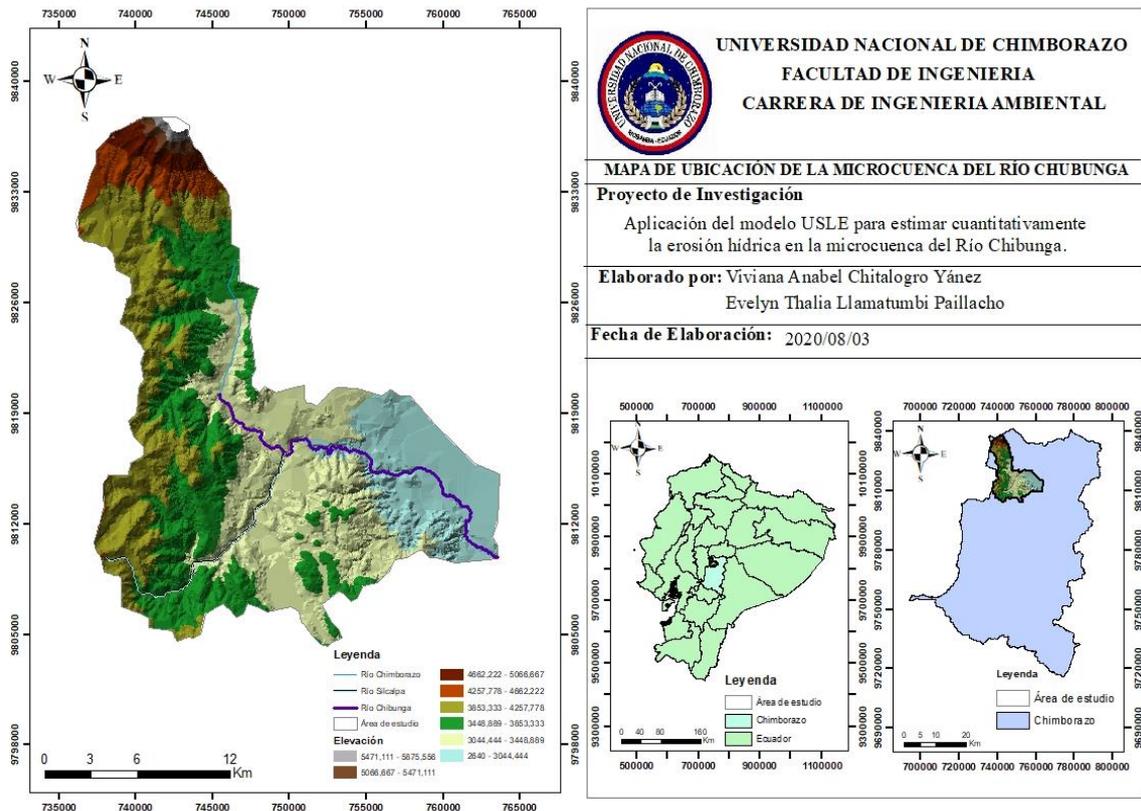


Figura 1. Ubicación geográfica de la microcuenca del río Chibunga.

Fuente: Autores, 2020

## 6.2 Datos e información

Para el factor de erosividad (R) se utilizó los anuarios meteorológicos establecidos por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) cuya entidad se encarga del manejo de la información hidrológica histórica y actual del país, los valores tomados fueron a partir del año 2000 – 2013 de las estaciones meteorológicas: Salinas-Bolívar, San Juan-Chimborazo, Cebadas, Alao, Cañi-Limbe, Licto, Guano y Pangor-J De Velasco (H Tepeyac), logrando obtener datos confiables para estimar la erosividad en un período de 14 años. Posteriormente se realizó el relleno de datos mediante el método de regresión normalizada:

$$Px = \frac{1}{n} \left( \frac{Nx}{N1} P1 + \frac{Nx}{N2} P2 + \dots + \frac{Nx}{Nn} Pn \right)$$

$Nx$ = Precipitación media anual o mensual en la estación incompleta (mm)

$N1, N2, \dots, Nn$  =Precipitación media anual (o mensual) en las estaciones auxiliares 1,2 y n, (mm)

$P1, P2, Pn$  =Precipitación anual (o mensual) observada en las estaciones 1,2... y n para la misma fecha que la faltante (mm)

$n$ =numero de pares completos en los datos observados.

**Fuente:** (Suárez, 2018)

**Tabla 1.** Estaciones pluviométricas utilizadas para el cálculo del factor R

Ministerio	Estaciones	Coordenadas		Periodo	Observaciones
		X	Y		
INAMHI	Salinas-Bolívar	720488,370	9844765,061	2000 - 2013	Los registros pluviométricos que se consideraron para el presente estudio son a partir del año 2000-2013, teniendo en cuenta la existencia de vacíos en la información, para llenar datos de la precipitación en meses se aplicó el método de Regresión Normalizada, mientras que aquellas estaciones que no contaban con información de un año completo no se consideró en el promedio final como es el caso de la estación de Licto (2000, 2001 y 2002) y Pangor-J de Velasco (2003). Ver anexo 1
	San Juan-Chimborazo	746622,645	9820099,224	2000 - 2013	
	Cebadas	762446,149	9788952,501	2000 - 2013	
	Alao	779982,000	9791632,000	2000 - 2013	
	Cañi-Limbe	723572,000	9804056,000	2000 - 2013	
	Licto	767006,669	9800255,000	2000 - 2013	
	Guano	763106,392	9821986,000	2000 - 2013	
	Pangor-J De Velasco (H Tepeyac)	735652,000	9797775,000	2000 - 2013	

**Fuente:** (INAMHI, 2013)

### 6.3 Esquema de predicción de la pérdida de suelo

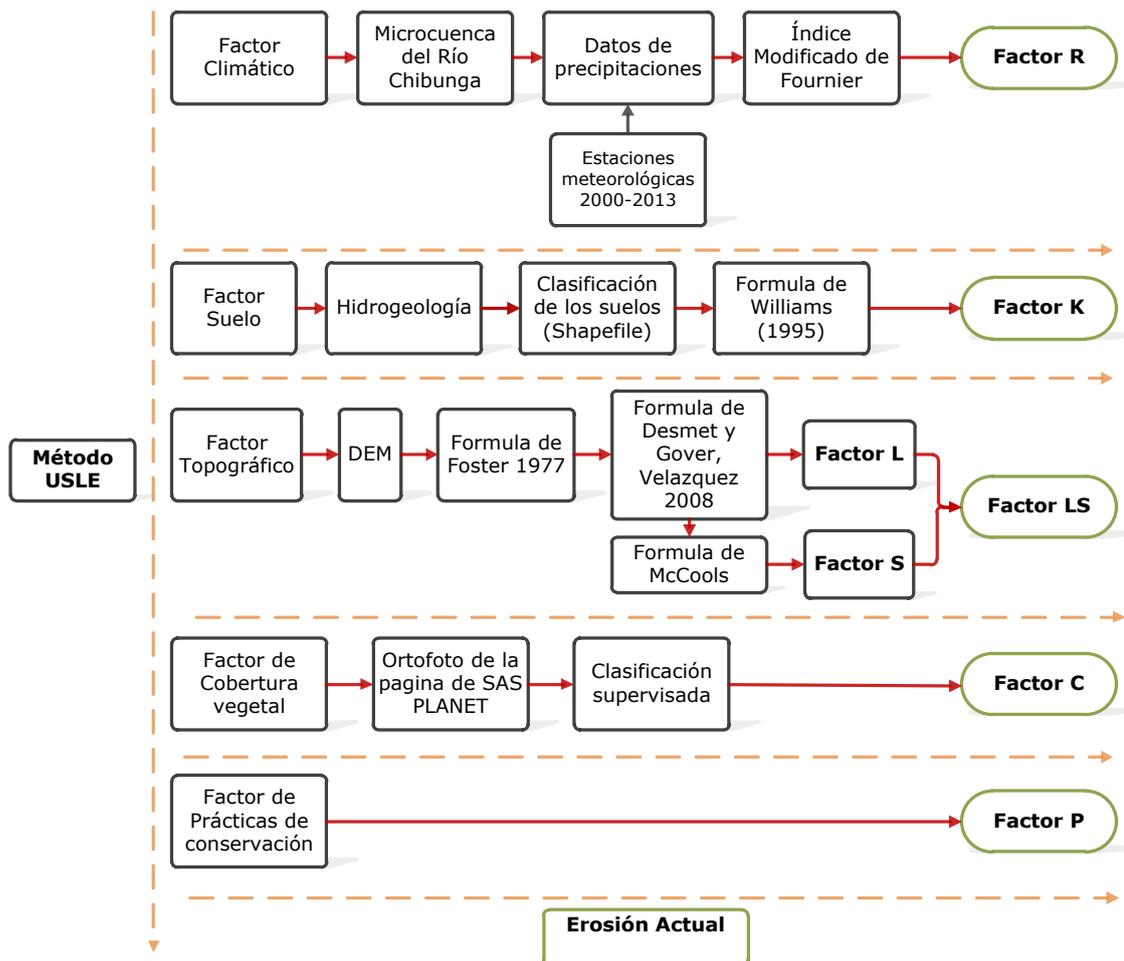


Figura 2. Esquema para el cálculo de la erosión actual de la zona de estudio.  
Fuente: (Campaña, 2015; López, 2017; Rosales, 2020)

### 6.4 Determinación de los factores USLE

Para estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica, se utilizó un modelo empírico que es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Portuguez, 2014). La cual viene expresada de la siguiente manera:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

$A$  = Es la pérdida de suelo por unidad de superficie (tn/ha.año)

$R$  = Es el factor lluvia o índice de erosión pluvial (MJ. mm /ha h)

$K$  = Es el factor erodabilidad del suelo (tn. ha.h/ha.MJ.mm)

$L$  = Factor longitud de pendiente (adimensional)

$S$  = Pendiente (adimensional)

---

$C$  = factor cultivo y/o ordenación

---

$P$  = Factor prácticas de cultivo.

---

Fuente : (López, 2017)

### 6.1 Cálculo del factor de erosividad de la lluvia (factor R)

El factor de erosividad se calculó bajo el criterio del índice de Fournier empleando datos de precipitación de las estaciones meteorológicas que estén dentro y fuera de la microcuenca, este índice es confiable ya que considero datos de precipitación tanto mensual como anual (López, 2017). Los datos de precipitación se encontraron en la página de INAMHI.

El cálculo, se establece, mediante la siguiente formula:

$$IMF = \frac{\sum pm^2}{P}$$

---

IMF = Índice Modificado de Fournier

---

$pm^2$  = Precipitación mensuales (mm)

---

$P$  = Precipitaciones medias anuales (mm)

---

Fuente: (Calero, 2017)

Posterior al cálculo del Índice Modificado de Fournier se procedió a realizar una interpolación, utilizando la herramienta Geostatistical Analyst > Inverse Distance Weighting (IDM) con un campo de valor R, tamaño de la celda 20 m y la unidad geográfica de la microcuenca del río Chibunga, obteniendo como resultado valores en formato ráster (Calero, 2017).

### 6.1 Cálculo del factor erodabilidad del suelo (factor K)

Este factor se determinó mediante un shapefile, el cual contiene las propiedades físicas del suelo de la zona de estudio, en donde se extrajo los porcentajes de arena, limo, arcilla y materia orgánica (FAO, 2007).

Posteriormente, se calculó el factor de erodabilidad mediante la siguiente ecuación propuesta por Williams (1995) (Schürz, Mehdi, Kiesel, Schulz, & Herrnegger, 2019):

---

$$K = 0.1317 \cdot f_{cSand} \cdot f_{ci-si} \cdot f_{orgc} \cdot f_{hisand}$$

---

$$f_{csand} = (0.2 + 0.3 \exp[-0.0256 m_{sa} (1 - \frac{m_{silt}}{100})])$$

---

$$f_{ci-si} = \left( \frac{m_{silt}}{m_{clay} + m_{silt}} \right)$$

---

$$f_{orgc} = \left[ 1 - \frac{0.0256_{orgc}}{orgC + \exp[3.72 - 2.25_{orgC}]} \right]$$

---

$$f_{hisand} = \left[ 1 - \frac{0.70 (1 - \frac{m_s}{100})}{(1 - \frac{m_s}{100}) + \exp[-5.51 + 22.9 (1 - \frac{m_s}{100})]} \right]$$

---

Fuente :(Schürz et al., 2019)

## 6.2 Cálculo del factor topográfico de longitud y grado de la pendiente LS

El factor LS es el efecto combinado de la pendiente y la longitud del terreno, el cual se encuentra expuesto a la erosión de tipo laminar y en surcos, dichas variables se asocian en el modelo USLE (Calero, 2017). Para ello se utilizó un Modelo Digital de Elevación (DEM) con una resolución de 30 m<sup>2</sup>, el mismo que se corrigió imperfecciones y espacios vacíos mediante la herramienta Fill; posteriormente se utilizó la herramienta Slope > Flow direction > Flow accumulation, finalmente se utilizó la herramienta Raster Calculator.

Con el aparecimiento de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), Velásquez (2008), propuso la siguiente fórmula para el cálculo del factor longitud de pendiente (L) sobre la base de estudios de Desmet & Gover (1996):

---


$$L_{(i,j)} = \frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{x^m D^{m+2} (22.13)^m}$$


---

A = Acumulación del flujo a nivel del pixel

---

D = Lado del pixel

---

x = Coeficiente de forma (x=1 para sistemas pixelados)

---

m = Constante, que se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$m = \frac{F}{(1 + F)}$$


---

**Fuente:** (Calero, 2017)

En cambio, el factor F se obtuvo a partir de la expresión que está función de la pendiente a nivel de píxel ( $\beta$ ):

---


$$F = \frac{\sin\beta/0.0896}{3(\sin\beta)^{0.8} + 0.56}$$


---

$\beta$ =Pendiente a nivel del pixel (debe estar expresada en radianes, a grados multiplicar por 0.01745).

---

**Fuente:** (Calero, 2017)

Para el cálculo del factor S, se utilizó las expresiones propuestas por McCools que se encuentran en función de la pendiente a nivel de píxel ( $\beta$ ).

Cuando  $\tan\beta_{(i,j)} < 0.09$   $S_{(i,j)} = 10.8\sin\beta_{(i,j)} + 0.03$

Cuando  $\tan\beta_{(i,j)} \geq 0.09$   $S_{(i,j)} = 16.8\sin\beta_{(i,j)} - 0.5$

Una vez que, se obtuvieron los valores del factor L y factor S, se los multiplico para determinar el valor del factor topográfico el cual es adimensional (Calero, 2017).

### 6.3 Cálculo del factor de cobertura vegetal (Factor C)

Para el análisis de la cobertura vegetal se utilizó una ortofoto con resolución de 1,19 m<sup>2</sup>, obtenida de la página SAS PLANET, 2020, cuya proyección cartográfica corresponde a la zona 17S UTM WGS84 (Medrano, 2017).

#### 6.8.1 Salidas de campo

Para la recolección de los datos se destinaron 2 días Anexo 2, tomando puntos de control del Anexo 3 (coordenadas), en los diferentes tipos de cobertura descritos en la siguiente tabla.

*Tabla 2.* Tipos de coberturas identificadas en la zona de estudio

<b>Tipo de cobertura</b>
Nieve
Sin Cobertura
Plantaciones Forestales
Páramo
Área Poblada
Bosque Nativo
Infraestructura
Pastizal
Cuerpos de Agua
Mosaico Agropecuario

**Fuente:** (Rosales, 2020)

#### 6.8.2 Clasificación supervisada

Se procedió a marcar puntos por cada tipo de cobertura identificado en la microcuenca del río Chibunga donde se utilizó la herramienta ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Multivariate > Create Signatures, posteriormente se utilizó la herramienta Maximum Likelihood Classification, los valores obtenidos fueron adimensionales (Medrano, 2017).

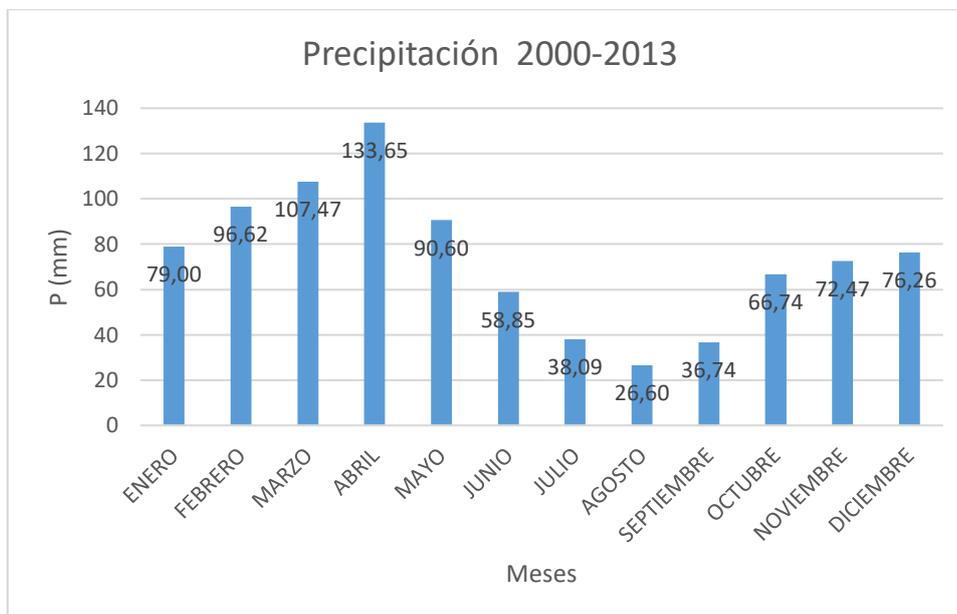
### 6.4 Cálculo del factor de prácticas de conservación (Factor P)

El factor P, hace referencia al manejo y conservación de la cobertura vegetal dentro del área de estudio, cuyo objetivo es, evitar pérdidas de suelo por acción hídrica, puesto a la poca información disponible de la zona de estudio se asignó un valor constante  $P = 1$  el cual es adimensional; metodología similar a estudios realizados por (Arroyo and Jaramillo 2019; López 2017; Jaramillo 2015).

## CAPÍTULO III

### 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 7.1 Variabilidad de precipitación



**Figura 3.** Precipitación promedio mensual 2000-2013  
**Fuente:** (INAMHI, 2013)

La Figura 3 muestra la variación media mensual de precipitación de las estaciones meteorológicas consideradas en la zona de estudio, teniendo como resultado un periodo seco: Junio – Septiembre con el mínimo de precipitaciones en el mes de Agosto presentando el límite inferior de 26,60 mm mientras en el período lluvioso: Diciembre – Mayo con un límite superior de 133,65 mm en el mes de abril mostrando características propias de la región Andina la cual es influenciada por la Cordillera de los Andes, en los últimos años la precipitación estándar cambio provocando impactos significativos en la agricultura, sobre todo en tiempos de siembra y cosecha de cultivos (Pérez, Mullo, & Marcatoma, 2020).

#### 7.2 Índice de erosividad de lluvia Factor R

El presente estudio consideró 8 estaciones meteorológicas del INAMHI, durante un periodo del 2000 – 2013. La tabla 3 indica la distribución de la lluvia, donde el factor R varía en función de los eventos de precipitación de cada estación meteorológica.

**Tabla 3.** Distribución de la precipitación en la microcuenca del río Chibunga

<b>Estaciones</b>	<b>Código</b>	<b>Altitud</b>	<b>Precipitación Media Anual (mm)</b>	<b>Factor R (Mj. mm /ha. h)</b>
<b>Salinas-Bolívar</b>	M385	3600	87,32	112,69
<b>San Juan-Chimborazo</b>	M393	3220	53,41	65,69
<b>Cebadas</b>	M395	2930	53,78	65,79
<b>Alao</b>	M396	3200	98,90	105,19
<b>Cañi-Limbe</b>	M404	2800	102,48	161,10
<b>Licto</b>	M407	2840	58,48	64,51
<b>Guano</b>	M408	2620	36,56	43,76
<b>Pangor-J De Velasco (H Tepeyac)</b>	M409	3109	97,81	114,50

*Fuente:* INAMHI

### **Análisis estadístico**

En la actualidad, existen factores asociados a ciertas anomalías que se han presentado en todo el planeta, afectando de manera directa al ser humano en el ámbito de la salud, productividad agrícola, migración de especies entre otras (Arroyo & Jaramillo, 2019); por ello, es importante conocer la correlación que existe entre estos valores para determinar, si la variabilidad climática se encuentra dentro de un mismo régimen de precipitación incluso las variaciones del número de lluvia de un verano a otro (Suárez, 2018). La tabla 4 muestra la correlación del factor R de las estaciones meteorológicas en la zona de estudio.

**Tabla 4.** Coeficiente de correlación de Pearson del Factor R

	<b>M385</b>	<b>M393</b>	<b>M395</b>	<b>M396</b>	<b>M404</b>	<b>M407</b>	<b>M408</b>	<b>M409</b>
<b>M385</b>	1,00							
<b>M393</b>	<i>0,71</i>	1,00						
<b>M395</b>	<i>0,72</i>	<i>0,89</i>	1,00					
<b>M396</b>	-0,11	0,27	0,43	1,00				
<b>M404</b>	<i>0,97</i>	0,67	<i>0,71</i>	-0,08	1,00			
<b>M407</b>	0,69	<i>0,96</i>	<i>0,87</i>	0,41	0,68	1,00		

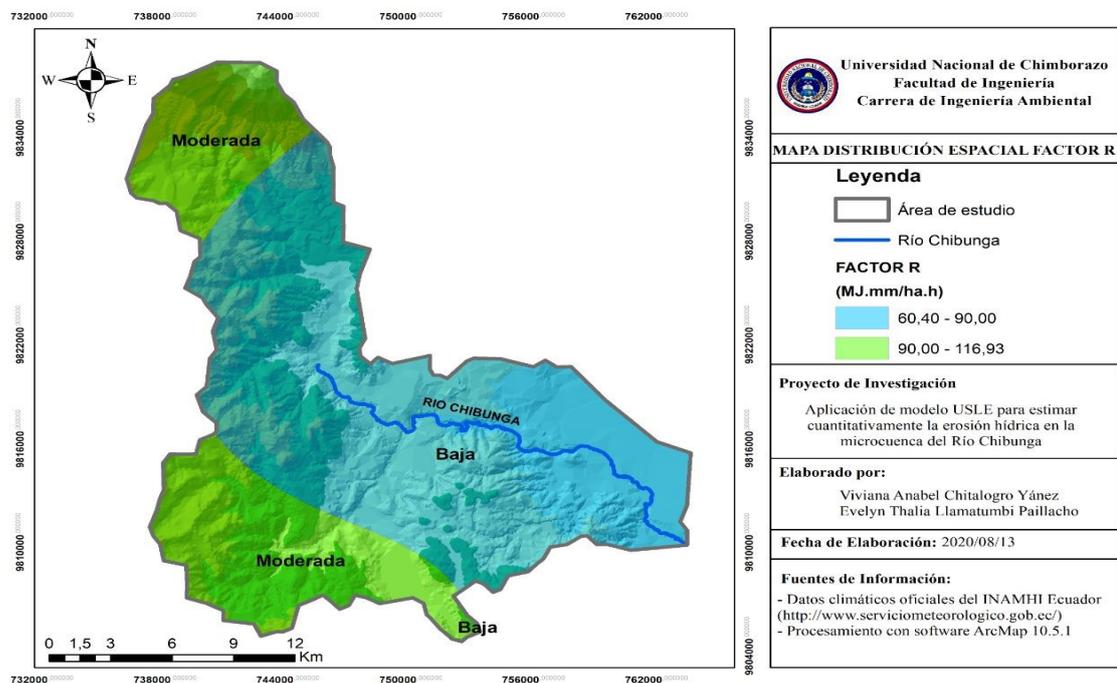
<b>M408</b>	0,65	<b>0,93</b>	<b>0,77</b>	0,36	0,62	<b>0,97</b>	1,00	
<b>M409</b>	<b>0,84</b>	<b>0,94</b>	<b>0,95</b>	0,29	<b>0,79</b>	<b>0,90</b>	<b>0,83</b>	1,00

*Fuente:* Autores, 2020

La correlación de Pearson muestra valores mayores a 0,7 para cada estación meteorológica en el período de (2000-2013), la mayor cantidad de estaciones está comprendida entre significativa y muy significativa correlación (Díaz, 2017) Anexo 4 Las estaciones meteorológicas presentaron una similitud en cuanto a los eventos de precipitación, a excepción de las estaciones M396, M404, que corresponden a las estaciones de Alao, y Cañi-Limbe debido a que los meses más secos se encuentran en los periodos de Julio - Agosto y Junio - Septiembre respectivamente, mientras que los meses restantes presentan precipitaciones considerables (Chagñay & Ricaurte, 2018; PDOT, 2015). Los Altos niveles de precipitación que presentan las dos estaciones se debe a las características propias del herbazal de páramo en el sector de Alao; mientras que Cañi-Limbe sobresalen ecosistemas como el páramo húmedo y el Bosque Húmedo montano Occidental en casi toda su superficie (Chagñay & Ricaurte, 2018; PDOT, 2015).

### Factor R

La importancia de estimar la erosión hídrica radica en la evaluación del suelo y las implicaciones que trae a la producción agrícola y planificación territorial (Calderón, 2020).



**Figura 4.** Mapa de distribución espacial del Factor R

*Fuente:* Autores, 2020

La erosividad de la lluvia en la microcuenca del río Chibunga oscila entre 60,41 a 116,93 MJ.mm/ha.h como se muestra en la figura 4. El régimen pluviométrico que se registraron de acuerdo al INAMHI se caracteriza por su irregularidad temporal de mayor frecuencia e intensidad entre los meses de diciembre a abril mientras que en los meses de junio a agosto es baja. Según Haro (2018), la pendiente media de la microcuenca es de 24,36 % por tanto es de tipo accidentada y la relación de elongación es de 0,77 indicando que tiene un relieve medianamente pronunciado y una amplia variedad de climas y geología. Considerando lo anterior, el 67,04% del territorio total de la microcuenca presenta rango de erosividad baja y el 32,96% restante se encuentra en una erosividad moderada (Lince, Castaño, Castro, & Torres, 2015). Anexo 5. En general se concluyó que las condiciones climáticas de la microcuenca del río Chibunga, no inciden de forma considerable en la degradación de sus suelos. Ver tabla 5

**Tabla 5.** Categorías de Riesgo de Erosión en la Microcuenca del río Chibunga.

<b>Categoría</b>	<b>R</b> <b>(MJ.mm/ha.h)</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>%</b>
Baja	60-90	29463,988	67,04
Moderada	90-120	14487,776	32,96

**Fuente:** (Lince et al., 2015)

La aplicación de los SIG en este estudio permitió la estimación cuantitativa de pérdida de suelos y a su vez indica el lugar y la cantidad donde se produce la degradación logrando visualizar la intensidad y localización (Portuguez, 2014).

Por lo tanto, en la microcuenca del río Chibunga se procedió analizar los datos de precipitación a partir del año 2000 - 2013 de las ocho estaciones meteorológicas, posterior a ello se procesó los valores aplicando la metodología plantada por Fournier (1960) tomando en cuenta la precipitación mensual (mm) así como la precipitación media anual (mm), se obtuvieron valores confiables para el factor R (Peralta, 2015). Los resultados obtenidos son semejantes a algunos estudios realizados en otras cuencas (Calderón, 2020; Campaña, 2015; Fasina et al., 2015; López, 2017; Rosales, 2020). Los modelos desarrollados tomaron en cuenta las precipitaciones mensuales y anuales. Sin embargo, de acuerdo al coeficiente de Pearson la zona de estudio tuvo alta correlación lo cual establece que la USLE es una herramienta poderosa para valorar la degradación de suelo en las cuencas del Ecuador (Calderón, 2020).

### 7.3 Índice de erodabilidad del suelo Factor K

Se utilizó la metodología alternativa determinada por la FAO, donde refleja porcentajes de arena, limo, arcilla y materia orgánica que presenta la zona de estudio. La tabla 6 representa los valores remplazados en la ecuación propuesta por Williams (1995).

**Tabla 6.** Porcentaje de los componentes del suelo para el cálculo del Factor K

<b>Clave</b>	<b>Orden</b>	<b>Arena</b> %	<b>Limo</b> %	<b>Arcilla</b> %	<b>MO %</b>
I	Litosol	58,9	16,2	24,9	0,97
Th	Andosol húmico	41	41,3	17,7	7,03
Tm	Andosol mólico	31,2	39,6	29,2	3,95

**Fuente:** (FAO, 2007).

En la microcuenca del río Chibunga se identificó dos tipos de suelo: Litosol y Andosol; donde los Litosoles se caracterizan por ser delgados con un espesor poco profundo, desarrollados a partir de materiales volcánicos los cuales contienen arcillas (Arribasplata, 2012). Esto puede explicarse por el porcentaje de arena en el suelo que representa el 58,9% siendo sensible a erosionarse por su alto porcentaje. En cuanto los Andosoles, son aquellos que se forman sobre cenizas volcánicas siendo resistentes a la erosión, se caracterizan por su color negro debido a la alta tasa de materia orgánica (Asanza & Barahona, 2015), en la zona de estudio se identifica dos grupos del orden Andosol: húmico y mólico los cuales presentan valores de 7,03 y 3,95 % de MO respectivamente. Suelos con altas tasas de permeabilidad y mayor materia orgánica tienen una mayor resistencia a la erosión (Setyawan, Lee, & Prawitasari, 2017)

**Tabla 7.** Resultados del Factor de erodabilidad del suelo en la microcuenca del río Chibunga

<b>Clave</b>	<b>Textura superficial</b>	<b>K</b> <b>(ton. ha. h/ha. MJ.</b> <b>mm)</b>	<b>Ha</b>	<b>%</b>
<b>I</b>	Franco Arcillo Arenoso	0,0146	20447,9	46,59
<b>Th</b>	Franco	0,0325	5940,05	13,54
<b>Tm</b>	Franco Arcilloso	0,0285	17497,34	39,87

**Fuente:** (Arroyo & Jaramillo, 2019; FAO, 2007).

La tabla 7 representa tres tipos de textura superficial de suelo de acuerdo al triángulo textural que aplica el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) en el

área de estudio (Arroyo & Jaramillo, 2019). Anexo 6; la textura Franco arcillo arenoso ocupa el 46,59 % de la superficie total, a su vez siendo predominante en la microcuenca; seguido del suelo Franco arcilloso con un valor de 39,87 % y finalmente el porcentaje restante es del 13,54% que corresponde a suelos Franco.

Los resultados de erodabilidad muestran un intervalo de 0,0146 a 0,0325 t. ha. hr/ha. MJ. mm, debido que en la zona de estudio predomina suelos francos. En los suelos Franco arcillo arenoso se registra valores bajos debido a que predomina el porcentaje de arena, disminuyendo la presencia de escorrentía superficial por la capacidad de infiltración; en las texturas francas manifiesta un valor alto cuyo flujo superficial de retención es menor, por ende, existe mayor vulnerabilidad de desprendimiento de las partículas del suelo debido a que los porcentajes de arcillas es de apenas de 17.7%

### Factor K

El índice de erodabilidad es importante por la susceptibilidad de las partículas del suelo al movimiento y desprendimiento por los eventos de precipitación y escorrentía, el cual depende de características como la textura, estructura, contenido de materia orgánica y la permeabilidad (Calderón, 2020).

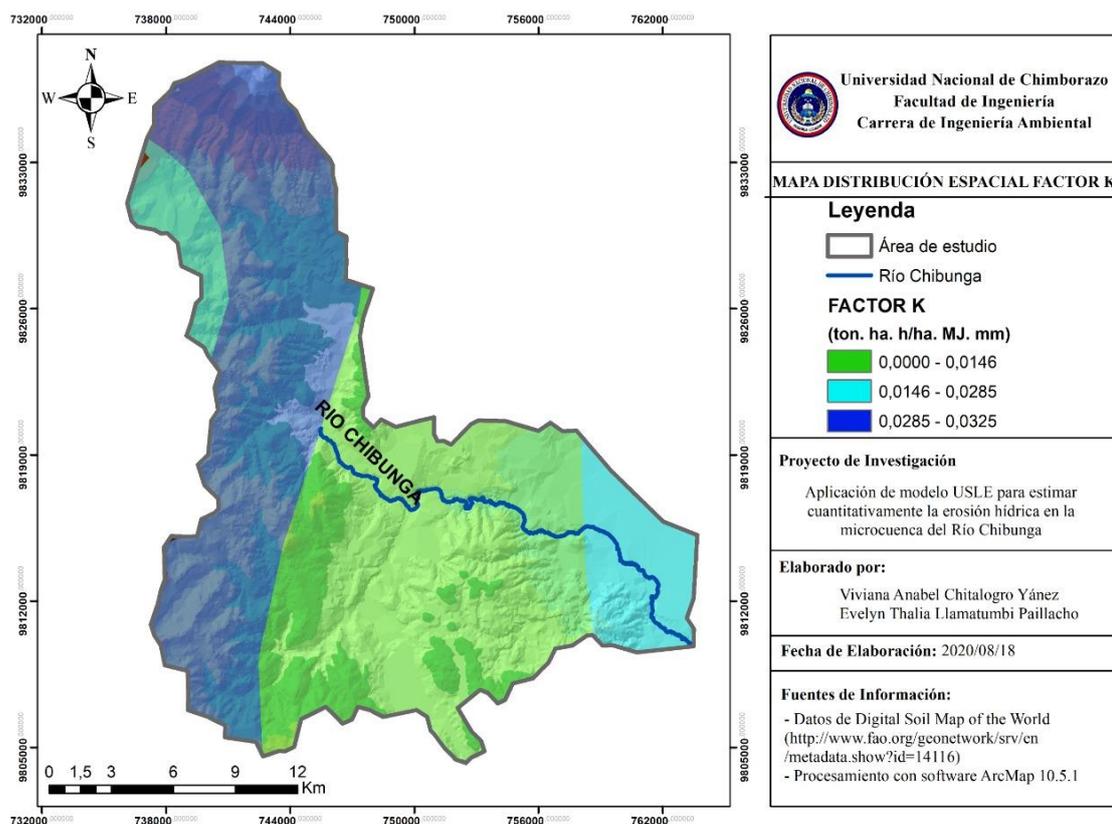


Figura 5. Mapa de distribución espacial del Factor K

Fuente: Autores, 2020

El estudio realizado según López (2017), manifiesta que “el suelo arenoso tiende a poseer valores cercanos de 0,05 a 0,2 Mg.ha.h/ha.MJ.mm cuyos valores se caracterizan por contener una baja interacción con la escorrentía pero fuertemente vulnerables a la erosión cuando se localizan en pendientes sin vegetación. El suelo que presenta una textura mediana conocidos como francos, suelen presentar valores cercanos de 0,25 a 0,4 de erodabilidad ya que son moderadamente susceptibles al desprendimiento causado por el agua y el viento, los suelos que presentan alto contenido en su composición de arcilla, presentan bajos valores entre los rangos de 0,05 a 0,15 de erodabilidad. Los que tienen contenido de limo en su textura son los más propensos a sufrir desprendimientos de sus partículas, generando altas escorrentías cuyos valores tienden a ser mayores de 0,5 de erodabilidad.”

La erodabilidad, refleja la capacidad de los suelos para resistir erosión basada en las propiedades físicas del suelo; los suelos con altas tasas de permeabilidad y mayor materia orgánica tienen una mayor resistencia a la erosión (Setyawan et al., 2017).

Para determinar la erodabilidad en la microcuenca del río Chibunga se utilizó la clasificación de los grados de erodabilidad según USDA (1962) (Anexo 7) una vez calculado los valores de K se logró identificar que la zona de estudio es catalogada como muy poco erodable, Ver figura 5 (Orozco & Ángel, 2017).

#### **7.4 Factor topográfico LS**

Los valores asociados al factor topográfico LS toman en cuenta el grado y el rango de longitud de la pendiente en la zona de estudio. “Los resultados indican que el 99,66% del área total de la microcuenca presenta valores bajos <15; el 0,22% presenta categoría moderada entre los rangos de 15 a 30; el 0,06% presenta valores altos de 30 a 45 y el 0,04% con valores > 45” (López, 2017).

Los factores que intervienen en el coeficiente LS están asociados a la cobertura vegetal, características propias de escurrimiento con pendientes pronunciadas, el periodo lluvioso considerando el límite superior en el mes abril con un valor 133,65 mm con respecto a otros meses. La tabla 8 muestra los resultados del factor LS según su categoría.

*Tabla 8.* Resultados del Factor topográfico en la microcuenca del río Chibunga

<b>Categoría</b>	<b>factor LS</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>(%)</b>
<b>Baja</b>	<15	43774,35	99,66
<b>Moderado</b>	15 -30	99,09	0,22
<b>Alto</b>	30 - 45	27,38	0,06

<b>Muy Alto</b>	>45	20,19	0,04
-----------------	-----	-------	------

Fuente: (López, 2017)

### Factor LS

“El factor topográfico es muy importante en la aplicación del modelo USLE ya que determina las condiciones de escorrentía (velocidad y capacidad de transporte de sedimentos)”(Calderón, 2020). Donde el indicador de erosión es directamente proporcional al porcentaje de la pendiente e inclinación del terreno (Rosales, 2020).

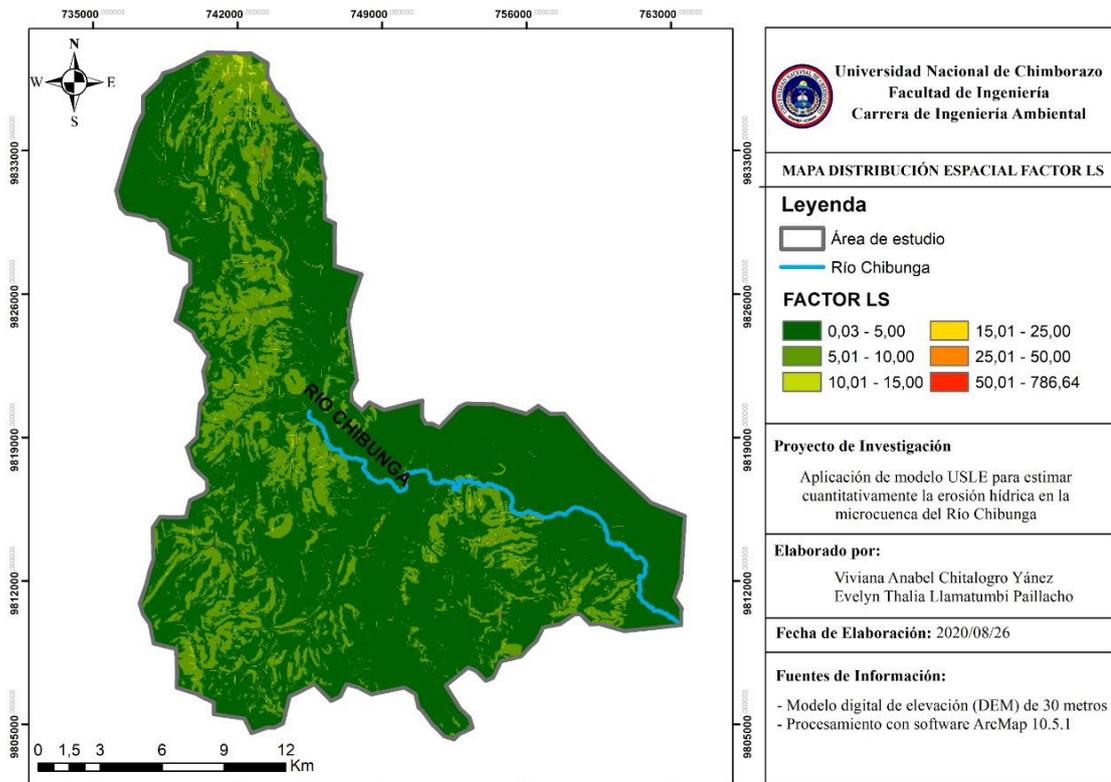


Figura 6. Mapa de distribución espacial del Factor LS

Fuente: Autores, 2020

Los valores que predominan en la microcuenca del río Chibunga correspondientes al factor LS presentan valores bajos, obtenidos mediante la multiplicación de los ráster pre procesados, correspondientes a la longitud (L) y el grado de la pendiente (S) (Jaramillo, 2015). Esta característica se debe principalmente a las condiciones de la topografía de la microcuenca; la misma que muestra una erosión baja.

Tanto la pendiente como la longitud del terreno afecta la degradación del suelo causada por la precipitación (Calderón, 2020). Por ello los valores máximos (LS) se encuentran en pendientes pronunciadas ubicadas en la parte alta de la microcuenca, Ver figura 6. Las pendientes pronunciadas corresponden a las zonas elevadas y montañosas (Jaramillo, 2015). Sus valores elevados se deben a los efectos de la precipitación que son propensos al arrastre de materiales como: cultivos, partículas, minerales y nutrientes

desde el punto más alto hasta su deposición. Por ello, en las pendientes el flujo hídrico incide en la fuerza que arrastra el componente físico, químico y natural cambiando el aspecto paisajístico de la microcuenca (López, 2017).

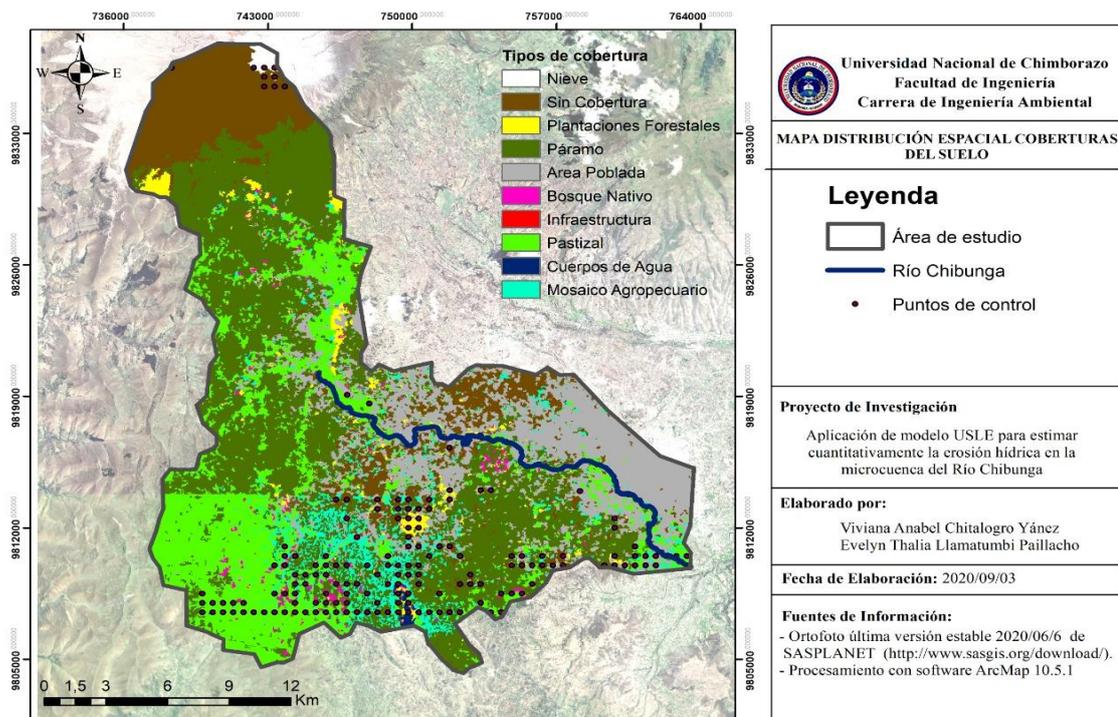
### 7.5 Factor del manejo de vegetación, cobertura y uso del suelo C

Para determinar este factor se identificaron 10 tipos de cobertura (uso de suelo) a los cuales se asignaron distintos valores para el factor C (Rosales, 2020) Anexo 8. En la tabla 9 se estima que el 38.38% de la microcuenca se encuentra bajo la cubierta de páramo localizado en la parte alta de la zona de estudio, seguido por pastizales con el 20,38% localizado en la parte baja y media de la microcuenca.

**Tabla 9.** Tipos de cobertura vegetal en la microcuenca del río Chibunga

<b>Tipo de cobertura</b>	<b>Factor C</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>%</b>
Nieve	0	160,97	0,37
Sin Cobertura	1	6328,29	14,40
Plantaciones Forestales	0,03	961,67	2,19
Páramo	0,03	16869,52	38,38
Área Poblada	0	7658,70	17,43
Bosque Nativo	0,01	491,87	1,12
Infraestructura	0	3,35	0,01
Pastizal	0,13	8958,56	20,38
Cuerpos de Agua	0	86,37	0,20
Mosaico Agropecuario	0,4	2432,46	5,53

**Fuente:** (Rosales, 2020)



**Figura 7.** Mapa de los tipos de cobertura predominante en la microcuenca del río Chibunga  
**Fuente:** Autores, 2020

La figura 7 muestra los diferentes tipos de cobertura predominantes en la microcuenca del río Chibunga, donde la vegetación va en función de las condiciones bioclimáticas por ello, a lo largo de la zona de estudio se encuentra una diversidad florística tanto nativas como exóticas. Hay zonas deforestadas debido a la introducción de cultivos y bosques; existe la presencia de vegetación arbustiva, herbácea y en menor proporción arbórea (Jaque & Potocí, 2015). La tabla 10 describe las características de los tipos de cobertura presentes en la zona de estudio.

**Tabla 10.** Tipos de cobertura predominante en la microcuenca del río Chibunga

Tipo de Cobertura	Característica
Nieve	En el período 1962-1966 la nieve en el volcán Chimborazo representaba un 10,30%, mientras que para el período 2010-2011 el porcentaje de nieve decrece a 4,46%, siendo evidente la pérdida de nieve con características propias de glaciares andinos, que debido a la influencia del cambio climático, ha experimentado cambios extremos (Paula, Zambrano, & Paula, 2018)
Sin cobertura	Debido a la quema de pajonal y pastoreo principalmente por las ovejas y ganado. Comparando con el año 1987 que registró un valor del 26,61% cuyo valor para el año 2000 se incrementa al 27,50%; mientras que para el año 2015 se evidencio mayor

	reducción al 2,31% de suelo desnudo (Paula et al., 2018)
Plantaciones forestales	Las plantaciones forestales representan el 51,7% de superficie total del país, incluidos bosques naturales y plantados, bosques protectores y de patrimonio forestal (Montenegro, 2011). Sin embargo, la mayor amenaza que se registra en los últimos años son los incendios forestales generando perturbaciones de gran intensidad sobre la flora, fauna, suelo y agua lo cual trae como consecuencia la migración de especies y a su vez produce un vacío ecológico y desequilibrio en el área afectada (Espinoza, 2017).
Páramo	El páramo además de ser considerado ecosistemas estratégicos por su oferta de servicios ambientales en cuanto a regulación hídrica (Cunalata, Inga, Alvarez, Recalde, & Echeverría, 2013), también es considerado archipiélago biológico con una franja altitudinal entre los 3000 hasta los 4500 msnm que contiene alrededor del 30 % de las especies de plantas vasculares. La provincia de Chimborazo posee más de 236000 ha de ecosistema páramo, es decir, el 36,9 % de la superficie de la provincia y el 13,1% de otras coberturas (Cunalata et al., 2013).
Área poblada	La microcuenca del río Chibunga tiene 14 km, el cual va de noroeste a suroeste atraviesa por diferentes comunidades como: Calpi, Gatazo, Lican, Yaruquies y San Luis. Con el paso del tiempo y las actividades antropogénicas han deteriorado el paisaje (Rios et al., 2011).
Bosque nativo	Son ecosistemas arbóreos definidos por la presencia de árboles y arbustos de un sin número de especies nativas y alturas variadas, en Ecuador los bosques nativos en el año 2008 eran de 13 036 831 ha mientras que en el 2014 fue de 12 753 387 ha, predominando Bosques montanos altos y de ceja andina (vegetación de transición entre los bosques montanos altos y el páramo) presentándose en forma de islas de bosque natural (Patiño, 2018).
Infraestructura	Se identificó como infraestructura a los cultivos bajo invernaderos entre los cuales destaca en la zona de estudio el tomate riñón, frutillas etc. (GAD, 2014).
Pastizal	La producción de pastos es el uso del suelo más extendido en el planeta, en Ecuador los pastizales son el

	principal uso del suelo agrícola, para el 2010 los pastos permanentes y transitorios fue de 4 840 926.62 ha. La sustitución del bosque nativo por pastizales en las zona de clima templando-frío (páramo andino), ha tenido efectos negativos como: la compactación, acidificación y la disminución del contenido de materia orgánica (Barrezueta, Velepucha, Solano, & Hurtado, 2020).
Cuerpos de agua	La microcuenca del río Chibunga está formada por vertientes y deshielos del Chimborazo que forma lagos y lagunas, cuya desembocadura culmina en la subcuenca del río Chambo (Haro, 2018).
Mosaico agropecuario	Las principales actividades que predominan en la microcuenca del río Chibunga son de carácter agropecuarias el cual influyen en el desarrollo económico de personas que viven en esta zona (Iturralde & Fiallos, 2019).

La tabla 11 muestra intervalos del factor C, los valores entre 0 a 0,03 corresponde a coberturas: infraestructuras, cuerpo de agua, área poblada, bosque nativo, nieve, plantación forestal y páramo que representa el 59,81% del área total de la microcuenca; los valores entre 0,04 a 0,13 corresponde a pastizal que representa el 20,35%; los valores de 0,14 a 0,40 corresponde a mosaico que representa el 5,46%; los valores de 0,41 a 1 corresponde a suelo sin cobertura que corresponde al 14,38%.

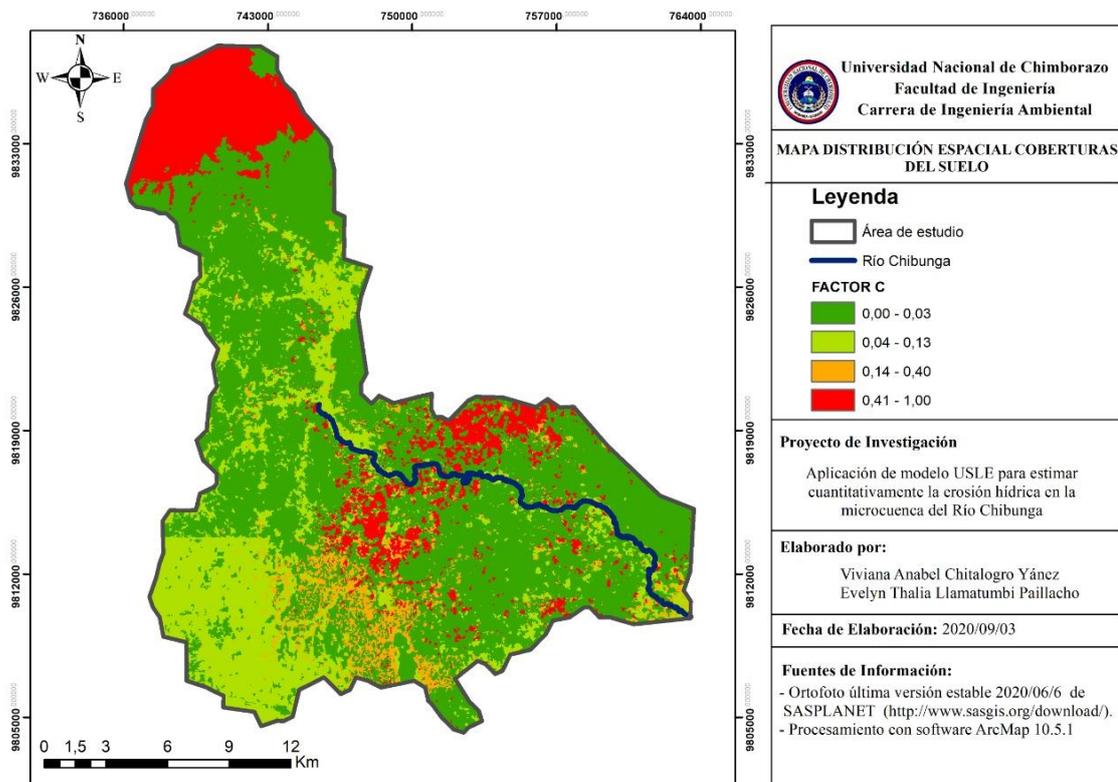
*Tabla 11.* Tipos de cobertura vegetal en la microcuenca del río Chibunga

<b>Factor C</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>%</b>
0,00 – 0,03	26285,29	59,81
0,04 – 0,13	8945,09	20,35
0,14 – 0,40	2400,64	5,46
0,41 – 1,00	6319,47	14,38

*Fuente:* (Rosales, 2020)

### **Factor C**

Este factor es importante porque determina la pérdida de suelo distribuida en el transcurso de tiempo, bajo diferentes coberturas de uso de la tierra presentes en la microcuenca (Calderón, 2020).



**Figura 8.** Mapa de distribución espacial del Factor C

**Fuente:** Autores, 2020

“La cobertura vegetal es un parámetro que permite comprender el grado de vulnerabilidad del suelo frente a la erosión hídrica, ya que analiza el uso actual de los suelos que son esenciales para la planificación del desarrollo” (Calderón, 2020). Los valores asignados para el factor C se realizaron en base a la cobertura, donde el grado de protección que otorga la vegetación varía en función del ciclo vegetativo y de las labores agrícolas (Calero, 2017).

El cambio la cobertura puede reducir considerablemente la pérdida del suelo por erosión puesto que aumenta la infiltración y reduce la escorrentía superficial, sin embargo se puede deducir que con una cobertura vegetal escasa tanto la erosión como la escorrentía aumentaría causando inundaciones, deslizamientos dañando infraestructuras de río, carreteras y la zona urbana localizada a orillas del río (Calderón, 2020). Se dice que el suelo está protegido del impacto de las gotas de lluvia cuando el valor de C se acerca a cero, en cambio si el valor de C se acerca a uno quiere decir que el suelo presenta menor cobertura vegetal, por ende, mayor probabilidad de presentar erosión (Calero, 2017). Los valores asignados del factor C guardan similitud con los datos presentados por (Calderón, 2020; Calero, 2017; Campaña, 2015; Jaramillo, 2015; López, 2017; Rosales, 2020), ya que guardan relación al tipo de cobertura y uso del suelo en la microcuenca del río Chibunga.

## 7.6 Factor de prácticas de conservación del suelo (P)

Debido a que no existe información con respecto a las prácticas de conservación en la zona de estudio se le consideró con un valor de 1. Estudios de investigación similares realizados en el río Ambato y microcuenca la Merced, Carchi (Arroyo & Jaramillo, 2019; López, 2017)

## 7.7 Pérdida de suelo por unidad de superficie (A)

La tabla 12 muestra la erosión actual que presenta la zona de estudio, donde predomina un riesgo de erosión moderada con 20216,34 ha representado el 46,17%; seguida de una erosión ligera con 13341,27 ha el cual representando el 30,47%; la erosión alta con 9961,63 ha representando el 22,75%; en cuanto a la erosión muy alta con 288,90 ha representando el 0,61% de la superficie en la microcuenca del río Chibunga.

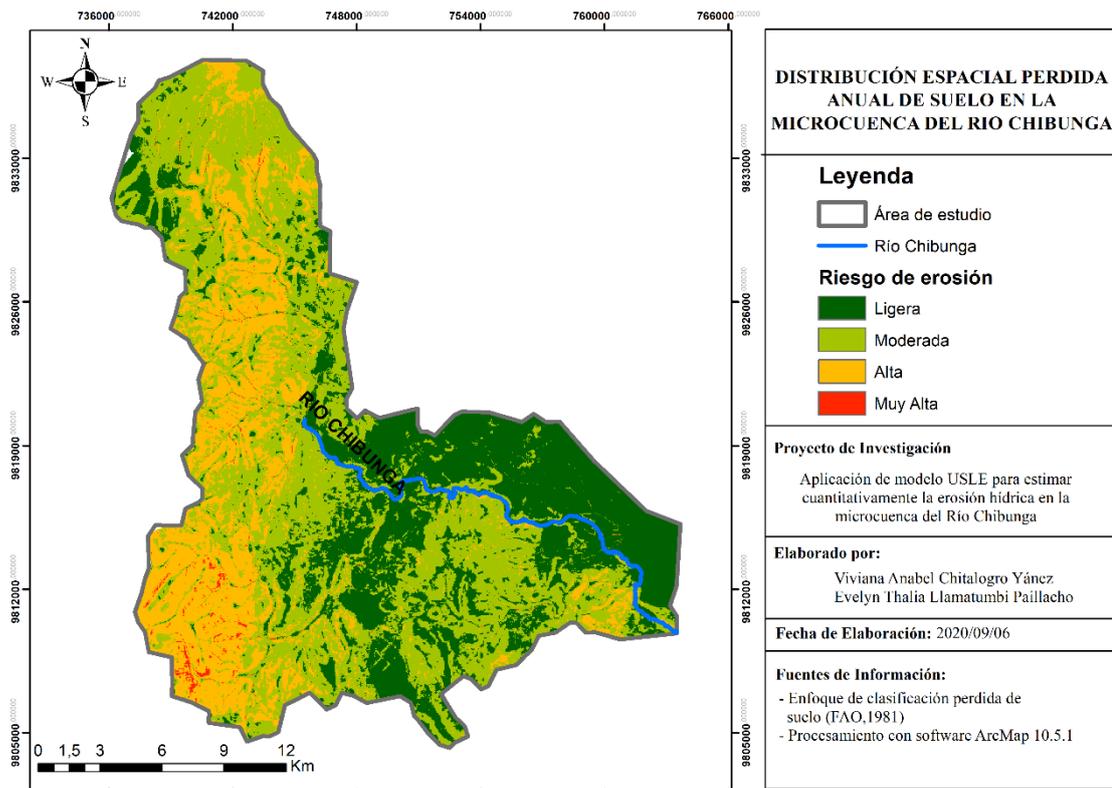
*Tabla 12.* Riesgo de erosión de la microcuenca del río Chibunga

<b>Pérdida de suelo (tn/ha.año)</b>	<b>Riesgo de erosión</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>%</b>
<b>&lt; 10</b>	Ligera	13341,27	30,47
<b>10 - 50</b>	Moderada	20216,34	46,17
<b>50 - 200</b>	Alta	9961,63	22,75
<b>&gt;200</b>	Muy Alta	266,90	0,61

*Fuente:* (López, 2017)

## FACTOR A

La aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permite estimar cuantitativamente la erosión actual de los suelos, esta investigación, permite la toma de decisiones a gran escala para garantizar la conservación y el desarrollo sostenible (Portuguez, 2014). Puesto que los resultados obtenidos indican el lugar y grado donde se produce el fenómeno erosivo.



**Figura 9.** Mapa de distribución espacial del Factor A  
**Fuente:** Autores, 2020

La figura 9 muestra la pérdida de suelo donde se combinaron todos los factores que determinan el riesgo de erosión en la microcuenca, donde el riesgo de erosión ligera con valores  $<10$  t/ha.año predomina en el flanco oriental; el riesgo de erosión moderada con valores entre 10 a 50 t/ha.año predomina al sureste (parte baja); el riesgo de erosión alta con valores entre 50 a 200 t/ha.año predomina en el flanco occidental; el riesgo de erosión muy alta con valores  $> 200$  t/ha.año predomina al suroeste aunque en menor proporción en la zona de estudio.

Portuguez (2014) indica que el factor R no puede modificarse, el factor K depende directamente de la textura del suelo, por ello no puede ser mejorada. Sólo los factores C, P y LS pueden ser modificados, mediante prácticas agronómicas sostenibles que modifican la cobertura vegetal, y consecuentemente el factor C, mediante manejo sostenible de los sistemas de siembra, el factor P puede ser cambiado por prácticas de conservación como barreras vegetativas, terrazas, zanjias o acequias.

(López, 2017), al aplicar el modelo USLE/RUSLE para el año 1990 se obtuvo una categoría ligera que representa el 52,22% de la superficie total, mientras que el 38,92% es de categoría moderada; para el año 2000 se obtuvo una categoría ligera que representa el 49,29%, mientras que el 41,41% es de categoría moderada; para el 2014 se obtuvo una

categoría ligera que representa el 65,51%, mientras que el 24,88% es de categoría moderada.

Campana (2015), luego de evaluar los factores del modelo RUSLE mediante el uso de los SIG en la microcuenca del río Perlaví indico que “la tasa de erosión predominante fue inferior a 10 t/ha.año determinada como erosión leve, que abarca 8418 ha equivalente al 99,23 % del área total de la microcuenca”. Además, indica que la erosión máxima permisible es de 10 t/ha.año, esto quiere decir que aquellos resultados que se encuentran dentro del rango no presentan pérdidas netas debido a la erosión, en cambio, aquellos resultados que sobrepasan el límite no tienen garantizado la conservación del suelo.

Calderón (2020), realizo el análisis de los Sistemas de Información Geográfica implementando el modelo RUSLE para estimar la pérdida del suelo en la subcuenca Alamor, donde obtuvo que el área de estudio se encuentra categorizada como erosión baja representando el 68,15 % del área total. También indica que los suelos agrícolas y ganaderos con pendientes mayores al 26,8 % son los más propensos a la erosión, con ello se da a conocer que el factor C es el que más influencia presenta en la pérdida de suelo, por lo tanto, se puede deducir que las zonas que presentan escasa cobertura vegetal, condiciones climáticas y pendientes extremas tienden a mostrar valores altos de erosión actual.

En la presente investigación se realizó el cálculo de la “pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando el modelo USLE con el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la microcuenca del río Chibunga”, donde se obtuvo que la mayor parte del área de estudio se encuentra en categoría moderada con 20216,34 ha el cual representa el 46,17% del área total. Comparando los resultados obtenidos con trabajos similares realizados por Portuguez (2014), López (2017), Campana (2015) y Calderón (2020) validan los resultados y a su vez evidencia los problemas de erosión hídrica por el mal manejo del recurso suelo.

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 8.1 CONCLUSIONES

- Se obtuvo seis variables: R, K, L, S, C y P; asociando a ellas un estudio cronológico de la precipitación comprendido en un periodo 2000 - 2013; la estructura textural del suelo en función del porcentaje de arena, limo, arcilla y materia orgánica obtenida de la FAO, 2007; Modelo Digital de Elevación (DEM) con una resolución de 30 m<sup>2</sup>; para cobertura vegetal se utilizó una ortofoto con resolución de 1,19 m<sup>2</sup> obtenida de la página SAS PLANET, 2020 determinando 10 tipos de cobertura (usos de suelo); para las prácticas de conservación se asignó el valor de 1.
- Se logró generar una base de datos georreferenciada de la zona de estudio para los factores (R, K, L, S, C y P) para realizar un análisis comparativo con niveles estandarizados para cada uno de los factores: para la erosividad de lluvia (R) predomina la categoría baja; para la erodabilidad del suelo (K) predomina la textura franco arcilla arenosa, catalogada como poco erodable; para el factor topográfico (LS) predomina la categoría baja y para el factor de cobertura vegetal (C) predomina páramo y pastizal; para las prácticas de conservación se le asignó el valor de 1 debido a la poca información.
- Se establecieron mapas temáticos de los diferentes factores y un mapa de pérdida de suelo a escala 250.000, cuya proyección cartográfica corresponde a la zona 17S UTM WGS84 con la finalidad de visualizar las áreas vulnerables a la erosión y que sirve como referencia para cualquier estudio investigativo en el campo hidrológico y ambiental para una correcta toma de decisiones por parte de los actores.
- Los mapas temáticos generados son de utilidad para visualizar las zonas más propensas a erosionarse y con ello implementar buenas prácticas agrícolas (BPA), garantizando el manejo sustentable de los suelos.
- El resultado de la aplicación del modelo USLE determinó que la microcuenca del río Chibunga presenta un grado de erosión por acción hídrica, predominando las categorías ligera y moderada, el cual representa el 30,47% y 46,17% respectivamente para el área de estudio.

## **8.2 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda el uso de la metodología USLE, considerando el contexto actual de los factores que determinan la pérdida de suelo para obtener resultados más cercanos a la realidad.
- Se debe tener en consideración el análisis de las diferentes prácticas de conservación en el área de estudio mediante una base de datos georreferenciada que permita acceder a la información para el uso de factor P.
- Se recomienda al INAMHI tener registros de precipitación actualizados.
- Se debe considerar un proceso de sociabilización y manejo de la información por parte de los actores de gestión de territorio.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Arribasplata, M. (2012). *Programa de forestación en las minas Arcata y explorador del departamento de Arequipa sobre los 4500 m.s.n.m. con el forestal Polylepis tarapacana*.
- Arroyo, L., & Jaramillo, J. (2019). VALIDACIÓN DE LOS MODELOS RUSLE, WEQ Y CLAVOS DE EROSIÓN EN LA PÉRDIDA DE SUELO DE LA MICROCUENCA LA MERCED, CARCHI.
- Asanza, J. C., & Barahona, J. A. (2015). *Impacto de la cobertura vegetal y las actividades antropicas sobre la formación del suelo en una microcuenca de páramo en la cuenca alta del río Yanuncay-Quebrada Cuevas*. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21930/1/tesis.pdf>
- Barrezueta, S., Velepucha, K., Solano, M., & Hurtado, L. (2020). Secuestro de carbono orgánico del suelo en pastizales de la provincia El Oro , Ecuador. *Revista Científica UNEMI*, 13, 14–26. Retrieved from <http://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/901/1002>
- Calderón, J. (2020). Estimación del riesgo de erosión hídrica en la subcuenca Alamor, Río Catamayo-Chira. Retrieved from University Salzburg website: [https://issuu.com/unigis\\_latina/docs/tesis\\_calderon](https://issuu.com/unigis_latina/docs/tesis_calderon)
- Calero, P. (2017). Aplicación del modelo U.S.L.E para la determinación de la pérdida de suelo por procesos erosivos en los páramos de la zona noroccidental del volcán Casahuala, provincia de Tungurahua, Ecuador. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Campaña, F. (2015). *Aplicación Del Modelo Rusle Para El Cálculo De Erosión Hídrica En La Microcuenca Del Río Perlaví*. 71. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/5225/1/T-UCE-0004-36.pdf>
- Chañay, V., & Ricaurte, P. (2018). Plan de protección de las microcuencas Maguazo y Bocatoma como fuentes de captación de agua potable para la ciudad de Riobamba (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Cunalata, C., Inga, C., Alvarez, G., Recalde, C., & Echeverría, M. (2013). Determinación de carbono orgánico total presente en el suelo y la biomasa de los páramos de las comunidades del chimborazo y shobol llinllin en Ecuador. *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*, 10–13.
- Díaz, J. (2017). Correlación y Regresión Lineal de la evaluación tiempo y puntaje con recurso interactivo Flash. *INNOVA*, 2(10), 1–8. <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n10.2017.254>
- Duque, G., & Escobar, C. (2016). Geomecánica: Capítulo 8. Erosión de suelos. In *Universidad Nacional de Colombia* (pp. 122–135).
- Espinoza, V. M. (2017). Diseño de un modelo de gestión sostenible para la prevención de incendios forestales en plantaciones de pino en la comunidad Ganquis provincia de Chimborazo. Retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7819>
- FAO. (2007). GeoNetwork - The portal to spatial data and information. Retrieved June 15, 2020, from <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=14116>
- FAO. (2016). Estado mundial del recurso del suelo. In *FAO*. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>
- FAO. (2018). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: Condiciones climáticas y la actividad humana impactan en la degradación de la tierra, comprometiendo la seguridad alimentaria. | FAO en Ecuador | Organización de las Naciones Unid. Retrieved June 11, 2020, from

- <http://www.fao.org/ecuador/noticias/detail-events/es/c/1141396/>  
GAD. (2014). *Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural San Luis, periodo 2014-2019*. Retrieved from [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/0660819820001\\_DIAGNOSTICO\\_PDYOT\\_2015\\_SAN\\_LUIS\\_30-10-2015\\_13-28-45.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0660819820001_DIAGNOSTICO_PDYOT_2015_SAN_LUIS_30-10-2015_13-28-45.pdf)
- Gvozdenovich, J. (2016). Calculo del factor R de la USLE a traves del indice modificacdo de Fournier. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*, (June 2016), 9. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/321058206>
- Haro, M. (2018). Estudio hidráulico del río Chibunga para la determinación de la conductancia entre río-acuífero y zonas de inundación. Retrieved from <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/1381/1/UNACH-EC-AGR-2016-0002.pdf>
- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. M. (2012). El factor LS de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE). *Universitat Politècnica de València, 1*, 1–10. Retrieved from <https://riunet.upv.es/handle/10251/16568>
- INAMHI. (2013). Institutos – INAMHI. Retrieved August 27, 2020, from Intituto Nacional de Meteorología en Hidrología website: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>
- Iturralde, S., & Fiallos, M. (2019). Determinación de la capacidad de campo de las microcuencas de los ríos Chibunga y Guano. Retrieved from <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/1381/1/UNACH-EC-AGR-2016-0002.pdf>
- Jaque, E., & Potocí, C. (2015). Evaluación del índice de calidad de agua (ICA) de la microcuenca del río Chibunga, en variaciones estacionales, provincia de Chimborazo – Ecuador, durante el periodo 2014 (Vol. 1). Retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4077>
- Jaramillo, J. (2015). Estudio del riesgo por erosión hídrica del suelo utilizando el modelo U.S.L.E, mediante herramientas S.I.G, aplicado en la subcuenca río Portoviejo, provincia de Manabí (Universidad Central del Ecuador). Retrieved from [https://issuu.com/unigis\\_latina/docs/tesis\\_rosales2](https://issuu.com/unigis_latina/docs/tesis_rosales2)
- Lince, L., Castaño, W., Castro, A., & Torres, F. (2015). Erosividad de la lluvia en la región cafetera de Risaralda, Colombia. Retrieved August 14, 2020, from Centro Nacional de Investigaciones de Café- CENICAFE website: <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/download/1548/1845?inline=1>
- López, J. (2017). Erosión hídrica en la unidad hidrográfica del río Ambato, en un escenario de cambio climático, mediante el modelo Usle/Rusle.
- Medrano, W. (2017). Análisis de cambio de uso de suelo al sur del cantón Samborondón mediante sistemas de información geográfica y teledetección (Vol. 1). <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.04.758>
- Montenegro, R. (2011). Evaluación de los programas forestales y agroforestales en el cantón Colta provincia de Chimborazo.
- Orozco, A. P., & Ángel, J. M. (2017). Análisis de la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica en la finca el recuerdo, zona rural del municipio de San Carlos-Córdoba.
- Ovalles, P. (2014). Análisis comparativo de la pérdida de suelo de la Cuenca Alta de la Presa de Sabana Yegua, usando Sistema de Información Geográfica (SIG) y métodos directos (Universidad San Francisco de Quito). Retrieved from <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/2866/1/109775.pdf>
- Parco, J. A. L. (2017). EROSIÓN HÍDRICA EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL

RÍO AMBATO, EN UN ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO, MEDIANTE EL MODELO USLE/RUSLE. *UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO*, 6, 5–9.

- Patiño, B. (2018). Determinación de la biodiversidad microbiana de los bosques nativos Lluçud y Palictahua de la provincia de Chimborazo. <https://doi.org/10.18041/2382-3240/saber.2010v5n1.2536>
- Paula, P., Zambrano, L., & Paula, P. (2018). Análisis Multitemporal de los cambios de la vegetación, en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo como consecuencia del cambio climático. *Enfoque UTE*, 9(2), 125–137. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.252>
- Paz, A., & Vidal, E. (2017). Erosión y escorrentía. *XIX Congreso Argentino de La Ciencia Del Suelo*, 1(June 2004), 2–12.
- PDOT. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de Cañi*. Retrieved from [http://www.alcaldiaideibague.gov.co/website/files/presupuesto\\_participativo/plan\\_desarrollo\\_comuna6.pdf](http://www.alcaldiaideibague.gov.co/website/files/presupuesto_participativo/plan_desarrollo_comuna6.pdf)
- Peralta, Á. (2015). Aplicación del modelo Rusle para el cálculo de la erosión hídrica en la microcuenca río Cubí (Vol. 10). <https://doi.org/10.3923/ijss.2017.32.38>
- Pérez, N., Mullo, H., & Marcatoma, J. (2020). ANÁLISIS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN UN ECOSISTEMA ALTO ANDINO, RIOBAMBA-ECUADOR. *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*, 1.
- Pham, T. G., Degener, J., & Kappas, M. (2018). Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam. *International Soil and Water Conservation Research*, 6(2), 99–110. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.01.001>
- Portuguez, D. (2014). Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Siguas utilizando geoinformática. *Anales Científicos*, 76(2), 324–329. <https://doi.org/10.21704/ac.v76i2.797>
- Rios, A., Mejía, A., & Mendoza, B. (2011). Diagnóstico y propuesta para la conservación de la microcuenca del Río Chibunga. *Praxis Científica*, 1(January 2011), 36. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/312191794\\_DIAGNOSTICO\\_Y\\_PROPOSTA\\_PARA\\_LA\\_CONSERVACION\\_DE\\_LA\\_MICROCUECA\\_DEL\\_RIO\\_CHIBUNGA](https://www.researchgate.net/publication/312191794_DIAGNOSTICO_Y_PROPOSTA_PARA_LA_CONSERVACION_DE_LA_MICROCUECA_DEL_RIO_CHIBUNGA)
- Rosales, O. (2020a). Aplicación del modelo RUSLE para estimar pérdidas de suelo por erosión hídrica. Retrieved from University de Salzburgo website: [https://issuu.com/unigis\\_latina/docs/tesis\\_rosales2](https://issuu.com/unigis_latina/docs/tesis_rosales2)
- Rosales, O. (2020b). Aplicación del modelo RUSLE para estimar pérdidas de suelo por erosión hídrica. *Universidad de Salzburgo*. Retrieved from [https://issuu.com/unigis\\_latina/docs/tesis\\_rosales2](https://issuu.com/unigis_latina/docs/tesis_rosales2)
- SAS PLANET. (2020). SASGIS Mapeo y navegación web. Retrieved June 6, 2020, from <http://www.sasgis.org/download/>
- Schürz, C., Mehdi, B., Kiesel, J., Schulz, K., & Herrnegger, M. (2019). Supplementary materials for the manuscript : ‘ A systematic assessment of uncertainties in large scale soil loss estimation from different representations of USLE input factors - A case study for Kenya and Uganda .’ *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*.
- Setyawan, C., Lee, C. Y., & Prawitasari, M. (2017). Application Of GIS Software For Erosion Control In The Watershed Scale. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 6(1).
- Suárez, M. (2018). Análisis multitemporal de la variabilidad climática en el cantón

chambo.

Tapia, J. (2012). Modelización hidrológica de un área experimental en la cuenca del Río Guayas en la producción de caudales y sedimentos. Retrieved June 11, 2020, from <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/23364>

Vimos, M. (2015). Evaluación del estado de degradación y de fertilidad según el uso del suelo en tres agroecosistemas.

## 10. ANEXOS

### Anexo 1. Valores de precipitación media mensual del período 2000 -2013.

#### M385-SALINAS

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2000	157,5	276,3	295	204,9	248,3	25,5	0	0	110,2	7,1	3,3	51
2001	229,7	108,9	135,9	184,3	101,4	19,9	0	0	90,4	61	6,3	6,6
2002	94,7	171,2	237,4	279	122,8	6,6	0	27	8,4	215,6	172	170,6
2003	96	78,9	51,7	145	86,6	25,7	0	0	0	10,5	24,4	55,9
2004	0	30,9	68,5	71,99	57	7,78	8,1	85,3	108,4	77	117,4	69,2
2005	0	52,5	77,9	59,7	59,1	0	14,1	0	0	0	12,4	82,4
2006	187,4	61,5	106,1	107,8	82,1	0	5,3	13,6	44,9	22,6	101,1	80,1
2007	14,49	49,4	199	195,2	140,3	243,3	64,3	98,2	10,7	110,1	40,8	75,9
2008	172,2	163,3	220,5	29,2	110	76,1	11,2	14,6	65,8	153,7	42,9	76,2
2009	91,3	81	96,4	70,9	23	29	0	16	35,4	33	42,1	162,8
2010	75	144,7	217,5	406	162	82,4	226,2	6	134,1	26,8	145,7	250,1
2011	191,1	221	113,4	339	3	16	30,5	0	91	107	31	107
2012	437,5	220	161	22,1	24	0	0	0	20	85,2	93,9	31,5
2013	80,4	325,7	98,2	94,5	219	13,6	17	0	9,5	161,2	18	76,9
<b>PROMEDIO</b>	130,52	141,81	148,46	157,83	102,76	38,99	26,91	18,62	52,06	76,49	60,81	92,59

*Fuente:* (INAMHI, 2013)

### M393-SAN JUAN

<b>AÑO</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>
<b>2000</b>	96,5	173	61,9	105,8	151,9	70,6	2,7	16,7	117,6	5,5	14,6	65,1
<b>2001</b>	54,8	42,4	35	14,8	28,33	13,2	0,8	0,6	59,1	0	40,4	100,5
<b>2002</b>	26,6	16,7	136,2	94,1	24,7	44,4	7,5	11,6	14,4	112,2	99	41,3
<b>2003</b>	17,5	37,5	36,6	103,7	13,2	26,1	4,1	0	3,4	61,7	76,8	69,5
<b>2004</b>	16,3	60,4	24,3	92,6	85,8	2,9	9,8	0	37,5	79,2	95,1	49,9
<b>2005</b>	8,1	73,3	138,5	74,4	21,5	21,7	13,4	7,6	0,4	26,6	44,6	126,1
<b>2006</b>	29,9	70,2	97,3	99,6	30	18,9	9,1	26,7	14,7	43,3	133,1	145,7
<b>2007</b>	70,7	26,2	113,2	139,6	123,5	66,8	6,8	47,3	9,8	104,7	43,5	48,8
<b>2008</b>	53,2	105,5	99,5	96,2	123,2	58,4	14	37,1	29,9	114,2	92,5	51,9
<b>2009</b>	94,7	69,3	53,5	84,8	31,3	37,1	20,6	4,9	11,4	72,9	14,2	33,2
<b>2010</b>	3,9	32,2	32,1	129,8	119,9	44,6	56,9	19,9	42,2	43,2	125,8	102
<b>2011</b>	33,8	47,6	45,9	230,2	25,6	29,9	14	10,7	52,7	30,5	84,8	98,1
<b>2012</b>	112,4	74,6	52,1	156,9	16,7	17,8	11,6	23,6	19,4	134,5	91,9	18,2
<b>2013</b>	25,4	52,4	36,9	72,7	68,7	19	10,3	17,5	10	51,7	23,9	14,4
<b>PROMEDIO</b>	45,99	62,95	68,79	106,80	61,74	33,67	12,97	16,01	30,18	62,87	70,01	68,91

*Fuente:* (INAMHI, 2013)

**M395-CEBADAS**

<b>AÑO</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>
<b>2000</b>	74,8	99,3	123	119,1	221,7	89,1	8	9,8	54,1	0	7,2	62,3
<b>2001</b>	93,5	36,8	150,2	77,9	67,3	83,2	30,7	18,9	13,6	8,2	43,8	32,2
<b>2002</b>	15,6	36,3	56	124,3	201,4	49,8	21	3,3	0,9	76,4	89,6	51,9
<b>2003</b>	13	39,4	38,2	105,4	6,7	42	32,4	0	12,1	22,4	57,3	37,6
<b>2004</b>	13,8	34,9	26,2	94,8	140,5	10,1	26,3	9,9	36,9	71	100,1	77,7
<b>2005</b>	7,1	28,5	114,9	134,6	28	27,6	2,3	2,3	44,9	53,6	3,3	98
<b>2006</b>	46,8	40,8	125,7	68,4	6,8	44,1	2,1	19,9	8,9	35,1	105,4	95,5
<b>2007</b>	49,5	25,9	113,3	105,8	61,3	103,8	29,4	65,1	3,5	64,6	78,2	30,8
<b>2008</b>	73,9	107,2	92,4	57,5	108,4	41,6	21,2	15,3	11,2	31	40	26
<b>2009</b>	56,9	62,3	36,1	39,2	35,3	51	29,8	34,7	27,2	87,9	7,3	23,5
<b>2010</b>	3,5	34,9	38,6	69,5	77,9	50,5	52,9	23,5	27,1	26,02	38,1	124,9
<b>2011</b>	52,8	116,1	80,9	286,6	59,5	33,1	104,3	19,3	27,5	94,7	91,1	54,5
<b>2012</b>	96,5	67,7	28,4	223,5	29,3	12,5	16,6	6,9	8,5	51,2	30	4,6
<b>2013</b>	44,1	50,5	28,7	31,3	157,3	23	61	6,1	12,8	47,8	49,9	66,5
<b>PROMEDIO</b>	45,84	55,76	75,19	109,85	85,81	47,24	31,29	16,79	20,66	47,85	52,95	56,14

*Fuente:* (INAMHI, 2013)

**M396-ALAO**

<b>AÑO</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>
<b>2000</b>	71,2	105,8	78,9	112,7	228,7	108,5	48,7	89,2	91,4	13,1	24,6	93,6
<b>2001</b>	49,3	68,3	88,8	92,6	132,9	115,6	68,2	59,6	89,8	10,6	76	46,5
<b>2002</b>	34,4	57,6	46	128,4	81,4	93	65,5	9,2	8,7	90,9	105	46,2
<b>2003</b>	75,7	48,6	57,6	126,8	86,2	352,2	85,4	21,9	20,5	71,2	88,2	75,2
<b>2004</b>	0	57,7	100,2	128,5	91,8	66,3	133,7	44,1	38,7	126,8	112,3	59,7
<b>2005</b>	24,9	101,6	128,9	124,5	71,3	177,49	37,5	16,5	17,9	68,1	33,5	103,9
<b>2006</b>	35	53,6	57,1	109,5	50,6	16,2	3,4	18,03	20,74	48,09	175,7	143,9
<b>2007</b>	45,56	19,58	64,78	76,2	84,2	188,6	52,5	149,7	72	58	103,2	99,2
<b>2008</b>	103,5	132,4	84,1	122,9	137,7	138	176,3	120,9	132,9	165,5	108,9	27,4
<b>2009</b>	122,6	122,4	106,3	0	123,2	119,1	173,5	109,8	39,2	148,3	8,9	68,2
<b>2010</b>	9,3	25,2	126,5	158,5	215,4	219,8	130,1	89,2	93,2	174,7	177,2	215,9
<b>2011</b>	105,3	185,3	86,6	252,8	159,1	219,2	283,7	85	144,1	77,2	532,7	201,3
<b>2012</b>	154,2	76,3	96,7	198,6	232,6	94,8	135,4	100,2	95,8	153,5	92,5	71,7
<b>2013</b>	98,7	145,1	105,4	80,6	111,5	78,5	169,2	36,9	95,8	63	95,3	21,7
<b>PROMEDIO</b>	66,40	85,68	87,71	122,33	129,04	141,95	111,65	67,87	68,62	90,64	123,86	91,03

*Fuente:* (INAMHI, 2013)

**M404-CAÑI-LIMBE**

<b>AÑO</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>
<b>2000</b>	111,7	228,1	250,1	267,4	301,3	4,27	1,4	6	121,1	12,9	22,1	40,4
<b>2001</b>	229,1	129,9	251,2	175,8	101,6	33,2	12,3	9,3	18,8	47,14	26,6	100,1
<b>2002</b>	68,2	192,1	304,1	226,8	37,5	27,1	3,5	1,6	1,5	108,8	90,1	152,2
<b>2003</b>	105	72,9	144,1	259,7	135,1	76,5	5,9	0,2	13,6	40	43,6	68
<b>2004</b>	88,1	135	182,6	173,8	100,3	12,1	5,8	0	77,7	46,3	25,5	58,4
<b>2005</b>	33,7	133,5	270,8	149	15,5	21,9	23,8	8,7	14,77	29	37,5	98,5
<b>2006</b>	155,7	233,8	256,2	145,6	62,7	57,5	6,7	30,5	47,86	19,1	144,5	121
<b>2007</b>	171,5	47,6	275,1	318,4	154,5	63,2	22	10,7	0,4	45,8	70,69	64,3
<b>2008</b>	227,2	322,1	319,3	230,5	181,5	55	43,5	66,2	50,3	152,4	65,9	56,3
<b>2009</b>	277	269,3	189	111,2	63,9	47,8	8,2	12,6	18,2	15,2	7,35	64,1
<b>2010</b>	100,9	168,2	267,8	306,3	80,5	59,8	132,7	11	32,7	37,9	56	205,5
<b>2011</b>	127,2	218,8	125,9	318,6	83,3	37,3	66,5	15,4	36,6	43,1	11	93,2
<b>2012</b>	376	274,8	265,1	319,8	147,1	32,2	7,5	5,1	24	80,3	101,3	65,7
<b>2013</b>	165,7	265,6	156,7	159,3	176,6	9,1	15,1	8,8	7,1	34,6	2,4	79,5
<b>PROMEDIO</b>	159,79	192,26	232,71	225,87	117,24	38,36	25,35	13,29	33,19	50,90	50,32	90,51

*Fuente:* (INAMHI, 2013)

## M407-LICTO

<b>AÑO</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>
<b>2000</b>	56,4	78,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>2001</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>2002</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>2003</b>	39,8	27,2	47,4	107,7	34,5	58,6	21,3	1,3	37,9	59,2	46,1	39,4
<b>2004</b>	13,9	50,2	79,3	89,6	52,1	21,1	43,4	14,1	33,9	63,8	88,6	44,6
<b>2005</b>	9,4	93,1	130,2	67,4	15,4	76	11,2	1,6	51,5	89,2	16,1	103,8
<b>2006</b>	49,5	49,8	115,4	53,3	17,2	82,1	2,8	30,1	27,6	40,3	129,9	99,8
<b>2007</b>	77,1	13,6	118,6	127	91,6	125,9	14,3	90,2	10,1	55,7	73,3	48,8
<b>2008</b>	63,7	111,8	106,5	92,5	117,1	58	40,6	40,4	32,6	102,5	74,6	55,8
<b>2009</b>	89,1	56,6	41,4	45,5	76,6	61,6	39,2	16,5	31,5	48,2	33,8	53
<b>2010</b>	6,3	39,3	45,1	124,8	68,9	58,7	59,1	36,1	32,4	58,9	136,4	100,8
<b>2011</b>	45,2	138,2	52,8	186	95,2	34,4	75,7	49,2	27	41,9	90,8	89
<b>2012</b>	108,1	63,1	33,3	94,2	24,6	27,5	25,6	28,5	39,4	85,4	74,3	52,2
<b>2013</b>	31,9	47,7	60,5	62,1	93,8	26,7	41,3	18,4	28,7	52,9	55,5	16,7
<b>PROMEDIO</b>	49,20	64,11	75,50	95,46	62,45	57,33	34,05	29,67	32,05	63,45	74,49	63,99

*Fuente:* (INAMHI, 2013)

## M408-GUANO

<b>AÑO</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>
<b>2000</b>	48,7	96,4	74,3	65,9	85,6	88,3	27,1	16,7	12,9	9,9	12,9	31,6
<b>2001</b>	20,9	25,4	83	19,6	18,9	19,3	13,5	0	23,7	6,8	37,7	86,7
<b>2002</b>	9	28	23,9	91,6	52,6	40,9	20,6	26,6	8,7	84	70,7	35,6
<b>2003</b>	22,4	18,3	22,9	29,1	6,4	30,6	22,6	0	5	32,8	27,8	22,9
<b>2004</b>	13,3	64	22,1	56,1	39,5	0	4,5	9	3,6	48,8	88,2	14,1
<b>2005</b>	9,9	35,7	64,1	34,6	25,6	38,1	6,5	3,37	0	85,7	19,5	91,2
<b>2006</b>	39,43	31,7	60,4	85,4	4,1	42,2	8,8	14,2	11,8	32,1	76,6	39,6
<b>2007</b>	20,6	21	55,1	123,3	45,9	50,4	7,8	60,8	0	51,1	52,2	53,29
<b>2008</b>	49,8	79,1	131	94,3	79,4	38,7	16,5	27,3	2	82,3	66,3	62,5
<b>2009</b>	51,7	55,5	24,5	17,8	14,3	56,3	5,3	3,2	5,2	34,1	13,9	28,1
<b>2010</b>	2,5	17,7	19,3	52,6	85	46,8	33,2	13,5	25,6	39,7	100,5	91,6
<b>2011</b>	42,1	83,1	41,3	131,3	33,7	14,1	7,9	6,7	33,6	41,7	96,1	59,7
<b>2012</b>	36,4	31,1	30,5	54,3	3,5	12,3	5,6	8,8	0	67	47,1	0
<b>2013</b>	18,3	69,8	31,8	8,7	52,2	19,1	6,2	0	3,6	46,3	6,5	0,9
<b>PROMEDIO</b>	27,50	46,91	48,87	61,76	39,05	35,51	13,29	13,58	9,69	47,31	51,14	44,13

*Fuente:* (INAMHI, 2013)

## M409-PANGOR

<b>AÑO</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>
<b>2000</b>	76,1	141,7	140,9	206,6	237,4	49,3	29,7	37,6	52,5	25,7	27,5	58,4
<b>2001</b>	77,7	61,8	80,1	53,5	61,4	34,4	22,3	9,4	45,1	19,5	44	72,2
<b>2002</b>	36,5	47,5	89	66,4	47,1	30,3	14,8	6,1	15,9	49,9	72,3	49,6
<b>2003</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>2004</b>	34,2	49,2	65,5	137,4	108	30,5	56,3	5,2	59,4	123,8	103,7	96,9
<b>2005</b>	51,6	94,9	152,2	110,7	63,5	64,3	53	32,2	54,3	150,6	118,3	142,4
<b>2006</b>	143,4	149,8	166,5	161,5	78,8	74	13,54	71	60,9	142,6	181,5	148,6
<b>2007</b>	127	111,9	151,2	187,7	185,2	168,5	83,3	98,9	62,4	128,4	147,2	181,7
<b>2008</b>	195,4	213,8	280,5	237,3	228,7	205,4	76,7	86,8	94,1	192,6	160,3	151,8
<b>2009</b>	223,9	207,7	156,3	328,6	138,5	133	83,2	54,6	48,4	125,1	83,3	127,7
<b>2010</b>	143,6	152,6	156,9	547,3	257,3	172,6	73,9	16,6	39,1	25,3	95,7	128
<b>2011</b>	78	131,2	43,6	234,5	52,7	19,4	87,6	32,9	45,6	42,2	85,4	94,9
<b>2012</b>	158,2	124,4	54,5	129,9	20,5	20,1	1,6	20,6	20,4	112,7	125,5	33,8
<b>2013</b>	42,6	118,5	55,9	59,8	168	9,5	44,1	9	18,5	89,2	6	50
<b>PROMEDIO</b>	106,78	123,46	122,55	189,32	126,70	77,79	49,23	36,99	47,43	94,43	96,21	102,77

*Fuente:* (INAMHI, 2013)

## **Anexo 2. Identificación de tipos de cobertura y usos de suelo en la microcuenca del río Chibunga**

**Fotografía 1.** Identificación de la cobertura páramo



*Fuente:* Autores, 2020

**Fotografía 2.** Identificación de cobertura pastizal



*Fuente:* Autores, 2020

**Fotografía 3.** Identificación de cobertura de infraestructura



*Fuente:* Autores, 2020

**Fotografía 4.** Identificación de cobertura de bosque nativo



*Fuente:* Autores, 2020

**Fotografía 5.** Identificación de cobertura de mosaico agropecuario



*Fuente:* Autores, 2020

**Fotografía 6.** Identificación de cobertura de plantaciones forestales



*Fuente:* Autores, 2020

**Fotografía 7.** Identificación de cuerpos de agua



*Fuente:* Autores, 2020

**Fotografía 8.** Identificación de cobertura de nieve



*Fuente:* Autores, 2020

### Anexo 3. Puntos de control de tipos de cobertura y uso de suelo

ID	Clase de Cobertura	ESTE (X)	NORTE (Y)
1	Área Poblada	745322	9808000
2	Área Poblada	746322	9808000
3	Área Poblada	751322	9808500
4	Área Poblada	746322	9809000
5	Área Poblada	750322	9809000
6	Área Poblada	752822	9809000
7	Área Poblada	753322	9809000
8	Área Poblada	750322	9809500
9	Área Poblada	743822	9810000
10	Área Poblada	754822	9810000
11	Área Poblada	756822	9810000
12	Área Poblada	759322	9810000
13	Área Poblada	759822	9810000
14	Área Poblada	744322	9810500
15	Área Poblada	754822	9810500
16	Área Poblada	755322	9810500
17	Área Poblada	760822	9810500
18	Área Poblada	742822	9835500
19	Área Poblada	743322	9835500
20	Área Poblada	743822	9835500
21	Área Poblada	742822	9836000
22	Área Poblada	743322	9836000
23	Área Poblada	738322	9836500
24	Área Poblada	742322	9836500
25	Sin Cobertura	748322	9808000
26	Sin Cobertura	752322	9809000
27	Sin Cobertura	752822	9809500
28	Sin Cobertura	748822	9810000
29	Sin Cobertura	755322	9810000
30	Sin Cobertura	756322	9810000
31	Sin Cobertura	757322	9810000
32	Sin Cobertura	745822	9810500
33	Sin Cobertura	750822	9810500
34	Sin Cobertura	752322	9810500
35	Sin Cobertura	756322	9810500
36	Sin Cobertura	757322	9810500
37	Sin Cobertura	761822	9810500
38	Sin Cobertura	750322	9811000
39	Sin Cobertura	751322	9811000
40	Sin Cobertura	751822	9811000

41	Sin Cobertura	760822	9811000
42	Sin Cobertura	747322	9811500
43	Sin Cobertura	749822	9811500
44	Sin Cobertura	746822	9812500
45	Sin Cobertura	749322	9812500
46	Sin Cobertura	759822	9812500
47	Sin Cobertura	748322	9813000
48	Sin Cobertura	749322	9813000
49	Sin Cobertura	749822	9813000
50	Sin Cobertura	750322	9813000
51	Sin Cobertura	746322	9813500
52	Sin Cobertura	746822	9813500
53	Sin Cobertura	748322	9813500
54	Sin Cobertura	749322	9813500
55	Sin Cobertura	749822	9813500
56	Nieve	742822	9836500
57	Nieve	743322	9836500
58	Páramo	739822	9807500
59	Páramo	740322	9807500
60	Páramo	740822	9807500
61	Páramo	741322	9807500
62	Páramo	741822	9807500
63	Páramo	742322	9807500
64	Páramo	742822	9807500
65	Páramo	743322	9807500
66	Páramo	744322	9807500
67	Páramo	744822	9807500
68	Páramo	745322	9807500
69	Páramo	747322	9807500
70	Páramo	748822	9807500
71	Páramo	751822	9807500
72	Páramo	752322	9807500
73	Páramo	753822	9807500
74	Páramo	739822	9808000
75	Páramo	740322	9808000
76	Páramo	740822	9808000
77	Páramo	741822	9808000
78	Plantaciones Forestales	760322	9810000
79	Plantaciones Forestales	759822	9810500
80	Plantaciones Forestales	749822	9811000
81	Plantaciones Forestales	749822	9812000
82	Plantaciones Forestales	750322	9812000
83	Plantaciones Forestales	759822	9812000
84	Plantaciones Forestales	749822	9812500
85	Plantaciones Forestales	750322	9812500

86	Plantaciones Forestales	750822	9813000
87	Plantaciones Forestales	750822	9813500
88	Plantaciones Forestales	751822	9813500
89	Plantaciones Forestales	751822	9814000
90	Plantaciones Forestales	753322	9814000
91	Plantaciones Forestales	753822	9814000
92	Mosaico Agropecuario	747822	9807500
93	Mosaico Agropecuario	748322	9807500
94	Mosaico Agropecuario	750322	9807500
95	Mosaico Agropecuario	750822	9807500
96	Mosaico Agropecuario	751322	9807500
97	Mosaico Agropecuario	749322	9808000
98	Mosaico Agropecuario	739822	9808500
99	Mosaico Agropecuario	743322	9808500
100	Mosaico Agropecuario	746822	9808500
101	Mosaico Agropecuario	747822	9808500
102	Mosaico Agropecuario	747322	9809000
103	Mosaico Agropecuario	748822	9809000
104	Mosaico Agropecuario	744822	9809500
105	Mosaico Agropecuario	748322	9809500
106	Mosaico Agropecuario	749322	9809500
107	Mosaico Agropecuario	749822	9809500
108	Mosaico Agropecuario	743322	9810000
109	Mosaico Agropecuario	745322	9810000
110	Mosaico Agropecuario	745822	9810000
111	Mosaico Agropecuario	746322	9810000
112	Mosaico Agropecuario	746822	9810000
113	Mosaico Agropecuario	747822	9810000
114	Mosaico Agropecuario	749322	9810000
115	Mosaico Agropecuario	749822	9810000
116	Mosaico Agropecuario	750322	9810000
117	Pastizal	745822	9807500
118	Pastizal	746322	9807500
119	Pastizal	749322	9807500
120	Pastizal	754322	9807500
121	Pastizal	745822	9808000
122	Pastizal	746822	9808000
123	Pastizal	753322	9808000
124	Pastizal	743822	9808500
125	Pastizal	744322	9808500
126	Pastizal	754322	9808500
127	Pastizal	744322	9809000
128	Pastizal	744822	9809000
129	Pastizal	746822	9809000
130	Pastizal	755822	9809000

131	Pastizal	744322	9809500
132	Pastizal	745322	9809500
133	Pastizal	745822	9809500
134	Pastizal	755822	9810000
135	Pastizal	760822	9810000
136	Pastizal	761322	9810000
137	Pastizal	761822	9810000
138	Pastizal	763322	9810000
139	Pastizal	743822	9810500
140	Pastizal	748822	9810500
141	Pastizal	761322	9810500
142	Pastizal	762322	9810500
143	Pastizal	762822	9810500
144	Pastizal	763322	9810500
145	Pastizal	743822	9811000
146	Bosque Nativo	743822	9807500
147	Bosque Nativo	746822	9807500
148	Bosque Nativo	749822	9807500
149	Bosque Nativo	741322	9808000
150	Bosque Nativo	744322	9808000
151	Bosque Nativo	749822	9808000
152	Bosque Nativo	745822	9808500
153	Bosque Nativo	749322	9808500
154	Bosque Nativo	749822	9808500
155	Bosque Nativo	754822	9808500
156	Bosque Nativo	755322	9808500
157	Cuerpos de Agua	749322	9809000

*Fuente:* Autores, 2020

#### Anexo 4. Clasificación del coeficiente de correlación de Pearson

Valor	Criterio
R= 1,00	Correlación perfecta positiva
$0,70 \leq r < 1,00$	Correlación muy significativa
$0,40 \leq r < 0,70$	Correlación significativa
$0,20 \leq r < 0,40$	Correlación baja
$0,00 \leq r < 0,20$	Correlación no significativa
r=0,00	Correlación nula
r = -1,00	Correlación perfecta negativa

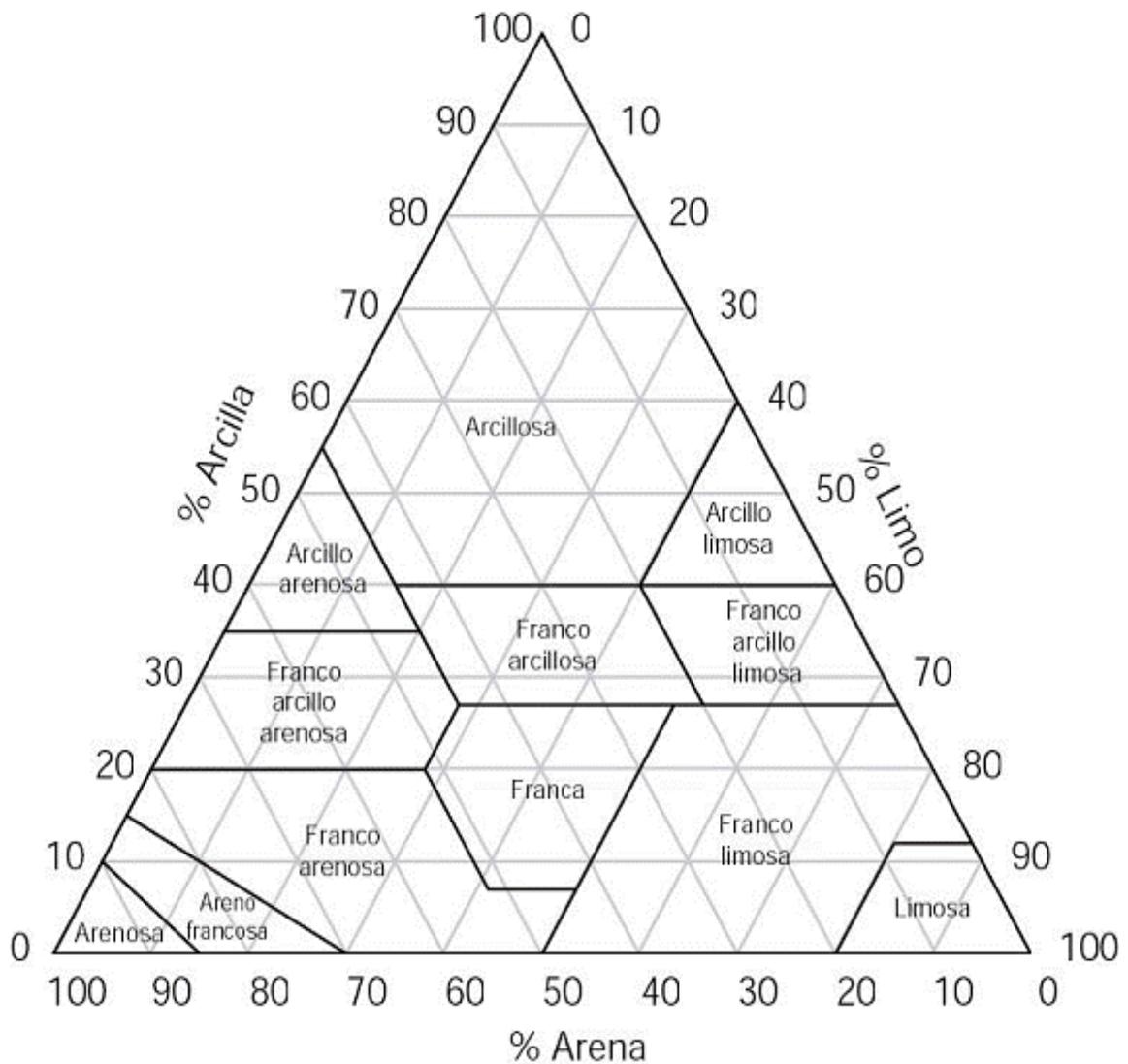
*Fuente:* (Díaz, 2017).

### Anexo 5. Clasificación del índice modificado de Fournier - IFM

Clase	Rango	Descripción
1	< 60	Muy bajo
2	60 – 90	Bajo
3	90 – 120	Moderado
4	120 – 160	Alto
5	> 160	Muy alto

*Fuente:* (Lince et al., 2015).

### Anexo 6. Triángulo textural que aplica el USDA



*Fuente:* (Arroyo & Jaramillo, 2019)

**Anexo 7. Clasificación de los grados de erodabilidad según USDA (1962)**

VALOR DE K (t acre h tp <sup>-1</sup> acre <sup>-1</sup> pg <sup>-1</sup> )	VALOR DE K (t ha h tm <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> )	CLASIFICACIÓN
< 0,06	< 0,0775	Muy poco Erodable
0,06 – 0,13	0,0775 – 0,1680	Débilmente Erodable
0,13 – 0,25	0,1680 – 0,3230	Moderadamente Erodable
0,25 – 0,52	0,3230 – 0,6784	Fuertemente Erodable
0,52 – 0,78	0,6784 - 1	Extremadamente Erodable

*Fuente:* (Orozco & Ángel, 2017)

**Anexo 8. Uso y cobertura de suelo y valores correspondientes del factor C**

TIPO DE COBERTURA	VALOR DE C
Área sin cobertura vegetal	1.00
Infraestructura	0.00
Cuerpos de agua	0.00
Otras tierras agrícolas	0.40
Plantación forestal	0.03
Área poblada	0.00
Cultivo permanente	0.40
Cultivo semi-permanente	0.20
Mosaico agropecuario	0.40
Bosque nativo	0.01
Cultivo anual	0.25
Vegetación arbustiva	0.08
Páramo	0.03
Pastizal	0.13

*Fuente:* (Rosales, 2020)