



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA INGENIERÍA FORESTAL**

**VARIACIÓN DE CARBONO SOBRE LA EROSIÓN HÍDRICA DEL  
ESTRATO HERBAZAL DE PÁRAMO, EN LA ZONA  
SUROCCIDENTAL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO.**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO FORESTAL**

**AUTOR:** JONATHAN ROBERTO GUAGRILLA TIPANTUÑA

**DIRECTOR:** Ing. NORMA SOLEDAD ERAZO SANDOVAL PhD.

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Jonathan Roberto Guagrilla Tipantuña

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, JONATHAN ROBERTO GUAGRILLA TIPANTUÑA, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 18 de marzo de 2024

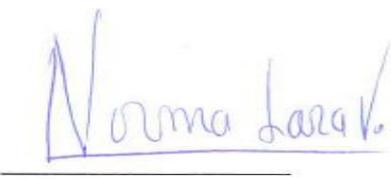


**Jonathan Roberto Guagrilla Tipantuña**

**172698390-9**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA INGENIERÍA FORESTAL**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de Investigación, **VARIACIÓN DE CARBONO SOBRE LA EROSIÓN HÍDRICA DEL ESTRATO HERBAZAL DE PÁRAMO, EN LA ZONA SUROCCIDENTAL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO** realizado por el señor: **JONATHAN ROBERTO GUAGRILLA TIPANTUÑA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Rosa del Pilar Castro Gómez PhD. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2024 – 04 – 18
Ing. Norma Soledad Erazo Sandoval PhD. <b>DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2024 – 04 – 18
Ing. Norma Ximena Lara Vásconez MSc. <b>ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2024 – 04 – 18

## **DEDICATORIA**

A todas las personas que formaron parte de toda mi estabilidad emocional y estudiantil, en especial a mis padres, Manuel y Olga; a mis hermanos, Edison, Jefferson y Dilan, que me apoyaron a cumplir un gran logro en mi vida.

**Jonathan**

## **AGRADECIMIENTO**

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, la Facultad de Recursos Naturales y Escuela de Ingeniería Forestal por permitir formarme como profesional. Al Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC) por guiarme en el desarrollo de mi Trabajo de Integración Curricular; entre ellos, al Ing. Franklin Cargua, Ing. Jorge Ilbay, por compartir sus conocimientos y asesorarme. A mis padres Manuel y Olga, hermanos por ser la base esencial y haberme apoyado incondicionalmente durante todos estos años. A mis compañeros y amigos, en especial a Alexander, Franklin, Fernando y Guillermo que me apoyaron en diferentes etapas de mi vida estudiantil, siendo un pilar fundamental en mi estabilidad emocional.

**Jonathan**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT .....	xv
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	2
1.1.	Planteamiento del Problema.....	2
1.2.	Objetivos.....	2
1.2.1.	<i>Objetivo General</i> .....	2
1.2.2.	<i>Objetivos Específicos</i> .....	2
1.3.	Justificación.....	3
1.4.	Hipótesis .....	4

### CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO .....	5
2.1.	Antecedentes .....	5
2.2.	Ecosistema Páramo.....	5
2.3.	El Páramo en el Ecuador .....	5
2.4.	Tipos de páramos.....	6
2.4.1.	<i>Herbazal de páramo (HsSn02)</i> .....	6
2.5.	Importancia.....	8
2.6.	El clima del páramo.....	8

2.7.	pH del suelo .....	8
2.8.	Carbono Orgánico del suelo .....	9
2.8.1.	<i>Reservas de carbono</i> .....	9
2.8.2.	<i>Digital Soil Map of the World (DSWM)</i> .....	9
2.9.	Erosión Hídrica.....	9
2.10.	Modelo RUSLE.....	10
2.10.1.	<i>Ecuación Universal del Modelo RUSLE</i> .....	10

### CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO.....	12
3.1.	Enfoque de investigación.....	12
3.2.	Alcance de Investigación.....	12
3.3.	Diseño de investigación .....	12
3.3.1.	<i>Según la manipulación o no de la variable independiente</i> .....	12
3.3.2.	<i>Según las intervenciones en el trabajo de campo</i> .....	12
3.4.	Tipo de estudio.....	12
3.5.	Población selección y cálculo del tamaño de la muestra .....	13
3.6.	Métodos, técnicas e instrumentos de investigación.....	14
3.6.1.	<i>Muestreo de carbono orgánico del suelo</i> .....	14
3.7.	Para la estimación de erosión hídrica .....	19
3.7.1.	<i>Índice de erosividad de la lluvia (Factor R)</i> .....	19
3.7.2.	<i>Índice de erodabilidad (Factor K)</i> .....	21
3.7.3.	<i>Índice de cobertura (Factor C)</i> .....	22
3.7.4.	<i>Factor de longitud y pendiente (Factor LS)</i> .....	22
3.7.5.	<i>Factor de prácticas de conservación (Factor P)</i> .....	23
3.7.6.	<i>Erosión Hídrica del suelo</i> .....	24
3.8.	Materiales.....	24

## CAPÍTULO IV

<b>4.</b>	<b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>26</b>
<b>4.1.</b>	<b>Procesamiento, análisis e interpretación de resultados.....</b>	<b>26</b>
<i>4.1.1.</i>	<i>Análisis de carbono orgánico .....</i>	<i>26</i>
<b>4.2.</b>	<b>Análisis de Erosión Hídrica .....</b>	<b>37</b>
<i>4.2.1.</i>	<i>Índice de erosividad de la lluvia (Factor R).....</i>	<i>37</i>
<i>4.2.2.</i>	<i>Índice de erodabilidad del suelo (Factor K).....</i>	<i>39</i>
<i>4.2.3.</i>	<i>Factor topográfico (Factor LS) .....</i>	<i>40</i>
<i>4.2.4.</i>	<i>Índice de cobertura de la vegetación (Factor C).....</i>	<i>40</i>
<i>4.2.5.</i>	<i>Erosión del suelo (A).....</i>	<i>41</i>
<b>4.3.</b>	<b>Para la correlación.....</b>	<b>43</b>
<b>4.4.</b>	<b>Discusión.....</b>	<b>44</b>

## CAPÍTULO V

<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>45</b>
<b>5.1.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>45</b>
<b>5.2.</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>46</b>

## BIBLIOGRAFÍA

## ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3-1:</b>	Etiquetado del muestreo del suelo. ....	15
<b>Tabla 3-2:</b>	Cálculo de tabla ADEVA. ....	19
<b>Tabla 3-3:</b>	Estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio. ....	19
<b>Tabla 3-4:</b>	Clasificación del Índice de Fourier Modificado (IMF). ....	21
<b>Tabla 3-5:</b>	Valores del Factor C asociados a la cobertura vegetal y uso de la tierra. ....	22
<b>Tabla 3-6:</b>	Nivel y grado de erosión hídrica. ....	24
<b>Tabla 3-7:</b>	Materiales y equipos para campo, laboratorio y oficina. ....	24
<b>Tabla 4-1:</b>	Promedios de pH en la zona de estudio. ....	26
<b>Tabla 4-2:</b>	Promedios de Conductividad eléctrica en la zona de estudio. ....	27
<b>Tabla 4-3:</b>	Promedios de Humedad relativa en la zona de estudio. ....	28
<b>Tabla 4-4:</b>	Promedio de la Densidad aparente del suelo en la zona de estudio. ....	29
<b>Tabla 4-5:</b>	Promedio de la Porcentaje de Materia orgánica del suelo en la zona de estudio. ....	30
<b>Tabla 4-6:</b>	Promedio de toneladas.hectárea <sup>-1</sup> de Carbono orgánico del suelo en la zona de estudio. ....	31
<b>Tabla 4-7:</b>	Análisis de varianza del contenido de carbono orgánico (t/ha) entre 3400 a 3600 msnm en el estrato Herbazal de páramo de 0-30 cm de profundidad. ....	33
<b>Tabla 4-8:</b>	Prueba de Tukey y una confianza de 95% entre 3400 a 3600 msnm el estrato Herbazal de páramo de 0-30 cm de profundidad. ....	33
<b>Tabla 4-9:</b>	Análisis de varianza del contenido de carbono orgánico (t/ha) entre 3400 a 3600 msnm en el estrato Herbazal de páramo de 30-60 cm de profundidad. ....	34
<b>Tabla 4-10:</b>	Prueba de Tukey y una confianza de 95% entre 3400 a 3600 msnm el estrato Herbazal de páramo de 30-60 cm de profundidad. ....	34
<b>Tabla 4-11:</b>	Análisis de varianza del contenido de carbono orgánico (t/ha) entre 3600 a 3800 msnm en el estrato Herbazal de páramo de 0-30 cm de profundidad. ....	35
<b>Tabla 4-12:</b>	Análisis de varianza del contenido de carbono orgánico (t/ha) entre 3600 a 3800 msnm en el estrato Herbazal de páramo de 30-60 cm de profundidad. ....	35
<b>Tabla 4-13:</b>	Análisis de varianza del contenido de carbono orgánico (t/ha) entre 3800 a 4000 msnm en el estrato Herbazal de páramo de 0-30 cm de profundidad. ....	36
<b>Tabla 4-14:</b>	Prueba de Tukey y una confianza de 95% entre 3800 a 4000 msnm el estrato Herbazal de páramo de 0-30 cm de profundidad. ....	36
<b>Tabla 4-15:</b>	Análisis de varianza del contenido de carbono orgánico (t/ha) entre 3800 a 4000 msnm en el estrato Herbazal de páramo de 30-60 cm de profundidad. ....	36

<b>Tabla 4-16:</b> Prueba de Tukey y una confianza de 95% entre 3800 a 4000 msnm el estrato Herbazal de páramo de 30-60 cm de profundidad. ....	37
<b>Tabla 4-17:</b> Estaciones meteorológicas y el índice de erosividad.....	37
<b>Tabla 4-18:</b> Índice de erodabilidad en la zona de estudio. ....	39
<b>Tabla 4-19:</b> Extensión y Valores del Factor de Cobertura en la zona de estudio. ....	40
<b>Tabla 4-20:</b> Erosión potencial en la zona de estudio.....	42
<b>Tabla 4-21:</b> Coeficientes de la correlación. ....	43

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b>	Ubicación del estrato Herbazal de páramo en el Ecuador. ....	7
<b>Ilustración 3-1:</b>	Mapa de ubicación del área de estudio. ....	13
<b>Ilustración 3-2:</b>	Estructura del conglomerado para toma de muestras de suelo. ....	14
<b>Ilustración 3-3:</b>	Pasos para la obtención del contenido de carbono orgánico del suelo. ....	16
<b>Ilustración 3-4:</b>	Mapa de Ubicación de las Estaciones meteorológicas.....	20
<b>Ilustración 4-1:</b>	pH en el Herbazal de páramo alterado y no alterado en altitudes de 3200 a 4200 msnm. ....	27
<b>Ilustración 4-2:</b>	Conductividad eléctrica en el Herbazal de páramo alterado y no alterado en altitudes de 3200 a 4200 msnm. ....	28
<b>Ilustración 4-3:</b>	Porcentaje de Humedad en el Herbazal de páramo alterado y no alterado en altitudes 3200 - 4200 msnm. ....	29
<b>Ilustración 4-4:</b>	Densidad aparente en el Herbazal de páramo alterado y no alterado en altitudes 3200 - 4200 msnm.....	30
<b>Ilustración 4-5:</b>	Porcentaje de Materia orgánica en el Herbazal de páramo alterado y no alterado en altitudes 3200 - 4200 msnm. ....	31
<b>Ilustración 4-6:</b>	Carbono orgánico del suelo en el Herbazal de páramo alterado y no alterado en altitudes 3200 - 4200 msnm. ....	32
<b>Ilustración 4-7:</b>	Distribución espacial del Factor R en la zona de estudio. ....	38
<b>Ilustración 4-8:</b>	Distribución espacial del Factor K en la zona de estudio. ....	39
<b>Ilustración 4-9:</b>	Distribución espacial del Factor LS en la zona de estudio. ....	40
<b>Ilustración 4-10:</b>	Distribución espacial del Factor C en la zona de estudio. ....	41
<b>Ilustración 4-11:</b>	Distribución espacial de la Erosión Hídrica Actual en la zona de estudio.....	42
<b>Ilustración 4-12:</b>	Relación entre el Carbono Orgánico del suelo (t/ha) y Erosión Hídrica (t/ha). ....	43

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A.** TOMA DE MUESTRAS DE SUELO EN EL ESTRATO HERBAZAL DE PÁRAMO.

**ANEXO B.** SOCIALIZACIÓN DEL PROYECTO A LAS COMUNIDADES ALEDAÑAS A LOS PUNTOS DE MONITOREO DE CARBONO.

**ANEXO A.** ANÁLISIS EN EL LABORATORIO.

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue conocer la relación entre el contenido de carbono orgánico del suelo con la pérdida del suelo por erosión hídrica en el estrato herbazal de páramo de la zona suroccidental de la Subcuenca del Río Chambo, mediante el uso del método de pérdida por ignición (LOI) para el carbono orgánico del suelo y el modelo RUSLE (Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelos) en entorno ArcGIS 10.8 para la erosión hídrica; para el carbono orgánico se tomó muestras de suelo a dos profundidades (0 – 30 centímetros y 30 – 60 centímetros), se realizó mediante un muestreo estratificado aleatorio. Los datos de carbono orgánico del suelo se obtuvieron mediante métodos ajustados por protocolos del Laboratorio del Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC); la estadística descriptiva en el análisis a diferentes profundidades y diferentes grados de intervención indican que los suelos sufren una diferencia en todos sus parámetros; de esta manera, se obtuvo valores promedios de pH ácidos (6,34 a 6,46); la conductividad eléctrica de 55,33 uS/cm a 62,61 uS/cm; la humedad relativa de 19,51 % a 47,86 %; la densidad aparente de 0,95 g/cm<sup>3</sup> a 1,13 g/cm<sup>3</sup>; la materia orgánica del suelo obtuvo valores similares a las diferentes profundidades; el carbono orgánico del suelo de 88,39 toneladas/hectárea en páramo alterado y 164,22 toneladas/hectárea en páramo no alterado, respectivamente; y en la erosión hídrica se hallaron valores entre 0 a 687 toneladas/hectárea.año, la erosión inapreciable ocupa una mayor superficie con 88,84 % y la de menor superficie es la erosión irreversible con 0,1 %; además, se estableció que existe una correlación lineal directa; baja positiva entre el carbono orgánico del suelo y erosión hídrica; no llegando a ser tan influyente una de otra.

**Palabras clave:** <CARBONO>, <EROSIÓN HÍDRICA>, <RUSLE>, <SUELO>, <HERBAZAL>, <PÁRAMO>,



## ABSTRACT

This research aimed to know the relationship between the organic carbon content of the soil and the loss of soil due to water erosion in the moorland grassland stratum of the southwestern area of the Chambo River Subbasin, using the loss method by ignition (LOI) for soil organic carbon and the RUSLE model (Revised Universal Soil Loss Equation) in ArcGIS 10.8 environment for water erosion. For organic carbon, soil samples were taken at two depths (0 – 30 centimeters and 30 – 60 centimeters) using stratified random sampling. Soil organic carbon data were obtained using methods adjusted by the Laboratory of the Research and Development Group for Environment and Climate Change (GIDAC) protocols. The descriptive statistics in the analysis at different depths and degrees of intervention indicate that the soils suffer a difference in all their parameters. In this way, average acidic pH values were obtained (6.34 to 6.46); electrical conductivity from 55.33 uS/cm to 62.61 uS/cm; relative humidity from 19.51% to 47.86%; the apparent density from 0.95 g/cm<sup>3</sup> to 1.13 g/cm<sup>3</sup>; Soil organic matter obtained similar values at different depths; soil organic carbon of 88.39 tons/hectare in altered paramo and 164.22 tons/hectare in unaltered paramo, respectively; and in water erosion values were found between 0 to 687 tons/hectare.year, negligible erosion occupies a greater surface area with 88.84% and the smallest surface area is irreversible erosion with 0.1%. Furthermore, it was established that there was a low positive direct linear correlation between soil organic carbon and water erosion, which were not as influential as each other.

Keywords: <CARBON>, <WATER EROSION>, <RUSLE>, <SOIL>, <GRASSAL>, <MOORLAND>

Riobamba, April 12th, 2024



PhD Denny's Tenelanda López  
ID number: 0603342189

>

## INTRODUCCIÓN

A partir de finales del siglo pasado, se estableció importancia a temas vinculados al medio ambiente generalmente asociados al cambio climático que el planeta está experimentando como consecuencia de la gestión antrópica inadecuada de los recursos (Melo, 2018, págs.2- 3). Recientemente, muchas investigaciones están centradas en el carbono orgánico del suelo (COS) (Lal y Stewart, 2007, págs.943 – 945); destacando la relevancia de este componente y su conexión con los esfuerzos de mitigación del cambio climático (Mesias et al., 2018, págs.27 – 33).

La relevancia de estas investigaciones reside en la productividad edáfica y el secuestro o fijación del carbono orgánica del suelo (Burbano, 2018, pág.85); sin embargo, a pesar de esto, la protección de los stocks de carbono orgánico del suelo enfrenta desafíos que obstaculizan el planteamiento y el empleo de políticas prácticas adecuadas a entornos territoriales concretos (FAO, 2017, págs.7 - 8).

En contraste, la erosión hídrica se presenta como un proceso dinámico y multicausal que envuelve la pérdida del estrato cultivable del suelo, de igual manera, se puede precisar como el producto de la energía formada por el impacto de las precipitaciones sobre el suelo y el flujo resultante en el terreno (Gaitán et al., 2017, págs.28-32); siendo en el Ecuador, las prácticas agrícolas inadecuadas como el uso incorrecto de maquinaria agrícola y la pérdida de la cobertura vegetal contribuyen al incremento progresivo de áreas afectadas, llegando incluso a generar zonas improductivas (Tayupanta, 1993, págs.1 – 2).

El objetivo de este estudio es examinar las variaciones en el contenido de carbono orgánico en el suelo del estrato herbazal de páramo, específicamente en la región suroccidental de la Subcuenca del Río Chambo, además, se busca comprender su papel como sumidero de carbono edáfico y su relación con los efectos de la erosión hídrica. De igual manera, los recursos hídricos han experimentado un aumento de demanda constante (Enríquez, 2017, pág.33); es así que, se proyecta que para el año 2025, la demanda hídrica mundial puede ser superior en un 56 % al abastecimiento (Segrelles, 2007, pág.9).

Este crecimiento ha incurrido al uso irracional, generando conflictos significativos, en gran parte debido al avance de la frontera agrícola como medio de subsistencia para la población (Muñoz, 2010, p.2). A su vez, la degradación del suelo por las malas prácticas agrícolas y pecuarias ha encaminado en la pérdida de la capa superficial del suelo agrícola limitando la producción de cultivos y pastos (Rosso et al., 2013, p.2).

## CAPÍTULO I

### 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Planteamiento del Problema

En Ecuador, el Herbazal de páramo se encuentra en la región de la Sierra ecuatoriana, y en los últimos tiempos ha cobrado interés el evaluar la capacidad del suelo en los ecosistemas de páramo para funcionar como depósitos de carbono, tanto desde una perspectiva ambiental como socioeconómica (Gil, 2012, p.37). Sin embargo, el proceso de descomposición de hojarasca y biomasa aérea es lento debido a las bajas temperaturas teniendo un impacto al comprimir significativamente los niveles de descomposición del componente orgánico (Hofstede y Aguirre, 1999, pág.35).

Las actividades antropogénicas generan alteraciones y destrucción de estos ecosistemas, incluyendo la deforestación y, a largo plazo, la erosión del suelo (Bravo, 2007, págs.35-42); estas acciones alteran el contenido de Carbono Orgánico del Suelo (COS) debido a la fractura de la estructura del suelo, coadyuvando a la liberación de carbono almacenado a la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub> (Castañeda y Montes, 2017, págs.210 – 221).

La investigación sobre la relación entre el contenido de carbono orgánico del suelo y la pérdida del suelo debido a la erosión hídrica en el estrato Herbazal de Páramo en la región suroccidental de la Subcuenca del Río Chambo es limitada.

#### 1.2. Objetivos

##### 1.2.1. *Objetivo General*

Determinar la variación de carbono sobre la erosión hídrica del Estrato Herbazal de páramo, en la zona suroccidental de la Subcuenca del Río Chambo.

##### 1.2.2. *Objetivos Específicos*

Determinar el carbono total acumulado del suelo del estrato Herbazal del Páramo.

Evaluar la erosión hídrica en el estrato herbazal de páramo.

### **1.3. Justificación**

El ecosistema de páramo, situado en altas montañas, se destaca por albergar la mayor diversidad en comparación con otros ecosistemas de montaña en todo el mundo, según cuantiosos estudios (García y Leal, 2019, págs.196-212). Este hábitat alberga especies que son exclusivas y, además, proporciona una amplia gama de bienes ambientales, sin embargo, el páramo según (Cuesta et al, 2012, pág.180) citado en (Lorini, 2014, p.8) es particularmente vulnerable al cambio climático, ya que el aumento de la temperatura asociado está perturbando su estructura y ecología.

La variación en el carbono trastorna la permanencia del estrato herbazal y es crucial para predecir y mitigar posibles impactos negativos, siendo generados por cambios de los patrones climáticos y temperatura (Peña, 2016, pág.19). Es importante remarcar que, si las directrices actuales prosiguen, la flora y fauna del páramo se verán perjudicadas, con el riesgo incluso de la pérdida de especies, algunas de las cuales ni siquiera están registradas, esto está vinculado a la disminución del recurso hídrico, lo que podría provocar conflictos sociales significativos (Pauli et al, 2015, págs.14 – 15).

La erosión hídrica figura un problema ambiental significativo, ya que puede causar secuelas devastadoras en la calidad del agua, afectando negativamente en la variedad acuática y complicando la accesibilidad de recursos hídricos a las poblaciones locales (Moncada et al, 2023, pág.51). Investigaciones anteriores han demostrado que el carbono orgánico del suelo juega una función decisiva en la estructura del edáfica y su capacidad para retener agua (Pérez y Kientz, 2003, pág.1); no obstante, es básico efectuar un estudio concreto que aborde esta relación en el estrato herbazal de páramo en la zona suroccidental de la subcuenca del río Chambo (Fernández & Rentería, 2019, pág.21).

Los resultados de esta investigación muestran usos prácticos significativas, puesto que ofrecen información estimable para generar tácticas efectivas de conservación y restauración, así como para la implementación de prácticas agrícolas sustentables en el territorio, contribuyendo a la preservación de los servicios ecosistémicos y al bienestar de las comunidades locales (Andrade, 2007, pág.18).

El propósito es suministrar información necesaria para la toma de decisiones en el manejo y conservación eficaces a mediano y largo plazo en la Subcuenca del Río Chambo; dada la falta de investigaciones relacionadas con la regulación hídrica en la zona y los registros del carbono edáfico almacenado, se propone la presente investigación con el objetivo de obtener información directa sobre el almacenamiento de carbono en el estrato herbazal de páramo y su vínculo con la erosión hídrica.

## **1.4. Hipótesis**

### **Hipótesis nula**

H0: La erosión hídrica no tiene influencia en la variación del contenido de carbono orgánico del suelo, en el estrato Herbazal del páramo de la zona suroccidental de la Subcuenca del Río Chambo.

### **Hipótesis alterna**

H1: La erosión hídrica tiene influencia en la variación del contenido de carbono orgánico del suelo, en el estrato Herbazal del páramo de la zona suroccidental de la Subcuenca del Río Chambo.

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes**

Ecuador cubre un territorio de 256 370 kilómetros cuadrados y se encuentra atravesando por la Cordillera de los Andes, influyendo en su orografía e hidrografía (Pombosa et al, 2006, pág.2-4); esto permite la presencia de una amplia gama de climas y ecosistemas, que a su vez albergan una gran diversidad de flora y fauna (De La Torre et al., 2008, págs.8 – 10).

La superficie del páramo en el Ecuador por mucho tiempo fue considerada como terrenos improductivos, con poblaciones pobres con muchas necesidades (Quiroz et al, 2012, pág.10), no obstante, recientemente, distintas instituciones gubernamentales y no gubernamentales asignaron la gestión económica, social y ambiental en comunidades altas, para resguardar los páramos y lograr contar con agua a posteridad, entre otros servicios ambientales (Morocho y Chuncho, 2019, págs.71 – 77).

La preservación de los ecosistemas en el Ecuador está considerada en el Artículo 14 de la Constitución de la República donde se establece como prioritario para la sociedad la protección del medio ambiente, la preservación de los ecosistemas y la salvaguarda del patrimonio genético nacional, así como prevenir los perjuicios ambientales y restauración de las áreas naturales que hayan sido degradadas (Tribunal constitucional, 2008, p.10).

#### **2.2. Ecosistema Páramo**

Se localiza presente en países como Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela, siendo la flora dominante está dispuesta por pajonales, frailejones, arbustos pequeños y musgos (Ussher y Vargas, 2010, pág.60-73). Muchas de estas especies son endémicas y están adaptadas a las condiciones climáticas características de los páramos (Buytaert, et al., 2006, págs.2 – 3). Los páramos son el origen de la mayoría de los principales sistemas fluviales, transformando en fuente de agua potable, de riego e hidroelectricidad para las naciones del norte andino (Rodríguez y Leiton, 2020, p.3).

#### **2.3. El Páramo en el Ecuador**

El páramo en el Ecuador se sitúa geográficamente entre los 3.000 y los 4.700 m.s.n.m., con una precipitación que varía entre los 500 mm y 2000 mm., siendo un ecosistema vulnerable ante el

cambio climático, debido a que su ecología está limitada a las bajas temperaturas (Camacho, 2014, págs.77 – 80).

En el Ecuador, el páramo aproximadamente alberga un 6% del territorio, las condiciones geo climáticas forman callejón interandino extendiéndose en las cordilleras oriental y occidental de los Andes (Hofstede et al., 2014, págs.14 – 20). En la Provincia de Chimborazo, según Caranqui et al. (2016, págs.33 – 35) se halla entre los 3000 hasta los 4500 m.s.n.m., conformando el 37% de la superficie y es el principal provisor de servicios ambientales (Pacurucu et al., 2015, págs.75 – 80).

Las especies endémicas están en condición de riesgo de acuerdo con los criterios de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), varias especies se encuentran en peligro crítico, peligro, siendo vulnerables y de preocupación menor (Cuesta, 2014, pág.154); siendo uno de los ecosistemas de alta montaña que más diversidad florística contiene (Ministerio del Ambiente, 2015, págs.16 – 19).

## **2.4. Tipos de páramos**

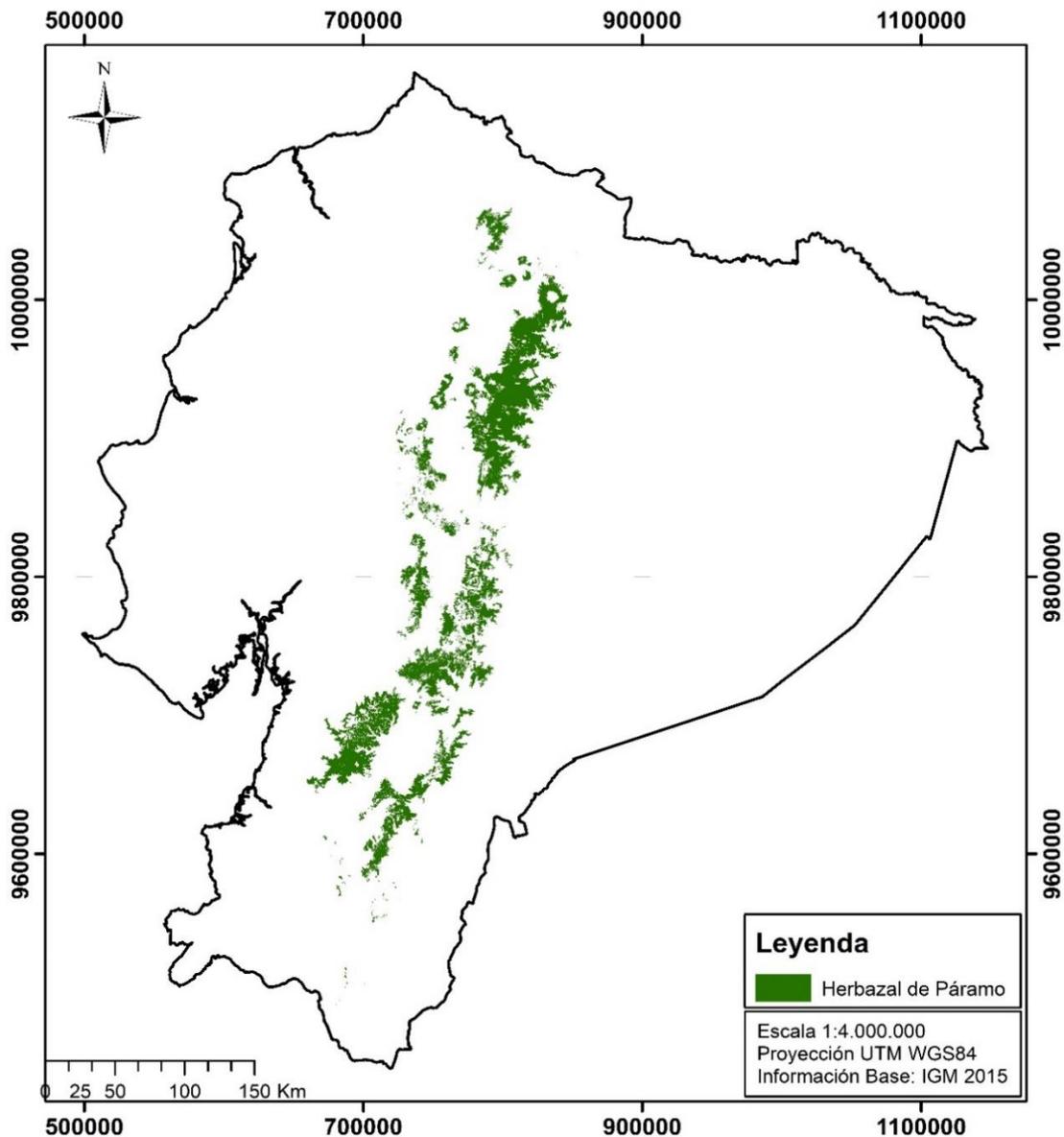
Los páramos en el Ecuador no son análogos, componentes como topografía y meteorológicos producen una diversidad de microclimas y franjas de vida (Camacho, 2014, pág.92-93). Los páramos están constituidos por once sub ecosistemas:

- Rosetal caulescente y Herbazal del Páramo,
- Herbazal y Arbustal siempreverde subnival del Páramo,
- Herbazal y Arbustal siempreverde del Páramo del Volcán Sumaco,
- Herbazal ultrahúmedo subnival del Páramo,
- Herbazal inundable del Páramo,
- Herbazal húmedo subnival del Páramo,
- Herbazal húmedo montano alto superior del Páramo,
- Herbazal del Páramo,
- Bosque siempreverde del Páramo,
- Arbustal siempreverde y Herbazal del Páramo,
- Arbustal siempreverde montano alto del Páramo del sur (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2013, págs.132 – 151).

### **2.4.1. *Herbazal de páramo (HsSn02)***

Comprenden la mayor superficie de los ecosistemas de montaña en el Ecuador, es un estrato denso dominado por gramíneas de 50 cm de altura; se expande por toda la Región Interandina desde la

provincia de Loja hasta la provincia del Carchi (ver Ilustración 2 – 1) (Beltrán et al, 2009, págs.17 – 23). Presenta suelos con un profundo horizonte A, cuantiosa materia orgánica que abarca hasta los 60 Kg de Carbono/m<sup>2</sup> (Farley et al, 2010, págs.2075 – 2080); estas propiedades instituyen que posea un alto grado de retención de agua por unidad de volumen, de hasta 80-90% por cm<sup>3</sup> (Buytaert et al, 2006, págs.271 – 281).



**Ilustración 2-1:** Ubicación del estrato Herbazal de páramo en el Ecuador.

Realizado por: Guagrilla J., 2024.

Está compuesto por especies como *Calamagrostis effusa*, *Calamagrostis intermedia*, *Calamagrostis recta*, *Agrostis breviculmis*, *Festuca asplundii*, *Lachemilla orbiculata*, *Chrysactinium acaule*, entre otras (Urgiles et al, 2015, págs.66 – 67); entre las familias representativas están Asteraceae, Poaceae y Melastomataceae y Rosaceae (Muriel, et al., 2014, p. 146).

## **2.5. Importancia**

El páramo es un ecosistema de alta montaña, alberga formas de vida únicas, al ser un ecosistema frágil ubicado entre cordilleras con nieves perpetuas y cubiertas boscosas, que se encuentran comprometidas por varios componentes que han impedido la preservación (Guzmán y Melo, 2022, pág.23).

Además, el escaso conocimiento que se tiene obstaculiza ejecutar programas de manejo sustentables, lo que conduce a la práctica de estrategias de preservación erradas y sin cimiento científico, no obstante, para su conservación es obligatorio utilizar estrategias que involucren actores locales y nacionales (Morales & Estévez, 2006, págs.1 – 13).

Los páramos desempeñan variadas tareas como control de inundaciones, dado que funcionan como esponjas acumulando y liberando paulatinamente el agua de lluvia; control de degradación del suelo; contención de sedimentos y nutrientes (Rodríguez, 2011, p.38); estas interacciones entre el suelo, el agua, flora, fauna, y los nutrientes permite que los páramos cumplan estas funciones y mantengan la vida silvestre, el suministro y provisión de agua (Medina & Mena, 2001. págs.12 -14).

## **2.6. El clima del páramo**

Los páramos poseen clima frío y húmedo con cambios en los factores meteorológicos imprevistos, aunque la variación de temperatura anual es pequeña, de 2 a 10 °C, con una pluviosidad que fluctúa desde los 700 mm a 3000 mm (Rodríguez, 2011, págs.16-17).

## **2.7. pH del suelo**

El pH del suelo cuantifica la concentración del ion Hidrógeno ( $H^+$ ) en la solución del suelo con una escala particular que fluctúa del 0 al 14, es decir, muestra la acidez o alcalinidad del suelo al estar en contacto con el agua, (Cremona y Enriquez, 2020, pág.6). Según el Manual Internacional de Fertilidad de suelos (Torres, 1997, pág.16), éstos se clasifican según su acidez en:

- Muy fuertemente ácidos (menor a 4,5),
- Fuertemente ácidos (de 4,5 a 5,5),
- Ácidos (de 5,5 a 6,5),
- ligeramente ácidos (de 6,5 a 6,8),
- Neutros (de 6,8 a 7,2),
- Ligeramente alcalinos (de 7,2 a 7,5),

- Alcalinos (de 7,5 a 8,5) y,
- Fuertemente alcalinos (de 8,5 a 9).

## **2.8. Carbono Orgánico del suelo**

### **2.8.1. Reservas de carbono**

Las condiciones climáticas, la flora y el uso del suelo son elementos clave que influyen en la distribución espacial a nivel mundial del almacenamiento de carbono orgánico y carbono inorgánico presentes en el suelo (COS y CIS, correspondientemente) (Guo et al, 2006, págs.590 – 600).

La totalidad del área cultivable a escala global, ha reducido sus reservas de carbono orgánico entre 25 y 75 % (Lal et al, 2007, pág.945); muchas naciones han priorizado efectuar investigaciones sobre el contenido de carbono en los suelos, las causas de la reducción y la indagación de medidas para reducir la degradación del suelo (Mesisas et al, 2018, pág.27).

### **2.8.2. Digital Soil Map of the World (DSWM)**

El Mapa del Suelo Digital del Mundo (Digital Soil Map of the World, en inglés) es una base de datos de sistemas de información del suelo espacial que utiliza modelos numéricos que infieren las conmutaciones espaciales y temporales de las tipologías de suelo y las características del suelo, a causa de un sinnúmero de investigaciones que se tienen en los últimos años (Lagacherie, 2008, págs.2 – 3).

## **2.9. Erosión Hídrica**

Se considera a la erosión como un evento dañino, derivado de las actividades antrópicas, no obstante, regularmente se descarta que la erosión es un proceso natural controlado por la gravedad, por intermedio del cual los relieves e irregularidades de la corteza terrestre se equilibran (Ojeda y Sanchez, 1985, p.26).

Este proceso que se puede dividir en tres etapas: la separación de partículas de roca madre o ruptura de los agregados del suelo; el transporte de estas partículas desprendidas por el accionar de agentes erosivos, especialmente por la gravedad, el agua y el viento; y por finalmente, se produce la deposición de las partículas, cuando la energía de los agentes de transporte no es capaz para seguir arrastrándolas o cuando éstas son retenidas en las alteraciones del suelo o vegetación (García, 2004, p.310).

## 2.10. Modelo RUSLE

El modelo Revisad Universal Soil Loss Equation (RUSLE) es decir, Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada, es una versión corregida del modelo USLE, desarrollada por Wischmeier y Smith en 1978, el cual es útil para estimar la erosión media anual de una pendiente (Almoza et al., 2008, págs.38 – 43).

Es un modelo matemático paramétrico que cuantifica la erosión de suelo a partir de un grupo de factores que exigen la recolección de valores para el estudio tales como los datos anuales de precipitación, relieve y topografía, textura y estructura del suelo, y cobertura del terreno (Agama, 2022, pág.3).

### 2.10.1. Ecuación Universal del Modelo RUSLE

Los cinco parámetros utilizados en la Ecuación Universal del Modelo RUSLE son el factor de erosividad por lluvia (R), el factor de erodabilidad del suelo (K), el factor de pendiente y relieve (LS), el factor de cobertura vegetal (C) y el factor de control de la erosión (P) (Amorin et al., 2010, págs.1046 – 1049).

Las estimaciones de las pérdidas de suelo basadas en el modelo USLE son

$$A = R * K * LS * C * P$$

siendo,

A ⇔ Pérdida de suelo anual promedio, t/ha.año;

R ⇔ factor de erosividad de la lluvia, MJ.mm/ha.año.h;

K ⇔ factor de erodabilidad del suelo, t.ha.h/MJ.ha.mm;

L ⇔ factor de longitud de la pendiente, sin dimensiones;

S ⇔ factor de pendiente de la rampa, sin dimensiones;

C ⇔ factor de uso y manejo de la tierra adimensional, y

P ⇔ factor de las prácticas conservacionistas, sin dimensiones.

La Ecuación Universal de Pérdida del Suelo o USLE (Universal Soil Loss Equation) es un modelo que fue desarrollado por Wischmeier y Smith (1960, págs.419 – 420) con fines de ponderar las pérdidas de suelo útil para la agricultura, correspondientes a la erosión hídrica y relacionarlas con distintos parámetros del suelo y de las propias precipitaciones para poder establecer un modelo que predijera la tasa de erosión a partir de unos pocos factores (Morgan et al, 1998, pág.534).

Las unidades de la erosión hídrica universalmente son expresadas en Mg.ha-1.año-1; el Factor R va en función de la energía cinética de la precipitación; el Factor K mide la susceptibilidad del

suelo a ser desestructurado y arrastrado; el Factor L va relacionado a la topografía del terreno; el Factor S se refiere a la mayor distancia que puede transitar libremente la escorrentía en el terreno; el Factor C representa la capacidad de protección que ofrece la cobertura vegetal, mientras que el Factor P se refiere a las prácticas utilizadas para controlar la erosión del suelo (Renard et al., 1997, pág.33).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Enfoque de investigación

Se realizó una investigación de tipo cuantitativa, ya que se generó resultados, a partir de variables independientes tales como: altura sobre el nivel del mar, tipo de cobertura vegetal, precipitaciones, estructura del suelo, información cartográfica (bases de datos e imágenes satelitales) e información meteorológica (Precipitaciones mensuales); con el fin de aceptar o rechazar la hipótesis del problema en asunto.

#### 3.2. Alcance de Investigación

El alcance de la investigación es un estudio descriptiva – correlacional; descriptiva debido, a qué través de una metodología determinada se detallan independientemente datos y características de las variables en estudio; y correlacional porque se establece el grado de relación o asociación no causal existente entre carbono orgánico y erosión hídrica.

#### 3.3. Diseño de investigación

##### 3.3.1. *Según la manipulación o no de la variable independiente*

La investigación es de tipo descriptiva puesto que se describen las características de una población o fenómeno analizadas.

##### 3.3.2. *Según las intervenciones en el trabajo de campo*

La investigación es de tipo transversal porque se produjo en un momento concreto y se fundamentó en comparar diferentes variables entre sí.

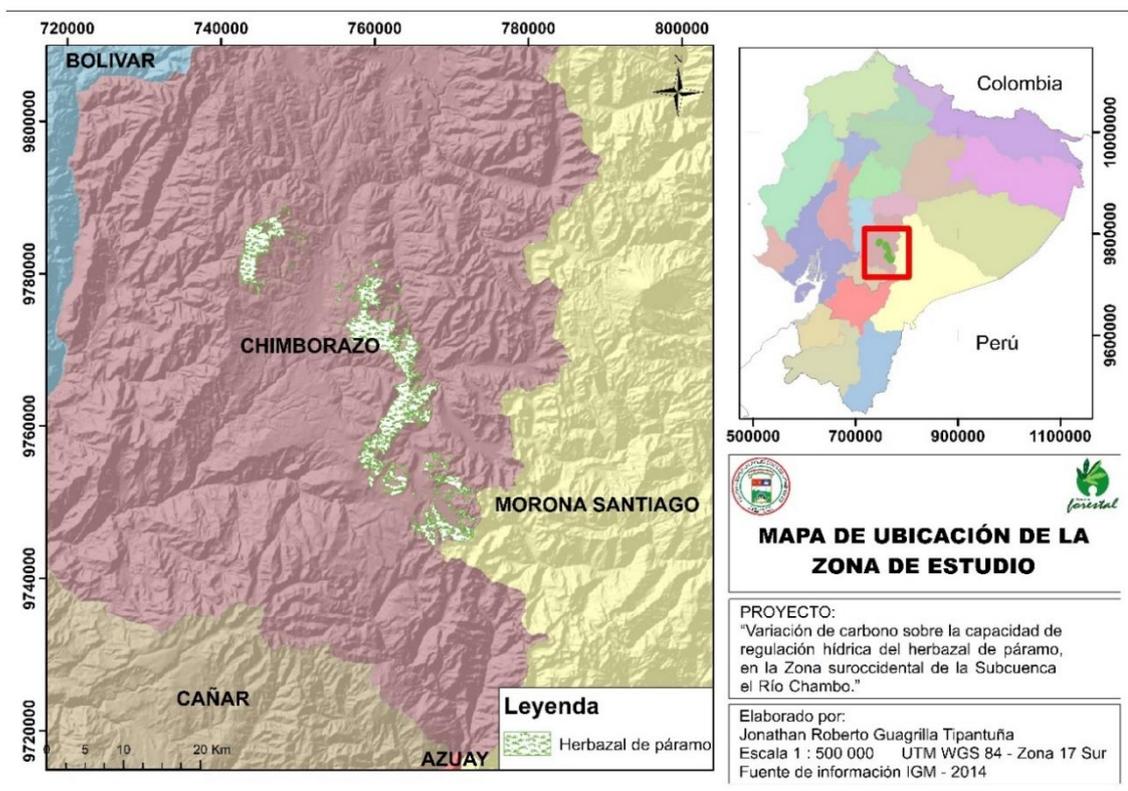
#### 3.4. Tipo de estudio

El tipo de estudio es documental y de campo.

### 3.5. Población selección y cálculo del tamaño de la muestra

La población de la zona de estudio corresponde al ecosistema Páramo, del subtipo Herbazal de páramo (Hp), ubicado en las parroquias Guamote, y Achupallas, de los cantones de Guamote y Alausí respectivamente, en la provincia de Chimborazo, de la zona Suroccidental de la Subcuenca del Río Chambo.

Consta de 12543,12 hectáreas de superficie; delimita entre 742290 E y 773885 W, y entre 9789046 N y 9744338 S del sistema de proyección Universal Transversal de Mercator (UTM) ZONA 17 Sur, Datum WGS84 (Ver Ilustración 3-1). La topografía es irregular, que va desde los 3094 m.s.n.m. en la parte baja hasta los 4320 m.s.n.m. en la parte alta. La temperatura oscila entre los 2 °C a 12 °C.



**Ilustración 3-1:** Mapa de ubicación del área de estudio.

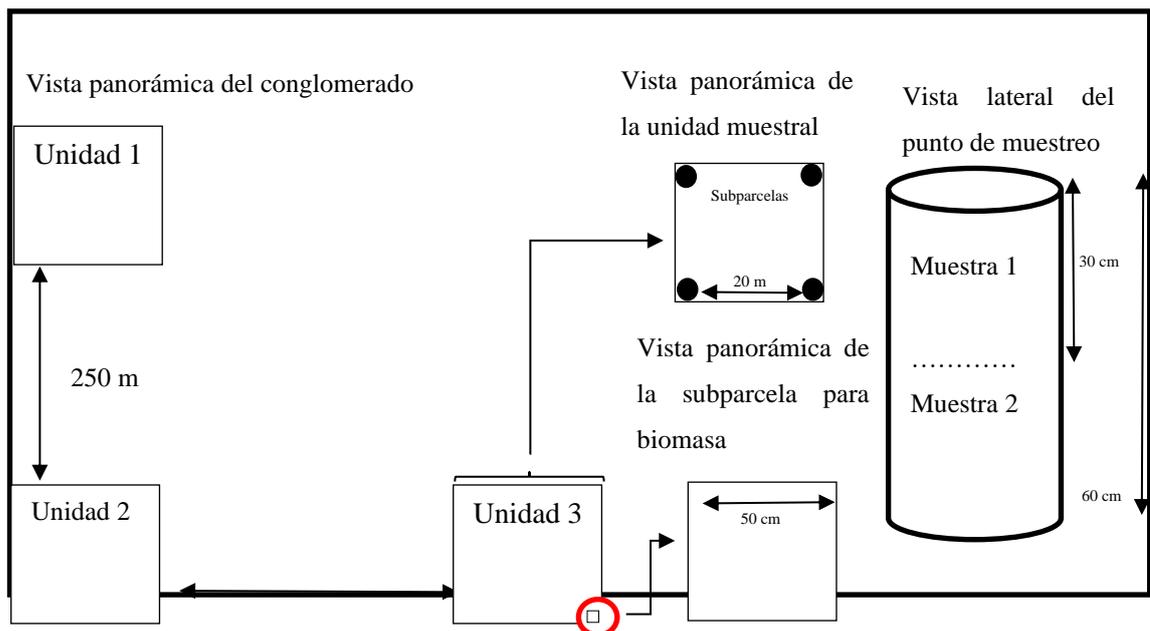
Realizado por: Guagrilla J., 2024.

Para el levantamiento de la información se utilizó cartografía actualizada proporcionada por el Instituto Geográfico Militar 2014 (IGM).

### 3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

#### 3.6.1. Muestreo de carbono orgánico del suelo

Se estableció 12 unidades de muestreo (conglomerados). Luego, se accedió a las zonas de estudio con las coordenadas específicas de cada punto, se recolectó cada muestra en las fundas Ziploc correctamente etiquetadas de acuerdo a la metodología de conglomerados. En cada lugar se tomaron dos muestras de suelo de diferentes profundidades, como se muestra en la Ilustración 3-2.



**Ilustración 3-2:** Estructura del conglomerado para toma de muestras de suelo.

**Realizado por:** Guagrilla, Jonathan, 2024

##### 3.6.1.1. Muestra

Se realizó la delimitación del área de estudio dentro de la Zona de estudio con el uso herramientas de información geográfica y se determinó el tamaño de la muestra de acuerdo al factor Grado de intervención y Profundidad de la toma de la muestra.

##### 3.6.1.2. Tamaño de la muestra

Para el cálculo del tamaño de la muestra, se utilizó la fórmula de la muestra ( $n$ ) para poblaciones finitas de Fisher y Navarro (1996, págs.18 – 21) que es menor o igual a 500.000. El cual se describe

a continuación, teniendo como población la superficie del área de estudio, un nivel de confianza del 95% y un error muestral del 5%:

$$n = \frac{N \cdot z^2 \cdot p \cdot q}{e^2(N-1) + z^2 \cdot p \cdot q}$$

En donde:

z = Nivel de Confianza

N = Universo o población

p = probabilidad a favor

q = probabilidad en contra

e = error de estimación (precisión en los resultados)

n = número de elementos (tamaño de la muestra)

$$n = \frac{12543 \cdot (1,96)^2 \cdot 0,05 \cdot 0,95}{(0,05)^2(12543-1) + (1,96)^2 \cdot 0,05 \cdot 0,95}$$

$$n = 72,374$$

$$n = 72$$

Se determinó que existen 72 número de muestras.

### 3.6.1.3. Diseño experimental

Se utilizó un diseño estratificado completamente al azar.

Factor A: Grado de intervención.

Factor B: Profundidad de la muestra de suelo.

Variable respuesta: Contenido de Carbono Orgánico del Suelo.

### 3.6.1.4. Etiquetado de muestras

Para la investigación, se estableció el etiquetado de muestras a partir de las siguientes variables:

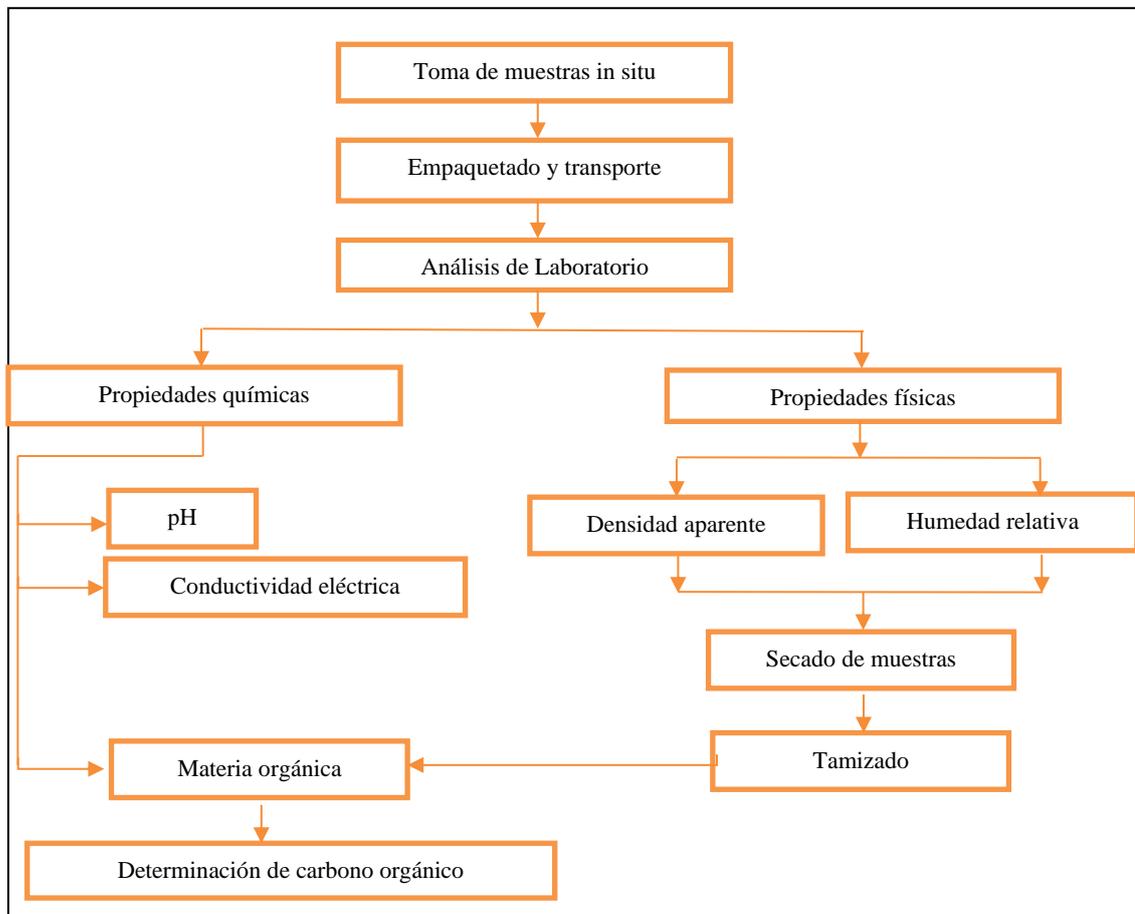
**Tabla 3-1:** Etiquetado del muestreo del suelo.

Grado de alteración	Etiqueta	Parcela	Etiqueta	Profundidad de las muestras (cm)	Etiqueta
Páramo alterado	A1	Nivel	P1, P2, P3.	(0 - 30)	D1
Páramo no alterado	A2			(30 - 60)	D2

Realizado por: Guagrilla J., 2024.

### 3.6.1.5. Toma de muestras para la determinación de carbono orgánico

El procedimiento utilizado fue el de conglomerados (ver Ilustración 3 – 3) establecida por el Ministerio del Ambiente y ONU-REDD+ 2012 (Cueva et al., 2012, pág.125 ajustados a los protocolos del laboratorio GIDAC; donde cada conglomerado tiene de tres parcelas dispuestas en forma de L, con una separación de 250 metros, Cada parcela se dividió en tres subparcelas de 20 metros por 20 metros, en cada una de estas subparcelas, se recolectaron seis muestras compuestas a dos profundidades diferentes (0-30 cm y 30-60 cm) (Allauca y Ayala, 2021, pág.32).



**Ilustración 3-3:** Pasos para la obtención del contenido de carbono orgánico del suelo.

Fuente: Cunalata, 2013.

Realizado por: Guagrilla, Jonathan, 2024.

### 3.6.1.6. pH

Para obtener el pH, se realizó lo siguientes pasos:

- Se taró un recipiente plástico con la balanza analítica y se pesó 20 g de la muestra de suelo y se colocó 45 mL de agua destilada,
- Se agitó continuamente durante 10 minutos y se dejó reposar durante 5 minutos,

- Posteriormente, se usó un pH-metro de mesa modelo Accumet Fisher Scientific, se midió los valores de pH para cada muestra y se registró los datos (Zagal y Zadzawka, 2007, pág.10 – 18).

### 3.6.1.7. Conductividad eléctrica

Una vez culminado el análisis de pH, se usó las mismas muestras de suelo, luego de dejar reposar durante 24 horas, consecutivamente, se utilizó un conductímetro marca HACH y se anotó los valores de conductividad en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Villaseñor, 2016, pág.25-26).

### 3.6.1.8. Densidad aparente y Humedad relativa

La Densidad aparente del Suelo se realizó por medio del método de cilindro, consistió en colocar la muestra comprendida dentro del cilindro en una canasta previamente tarada ( $P_c$ ), luego, se pesó en la balanza analítica la muestra de suelo húmedo ( $P_h$ ) y se colocó a secar a  $105^\circ\text{C}$  durante 24 horas en la estufa; después, se pesó y se anotó el peso seco ( $P_s$ ) para conseguir la densidad aparente del suelo (Llambí et al, 2012, p.202) con esta ecuación:

$$D_a = \frac{P_s - P_c}{V}$$

Donde:

$D_a$  = Densidad Aparente,

$P_s$  = peso seco,

$P_c$  = peso de la canasta, y

$V$  = volumen conocido del cilindro preliminarmente calibrado.

El porcentaje de humedad se basó en el peso del suelo secado en estufa y se expresa en unidades de masa por unidad de volumen (Forsythe, 1975, pág.17-19):

$$\% H = \frac{P_h - (P_s - P_c)}{P_h} * 100$$

Donde:

$\%H$  = Porcentaje del contenido de humedad.

$P_h$  = Peso húmedo.

$P_s$  = peso seco.

$P_c$  = peso de la canasta.

### 3.6.1.9. Secado y tamizado

Las muestras se pusieron sobre papel y se dejó reposar a la sombra a temperatura ambiente para secarlas, luego, se filtró con un tamiz de 250 µm para el análisis de materia orgánica.

### 3.6.1.10. Materia Orgánica

Para obtener la materia orgánica del suelo, se usó el método de calcinación o pérdida por ignición (LOI, Loss On Ignition), que examinó el contenido de Materia Orgánica y se establece al cuantificar la pérdida de peso de la muestra de suelo al exponer a altas temperaturas (Eyherabide et al, 2012, págs.13 – 15).

El proceso consiste en lo siguiente:

Se pesó los crisoles preliminarmente tarados y se registró los pesos como Peso 1; se pesó 5 gramos de la muestra tamizada en los crisoles, se anotó el peso como Peso 2; éstos se trasladaron a la estufa por 24 horas a 105 °C, se trasladó al desecador de vidrio, se pesó y se anotó como Peso 3; los crisoles fueron llevados a la mufla durante 2 horas a 360 °C, se colocó en el desecador, se pesó y anotó para obtener el Peso 4 (Bermeo y Correa, 2020, pág.44).

El porcentaje de materia orgánica se logró empleando la siguiente ecuación:

$$\% MO = \left( \frac{\text{Peso 3} - \text{Peso 4}}{\text{Peso 3} - \text{Peso 1}} \right) * 100$$

### 3.6.1.11. Carbono Orgánico

Luego de obtener el valor de Materia Orgánica, se usó el Factor Van Bemmelen de 1,724 para obtener el porcentaje de Carbono Orgánico del Suelo, mismo que infiere que el 58% de la Materia Orgánica está constituida por Carbono (Lizcano, 2017, pp.14 – 15). Para el cálculo de Carbono Orgánico del Suelo se usó la siguiente ecuación:

$$\% CO = \frac{\% MO}{1.724}$$

### 3.6.1.12. Análisis estadístico

Para estimar el contenido de carbono orgánico en los estratos intervenidos y sin intervención, se realizó un Análisis de Varianza que mostró la tendencia de los datos, si estos difieren, se realizó

la prueba de Tukey al 5% para saber qué diferencias poseen (Castro y Escobar, 2010, pág.15-25). El ANOVA sirvió para evidenciar si existe similitud entre tratamientos de acuerdo a la variable de respuesta, lo cual se abrevia en la siguiente hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k = \mu$$

$$H_a: \mu_i \neq \mu_j \text{ para algún } i \neq j$$

**Tabla 3-2:** Cálculo de tabla ADEVA.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Fo	Valor P
<i>Tratamientos</i>	<i>SCTrat</i>	<i>k-1</i>	$CMQA = \frac{SC\ Trat}{k-1}$	$\frac{CM\ TRAT}{CME}$	$P(F > F_0)$
<i>Error</i>	<i>SCE</i>	<i>N-k</i>	$CME = \frac{SCE}{N-k}$		
<i>Total</i>	<i>SCT</i>	<i>N-1</i>			

Fuente: (Gutiérrez y De la Vara, 2016, p.62).

### 3.7. Para la estimación de erosión hídrica

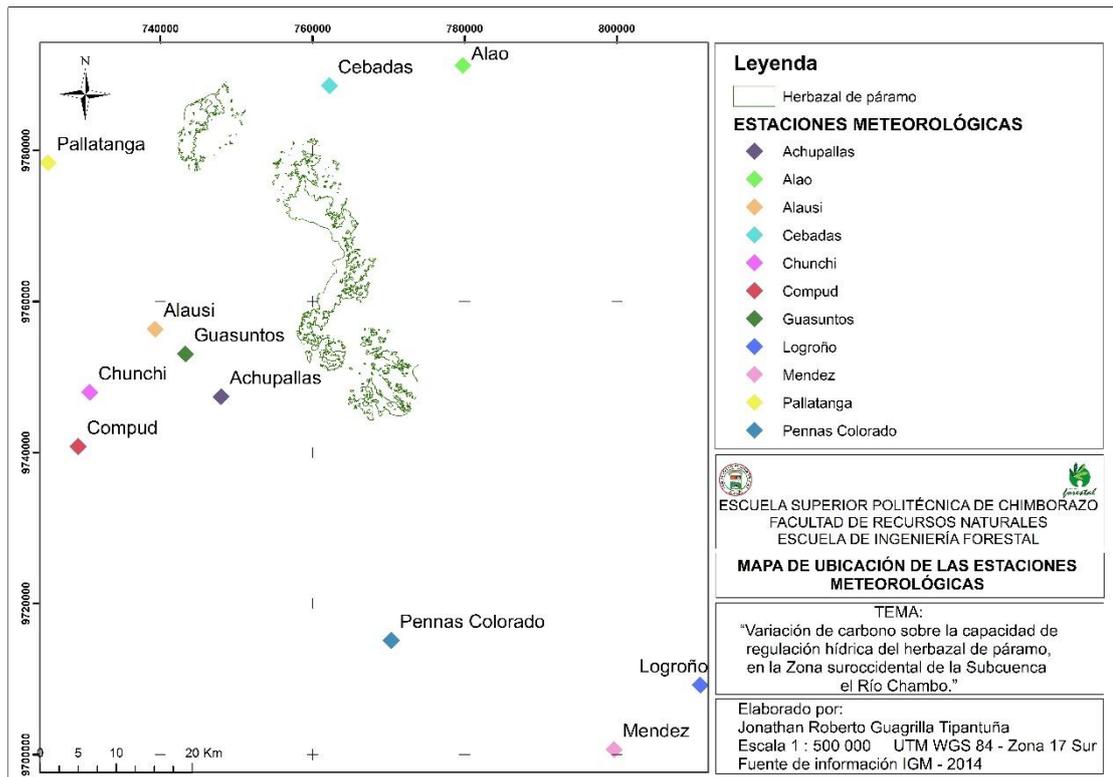
#### 3.7.1. Índice de erosividad de la lluvia (Factor R)

Se identificó y recolectó la información de todas las estaciones meteorológicas contiguas a la zona de estudio del estrato Herbazal de páramo (Ver Tabla 3 – 3).

**Tabla 3-3:** Estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio.

ESTACIÓN METEOROLÓGICA	CÓDIGO	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	
		Este	Norte
Chunchi	M0136	730679	9747978
Compud	M0397	729185	9740791
Achupallas	M0399	747956	9747399
Alausi	M0403	739284	9756353
Guasuntos	M0405	743267	9753060
Logroño	M0497	810946	9709202
Mendez	M0501	799643	9700651
Pennas Colorado	M0217	770340	9715126
Pallatanga	M0391	725218	9778370
Cebadas	M0395	762207	9788585
Alao	M0396	779743	9791264

Realizado por: Guagrilla, Jonathan, 2024.



**Ilustración 3-4:** Mapa de Ubicación de las Estaciones meteorológicas.

**Realizado por:** Guagrilla J., 2024.

Para obtener el Factor de erosividad (R), se utilizó el Índice Modificado de Fourier (IMF) que determinó la agresividad de la precipitación (Blanco, 2019, pág.44) y se calculó a partir de la siguiente fórmula:

$$IMF = \frac{\sum p_i^2}{P_t}$$

Donde:

IMF: Índice de Fourier modificado,  $p_i$  es la precipitación de cada mes (mm),  $P_t$  es la precipitación media anual (mm) (Quiñonez, 2022, p.34).

Consecutivamente, en el Software Arcgis 10.8 se utilizó el Método IDW para la interpolación del Factor de erodabilidad (R) de la zona de estudio, esta herramienta se localiza en: ArcToolbox / 3D Analysis Tools / Raster Interpolation / IDW (Ríos, 2023, pág.44).

El Rango de clasificación de Índice modificado de Fourier aparece en la Tabla 3-4.

**Tabla 3-4:** Clasificación del Índice de Fourier Modificado (IMF).

Rango	Clasificación
0 – 60	Muy bajo
60 – 90	Bajo
90 – 120	Moderado
120 – 160	Alto
> 160	Muy Alto

**Fuente:** (Moyano et al., 2006, pág.9.)

**Realizado por:** Guagrilla J., 2024.

### 3.7.2. Índice de erodabilidad (Factor K)

A partir del Mapa Digital de Suelos del mundo de la FAO (DSMW, por sus siglas en inglés) (FAO, 2020) se instituyó los valores de erodabilidad edáfica (Factor K) en relación de las unidades del suelo y textura. La fórmula reajustada por los autores (Wischmeier y Smith, 1978, págs.5 – 8), (Nietsch, 2011, págs.251 – 266), (Williams y Singh, 1995, págs.909 – 920) es:

$$K = 0.1317 * f_{csand} * f_{cl-si} * f_{orgc} * f_{hisand}$$

Siendo  $f_{csand}$  un factor que reduce el indicador K en suelos con alto contenido de arena gruesa y aumenta para suelos con poca arena;  $f_{cl-si}$  proporciona valores bajos para suelos con proporciones de arcilla a limo altas;  $f_{orgc}$  reduce los valores de suelos de contenido de carbono orgánico alto, mientras que  $f_{hisand}$  disminuye los valores de K para suelos con un contenido de arena extremadamente alto (Wawer et al., 2005, págs.655 – 658).

$$f_{csand} = \left( 0.2 + 0.3 * e^{\left[ -0.256 * m_{sand} * \left( 1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right]} \right)$$
$$f_{cl-si} = \left( \frac{m_{silt}}{m_{clay} + m_{silt}} \right)^{0.3}$$
$$f_{orgc} = \left( 1 - \frac{0.25 * orgC}{orgC + e^{\left[ 3.72 - 2.95 * orgC \right]}} \right)$$
$$f_{hisand} = \left( 1 - \frac{0.7 * \left( 1 - \frac{m_{sand}}{100} \right)}{\left( 1 - \frac{m_{sand}}{100} \right) + e^{\left[ -5.51 + 22.9 * \left( 1 - \frac{m_{sand}}{100} \right) \right]}} \right)$$

Donde:

$m_{sand}$  el contenido de la porción de arena (0.05-2.00 mm de diámetro) [%];

$m_{silt}$  el contenido de la porción de limo (0.002-0.05 mm de diámetro) [%];

$m_{clay}$  el contenido de la porción de arcilla (<0.002 mm de diámetro) [%];

*orgC* el contenido de carbono orgánico [%].

Además, para ajustar del sistema inglés al sistema métrico propuesto se utilizó 0,1317 como un coeficiente de conversión de unidades (Foster et al., 1981, págs.355 – 359).

### 3.7.3. Índice de cobertura (Factor C)

El factor de Cobertura vegetal se efectuó a través de una clasificación supervisada de una imagen satelital en el programa ArcGIS 10.8, se obtuvo imágenes satelitales, se realizó una limpieza, corrección y unión de imágenes (Castro et al, 2023, pág.49-51).

Posteriormente, se realizó una determinación de atributos y se estableció los valores donde 1 es sitios sin vegetación, mientras que valores cercanos a 0 son con abundante cobertura vegetal; todos estos valores son adimensionales (Pacheco et al, 2019, pág. 6).

**Tabla 3-5:** Valores del Factor C asociados a la cobertura vegetal y uso de la tierra.

Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra	Factor C
Páramo	0,021
Cultivos	0,6
Pastos	0,07
Sin cobertura vegetal	1
Plantación Forestal	0,03
Cuerpo de Agua	0

**Fuente:** (Saborio, 2022, págs.40 – 41)

**Realizado por:** Guagrilla J., 2024.

### 3.7.4. Factor de longitud y pendiente (Factor LS)

A partir de un Modelo Digital de Terreno (MDT) se obtuvo el Factor de topografía [longitud de la ladera (L) y su pendiente (S)], El factor LS fija la longitud y gradiente de la pendiente; y el mapa resultado se calcula en el ArcGis 10.8 (Portuguez, 2015, págs. 324-329) por la fórmula siguiente:

$$\text{Factor LS} = \text{“Factor L”} * \text{“Factor S”}$$

Para obtener el factor L, se empleó las siguientes ecuaciones:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,13}\right)^m$$
$$m = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

$$\beta = \frac{\sin\theta / 0,0896}{3(\sin\theta)^{0,8} + 0,56}$$

donde:

$\lambda$ : Longitud de la pendiente en m,

$m$ : Exponente variable según  $\beta$ ,

$\beta$ : Ángulo de la pendiente, y

$\theta$ : Pendiente a nivel de pixel en radianes (Foster et al, 1977, págs.683-687).

También, se puede hallar el factor L mediante las herramientas de Sistema de Información Geográfica, a través del área de drenaje aportadora cuya fórmula es:

$$L_{i,f} = \frac{(A_{(i,f)} + D^2)^{m+1} - A_{(i,f)}^{m+1}}{x^m \cdot D^{m+2} \cdot (22,13)^m}$$

donde:

$A(i,j)$  : la acumulación de flujo a nivel de pixel,

$D$ : Es el tamaño de pixel, y

$x$ : Coeficiente de forma, se da el valor de 1 si se utiliza pixeles (Desmet y Govers 1996, pág.427-433).

En el cálculo del factor L, fue indispensable usar la herramienta FILL, del software ArcGIS 10.8 para saturar e impedir vacíos en el ráster del DEM. Con este producto, se elaboró el ráster de pendiente SLOPE (Mogollón y Ortiz, 2021, pág.106). Consecutivamente, en el ArcMap con la herramienta RASTER CALCULATOR, se emplea las fórmulas

Para el cálculo del factor S, se calculó a través de las siguientes fórmulas:

$$S = (10.8 \sin \theta + 0.03) \text{ en pendientes } < 9.0\%; \text{ y}$$

$$S = (16.8 \sin \theta - 0.5) \text{ en pendientes } \geq 9.0\%,$$

donde:

S: Factor de inclinación de la pendiente;

$\theta$ : el ángulo de la pendiente debe convertirse de grados a radianes (McCool et al., 1989, p.1571-1576).

### 3.7.5. Factor de prácticas de conservación (Factor P)

Este factor está relacionado a las prácticas antropogénicas de conservación de suelos como contornos o terrazas, no obstante, no se encontró datos geográficos en el sitio de investigación (Jahun et al, 2015, pág.36-47).

### 3.7.6. Erosión Hídrica del suelo

Los rangos de erosión Hídrica son de acuerdo con el nivel y grado de erosión, para la utilización directa y precisa de los datos de erosión, se utilizó una clasificación por niveles erosivos, establecidos por ICONA (1987, pág.86).

**Tabla 3-6:** Nivel y grado de erosión hídrica.

Nivel de erosión hídrica	Pérdida del suelo (t/ha.año)	Grado
1	> 5	Inapreciable
2	5,1 – 12	Muy Bajo
3	12,1 – 25	Bajo
4	25,1 – 50	Moderado
5	50,1 – 100	Alto
6	100,1 – 200	Muy Alto
7	< 200	Irreversible

Realizado por: Guagrilla J., 2024.

### 3.8. Materiales

Para el presente estudio, se utilizaron materiales y equipos para campo, laboratorio y oficina, a fin de minimizar los errores en el muestreo.

**Tabla 3-7:** Materiales y equipos para campo, laboratorio y oficina.

MATERIALES Y EQUIPOS PARA CAMPO		
Item	Descripción	Cantidad
01	GPS Garmin	01
02	Cinta métrica (30 m)	01
03	Brújula	01
04	Imágenes Satelitales Landsat8	01
05	Cartografía temática IGM	01
06	Libreta para campo	01
07	Combo de hule	01
08	Paquete de Fundas ziploc	10
09	Cinta de embalaje	02
10	Rollo de papel de embalaje	03
11	Paquete de fundas de basura	05
12	Espátula	01
13	Hoyadora	01
14	Barreno	01
15	Cilindro de metal	09

16	Marcador permanente	03
<b>MATERIALES Y EQUIPOS PARA LABORATORIO</b>		
17	Fundas plásticas transparentes	20
18	Papel periódico	05
19	Paquete de tarrinas con tapa	04
20	Paquete de Guantes	01
21	Bandejas de aluminio	25
22	Estufa modelo ESCO	01
23	Mufla a Thermo Scientific™	01
24	Varilla de vidrio	01
25	Marcador	01
26	Cucharas plásticas	05
27	Balanza analítica marca OHAUS	01
28	Conductímetro marca HACH	01
29	Mandil	01
30	Vaso de precipitación	01
31	Probeta	02
32	Desecador	02
33	Crisol	25
34	Guantes de cuero	01
35	Pinzas	01
36	Agua destilada	10
<b>MATERIALES Y EQUIPOS PARA OFICINA</b>		
37	Computador	01
38	Software ArcGIS 10.8	01
39	Software Google Earth pro	01

---

**Realizado por:** Guagrilla J., 2024.

## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Procesamiento, análisis e interpretación de resultados

##### 4.1.1. Análisis de carbono orgánico

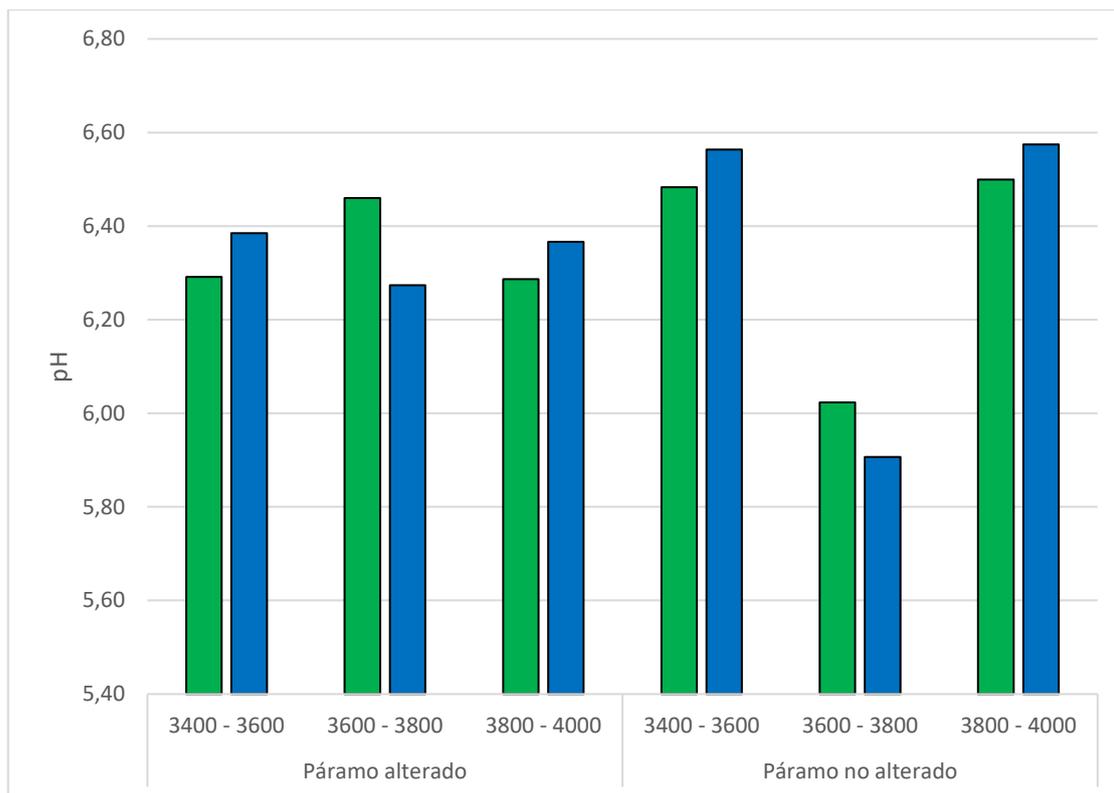
###### 4.1.1.1. pH

En la Tabla 4-1, se muestra el promedio de pH en el Herbazal de páramo que oscilan desde 6,34 en Páramo alterado a 6,46 en Páramo no alterado; esto coincide con Cremona y Enríquez (2020, pág.6) quienes señalan que la excesiva aplicación de fertilizantes, especialmente aquellas a base de nitrógeno, mismas que intensifican la acidez de los suelos.

**Tabla 4-1:** Promedios de pH en la zona de estudio.

Promedios pH	
Páramo alterado	Páramo no alterado
6,34	6,46

**Realizado por:** Guagrilla J., 2024.



**Ilustración 4-1:** pH en el Herbazal de páramo alterado y no alterado en altitudes de 3200 a 4200 msnm.

**Realizado por:** Guagrilla J., 2024.

Los resultados obtenidos en el Herbazal de páramo están bajo el pH neutro (Ilustración 4 – 1), encontrando en: páramo alterado son ácidos con valores comprendidos entre 6,19 y 6,55; y páramo no alterado son ácidos con valores comprendidos entre 5,91 y 6,56; mismos que se asemejan con los obtenidos por Estupiñán et al., (2009, pág.86) cuyas características de los suelos del páramo poseen valores de pH bajos.

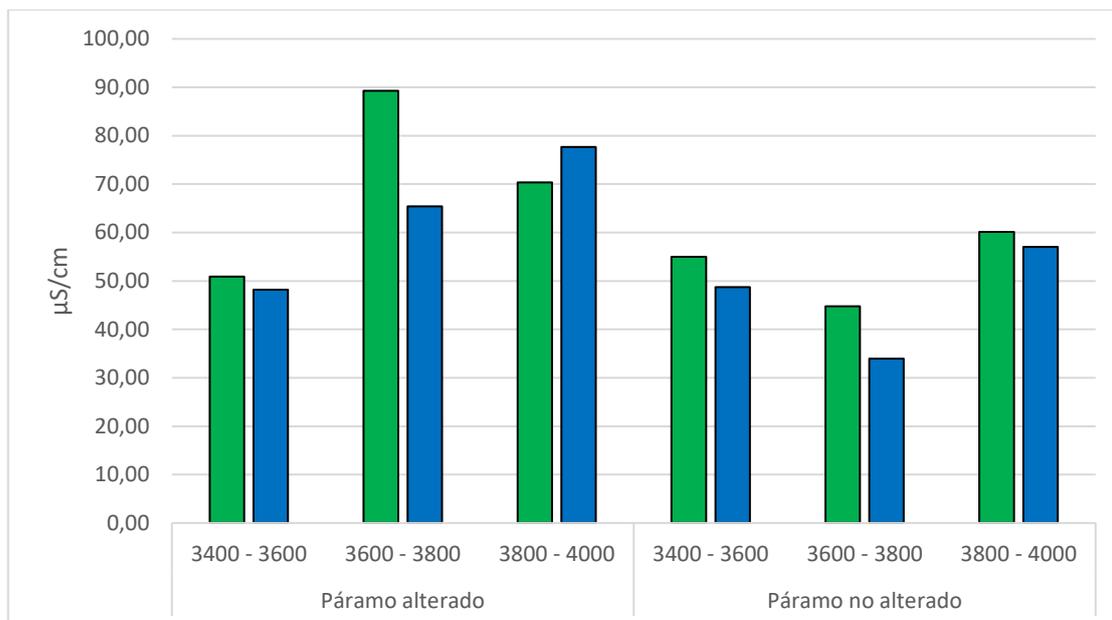
#### 4.1.1.2. Conductividad eléctrica

En la Tabla 4-2, se muestra el promedio de Conductividad eléctrica en el Herbazal de páramo que oscilan desde 62,61 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en Páramo alterado a 55,33 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en Páramo no alterado, lo cual indicaría que el suelo en Páramo alterado contiene una concentración elevada de sales.

**Tabla 4-2:** Promedios de Conductividad eléctrica en la zona de estudio.

Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	
Páramo alterado	Páramo no alterado
62,61	55,33

**Realizado por:** Guagrilla J., 2024.



**Ilustración 4-2:** Conductividad eléctrica en el Herbazal de páramo alterado y no alterado en altitudes de 3200 a 4200 msnm.

**Realizado por:** Guagrilla J., 2024.

Los resultados obtenidos en el Herbazal de páramo de conductividad eléctrica, en su gran mayoría en profundidades de 0 - 30 cm es superior a las encontradas en profundidades de 30 – 60 cm (Ilustración 4 – 2); similares a los encontrados en Pazmiño (2019, pág.47). Según Lal (2004, págs.1623-1624) a mayor contenido de materia orgánica existe mayor conductividad eléctrica.

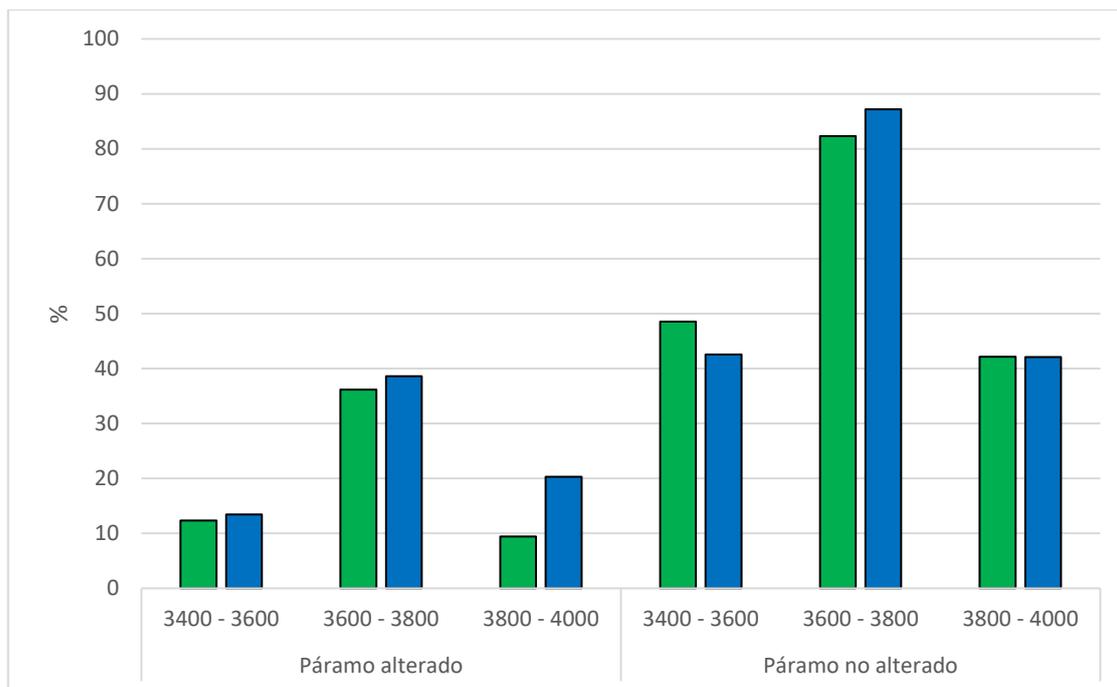
#### 4.1.1.3. Humedad relativa

En la Tabla 4-3, se muestra el promedio de Humedad relativa en el Herbazal de páramo que oscilan desde 19,51 en Páramo alterado a 47,86 en Páramo no alterado.

**Tabla 4-3:** Promedios de Humedad relativa en la zona de estudio.

Promedios de Humedad (%)	
Páramo alterado	Páramo no alterado
19,51	47,86

**Realizado por:** Guagrilla J., 2024.



**Ilustración 4-3:** Porcentaje de Humedad en el Herbazal de páramo alterado y no alterado en altitudes 3200 - 4200 msnm.

**Realizado por:** Guagrilla J., 2024.

Los resultados obtenidos en el Herbazal de páramo de Porcentaje de Humedad, en su gran mayoría en profundidades de 0 - 30 cm es inferior a las encontradas en profundidades de 30 - 60 cm (Ilustración 4 - 3); similares a los encontrados en Pazmiño (2019, pág.47).

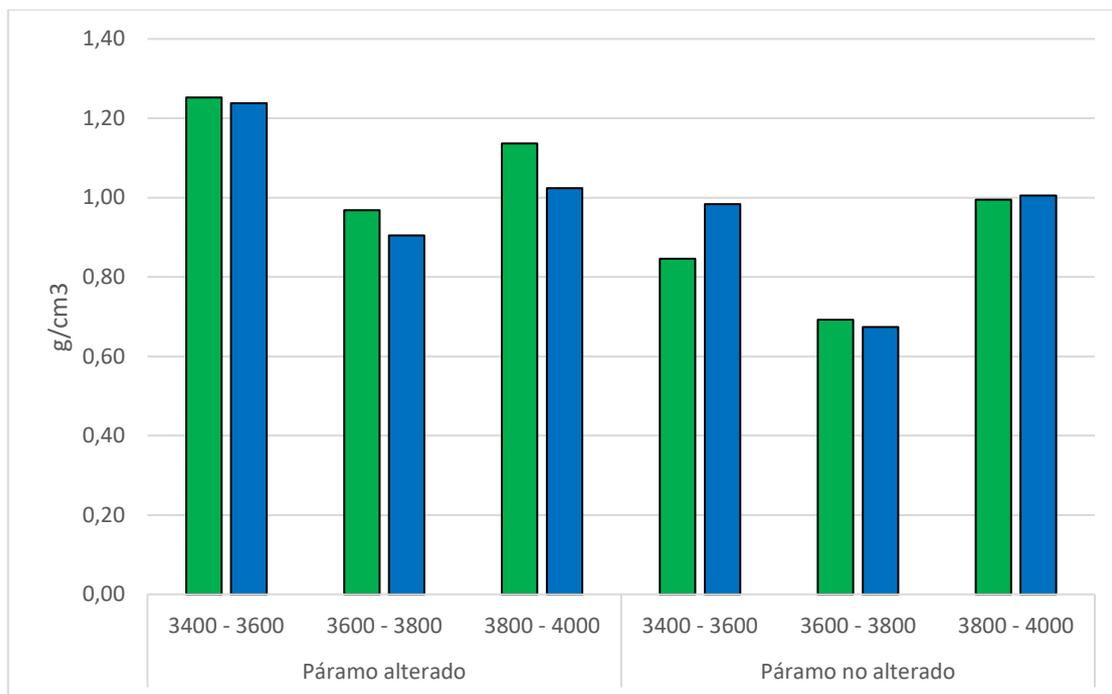
#### 4.1.1.4. Densidad aparente

En la Tabla 4- 4, se muestra el promedio de Densidad aparente del suelo en el Herbazal de páramo que oscilan desde 1,13 g/cm<sup>3</sup> en Páramo alterado a 0,95 g/cm<sup>3</sup> en Páramo no alterado; lo cual significa que en el Páramo alterado existe un grado de compactación mayor, y por ende, menor aireación del suelo.

**Tabla 4-4:** Promedio de la Densidad aparente del suelo en la zona de estudio.

Promedios de Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	
Páramo alterado	Páramo no alterado
1,13	0,95

**Realizado por:** Guagrilla J., 2024.



**Ilustración 4-4:** Densidad aparente en el Herbazal de páramo alterado y no alterado en altitudes 3200 - 4200 msnm.

**Realizado por:** Guagrilla J., 2024.

Los resultados obtenidos en el Herbazal de páramo de Densidad aparente, en su gran mayoría en profundidades de 0 - 30 cm es superior a las encontradas en profundidades de 30 – 60 cm; similares a los encontrados en Pazmiño (2019, pág.47). La densidad aparente en Páramo alterado es de 1,13 g/cm<sup>3</sup>; mientras que la densidad aparente en Páramo no alterado es de 0,95 g/cm<sup>3</sup>; esto debido a la compactación por la acción antropológica en las zonas intervenidas.

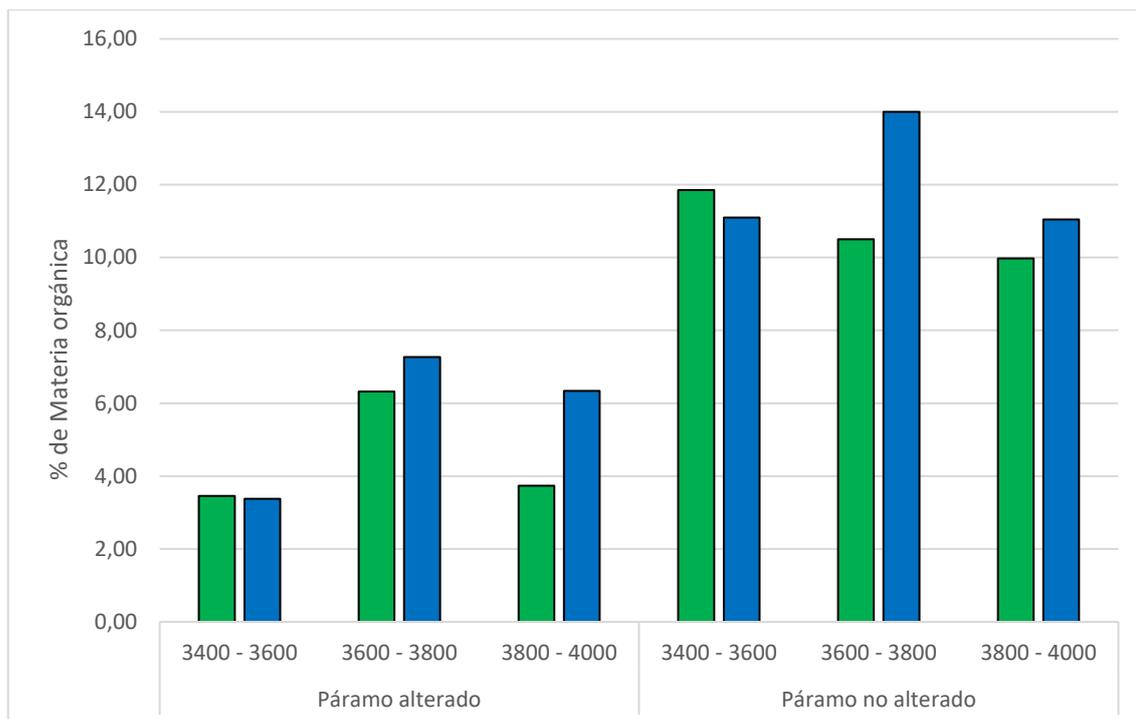
#### 4.1.1.5. Materia orgánica

En la Tabla 4-5, se muestra el promedio de Porcentaje de Materia orgánica en el Herbazal de páramo que oscilan desde 4,67 en Páramo alterado a 10,85 en Páramo no alterado; lo cual significa que en el Páramo no alterado existe mayor cobertura vegetal, misma que, ayuda en la capacidad de retención de agua y reduce la erosión hídrica y eólica.

**Tabla 4-5:** Promedio de la Porcentaje de Materia orgánica del suelo en la zona de estudio.

Promedios de Porcentaje de Materia orgánica	
Páramo alterado	Páramo no alterado
4,67	10,85

**Realizado por:** Guagrilla J., 2024.



**Ilustración 4-5:** Porcentaje de Materia orgánica en el Herbazal de páramo alterado y no alterado en altitudes 3200 - 4200 msnm.

**Realizado por:** Guagrilla J., 2024.

Los resultados obtenidos en el Herbazal de páramo del Porcentaje de Materia orgánica, en su gran mayoría en profundidades de 0 - 30 cm es inferior a las encontradas en profundidades de 30 – 60 cm; similares a los encontrados en Pazmiño (2019, pág.47). El porcentaje de materia orgánica en Páramo alterado es de 4,67; mientras que el porcentaje de materia orgánica en Páramo no alterado es de 10,85; esto debido a la pérdida o alteración de la cobertura vegetal causada a la acción antropológica en las zonas de estudio.

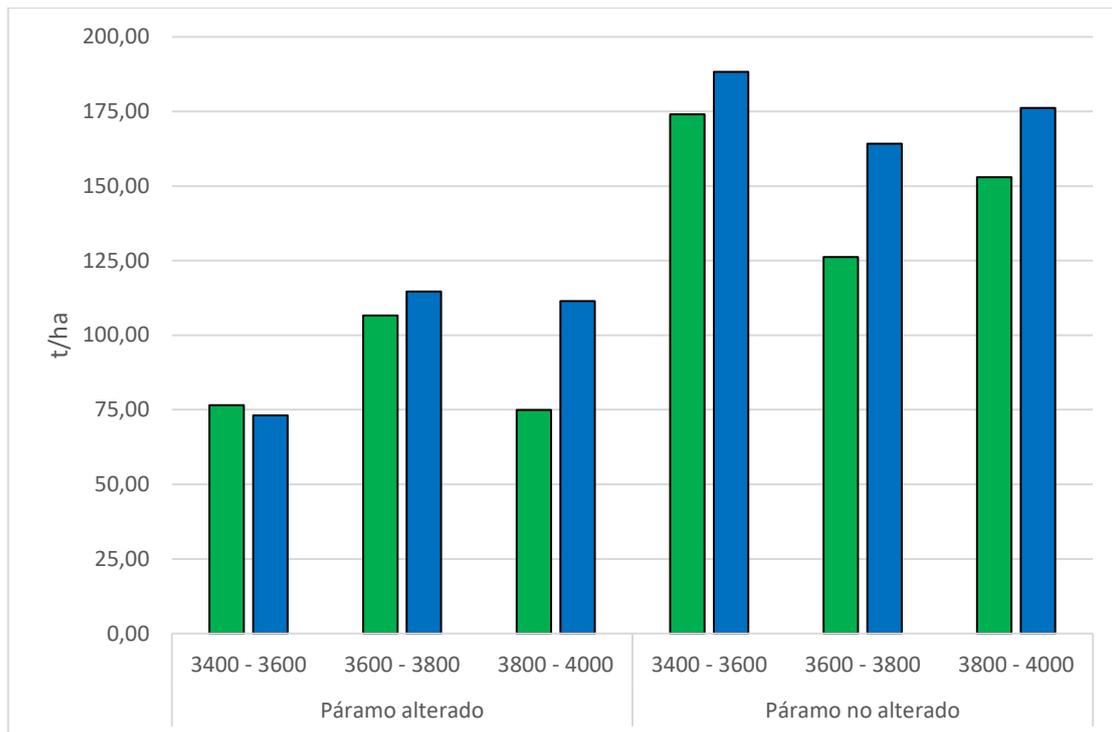
#### 4.1.1.6. *Carbono orgánico del suelo*

En la Tabla 4-6, se muestra el promedio de toneladas.hectárea<sup>-1</sup> en el Herbazal de páramo que oscilan desde 88,39 en Páramo alterado a 164,22 en Páramo no alterado; lo que representa que en zonas sin intervención existe mayor depósito de carbono orgánico del suelo (COS).

**Tabla 4-6:** Promedio de toneladas.hectárea<sup>-1</sup> de Carbono orgánico del suelo en la zona de estudio.

Carbono Orgánico del Suelo	
Páramo alterado	Páramo no alterado
88,39	164,22

**Realizado por:** Guagrilla J., 2024.



**Ilustración 4-6:** Carbono orgánico del suelo en el Herbazal de páramo alterado y no alterado en altitudes 3200 - 4200 msnm.

**Realizado por:** Guagrilla J., 2024.

Los resultados obtenidos en el Herbazal de páramo de Carbono orgánico del suelo, en su gran mayoría en profundidades de 0 - 30 cm es inferior a las encontradas en profundidades de 30 – 60 cm; similares a los valores encontrados en Pazmiño (2019, pág.47). El Carbono orgánico del suelo en Páramo alterado es de 88,39 toneladas.hectárea<sup>-1</sup>; mientras que el Carbono orgánico del suelo en Páramo no alterado es de 164,22 toneladas.hectárea<sup>-1</sup>; esto debido a la pérdida o alteración causada a la acción antropológica en las zonas de estudio.

#### 4.1.1.7. Análisis estadístico – ADEVA

##### 4.1.1.7.1. Contenido de carbono orgánico del suelo entre 3400 a 3600 msnm en el estrato Herbazal de páramo de 0-30 cm de profundidad

En la Tabla 4-7, se realizó el Análisis de Varianza para el contenido de Carbono orgánico del suelo (t/ha), en el estrato herbazal de páramo entre 3400 a 3600 msnm de 0-30 cm de profundidad, donde existió diferencias significativas.

**Tabla 4-7:** Análisis de varianza del contenido de carbono orgánico (t/ha) entre 3400 a 3600 msnm en el estrato Herbazal de páramo de 0-30 cm de profundidad.

<b>Fuente de variación</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>G L</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>p-valor</b>	<b>Significancia</b>
Herbazal de páramo	18993,65	1	18993,65	29,8	0,0009	**
Error	4462,02	7	637,43			
Total	23455,67	8				

Realizado por: Guagrilla J., 2024.

En el Análisis de Varianza se observó que existe un p valor menor a 5 % en Herbazal de páramo, siendo altamente significativo, en consecuencia, se procedió a realizar una prueba Tukey para la separación de medias.

**Tabla 4-8:** Prueba de Tukey y una confianza de 95% entre 3400 a 3600 msnm el estrato Herbazal de páramo de 0-30 cm de profundidad.

<b>Herbazal de páramo</b>	<b>Medias (t/ha)</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	
Páramo alterado	76,59	6	10,31	A
Páramo no alterado	174,04	3	14,58	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Realizado por: Guagrilla J., 2024.

En la tabla 4-8, indica que hay dos grupos significativamente diferentes que corresponde a Páramo alterado y páramo no alterado, basado en las diferencias de las medias entre grupos que presentan similitudes en las medias; teniendo en páramo alterado una media de 76,59 t/ha y en páramo no alterado una media de 174,04 t/ha.

#### 4.1.1.7.2. Contenido de carbono orgánico del suelo entre 3400 a 3600 msnm en el estrato Herbazal de páramo de 30-60 cm de profundidad

En la Tabla 4-9, se realizó el Análisis de Varianza para el contenido de Carbono orgánico del suelo (t/ha), en el estrato herbazal de páramo entre 3400 a 3600 msnm de 30-60 cm de profundidad, donde existió diferencias significativas.

**Tabla 4-9:** Análisis de varianza del contenido de carbono orgánico (t/ha) entre 3400 a 3600 msnm en el estrato Herbazal de páramo de 30-60 cm de profundidad.

<b>Fuente de variación</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>G L</b>	<b>CM Ajust</b>	<b>Valor F</b>	<b>p-valor</b>	<b>Significancia</b>
Herbazal de páramo	26502,93	1	26502,93	44,02	0,0003	**
Error	4214,27	7	602,04			
Total	30717,2	8				

Realizado por: Guagrilla J., 2024.

En el Análisis de Varianza se observó que existe un p valor menor a 5 % en Herbazal de páramo, siendo altamente significativo, en consecuencia, se procedió a realizar una prueba Tukey para la separación de medias.

**Tabla 4-10:** Prueba de Tukey y una confianza de 95% entre 3400 a 3600 msnm el estrato Herbazal de páramo de 30-60 cm de profundidad.

<b>Herbazal de páramo</b>	<b>Medias (t/ha)</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	
Páramo alterado	73,15	6	10,02	A
Páramo no alterado	188,26	3	14,17	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Realizado por: Guagrilla J., 2024.

En la tabla 4-10, indica que hay dos grupos significativamente diferentes que corresponde a Páramo alterado y páramo no alterado, basado en las diferencias de las medias entre grupos que presentan similitudes en las medias; teniendo en páramo alterado una media de 73,15 t/ha y en páramo no alterado una media de 188,26 t/ha.

#### 4.1.1.7.3. Contenido de carbono orgánico del suelo entre 3600 a 3800 msnm en el estrato Herbazal de páramo de 0-30 cm de profundidad

En la Tabla 4-11, se realizó el Análisis de Varianza para el contenido de Carbono orgánico del suelo (t/ha), en el estrato herbazal de páramo entre 3600 a 3800 msnm de 0-30 cm de profundidad, donde no existió diferencias significativas.

**Tabla 4-11:** Análisis de varianza del contenido de carbono orgánico (t/ha) entre 3600 a 3800 msnm en el estrato Herbazal de páramo de 0-30 cm de profundidad.

Fuente de variación	SC Ajust.	G L	CM Ajust	Valor F	p-valor	Significancia
Herbazal de páramo	575,65	1	575,65	3,17	0,1495	ns
Error	725,96	4	181,49			
Total	1301,61	5				

Realizado por: Guagrilla J., 2024.

En el Análisis de Varianza se observó que no existe un p valor menor a 5 % en Herbazal de páramo, en consecuencia, no presenta diferencias significativas.

4.1.1.7.4. Contenido de carbono orgánico del suelo entre 3600 a 3800 msnm en el estrato Herbazal de páramo de 30-60 cm de profundidad

En la Tabla 4-12, se realizó el Análisis de Varianza para el contenido de Carbono orgánico del suelo (t/ha), en el estrato herbazal de páramo entre 3600 a 3800 msnm de 30-60 cm de profundidad, donde no existió diferencias significativas.

**Tabla 4-12:** Análisis de varianza del contenido de carbono orgánico (t/ha) entre 3600 a 3800 msnm en el estrato Herbazal de páramo de 30-60 cm de profundidad.

Fuente de variación	SC Ajust.	G L	CM Ajust	Valor F	p-valor	Significancia
Herbazal de páramo	3683,79	1	3683,79	5,94	0,0714	ns
Error	2478,96	4	619,74			
Total	6162,76	5				

Realizado por: Guagrilla J., 2024.

En el Análisis de Varianza se observó que no existe un p valor menor a 5 % en Herbazal de páramo, en consecuencia, no presenta diferencias significativas.

4.1.1.7.5. Contenido de carbono orgánico del suelo entre 3800 a 4000 msnm en el estrato Herbazal de páramo de 0-30 cm de profundidad

En la Tabla 4-13, se realizó el Análisis de Varianza para el contenido de Carbono orgánico del suelo (t/ha), en el estrato herbazal de páramo entre 3800 a 4000 msnm de 0-30 cm de profundidad, donde existió diferencias significativas.

**Tabla 4-13:** Análisis de varianza del contenido de carbono orgánico (t/ha) entre 3800 a 4000 msnm en el estrato Herbazal de páramo de 0-30 cm de profundidad.

Fuente de variación	SC Ajust.	G L	CM Ajust	Valor F	p-valor	Significancia
Herbazal de páramo	15650,59	1	15650,59	6,37	0,0206	*
Error	46653,18	19	2455,43			
Total	62303,77	20				

Realizado por: Guagrilla J., 2024.

En el Análisis de Varianza se observó que existe un p valor menor a 5 % en Herbazal de páramo, siendo muy significativo, en consecuencia, se procedió a realizar una prueba Tukey para la separación de medias.

**Tabla 4-14:** Prueba de Tukey y una confianza de 95% entre 3800 a 4000 msnm el estrato Herbazal de páramo de 0-30 cm de profundidad.

Herbazal de páramo	Medias	n	E.E.	
Páramo alterado	74,9	3	28,61	A
Páramo no alterado	152,92	18	11,68	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Realizado por: Guagrilla J., 2024.

En la tabla 4-14, indica que hay dos grupos significativamente diferentes que corresponde a Páramo alterado y páramo no alterado, basado en las diferencias de las medias entre grupos que presentan similitudes en las medias; teniendo en páramo alterado una media de 74,9 t/ha y en páramo no alterado una media de 152,92 t/ha.

#### 4.1.1.7.6. Contenido de carbono orgánico del suelo entre 3800 a 4000 msnm en el estrato Herbazal de páramo de 30-60 cm de profundidad.

En la Tabla 4-15, se realizó el Análisis de Varianza para el contenido de Carbono orgánico del suelo (t/ha), en el estrato herbazal de páramo entre 3800 a 4000 msnm de 30-60 cm de profundidad, donde existió diferencias significativas.

**Tabla 4-15:** Análisis de varianza del contenido de carbono orgánico (t/ha) entre 3800 a 4000 msnm en el estrato Herbazal de páramo de 30-60 cm de profundidad.

Fuente de variación	SC Ajust.	GL	CM Ajust	Valor F	p-valor	Significancia
Herbazal de páramo	26502,93	1	26502,93	44,02	0,0003	**
Error	4214,27	7	602,04			
Total	30717,2	8				

Realizado por: Guagrilla J., 2024.

En el Análisis de Varianza se observó que existe un p valor menor a 5 % en Herbazal de páramo, siendo altamente significativo, en consecuencia, se procedió a realizar una prueba Tukey para la separación de medias.

**Tabla 4-16:** Prueba de Tukey y una confianza de 95% entre 3800 a 4000 msnm el estrato Herbazal de páramo de 30-60 cm de profundidad.

Herbazal de páramo	Medias	n	E.E.	
Páramo alterado	111,4	3	26,99	A
Páramo no alterado	176,21	18	11,02	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Realizado por: Guagrilla J., 2024.

En la tabla 4-16, indica que hay dos grupos significativamente diferentes que corresponde a Páramo alterado y páramo no alterado, basado en las diferencias de las medias entre grupos que presentan similitudes en las medias; teniendo en páramo alterado una media de 111,4 t/ha y en páramo no alterado una media de 176,21 t/ha.

## 4.2. Análisis de Erosión Hídrica

Los análisis de los parámetros utilizados en la implementación del modelo USLE para determinar la erosión anual se presenta de la siguiente manera.

### 4.2.1. Índice de erosividad de la lluvia (Factor R)

Se realizó la interpolación de 11 estaciones meteorológicas del INAMHI durante el periodo comprendido entre 1990 – 2015 para determinar la precipitación mensual y anual promedio. En la Tabla 4 – 17, se localizan los valores del cálculo del facto R obtenidos a partir de la Ecuación para el Índice de erosividad de la lluvia (Factor R).

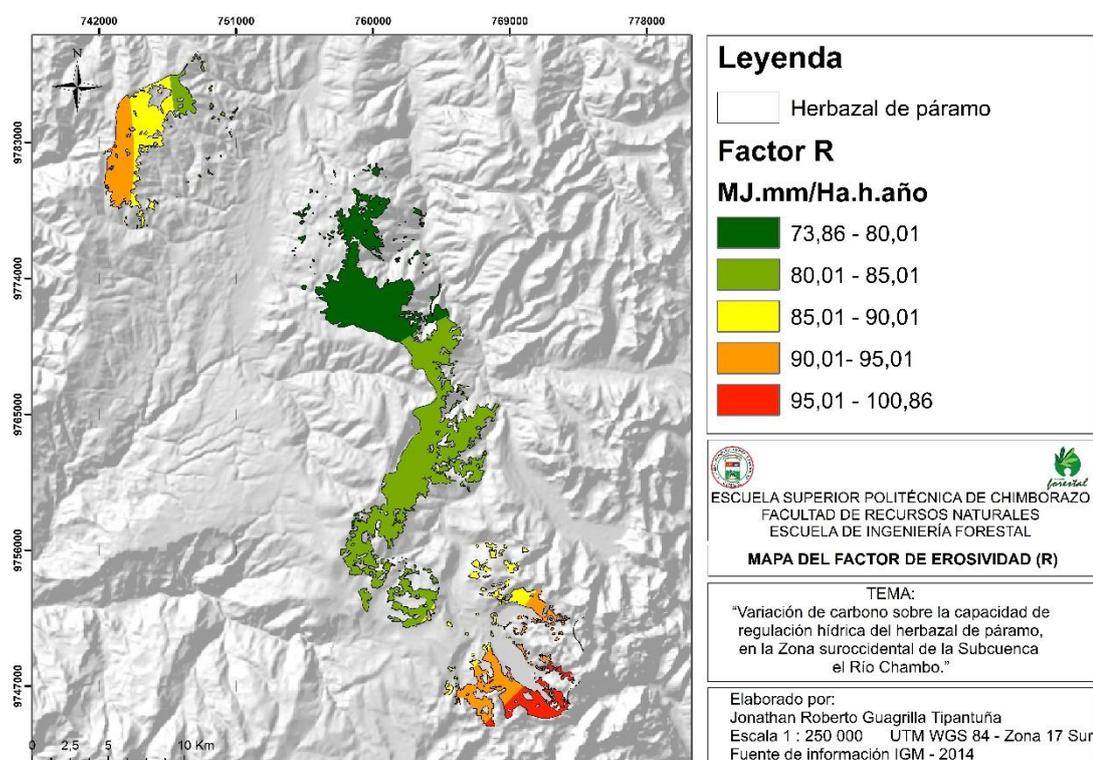
**Tabla 4-17:** Estaciones meteorológicas y el índice de erosividad.

ESTACIÓN METEOROLÓGICA	CÓDIGO	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)	Factor R MJ*mm/ha*h*año
Chunchi	M0136	36,41	62,44
Compud	M0397	89,32	143,51

Achupallas	M0399	66,85	94,39
Alausi	M0403	44,49	67,65
Guasuntos	M0405	37,62	55,52
Logroño	M0497	160,88	172,89
Mendez	M0501	161,57	174,48
Pennas Colorado	M0217	230,67	263,18
Pallatanga	M0391	88,28	156,67
Cebadas	M0395	54,49	70,46
Alao	M0396	85,08	88,33

Realizado por: Gaugrilla, Jonathan, 2024.

El valor promedio del Factor R de las Estaciones meteorológicas es 122,68 MJ.mm/ha.h. año.



**Ilustración 4-7:** Distribución espacial del Factor R en la zona de estudio.

Realizado por: Guagrilla J., 2024.

En la Ilustración 4 – 7, se observan los resultados obtenidos del Factor R con valores altos a moderados comprendidos entre 73,86 MJ.mm/ha.h.año a 100,86 MJ.mm/ha.h.año respectivamente; concordando con los sitios de mayor altitud y precipitación. Estos valores se asemejan a los encontrados por Calero (2017, págs.60 – 61) en los Páramos de la Zona Noroccidental del Volcán Casahuala, Provincia de Tungurahua, que van desde 63,13 MJ.mm/ha.h.año a 95,35 MJ.mm/ha.h.año.

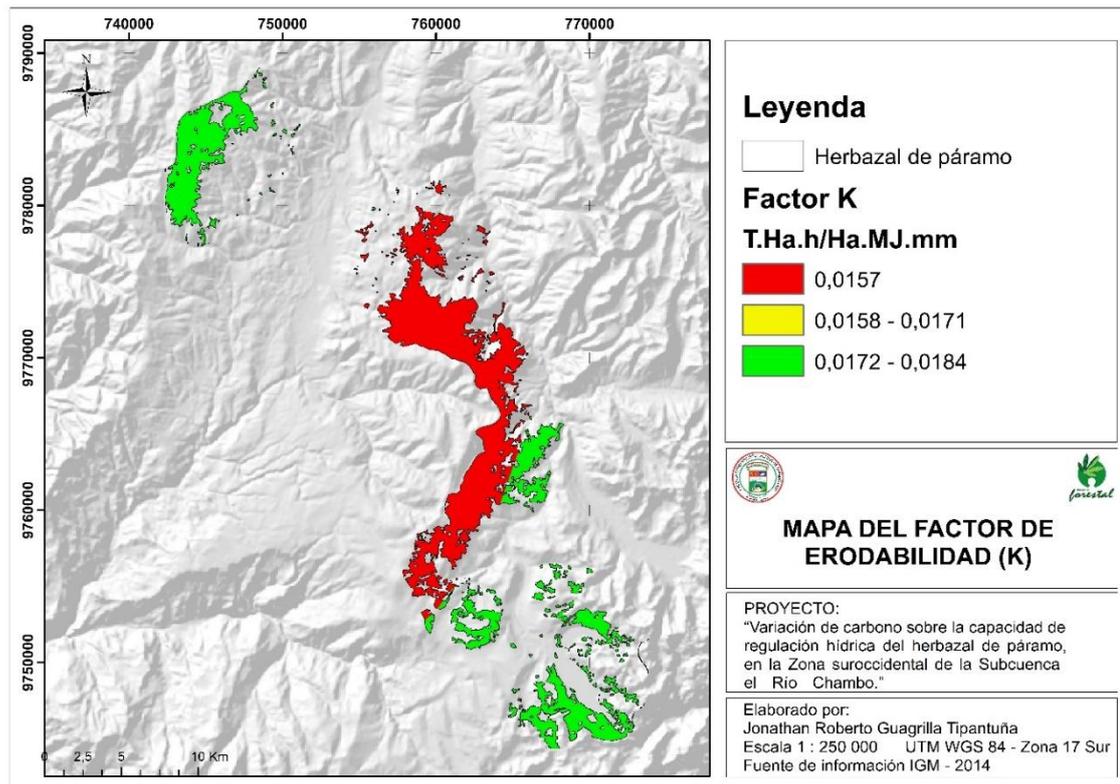
#### 4.2.2. Índice de erodabilidad del suelo (Factor K)

El Índice de erodabilidad (K) se estableció por características propias de cada suelo como textura (% arena, % limo, % arcilla), materia y carbono orgánico, etc; con los valores establecidos en el Mapa Global de Suelos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO).

**Tabla 4-18:** Índice de erodabilidad en la zona de estudio.

Símbolo de unidad de suelo	Símbolo de unidad	% Arena	% Limo	% Arcilla	% Carbono orgánico	Factor K
BH	Humic Cambisols	55,2	21	23,8	3,86	0,01569676
TH	Humic Andosols	41	41,3	17,7	7,03	0,01780404
I	Lithosols	58,9	16,2	24,9	0,97	0,01836402

Realizado por: Guagrilla J., 2024.



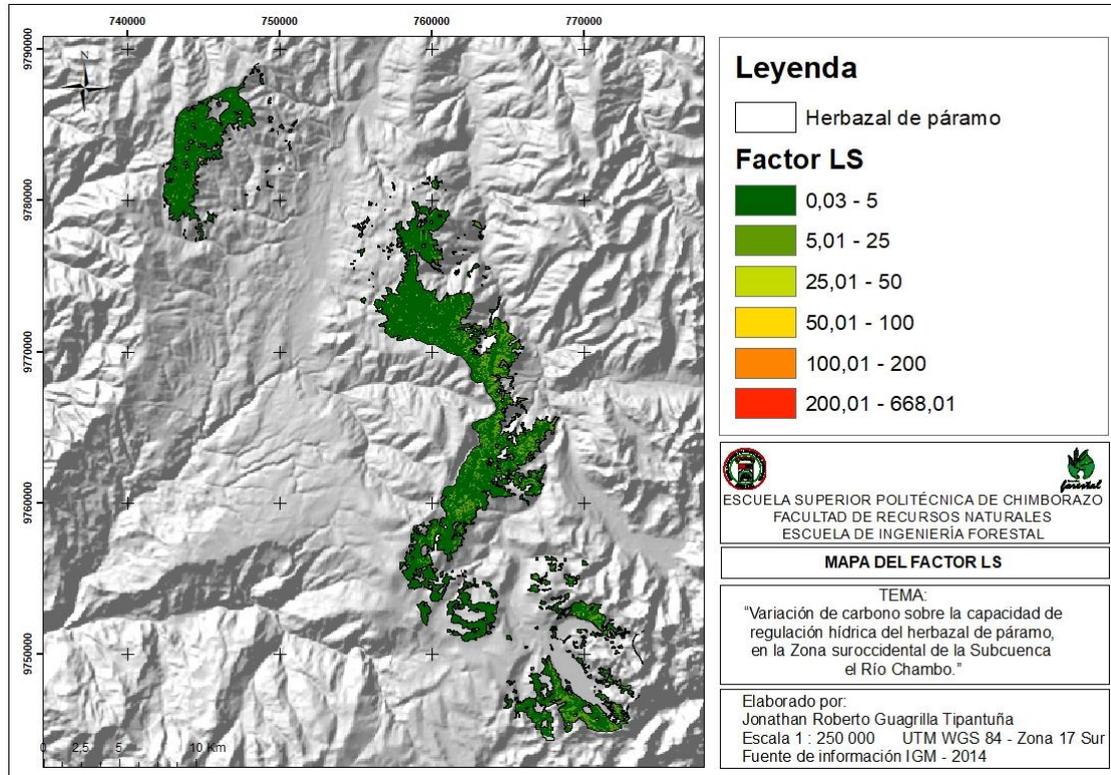
**Ilustración 4-8:** Distribución espacial del Factor K en la zona de estudio.

Realizado por: Guagrilla J., 2024.

Los valores encontrados en el Factor de erodabilidad (Factor K) varían entre los 0,0157 a 0,0184 T.ha.h/ha.MJ.mm, similares a los encontrados a Fernández et al (2024, págs.82).

#### 4.2.3. Factor topográfico (Factor LS)

El Factor topográfico (Factor LS) es consecuencia de la irregularidad del relieve del suelo y afecta directamente al proceso de erosión.



**Ilustración 4-9:** Distribución espacial del Factor LS en la zona de estudio.

Realizado por: Guagrilla J., 2024.

#### 4.2.4. Índice de cobertura de la vegetación (Factor C)

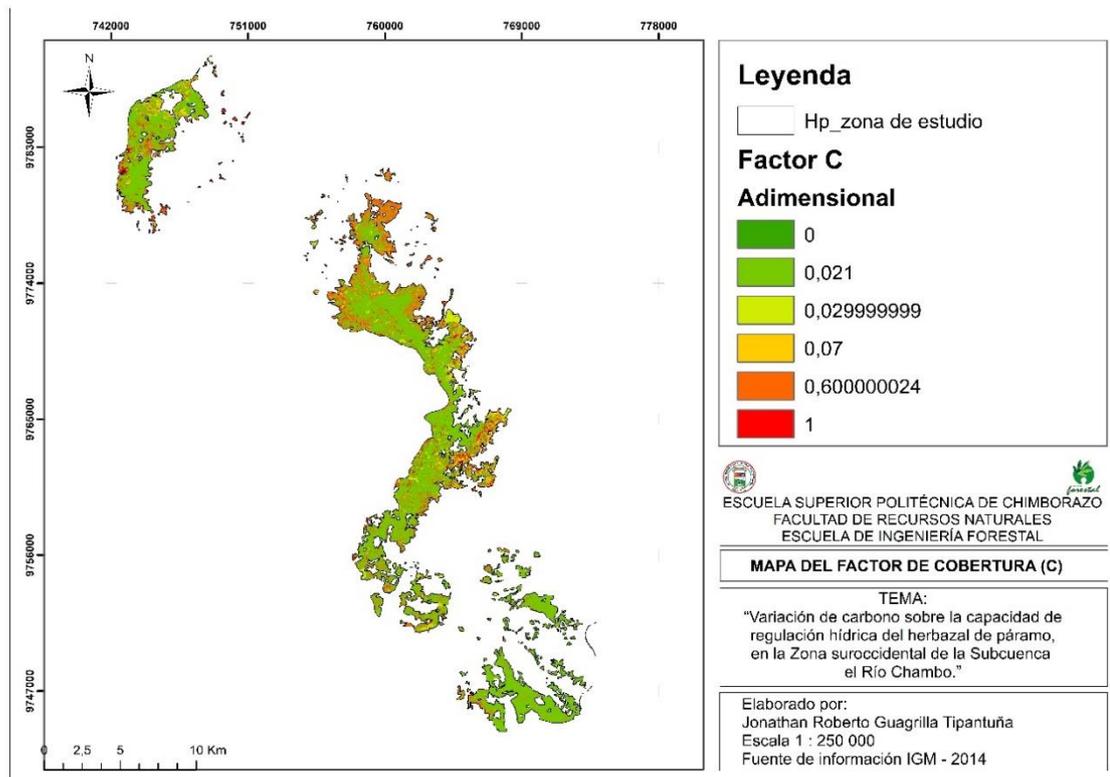
El Índice de cobertura vegetal representa la capacidad de la cobertura de la vegetación de impedir la erosión, es decir que, al no presentar cobertura vegetal durante las épocas de lluvia permiten el arrastre de sedimentos hacia partes más bajas. En la Tabla 11 – 4, señala que la mayor superficie del factor C es Páramo con 9000,78 ha; mientras que la de menor superficie son los cuerpos de agua, con 34,96 ha, mismas que se encuentran zonas colindantes a los grandes cuerpos de agua encontrados en la zona de estudio.

**Tabla 4-19:** Extensión y Valores del Factor de Cobertura en la zona de estudio.

Descripción	Factor C	Superficie (ha)
Páramo	0,021	9000,78
Cultivos	0,6	1956,5

Pastos	0,07	645,73
Sin cobertura	1	542,28
Plantación forestal	0,03	358,87
Cuerpos de agua	0	34,96

Realizado por: Guagrilla, Jonathan, 2024



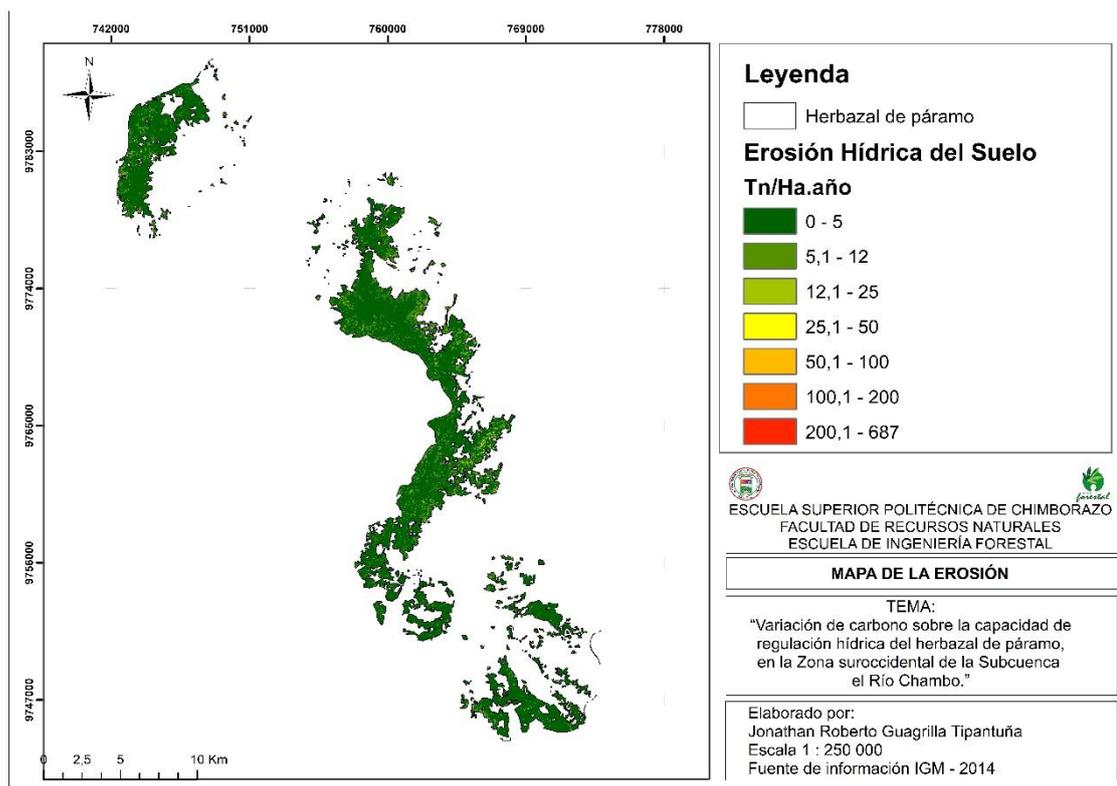
**Ilustración 4-10:** Distribución espacial del Factor C en la zona de estudio.

Realizado por: Guagrilla J., 2024.

Los valores del Factor de cobertura en la zona de estudio son adimensionales y oscilan entre 0 y 1, siendo 0 en los cuerpos de agua y 1 en las zonas sin cobertura vegetal.

#### 4.2.5. Erosión del suelo (A)

La erosión hídrica en el estrato herbazal de páramo es el producto de los parámetros del modelo de USLE, Índice de erosividad, índice de erodabilidad, Índice de Cobertura, Factor de Pendiente y Longitud. La Erosión Hídrica actual en el Estrato Herbazal de Páramo de la zona surcooccidental de la Subcuenca del Río Chambo, oscila entre 0 t/ha.año a 687 t/ha.año,



**Ilustración 4-11:** Distribución espacial de la Erosión Hídrica Actual en la zona de estudio.

**Realizado por:** Guagrilla J., 2024.

La Erosión Hídrica oscila entre 0 t/ha.año a 687 t/ha.año en la zona de estudio, similares a los resultados en un Caso de estudio de evaluación de la erosión del suelo de la Cuenca media alta del río Mira en los Andes de Ecuador realizados por Arias et al (2022, págs.207 – 208) que varían entre 0 y 812,30 t/ha/año.

**Tabla 4-20:** Erosión potencial en la zona de estudio.

Nivel	Rango (t/ha.año)	Superficie (ha)	Superficie (%)
1	0 - 5	10909,46	88,84
2	5,1 - 12	1012,03	8,24
3	12,1 - 25	322,14	2,62
4	25,1 - 50	27,5	0,22
5	50,1 - 100	5,91	0,05
6	100,1 - 200	2,48	0,02
7	> 200	0,76	0,01

**Realizado por:** Guagrilla J., 2024.

En la Tabla 4 - 20, se presentan los valores de erosión actual de acuerdo con los rangos de erosión. La erosión Inapreciable ocupa la superficie mayor con 10909,46 ha (88,84 %); mientras que la de menor superficie es la de erosión Irreversible con 0,76 ha (0,1 %). Los datos nos muestran que la

zona de estudio muestra una mayor incidencia de erosión en rangos Inapreciables, seguido por erosión Muy Baja de acuerdo su superficie; por lo que las estrategias de manejo de suelo se deberían mantener para reducir los impactos ocasionados al suelo.

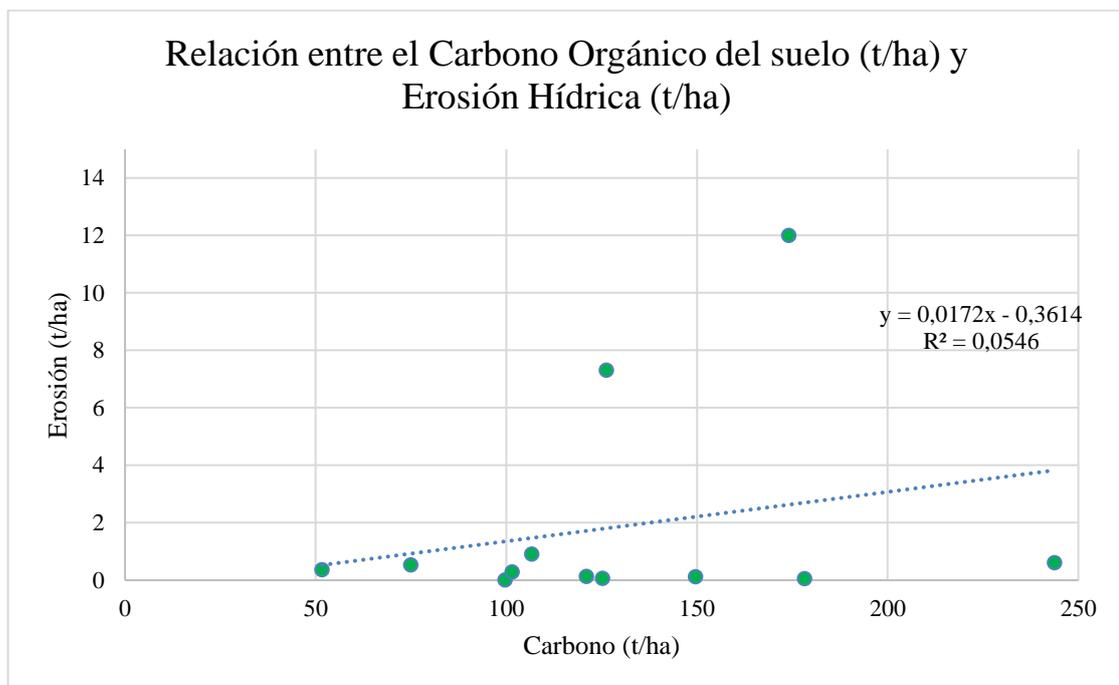
### 4.3. Para la correlación

En la tabla 4 – 21, se observó que los datos poseen un coeficiente de correlación de 0,23.

**Tabla 4-21:** Coeficientes de la correlación.

Coeficiente de correlación	Coeficiente de determinación
0,23	5%

Realizado por: Guagrilla, Jonathan, 2024



**Ilustración 4-12:** Relación entre el Carbono Orgánico del suelo (t/ha) y Erosión Hídrica (t/ha).

Realizado por: Guagrilla, Jonathan, 2024

Existe una relación baja positiva entre el Carbono Orgánico del suelo (t/ha) y Erosión Hídrica (t/ha); obteniendo que el 5 % de Erosión Hídrica en toneladas.hectárea<sup>-1</sup> está relacionada al Carbono Orgánico del suelo encontrado en toneladas.hectárea<sup>-1</sup>.

#### **4.4. Discusión**

Los resultados de erosión hídrica son similares al estudio realizado en la Cuenca del Río Ambato, Sierra ecuatoriana, mismos que oscilan entre 0,5 y 836 t/ha.año (Harden, 1988, pág.335); y los realizados por Ochoa (2015, p.570) de entre 1,5 a 40 t/ha.año en áreas con vegetación natural.

Los resultados de carbono orgánico en Herbazal de Páramo son similares a los reportados por Romoleroux, (2019, pág.11) en el Área de Conservación Hídrica Palugillo, Pifo, Pichincha, mismos que van desde las 119,95 t/ha a 146,76 t/ha.

La relación del contenido de carbono orgánico del suelo y erosión hídrica es baja, coincidiendo con Arbelo (2003, págs.226 – 227) cuyos resultados obtenidos indican que en los suelos que se producen unas pérdidas importantes de CO por erosión son fundamentalmente ligadas a la fase sólida, ya que las pérdidas de carbono orgánico disuelto en las aguas de escorrentía son despreciables.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

Se determinó el carbono orgánico del suelo acumulado en el estrato herbazal de páramo entre el Páramo alterado y el Páramo no alterado. Con respecto al Páramo alterado por actividades antrópicas, un promedio de 122,79 t/ha y en Páramo no alterado un promedio de 150,48 t/ha; tanto para profundidades de 0 – 30 cm, un promedio de 129,37 t/ha como para 30 – 60 cm, un promedio de 148,51 t/ha.

Se evaluó la erosión hídrica en el estrato herbazal de páramo que en su gran mayoría es mínima, de acuerdo con los rangos de criterio otorgados, obteniendo que: la erosión Inapreciable ocupa una mayor superficie con 10909,46 ha (88,84 %), la erosión muy baja tiene 1012,03 ha (8,24 %), la erosión baja tiene 322,14 ha (2,62 %), la erosión moderada tiene 27,5 ha (0,22 %), la erosión alta tiene 5,91 ha (0,05 %), la erosión muy alta posee 2,48 ha (0,02 %) ; y finalmente, la de menor superficie es la erosión Irreversible con 0,76 ha (0,1 %). Así también, se muestra que la zona de estudio con mayor Pérdida de suelo corresponde a los sitios de menor altitud, mismos que son afectados por actividades antropogénicas.

Se determinó que existe una correlación lineal directa; baja positiva entre el Carbono Orgánico del suelo (t/ha) y Erosión Hídrica (t/ha); no llegando a ser tan influyente una de otra.

## **5.2. Recomendaciones**

Realizar estudios similares en la Subcuenca del Río Chambo que amplíen el rango de tiempo en la toma de datos dentro de la zona para analizar tanto la variación de carbono orgánico del suelo como la pérdida de suelo por erosión hídrica creciente y constante; para ayudar a la toma de decisiones, y asistir a la formación de estrategias de planificación sustentable para la protección de la cuenca hidrográfica.

Efectuar planes de conservación como barreras verdes en zonas propensas a erosión y escorrentía, así como dar seguimiento al uso de suelo y al recurso hídrico de la subcuenca del Río Chambo, con compromiso mutuo entre los GAD's regionales, cantonales y parroquiales, con enfoque en el aprovechamiento sustentable de las tierras cultivables y no cultivables de la Subcuenca del Río Chambo.

Socializar a las comunidades sobre los problemas de la sobreexplotación del suelo, manejo incorrecto de maquinaria agrícola y relacionados a los monocultivos, con el fin de acrecentar la producción agrícola y mantener el equilibrio ecológico en los distintos tipos de coberturas naturales como bosque, vegetación arbustiva y páramo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **AGAMA, María.** Estimación de los factores que influyen en la pérdida de los suelos mediante la USLE en la microcuenca San Alberto del distrito de Oxapampa. (Tesis). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Oxapampa, Perú. 2022. pág. 3.
2. **ALLAUCA, Lisbeth & AYALA, Jeniffer.** Evaluación de carbono orgánico en diferentes fracciones compuestas del suelo de páramo, Chambo y Pungalá. (Trabajo de Integración Curricular). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. Riobamba, Ecuador. 2021. pág. 32.
3. **ALMOZA, Yeleine; et al.** “El uso de datos pluviométricos para la determinación del factor erosividad de las precipitaciones en el modelo RUSLE”. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 17, n° 1, (2008), págs. 38-43.
4. **AMORIM, Ricardo; et al.** “Avaliação do desempenho dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil”. *Engenharia Agrícola*, vol. 30, n° 6, (2010). págs. 1046-1049.
5. **ANDRADE, Ángela.** *Aplicación del enfoque ecosistémico en Latinoamérica*. IUCN, 2007, pág. 18.
6. **ARBELO, Carmen; et al.** “Pérdidas de carbono orgánico por erosión en andosoles forestales de las Islas Canarias”. *Edafología*, vol. 10, n° 2, (2003). págs. 226-227.
7. **ARIAS, Paúl; et al.** “Estimación de la erosión del suelo mediante el modelo RUSLE. Caso de estudio: cuenca media alta del río Mira en los Andes de Ecuador”. *Investigaciones Geográficas*, n° 79, (2022). págs. 207 – 208.
8. **BELTRÁN, Karla; et al.** “Distribución espacial, sistemas ecológicos y caracterización florística de los páramos en el Ecuador”. *EcoCiencia, Proyecto Páramo Andino y Herbario QCA*. Quito, 2009, págs. 17 – 23.
9. **BERMEO, Catherine & CORREA, Monserrath.** Determinación de carbono orgánico en el suelo andino de Ichubamba y Guargualla, Parroquia Cebadas. (Trabajo De Titulación). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. Riobamba, Ecuador. 2020. pág. 44.

10. **BRAVO, Elizabeth.** “Los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad”. *Acción ecológica*, vol. 24, n° 1, (2007). págs. 35-42.
11. **BURBANO, Hernán.** “El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático”. *Revista de Ciencias Agrícolas*, vol. 35, n° 1, (2018). pág. 85.
12. **BUYTAERT, Wouter; et al.** “Hidrología del páramo andino: propiedades, importancia y vulnerabilidad”. *Imperial College London* [en línea], 2006, (Cuenca, Ecuador). págs. 2–3. [Consulta: 20 agosto 2022]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Felipe-Cisneros/publication/228459137\\_HIDROLOGIA\\_DEL\\_PARAMO\\_ANDINO\\_PROPIEDAD\\_ES\\_IMPORTANCIA\\_Y\\_VULNERABILIDAD/links/0deec528f8f8e65d5e000000/HIDROLOGIA-DEL-PARAMO-ANDINO-PROPIEDADES-IMPORTANCIA-Y-VULNERABILIDAD.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Felipe-Cisneros/publication/228459137_HIDROLOGIA_DEL_PARAMO_ANDINO_PROPIEDAD_ES_IMPORTANCIA_Y_VULNERABILIDAD/links/0deec528f8f8e65d5e000000/HIDROLOGIA-DEL-PARAMO-ANDINO-PROPIEDADES-IMPORTANCIA-Y-VULNERABILIDAD.pdf)
13. **BUYTAERT, Wouter; et al.** Analysis of the water balance of small páramo catchments in south Ecuador: *Environmental Role of Wetlands in Headwaters* [en línea]. Springer, Dordrecht, 2006. págs. 271-281. [Consulta: 19 agosto 2022]. Disponible en: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/1-4020-4228-0\\_24](https://link.springer.com/chapter/10.1007/1-4020-4228-0_24)
14. **CAMACHO, Miguel.** Los páramos ecuatorianos: caracterización y consideraciones para su conservación y aprovechamiento sostenible. *Revista Anales*, vol. 1, n° 372, (2014). págs. 92-93.
15. **CARANQUI, Jorge; et al.** “Composición y diversidad florística de los páramos en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo, Ecuador”. *Enfoque UTE*, vol. 7, n° 1, (2016). págs. 33-35.
16. **CASTAÑEDA, Abel & MONTES, Carmen.** “O carbono almacenado no paramo andino”. *Entramado*, vol. 13, n° 1, (2017). págs. 210-221.
17. **CASTRO, Carmen; et al.** Análisis Espacio-Temporal en los cambios de cobertura y uso del suelo en la Parroquia Honorato Vásquez, Cantón Santa Ana. (Trabajo de Titulación) Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa, Ecuador. 2023. págs. 49-51.
18. **CASTRO, Lina & ESCOBAR, Yesid.** “Análisis de tendencia y homogeneidad de series climatológicas”. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, n° 9, (2010). págs. 15-25.

19. **BLANCO, Me.** Factor erosividad de la lluvia en la subcuenca sur del lago Xolotlán, Managua. *Nexo Revista Científica*, vol. 32, n° 01, (2019). pág. 44.
20. **CISNEROS, José; et al.** *Erosión hídrica. Principios y técnicas de manejo*. 1ª ed. Córdoba-Argentina: UniRío, 2012. pág. 61.
21. **CREMONA, María & ENRIQUEZ, Andrea.** *Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica*. EEA Bariloche, 2020. p.6
22. **CUESTA, Francisco; et al.** “Biodiversidad y Cambio Climático en los Andes Tropicales- Conformación de una red de investigación para monitorear sus impactos y delinear acciones de adaptación”. *Red Gloria*. (2012). pág. 180.
23. **CUESTA, Francisco; et al.** *Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos*. Quito – Ecuador, CONDESAN, 2014, pág. 154.
24. **CUEVA, Kelvin; et al.** *Manual de Campo proyecto Evaluación Nacional Forestal y el programa nacional conjunto ONU-REDD+ del Ministerio del Ambiente del Ecuador*. Quito – Ecuador: FAO Finlandia y el componente ONU REDD FAO, 2012, pág. 125.
25. **CUNALATA, Cristian; et al.** “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”. *Boletín del Grupo Español del Carbón*, no 27, (2013). págs. 10-13.
26. **DESMET, Philippe & GOVERS, Gerard.** “A GIS-procedure for the automated calculation of the USLE LS-factor on topographically complex landscape units”. *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 51, n° 5, (1996). págs. 427 – 433.
27. **DE LA TORRE, Lucía; et al.** *Enciclopedia de las Plantas Útiles del Ecuador*. Quito – Ecuador: Herbario QCA de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador & Herbario AAU del Departamento de Ciencias Biológicas de la Universidad de Aarhus, 2008. ISBN 978-9978-135-8, págs. 8 – 10.

28. **RODRÍGUEZ, James & LEITON, Margareth.** “Estrategias de restauración para el páramo de frailejones perturbado por incendios en el norte de Ecuador”. *Ecosistemas*, vol. 29, n° 3, (2020). pág. 3.
29. **ENRÍQUEZ, Carlos.** Valoración de los servicios ecosistémicos hídricos en el área de influencia del proyecto multipropósito Piñán–Tumbabiro asociado al proyecto Yachay. (Trabajo de grado). Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador. 2017. pág. 33.
30. **ESTUPIÑÁN, Luis; et al.** “Efecto de actividades agropecuarias en las características del suelo en el páramo el granizo”. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, vol. 12, n° 2, (2009). pág. 86.
31. **EYHERABIDE, Mercedes; et al.** “Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo”. *Ciencia del suelo*, vol. 32, n° 1, (2014). págs. 13-15.
32. **FALLAS, Jorge.** *Modelos digitales de elevación: Teoría, métodos de interpolación y aplicaciones*. Costa Rica: Escuela de Ciencias Ambientales - Universidad Nacional, 2007, pág. 4.
33. **FARLEY, Josh; et al.** “Global mechanisms for sustaining and enhancing PES schemes”. *Ecological economics*, vol. 69, n° 11, (2010). págs. 2075-2080.
34. **FERNÁNDEZ, Luis; et al.** Análisis de la distribución espacial de la erodabilidad del suelo en la cuenca del Río Esmeraldas-Ecuador”. *Polo del Conocimiento*, vol. 8, n° 2, (2023). pág. 82.
35. **FISHER, L.; & NAVARRO, A.** *Introducción a la investigación de mercados*. México DF. 1996. págs. 18 – 21.
36. **FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.** *Digital soil map of the world (DSMW). Technical Report, Food and Agriculture Organization of the United Nations*, [blog]. 2022. [Consulta: 10 agosto 2022]. Disponible en: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/mapas-historicos-de-suelos-y-bases-de-datos/mapa-mundial-de-suelos-de-faounesco/es/>

37. **FORSYTHE, Warren.** *Física de suelos. Manual de laboratorios.* 1ª ed. San José – Costa Rica: IICA, 1975, págs. 17-19.
38. **FOSTER, George; et al.** “Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units”. *Journal of Soil and water conservation*, vol. 36, n° 6, (1981). págs. 355-359.
39. **FOSTER, George; et al.** “A runoff erosivity factor and variable slope length exponents for soil loss estimates”. *Transactions of the ASAE*, vol. 20, no 4, (1977). págs. 683-687.
40. **GAITAN, Juan; et al.** *Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina.* Ediciones INTA, 2017. ISBN 978-987-521-857-4, págs. 28-32.
41. **GARCÍA, Patricio.** “Interacciones entre la vegetación y la erosión hídrica”. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante.* 2004. pág. 310.
42. **GARCIA, Ana & LEAL, Yamal.** “Análisis a la protección del Estado a los ecosistemas de páramo”. *Justicia*, no 35, (2019). págs. 196-212.
43. **GIL, Eydith.** Modelación hidrológica de los páramos andinos con topmodel: páramo de Chingaza, Colombia. (Tesis de grado). (Maestría). Universidad Nacional de Colombia. Medellín – Colombia. 2012. p. 37.
44. **GUO, Yinyan; et al.** “Quantity and spatial variability of soil carbon in the conterminous United States”. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 70, n° 2, (2006). págs. 590-600.
45. **GUTIÉRREZ, Humberto & DE LA VARA, Rónan.** *Análisis y diseño de experimentos.* 2nd ed. México: McGraw Hill México, 2016. ISBN-13: 978-970-10-6526-6, pág. 62.
46. **GUZMÁN, M.; & MELO, Y.** Libro Pop-Up: las voces del páramo como material educativo para el reconocimiento y conservación del PNN Pisba. (Trabajo de grado). Universidad Pedagógica Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 2022. p. 23.
47. **HARDEN, Carol.** “Mesoscale estimation of soil erosion in the Rio Ambato drainage, Ecuadorian Sierra”. *Mountain Research and Development*, vol. 8, n° 4, (1988). pág. 335.

48. **HOFSTEDE, Robert & AGUIRRE, N.** “Biomasa y dinámica del carbono en relación con las actividades forestales en la Sierra del Ecuador”. *El Páramo Como Espacio de Mitigación de Carbono Atmosferico, Serie Páramo*, vol. 1, (1999). pág. 35.
49. **HOFSTEDE, Robert; et al.** “Geografía, ecología y forestación de la Sierra Alta del Ecuador”. *Revisión de literatura*, (1998). págs.14 – 20.
50. **HOLDEN, Joseph & BURT, Tim.** “Hydraulic conductivity in upland blanket peat: measurement and variability”. *Hydrological Processes*, vol. 17, n° 6, (2003). págs. 1227-1237.
51. **ICONA.** *Mapas de los estados erosivos: cuenca hidrográfica del Guadalquivir*. Sevilla, España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1987. pág. 86.
52. **JAHUN, BG; et al.** “Review of soil erosion assessment using RUSLE model and GIS”. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, vol. 5, n° 9, (2015). págs. 36-47.
53. **LAL, Rattan.** “Soil carbon sequestration impacts on global change & food security Science New York”. *Science*, vol. 304, n° 5677, (2004). págs. 1623-1624.
54. **LAL, Rattan; et al.** “Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security”. *Soil Science*, vol. 172, n° 12, (2007). pág. 945.
55. **LEFÈVRE, Clara; et al.** *Carbono orgánico del suelo: el potencial oculto*. Roma – Italia: FAO, 2017. ISBN 978-92-5-309681-7, pág. 1.
56. **LIZCANO, Rodolfo; et al.** *Muestreo de Suelos, Técnicas de Laboratorio e Interpretación de Análisis de Suelos*. Huila - Colombia: Panamericana Formas e Impresos S.A, 2017. ISBN 978-958-15-0273-8, pág. 14-15.
57. **LIZCANO, Rodolfo.; et al.** Muestreo de suelos, técnicas de laboratorio e interpretación de análisis de suelos. *Centro de Formación Agroindustrial La Angostura Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)*, 2017, págs. 14 - 20.
58. **LLAMBÍ, Luis; et al.** *Ecología, hidrología y suelos de páramos*. Quito – Ecuador: Proyecto Páramo Andino, 2012. pág. 202.

59. **LORINI, Horacio.** Los bofedales como aliados en la resiliencia y mitigación del cambio climático. Bolivia. Cooperación Suiza en Bolivia, 2014. pág. 8.
60. **McCOOL, Don; et al.** “Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation”. *Transactions of ASAE*, vol 23, n° 5, (1989). págs. 1571 – 1576.
61. **PEÑA, Wendy.** Análisis de la variabilidad hidroclimática y dinámica glaciar en la cuenca alta de Río Claro. (Tesis) (Maestría). Pontificia Universidad Javeriana. Caldas, Colombia. 2016, pág. 19.
62. **MEDINA, Galo & MENA, Patricio.** *Los páramos del Ecuador: particularidades, problemas y perspectivas.* Quito: Abya-Yala, 2001, págs. 12-14.
63. **MESÍAS, Freddy; et al.** Reservas de carbono orgánico en suelos de la llanura fluvial Calceta-Tosagua, Manabí, Ecuador. *Cultivos Tropicales*, vol. 39, n° 4, (2018). pág. 27.
64. **MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL ECUADOR.** *Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental.* Quito: Subsecretaría de Patrimonio Natural, Proyecto Mapa de Vegetación, 2013, págs. 132 - 151.
65. **MINISTERIO DEL AMBIENTE.** *Estadísticas del Patrimonio Natural.* Quito: Subsecretaría de Patrimonio Natural, 2015, págs. 16 – 19.
66. **MOGOLLÓN, Santiago & ORTIZ, Henao.** Estudio multitemporal de la Cuenca del Río Chinchiná a partir de imágenes satelitales. (Trabajo de Grado). Universidad Católica De Manizales. Manizales, Colombia. 2021. pág. 106
67. **MONCADA, Nidia; et al.** Análisis Socio-ecológico en Relación con el Cambio Climático para la Laguna de Tota, Aquitania, Boyacá. (Trabajo de grado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Bogotá, Colombia. 2023, pág. 51.
68. **MORALES, Juan & ESTÉVEZ, Jaime.** “El páramo: ¿ecosistema en vía de extinción?” *Revista Luna Azul*, vol. 22, (2006). págs. 1 – 13.
69. **MORGAN, R.; et al.** “The European Soil Erosion Model (EUROSEM): A dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments”. *Earth Surface Processes and landform*, vol 23, (1998). pág. 534.

70. **MOROCHO, Carlos; & CHUNCHO, Guillermo.** “Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión”. *Bosques Latitud Cero*, vol. 9, n° 2, (2019). págs. 71 – 77.
71. **MUÑOZ, Rafael.** Los sistemas de producción y su incidencia en el avance de la frontera agrícola de la comunidad de Fumatoglla, de la parroquia Chontamarca, año 2010. (Tesis de grado) (Maestría). Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Azogues – Ecuador. 2010. pág. 2.
72. **MURIEL, Priscila. et al.** *Herramientas para el manejo de información florística y ecológica de los páramos del Ecuador: Lista anotada de especies y base de datos cuantitativa.* Quito: CONDESAN, 2014, pág. 146.
73. **NEITSCH, Susan; et al.** “Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009”. *Texas Water Resources Institute*, (2011). págs. 251 – 266.
74. **OJEDA, Olga & SÁNCHEZ, Vicente.** La cuestión ambiental y la articulación sociedad-naturaleza. *Estudios sociológicos*, vol. 3, n° 7, (1985). pág. 26.
75. **OCHOA, Pablo; et al.** “Spatial estimation of soil erosion risk by land-cover change in the Andes of southern Ecuador”. *Land degradation & development*, vol. 26, n° 6, (2015). pág. 570.
76. **VILLASEÑOR, Diego.** *Fundamentos y procedimientos para análisis físicos y morfológicos del suelo.* Machala: Universidad Técnica de Machala, 2016, págs. 25 – 26.
77. **PACHECO, Henry; et al.** “Cálculo del factor C de la RUSLE, en la cuenca del río Carache, Trujillo-Venezuela usando imágenes del Satélite Miranda VRSS-1”. *Revista Espacios*, vol. 40, n° 3, (2019). pág. 6.
78. **PACURUCU, Ana; et al.** “Estudio de la diversidad florística del páramo de la comunidad de Guangopud, Provincia De Chimborazo, Ecuador”. *Revista Perspectiva*, vol. 16, n° 13, (2015). págs. 75 – 80.
79. **PAULI, Harald; et al.** *Manual para el trabajo de campo del proyecto GLORIA. Aproximación al estudio de las cimas. Métodos básico, complementarios y adicionales.* 5<sup>a</sup> ed. España: Benito, J.L. & Villar, 2015, págs. 14-15.

80. **PAZMIÑO, G.** Influencia de la intervención en los suelos del páramo de Navag-Chimborazo en el contenido de materia orgánica. (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador. 2020, pág. 47.
81. **PÉREZ, Enrique & KIENTZ, Daniel.** “Estructura, agregación y porosidad en suelos forestales y cultivados de origen volcánico del Cofre de Perote, Veracruz, México”. *Foresta Veracruzana*, vol. 5, n° 2, (2003). pág. 1.
82. **POMBOSA, Rodrigo; et al.** Monografía de la cuenca del río Napo en su parte ecuatoriana. Napo: Institut de recherche pour le développement, 2006, págs. 2-4.
83. **PORTUGUEZ, Domingo.** “Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Siguas utilizando geoinformática”. *Anales Científicos*, vol. 76, n° 2, (2015). págs. 324-329.
84. **QUIÑONEZ, Patricia.** Evaluación de riesgos por erosión hídrica en el suelo de la microcuenca de la quebrada Quitumbe, provincia de Imbabura. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Técnica del Norte. Ibarra - Ecuador. 2022. pág. 34.
85. **QUIROZ, Estefany; et al.** Caracterización de la vulnerabilidad socioecológico del páramo en las comunidades Cotojuan y San Isidro, ubicadas en el Cantón Colta, Provincia de Chimborazo. (Tesis de grado). Universidad San Francisco De Quito. Quito – Ecuador. 2012. pág. 10.
86. **RENARD, Kenneth; et al.** *Predicting Soil Erosion by Water: A guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Virginia: United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service. Agriculture Handbook Number 703. 1997, pág. 7.
87. **RÍOS, Christian.** Estimación del grado de erosionabilidad del suelo en la subcuenca del río Cirato con la metodología USLE y herramientas de sistema de información geográfica. (Tesis). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque – Perú. 2023. pág. 45.
88. **RODRÍGUEZ, Marcela.** Estudio de la Diversidad Florística a diferentes altitudes en el Páramo de Almohadillas de la comunidad Yatzaputzán, Cantón Ambato. (Tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba – Ecuador. 2011. pág. 38.

89. **ROMOLEROUX, C.** Cuantificación de carbono en el suelo del Bosque Siempreverde y el Herbazal del Páramo del Área de Conservación Hídrica Paluguillo (Pifo, Pichincha). (Trabajo de titulación). Universidad Central del Ecuador. Quito – Ecuador. 2019. pág. 36.
90. **ROSERO, Gabriela.** Evaluación de carbono orgánico del suelo en el ecosistema de páramo de la microcuenca del río Chimborazo en base a las actividades antrópicas. (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba – Ecuador. 2019. págs. 24 – 26.
91. **ROSSO, Iván; et al.** Incidencia Económica de la degradación de suelos por efecto del cultivo de coca en la economía Yungueña. Caso: " Chulumani". Universidad Mayor de San Andrés. La Paz – Bolivia. 2013. pág. 2.
92. **SEGRELLES, José; et al.** “Geopolítica del agua en América Latina: dependencia, exclusión y privatización”. *XVI Simposio Polaco-mexicano*, (2007). pág. 9.
93. **TORREZ, Virgilio.** "Manual Internacional de fertilidad de suelos." *Instituto de la Potasa y el Fósforo AC INPOFOS*, vol. 163, (1997). pág. 16.
94. **TRIBUNAL CONSTITUCIONAL.** “Constitución de la República del Ecuador”. *Registro Oficial*, vol. 449, (2008). pág. 10.
95. **URGILES, Narcisa; et al.** Diversidad de briófitos de los Páramos de Cajanuma del Parque Nacional Podocarpus. *Cambio climático y Biodiversidad: Estudio de caso de los páramos del Parque Nacional Podocarpus, Ecuador. Loja, Ecuador*, (2015). págs. 66 – 67.
96. **USSHER, María & VARGAS, Yelitza.** “New bryophyte records for Venezuela, the state of Mérida and the Sierra Nevada National Park”. *Tropical Bryology*, vol. 32, (2010). págs. 60-73.
97. **WAWER, Rafal; et al.** “Eal and calculated kusle erobility factor for selected Polish soils”. *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 14, n° 5, (2005). págs. 655 – 658.
98. **WILLIAMS, J.; & SINGH, V.** “Computer models of watershed hydrology”. *The EPIC Model, Water Resources Publications*, vol. 14, n° 5, (1995). págs. .909 - 920.

99. **WISCHMEIER, Walter & SMITH, Dwight.** “A Universal Soil Loss Equation to Guide Conservation Farm Planning”. *7th International Congress of Soil Science*, vol. 1, (1960). págs. 419 – 420.
100. **WISCHMEIER, Walter & SMITH, Dwight.** *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Virginia: Department of Agriculture, Science and Education Administration, 1978. págs. 5 – 8.
101. **ZAGAL, Erick & SADZAWKA, Angélica.** “Protocolo de métodos de análisis para suelos y lodos”. *Universidad de Concepción, Servicio Agrícola y Ganadero: Santiago, Chile*, vol. 5, (2007). págs. 10-18.
- 102.



## ANEXOS

### ANEXO B. TOMA DE MUESTRAS DE SUELO EN EL ESTRATO HERBAZAL DE PÁRAMO.



**ANEXO C. SOCIALIZACIÓN DEL PROYECTO A LAS COMUNIDADES ALEDAÑAS A  
LOS PUNTOS DE MONITOREO DE CARBONO.**



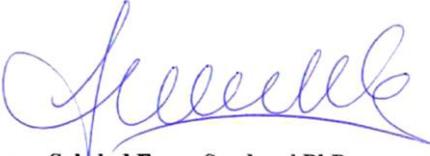
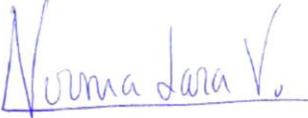
**ANEXO D. ANÁLISIS EN EL LABORATORIO.**





**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA**  
**NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO**

**Fecha de entrega:** 30 / 05 / 2024

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Jonathan Roberto Guagrilla Tipantuña
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Recursos Naturales
<b>Carrera:</b> Ingeniería Forestal
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Forestal
 <b>Ing. Norma Soledad Erazo Sandoval PhD.</b> <b>Directora del Trabajo de Integración Curricular</b>  <b>Ing. Norma Ximena Lara Vásquez MSc.</b> <b>Asesora del Trabajo de Integración Curricular</b>