



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CARBONO Y RETENCIÓN DEL AGUA DEL SUELO EN ZONAS INTERVENIDAS Y NO INTERVENIDAS EN SUELOS ANDINOS EN EL PÁRAMO DEL VOLCÁN RUCO PICHINCHA SECTOR CRUZ LOMA, CANTÓN QUITO EN EL PERÍODO 2022-2023”

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniería Ambiental

**AUTORES: BURBANO RAZA CARLOS SANTIAGO
LÓPEZ YÁNEZ ANDRÉS FERNANDO**

TUTOR: EDWIN FABIÁN BERSOSA VACA

Quito – Ecuador
2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Burbano Raza Carlos Santiago con documento de identificación N.º 1724554140 y López Yáñez Andrés Fernando con documento de identificación N.º 1719375311; manifestamos que: Somos los autores y responsable del presente trabajo; y, autorizamos que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 19 de marzo del año 2024

Atentamente,



Carlos Santiago Burbano Raza

1724554140



Andrés Fernando López Yáñez

1719375311

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Burbano Raza Carlos Santiago con documento de identificación N.º 1724554140 y López Yáñez Andrés Fernando con documento de identificación N.º 1719375311, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo Experimental: “Evaluación de la concentración de carbono y retención del agua del suelo en zonas intervenidas y no intervenidas en suelos andinos en el páramo del volcán Ruco Pichincha Sector Cruz Loma, Cantón Quito en el período 2022-2023”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Ambientales, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 19 de marzo del año 2024

Atentamente,



Carlos Santiago Burbano Raza
1724554140



Andrés Fernando López Yáñez
1719375311

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Edwin Fabián Bersosa Vaca con documento de identificación N° 1709204141, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CARBONO Y RETENCIÓN DEL AGUA DEL SUELO EN ZONAS INTERVENIDAS Y NO INTERVENIDAS EN SUELOS ANDINOS EN EL PÁRAMO DEL VOLCÁN RUCO PICHINCHA SECTOR CRUZ LOMA, CANTÓN QUITO EN EL PERÍODO 2022-2023, realizado por Burbano Raza Carlos Santiago con documento de identificación N.º 1724554140 y López Yánez Andrés Fernando con documento de identificación N.º 1719375311, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 19 de marzo del año 2024

Atentamente,



Dr. Edwin Fabián Bersosa Vaca, M. Sc
1709204141

AGREDECIMIENTO

Hoy más que nunca, quiero agradecer a quienes son mi inspiración, mi motor y mi pilar principal de vida, mi familia. Quiero agradecer a mi madre Elena y a mi padre Elías que gracias a su incondicional apoyo me permiten cumplir mi sueño, este es el fruto de todos sus esfuerzos, el cual me permite estar aquí; gracias a mi ñañita Fer por ayudarme en todo momento; esto es para ustedes.

-Carlos Santiago Burbano Raza-

AGREDECIMIENTO

A la vida por permitirme seguir adelante, por no permitirme rendirme en los momentos más difíciles, por mantener con vida a las personas a cada una de las personas que siempre estuvieron pendientes.

A mi familia encabezado por mis abuelitos, mi madre y mis tíos que nunca dejaron de velar por aquellos momentos importantes que ocurrían en mi vida. Gracias a cada uno por darme fuerzas para seguir adelante aun cuando el panorama no se veía agradable

Andrés Fernando López Yáñez

DEDICATORIA

Este trabajo de tesis va dedicado para todos quienes fueron parte de esta formación académica, a mi familia, a los avengers y a mi tutor, gracias por su apoyo y conocimiento que hoy me permiten alcanzar el sueño de ser ingeniero.

Carlos Santiago Burbano Raza

DEDICATORIA

Este trabajo de tesis va dedicado a todos aquellos que decidieron creer en el esfuerzo que hacía día a día durante mi formación académica. Principalmente para mi familia que son un pilar fundamental en mi vida y que gracias a ellos estoy consiguiendo tan anhelado objetivo.

Andrés Fernando López Yáñez

ÍNDICE

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	iii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iv
AGREDECIMIENTO	vi
DEDICATORIA.....	vii
DEDICATORIA.....	viii
ÍNDICE	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
1. INTRODUCCIÓN	19
1.1. Problema.....	19
1.2. Delimitación.....	20
1.3. Preguntas de investigación.....	21

1.4. Objetivos.....	21
1.4.1. Objetivo General	21
1.4.2. Objetivos Específicos.....	22
Hipótesis	22
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	23
2.1. Páramo.....	23
2.2. Páramo no intervenido	23
2.3. Páramo intervenido	24
2.4. Cambio Climático	24
2.5. Principales actividades presentes en los páramos	24
Actividad ganadera.....	24
2.6. Dióxido de carbono	25
2.7. Ciclo del carbono	26
2.8. Humedales.....	27
2.9. Suelo.....	27
2.9.1. Parámetros físicos	28
Textura del suelo	28
2.9.2. Propiedades químicas.....	30
2.9.3. Servicios Ecosistemicos.....	31

2.9.4.	Actividades Antrópicas	31
2.9.5.	Turismo	31
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	33
3.1.	Método	33
3.1.1.	Descriptiva y correlacional	33
3.2.	Diseño.....	33
3.2.1.	Estadístico	33
3.3.	Protocolos.....	33
3.3.1.	Delimitación de los puntos de altitudes	33
3.3.2.	Delimitación de los puntos de muestreo	35
3.4.	Procedimientos	36
3.4.1.	Metodología de toma de muestras de suelo	37
3.5.	Materiales y Equipos	37
3.5.1.	Materiales usados en la fase de campo	37
3.5.2.	Materiales usados en la fase de laboratorio	38
3.6.	VARIABLES.....	39
3.6.1.	Determinación del pH del suelo.....	39
3.6.2.	Densidad aparente	39
3.6.3.	Porcentaje de Porosidad	40

3.6.4.	Humedad	40
3.6.5.	Materia orgánica del suelo	41
3.6.6.	Determinación de Carbono Orgánico del Suelo	41
3.7.	Recolección de datos	42
3.7.1.	Recolección de las muestras en la fase de campo.....	42
3.8.	Fase de laboratorio	43
3.8.1.	Determinación del pH del suelo y conductividad	44
3.8.2.	Determinación de la densidad aparente	44
3.8.3.	Determinación del porcentaje de porosidad.....	45
3.8.4.	Determinación de la materia orgánica del suelo	45
3.8.5.	Determinación del Carbono Orgánico del suelo	45
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.1.	Resultados de parámetros analizados.....	46
4.2.	Conductividad del suelo del Rucu Pichincha.....	49
	El suelo tiene una gran capacidad de conducir electricidad pero esta depende de diferentes factores y de la cantidad en la que se encuentran, es decir, la cantidad agua y arcilla, asimismo éstas condicionan la cantidad de iones que se pueden intercambiar para generar electricidad afectando la fertilidad del suelo.	49
4.3.	Densidad aparente (Da) del suelo del Rucu Pichincha	50
4.4.	Porosidad del suelo del Rucu Pichincha	52

4.5.	Materia Orgánica del Suelo del Rucu Pichincha.....	56
4.6.	Carbono Orgánico del Suelo	58
4.7.	Discusión.....	59
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	63
5.1.	Conclusiones	63
5.2.	Recomendaciones.....	64
ANEXOS	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	34
Tabla 2	35
Tabla 3.	37
Tabla 4	38
Tabla 5	46
Tabla 6	48
Tabla 7.	48
Tabla 8	49
Tabla 9.	50
Tabla 10.	51
Tabla 11.	51
Tabla 12	53
Tabla 13.	53
Tabla 14.	54
Tabla 15.	55
Tabla 16.	56
Tabla 17.	56
Tabla 18.	58
Tabla 19.	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	21
Figura 2	34

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Tabla de comparación de coeficientes	70
Anexo 2: Áreas de suelos analizados.....	70
Anexo 3: Actividades antrópicas realizadas en el páramo.....	711
Anexo 4: Materiales utilizados por el método de barreno y pala	72
Anexo 5: Muestras etiquetadas	73
Anexo 6: Pesaje de los materiales en fase de laboratorio	744
Anexo 7: Análisis físicos-químicos	75
Anexo 8: Pesaje de las muestras	76
Anexo 9: Estufa y Mufla.....	77

RESUMEN

La investigación tiene como objetivo determinar la Evaluación de la Concentración de Carbono e identificar las actividades antrópicas que se desarrollan en el suelo del Páramo del Volcán Rucu Pichincha, Sector Cruz Loma, Cantón Quito con la medición de las concentraciones de carbono del suelo del páramo y conocer si las actividades antrópicas que se realizan en el lugar afecta a la calidad del suelo.

El trabajo fue realizado de carácter experimental y descriptivo, utilizando el método del cilindro en donde se tomaron 15 muestras con la ayuda de barreno y pala, las muestras fueron homogenizadas dejando un total de 9 submuestras representativas del área de estudio, las muestras fueron desarrolladas para el análisis físicos-químicos de tres tratamientos a distintas altitudes, en diferentes tipos de suelos siendo estos: intervenidos y suelos no intervenidos, los cuales fueron identificados según las actividades antrópicas realizadas en el sector por la influencia de turistas locales y extranjeros.

Los análisis de los resultados físico-químicos lograron demostrar que el pH en los suelos de los páramos del Rucu Pichincha mantienen un potencial de hidrogeno que se aproxima más a la neutralidad es decir su pH varía de entre 6,05 a 7,71. Por otra parte se logró evidenciar que se cuenta con densidad aparente que varía entre 0,69% a 1,30% es así que por su parte el porcentaje de porosidad que encontramos en estos suelos lograron evidenciar que varía entre 51,32 a 73,78% que a su vez cuentan con un porcentaje de humedad que varía de 9,26 a 59,46%. El porcentaje de MOS en estos tipos de páramos varía desde 3,22 a 7,97%. La cantidad de COS en miligramos por hectárea varía 73,01 a 143,18. Para finalizar se midió la conductividad de los suelos del páramo del Rucu Pichincha los cuales varían desde 115,84 a 562,34 microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$). El análisis obtenido demuestra que los niveles de carbono orgánico del suelo intervenido y del suelo no intervenido son iguales, los valores de estudio no muestran gran variación, aunque en el análisis físico de la textura si se puede observar un cambio significativo entre estos dos tipos de suelo.

Palabras Clave: Altitudes, páramo, actividades antrópicas, suelo intervenido, suelo no intervenido.

ABSTRACT

The following research aims to determine the Carbon Concentration Assessment and identify the anthropic activities that take place in the soil of the Rucu Pichincha Volcano Paramo, Cruz Loma Sector, Quito Canton, in order to evaluate the carbon concentrations of the soil of the páramo and to know if the anthropic activities carried out in the sector affect the quality of the soil.

The work was carried out of an experimental and descriptive nature, where physical-chemical analyses of three treatments were developed at different altitudes (First, Second and Third), in different types of intervened and non-intervened soils, recognizing the anthropic activities carried out in the sector by the influence of local and foreign tourists, the samples were collected on the surface of the soil with the help of a shovel and with the help of a hole at 30cm depth forming compound sub samples.

The analysis of the physical-chemical results showed that the pH in the soils of the Rucu Pichincha moorlands maintains a hydrogen potential that is closer to neutrality, that is to say, its pH varies between 6.05 and 7.71. On the other hand, it was found that the bulk density varies between 0.69% to 1.30% and the percentage of porosity found in these soils varied between 51.32% to 73.78% and also that they have a percentage of humidity that varies between 9.26% to 59.46%. The percentage of SOM in these types of moors varies from 3.22 to 7.97%. The amount of COS in milligrams per hectare varies from 73.01 to 143.18. Finally, the conductivity of the soils of the Rucu Pichincha páramo was measured and ranged from 115.84 to 562.34 microsiemens per centimeter ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Thanks to these results, it was possible to demonstrate that all the activities carried out in the Rucu Pichincha Paramo, i.e., anthropic activities, have a significant influence in determining the COS of this paramo.

Key words: Altitudes, páramo, anthropic activities, disturbed soil, undisturbed soil.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema

Una de las afectaciones a los recursos naturales de la Tierra se debe al cambio climático; entre ellos, se encuentra el suelo como siendo uno de los principales afectados frente a dicho cambio. El suelo, al ser uno de los más ricos en carbono se posiciona como uno de los principales recursos naturales (Cotler y Etchavers, 2016); por dicha reserva, contiene una gran cantidad de carbono que sobrepasa a la atmósfera y la vegetación al mismo tiempo. Al poseer carbono, el suelo se convierte en una fuente proactiva haciendo que el impacto antropogénico sobre el mismo, conlleve consecuencias a largo plazo, entre ellas, el efecto invernadero (Nájera González, et al. , 2021). Por consecuencia, los avances científicos en cuanto a la comprensión y explicación de la dinámica del carbono orgánico del suelo son cada vez más interesantes para la investigación científica.

No obstante, proteger las reservas de carbono se ha convertido en un desafío tanto en la localidad como a niveles externos, haciendo que se incorporen y prueben políticas con la finalidad de mejorar el manejo de los terrenos y la adaptación en algunas regiones en específico (Leféve, et al., 2018).

El carbono orgánico de los suelos que se encuentran en los páramos andinos desempeña un gran papel frente a todos esos recursos que se han ido convirtiendo de a poco en sistemas bio-ecológicos más vulnerables. Entre los principales factores que afectan los cambios del carbono en el suelo se encuentra el cambio climático, disminución de la biodiversidad y la degradación de la Tierra, dejando como resultado que exista más carbono que el contenido en la atmósfera y la vegetación terrestre combinados (Loayza, et al. , 2020). Dichas reservas no son estáticas, sino más bien se encuentran en constante circulación entre las reservas mundiales de carbono en diversas formas moleculares (Leféve, et al., 2018).

El presente trabajo investigativo con el tema de: “Evaluación de la concentración de carbono y retención del agua del suelo en zonas intervenidas y no intervenidas en suelos andinos en el páramo del volcán Rucu Pichincha Sector Cruz Loma, Cantón Quito en el período 2022-2023”, se realizó con la finalidad de conocer como los suelos de los páramos se ven afectados su concentración de carbono, mediante el análisis físico-químico de los suelos intervenidos y no intervenidos. Para el presente trabajo de investigación se utilizaron indicadores biológicos y físico- químicos para el estudiar la calidad del suelo y determinar su salud, el carbono presente en el suelo. Asimismo, se puede determinar la actividad microbiana a partir de la cantidad y calidad que se encuentre presente, al igual que los nutrientes y la estructura del suelo son otras de las variables que se podrían analizar para determinar la salud del suelo.

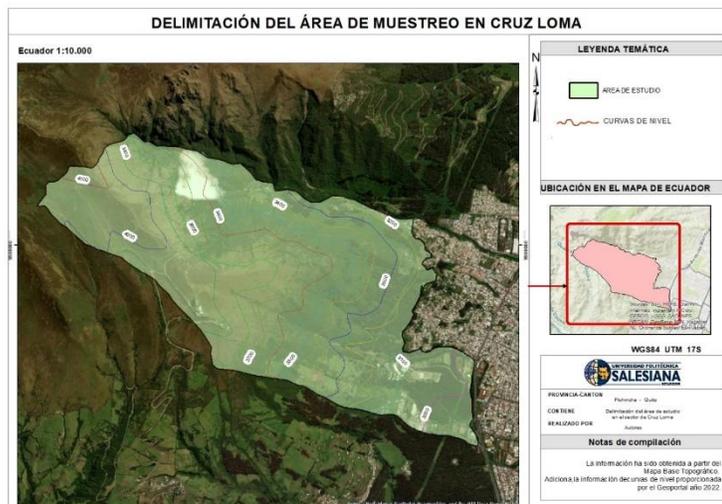
Las diferentes alteraciones en los ciclos naturales del ecosistema, traen como consecuencia una degradación de la misma donde algunos de los componente nutritivos del suelo se ven afectados a largo plazo (Montico, 2021). Esto hace que la degradación del suelo y su materia orgánica desemboquen en una baja fertilidad del mismo a causa del mal uso y un manejo errado de dicho recurso (Burbano Orejuela, 2016).

1.2.Delimitación

Cruz Loma se encuentra localizada en Ecuador, en la provincia de Pichincha, en la ciudad de Quito, en las faldas del volcán Pichincha con longitud (78°32'7" W) y latitud (0°11'16" N), zona 17 S; forma parte de la cadena montañosa del volcán Rucu Pichincha con una altura máxima de 4698 m.s.n.m. es un volcán cuya actividad volcánica culminó (Encalada Vásquez, 2014).

Figura 1

Delimitación del área de muestreo en el sector de Cruz Loma.



Nota. Mapa delimitando la zona de muestreo en el sector de Cruz Loma. **Fuente:** Elaboración propia.

1.3. Preguntas de investigación

¿Cómo afecta a la concentración de carbono del suelo las distintas actividades antrópicas realizadas en el páramo del Rucu Pichincha del Cantón Quito?

¿Cuál es la calidad del suelo acorde a la concentración de carbono presente en las zonas muestreadas?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar la concentración de carbono orgánico y la retención de agua que se encuentra acumulado en los suelos intervenidos y no intervenidos de los humedales del Volcán Rucu Pichincha, mediante la

aplicación de métodos estadísticos, el análisis físico-químico del suelo, para comparar como este se ve afectado con la presencia de las personas y animales en la zona de Cruz Loma en el cantón Quito.

1.4.2. Objetivos Específicos

Identificar el uso que se le da al suelo mediante visitas en el área de estudio, para la determinación de afección del suelo.

Determinar el grado de afectación en el suelo intervenido y no intervenido, mediante los resultados obtenidos con los análisis físico-químicos realizados en laboratorio.

Determinar los valores de la calidad del suelo con las muestras tomadas en el Volcán Rucu Pichincha y determinar si existen problemas ambientales afectando la cantidad de nutrientes presentes en el suelo.

Hipótesis

Caso Uno: Suelo Intervenido

Hipótesis nula.

Las concentraciones de carbono orgánico en el suelo intervenido son iguales a la del suelo no intervenido dentro del sector.

Hipótesis alternativa

Las concentraciones de carbono orgánico en el suelo intervenido no son iguales a la del suelo no intervenido dentro del sector.

.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Páramo

Por el Ecuador pasa la cadena montañosa de los andes lo que da a lugar de una gran variedad de paramos ubicados en este país, los páramos son de gran fuente de agua y es un ecosistema que tiene gran cantidad de fauna. Para Vásconez y Hofstede, (2006) “el páramo es un ecosistema que se encuentra entre las cumbres de algunas regiones tropicales de América” (p.92). no se pueden definir límites, ya que, varían dependiendo de la región donde se encuentren y sus condiciones. Existen varios factores que determinan altitud de los páramos, dependiendo donde se encuentren; entre estas, se encuentran la posición geográfica, su historia geológica y la evolución del lugar (Navarrete González, et al. , 2005). Su límite inferior puede oscilar entre 3000 y 4000 m, de acuerdo con la precipitación, la humedad y la temperatura media anual local (Morales Bentacourt y Estévez Varón, 2006).

Los páramos se caracterizan por tener la función de retener el agua y tratar de mantener equilibrio frente a los diferentes ecosistemas y fuentes de contaminación, convirtiéndose así en una especie del filtro, su altura puede variar desde los 2.700 msnm hasta los 5.000 msnm. De acuerdo a la geografía de un páramo este se puede dividir en 3 zonas las cuales son: páramo bajo, medio y alto (*El gran libro de los páramos, 2011*).

2.2. Páramo no intervenido

A raíz de las diferentes actividades antrópica, el suelo y uso sufren varias alteraciones; estos, son los principales factores que determinan si un páramo ha sido intervenido o no (Torres, et al. , 2012). Cuando un páramo no ha sido intervenido no presenta dichos cambios ni alteraciones. Asimismo, el un páramo no intervenido está cubierto por pajonal, bosques y pantanos (Pinos Morocho, et al., 2021).

2.3.Páramo intervenido

El páramo intervenido se encuentra poblado por personas que asentaron su estilo de vida en dicho lugar; es decir, viven allí y obtienen beneficio económicos del lugar donde viven (Pinos Morocho, et al., 2021). Algunos de los beneficios obtenidos por aquellas personas que viven en un páramo intervenido se encuentra el turismo, la agricultura y ganadería; algunos, se dedican a realizar cultivos a gran escala y la deforestación del suelo.

2.4.Cambio Climático

Para Conde y Saldaña (2007) en la atmosfera los gases de efecto invernadero son de vital importancia para desarrollo de la vida y sus procesos, sin embargo, en demasía incurren en problemas ambientales, alteraciones significativas en procesos vitales (p. 23-30). Uno de los principales efectos del cambio climático es el incontrolable aumento de la temperatura en el ambiente, donde las medidas para disminuir dicho efecto suelen ser extremas y muchas veces no alcanzables. Existen indicios acerca de que la temperatura aumentará en tiempos posteriores aún más en la altitud que a nivel del mar (Martínez, et al., 2015). Para Borja (2012) “estas predicciones apuntan a un aumento de casi el doble a los 3000 msnm que en zonas de la costa” (p.149).

2.5.Principales actividades presentes en los páramos

Actividad ganadera

La actividad ganadera genera la disminución de la diversidad de la flora principalmente, en el páramo. Se estima que existe zonas modificadas debido a la presencia del ganado, las cuales se han ido reduciendo con el aumento de la población este ecosistema se ve afectado debido a que los seres humanos se ven necesitados por los productos que se pueden obtener de la ganadería, los cuales cada

vez se necesita de más ganado para satisfacer las necesidades humanas. Los rebaños afectan en gran cantidad a los suelos del páramo, ya que, al no estar distribuidos correctamente y su alimentación tiene que ver con el consumo de forraje de vegetación natural y el insuficiente abastecimiento de vegetación para dichos rebaños (Molinillo y Monasterio , 2002).

2.6.Dióxido de carbono

El dióxido de carbono es un compuesto que está formado principalmente de oxígeno y carbono, esta se encuentra presente en las plantas a lo largo de los años. Según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (2013) el Dióxido de carbono es un gas de origen natural, que surge a partir de la oxidación de combustibles fósiles que proceden del carbono; entre ellos se encuentran el petróleo, gas, carbón, quema de biomasa y otros cambios propios del suelo a causa de procesos industriales (p. 190).

La Organización Mundial de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2015) hace referencia a que un suelo sano ayuda a proporcionar medidas que permitan minimizar el cambio climático y a su vez los gases que se han producido por el efecto invernadero convirtiéndose en una de las mayores reservas de carbono terrestre, situación que no sucede con suelos que ya han sido intervenidos por la agricultura no sostenible, haciendo que emitan dióxido de carbono favoreciendo al cambio climático (p.10).

El gas invernadero es un compuesto químico que contribuye al calentamiento global (Sosa Rodríguez y García Vivas, 2019); sin embargo, forma parte fundamental del proceso de la fotosíntesis aportando en la producción de clorofila e importante nutrientes para la subsistencia de estos seres vivos (Saynes Santillán, et al. , 2016). Existe una contradicción en la existencia de este compuesto químico al ser un contaminante de la atmósfera no, ya que, al igual que el vapor de agua siempre ha estado

presente y ambos compuestos químicos tienen su propio ciclo en la naturaleza (Ordoñez- Vargas, et al., 2023). De acuerdo en lo mencionado con anterioridad se estima que el CO₂ al tener un ciclo con más lentitud y permanencia en las capas de la atmósfera terrestre, se lo llama contaminante físico; sin embargo, no es un contaminante químico al no tener reacciones a la condiciones ambientales (Medina Valtierra, 2010).

2.7.Ciclo del carbono

Para García (2012) “el ciclo de carbono comienza con la fijación del dióxido de carbono en la atmósfera por la fotosíntesis de ciertos microorganismos y plantas” (p.125). Aquí, el agua y el dióxido de carbono cumplen un papel importante, ya que, a través de su reacción química producen carbohidratos para liberar oxígeno simultáneamente. La transformación de energía para las plantas nace a partir de una fracción de los carbohidratos y el anhídrido carbónico se libera a través de las hojas y las raíces (García, 2013). Gracias al metabolismo de los animales, se libera dióxido de carbono y los microorganismos liberados a través de este proceso, se descomponen animales y plantas cuando mueren.

2.7.1. Reservas de carbono

El dióxido de carbono se ha acumulado en el suelo a lo largo de los años. Los diferentes elementos que componen los ecosistemas que incluyen vegetación y suelos, son las cuatro reservas más importantes. A través de la historia, procesos naturales han intercambiado cantidades anuales de carbono; entre ellas se encuentran la erosión formación de rocas y otros, que suelen ignorarse en las existencias de carbono cuantificadas (Sundquist y Visser, 2004).

2.8.Humedales

Los humedales son ecosistemas que juegan un papel importante en la recolección de dióxido de carbono como gas de efecto de invernadero, purifican el agua contaminada, reducen el riesgo de inundaciones y erosión, contribuyen a la biodiversidad del planeta y extraen una parte del dióxido de carbono que emitimos a la atmósfera. También son áreas de gran atracción para la diversión y el turismo ecológico (Guerrero, et al., 2021).

2.9.Suelo

El aumento o disminución de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera depende estrictamente del sistema suelo- vegetación, que surge a partir de la tasa de formación y descomposición del carbono orgánico del mismo; por lo tanto, los recursos de la Tierra son una de las reservas de carbono terrestres más grandes y también son un medio para estimar el flujo de gases de efecto invernadero entre la biosfera y la atmósfera (Segura Castruita, et al. , 2005).

Los páramos se diferencian de otros suelos por tener altitudes de acuerdo a su localización donde la temperatura es muy baja y por ende se producen varias especies endémicas entre flora y fauna. De este modo, la regulación de sistemas de agua depende de la precipitación y aumento con la altitud para que la actividad humana funcione con equilibrio en el sistema (Crespo, et al., 2014). Asimismo, los páramos cuentan con tierras no muy altas y laderas, donde el agua se va reteniendo cuando llega a la planicie creando un amortiguador como capa que hace que se cree una zona donde la vegetación es completamente natural, trayendo como consecuencia altos índices de materia orgánica que favorece al suelo a largo plazo (Hurtado Naranjo, 2022).

2.9.1. Parámetros físicos

Textura del suelo

La textura del suelo depende del contenido de componente orgánicos; su proporción se presenta de diferentes formas tamaños y estos pueden ser arena, limo y arcilla (Baretta, et al., 2014). Las propiedades que contiene el suelo cumplen un papel fundamental, ya que, contribuye a la fertilidad y la retención de agua y otros contenidos importantes. Las partículas que se pueden encontrar en el suelo llegan a superar los 2.0 milímetros de tamaño y pueden ser considerados como piedras o grava (FAO, 2015).

Color del suelo

Para determinar el color de un suelo se necesitan algunos componentes como la humedad, materia orgánica y el grado de oxidación de minerales; a partir de esto, la coloración del suelo puede variar (Domínguez Soto, et al., 2012). Se puede considerar una medida indirecta de las características específicas del suelo; asimismo, para distinguir un perfil de suelo, se requiere determinar algunos otros componentes: entre los principales se encuentran el origen de la materia orgánica, el drenaje y su estado como la constancia de sales y carbonato (FAO, 2015).

Consistencia del suelo

La consistencia del suelo se define como su resistencia a la deformación o ruptura que pueden aplicarse sobre él (FAO, 2015). La consistencia del suelo depende del contenido de su humedad definidas por tres niveles: seco, húmedo y mojado; antes de la construcción sobre él, se requieren medidas más precisas de resistencia del suelo (Quichimbo, et al. , 2012).

Densidad del suelo

Para calcular la porosidad del suelo se requiere calcular su densidad; es decir, el peso del suelo por volumen (Espinoza, et al. , 2018). Para que la densidad del suelo sea real; ésta debe variar según la proporción de componentes del mismo; sin embargo, su generalización es de 2,65 (González, et al. , 2007). Cuando la densidad es alta, el suelo es compacto; por el contrario, si la densidad tiende a ser baja, indica un entorno favorable para la evolución de la vegetación (FAO, 2015).

Porosidad del suelo

El porcentaje del volumen del suelo que no está ocupado por sólidos se conoce como espacio poroso del suelo. Normalmente el volumen del suelo compone de: 45% de minerales y 5% de materia orgánica; el otro 50% incluye un espacio poroso (González -Barrios, et al., 2012). Se pueden encontrar macroporos y microporos dentro del espacio poroso, algunos componentes pueden fluir o retenerse. Los macroporos se necnargan del drenaje, aireación del suelo y del espacio donde se forman las raíces, pero no retienen agua contra la fuerza de la gravedad; por el contrario, los microporos mantienen agua, y algunos de ellos están disponibles para las plantas (FAO, 2015).

Ciclo del nitrógeno

Las características del suelo y la medida biológica del mismo, depende estrictamente de la actividad microbiana y fauna del suelo (López- Pacheco, et al. , 2020). Sin embargo, debido a que es una disciplina relativamente nueva, no existe una mayoría de investigaciones de cómo repercute en la naturaleza de los suelos. La fauna que vive en el suelo ayuda a la descomposición de la materia orgánica tanto animal como vegetal, con la finalidad de liberar nutrientes que ayuden a las plantas a su desarrollo

mediante la absorción; dichos nutrientes, se almacenan en los organismos del suelo y así, evitan su pérdida por lixiviación (FAO, 2015).

2.9.2. *Propiedades químicas*

El pH

El potencial de hidrógeno (pH) del suelo indica si es ácido o básico y muestra cómo se absorben los iones en las partículas del suelo. Asimismo, el PH indica claramente la cantidad de nutrientes de las plantas, que tiene un impacto en aspectos importantes del suelo y de los contaminantes inorgánicos (Course Hero, 2022).

Carbono orgánico del suelo

La fotosíntesis lleva el carbono fijo de la atmósfera a las plantas vivas y muertas; este problema se vuelve orgánico del suelo de manera que, se descompone por los organismos del suelo (Eyherabide, 2014). En condiciones de inundación en la Tierra, el carbono se libera de la biomasa para MOS en organismos vivos durante un cierto tiempo o se libera para la atmósfera a través del aliento de los organismos en forma de dióxido de carbono, CO₂ o CH₄ (Horejuela, 2018). El carbono mejora el suelo orgánico (COS). Las características físicas del suelo ayudan a las partículas en la formación de partículas, aumentan el rendimiento de los cationes, mantienen la humedad y promueven la estabilidad de los suelos de arcilla.

La alcalinización del suelo

Se relaciona con el exceso de sodio; cuando esta se concentra y aumenta se comienza a reemplazar en otros cationes (Lozano, et al. , 1992). Los suelos sódicos son comunes en áreas áridas y

semiáridas; a menudo son inestables y tienen propiedades físicas y químicas muy bajas (Rueda, 2019). Por consecuencia, el suelo se vuelve impermeable, lo que reduce la infiltración, percolación e infiltración del agua por el suelo, lo que finalmente afecta el crecimiento de las plantas (Glatstein, et al. , 2023).

2.9.3. *Servicios Ecosistemicos*

El almacenamiento del carbono orgánico en el suelo es uno de los procesos del ecosistema que proporciona el suelo y da paso a la estabilidad del mismo por medio de la resistencia y la compactación; eso hace que el flujo de agua sea controlado y así, detener la erosión del suelo con la finalidad de mantener los nutrientes y otros beneficios más (Burbano, 2016). Se cree que la presencia humana en las diversas actividades de uso del suelo tiene un impacto directa e indirecta en la perduración de dichos procesos que proporciona el ecosistema para la preservación del suelo (Meza, et al. , 2017).

2.9.4. *Actividades Antrópicas*

La agricultura y otras actividades antrópicas se ven estrechamente ligadas a los cambios de ciclos en la naturaleza, trayendo consecuencias a corto y largo plazo (Ramírez, et al , 2011). Las actividades antrópicas, como la agricultura, entre otras, tienen que ver con los cambios de los ciclos naturales causando consecuencias con el tiempo, debido al uso constante del suelo, las actividades antrópicas alteran el carbono orgánico del suelo en los páramos (Gomez, 2019).

2.9.5. *Turismo*

El senderismo es una actividad deportiva donde los aficionados ponen a prueba su resistencia y determinación para disfrutar de paisajes extraordinarios y muchas veces desconocidos a través de senderos (Meztanza, et al. , 2019). Lamentablemente, se han logrado identificar consecuencias negativas a causa de la práctica de esta actividad, entre ellas, se encuentran algunos problemas

ambientales relacionados con la acumulación de desechos, la erosión del suelo y otros debido a la visita masiva, las irregularidades del turismo ilegal y el paso masivo de vehículos (Maldonado, 2019).

El sector del teleférico es uno de los atractivos turísticos más importantes de la ciudad de Quito, en este se realizan gran actividad de senderismo y también de cabalgata, este sector cuenta con un gran atractivo naturales y a su vez ofrece una gran vista de la ciudad.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.Método

3.1.1. *Descriptiva y correlacional*

Para el desarrollo de la investigación se tomó en cuenta a la metodología descriptiva relacionada al área de estudio; de esta manera se proporcionó información para una descripción precisa acerca del problema hallado y el desarrollo de las principales ideas de interés en el sector de Cruz Loma con relación al tema de investigación.

3.2.Diseño

3.2.1. *Estadístico*

Mediante el Análisis de Varianza, se determinó una eficiencia estadística en los resultados considerando los requerimientos establecidos y las actividades degenerativas que se encontraron en el sector. Asimismo, la aplicación de diseño experimental de Bloques Completos Aleatorios, proporcionó ayuda en la aplicación en tres distintos tratamientos con cinco repeticiones en los suelos a considerar, de las cuales se obtuvo 15 muestras mediante el método del cilindro, las cuales después de ser homogenizadas se tomaron 9 sub muestras, que se realizaron en las diferentes áreas del suelo con tres repeticiones para cada muestra.

3.3.Protocolos

3.3.1. *Delimitación de los puntos de altitudes*

Una vez identificados los sectores de estudio para el análisis de componentes, la investigación determinó varios puntos y sitios dentro del sector. Se demostró que existieron también, áreas que han sido intervenidas anteriormente por la agricultura, ganadería y senderismo al igual que estaban

incluidas áreas no intervenidas por dichas actividades. Se realizaron cuatro tratamientos en cada área, con dos áreas intervenidas y dos áreas no intervenidas, y se recolectaron quince submuestras en cada punto de muestreo para formar una muestra compuesta, que finalmente resultó en nueve muestras compuestas. El objetivo era medir la concentración de carbono orgánico en esas muestras.

Tabla 1

Coordenadas Geográficas para la Delimitación de las Altitudes Muestreadas

Altitud	Límites	Longitud	Latitud
Primera Altitud	Inicio	S 0°10'53.98464"	W 78°32'23.6436"
	Fin	S 0°11'10.923"	W 78°32'19.25376"
Segunda Altitud	Inicio	S 0°11'24.57456"	W 78°31'35.19372"
	Fin	S 0°11'33.702"	W 78°31'15.10392"
Tercera Altitud	Inicio	S 0°11'33.84276"	W 78°31'17.18616"
	Fin	S 0°11'29.53428"	W 78°31'0.86124"

Nota. Tabla de Coordenadas. Elaborado por: Los Autores

Figura 2

Puntos de muestreo del área de estudio



Nota: Puntos de muestreo en cada altitud. Fuente: Elaboración Propia

3.3.2. Delimitación de los puntos de muestreo

Se logró identificar cuatro puntos principales de muestreo los cuales correspondieron dos a suelos no intervenidos y dos a suelos intervenidos. Cada punto fue importante para la toma de muestras lo más cerca posible a las zonas intervenidos.

En la tabla 2 se muestran las coordenadas muestreadas a distintas altitudes.

Tabla 2

Coordenadas de Zonas de Muestreo por Altitud

Nombre	Latitud	Longitud	Altitud
Muestra 1	S 0°10'53.27292"	W 78°32'20.87412"	3980
Muestra 2	S 0°10'54.11064"	W 78°32'23.70912"	3996
NI muestra 1	S 0°10'53.82552"	W 78°32'24.32112"	3995
SI Animales	S 0°10'53.472"	W 78°32'21.5052"	3973
NI muestra 2	S 0°11'0.82824"	W 78°32'24.43344"	3937
NI altura 2 muestra 4	S 0°11'33.702"	W 78°31'15.10392"	3208
SI 3 altura 2	S 0°11'33.84276"	W 78°31'17.18616"	3208
SI altura 3	S 0°11'39.30972"	W 78°31'8.0562"	3092
NI iglesia	S 0°11'10.923"	W 78°32'19.25376"	3930
SI iglesia	S 0°11'6.63792"	W 78°32'19.89564"	3956
SI caballos	S 0°11'6.11952"	W 78°32'19.84776"	3950
NI columpio	S 0°10'53.98464"	W 78°32'23.6436"	4001
Parte baja SI	S 0°11'24.57456"	W 78°31'35.19372"	3403

Parte baja NI	S 0°11'29.53428"	W 78°31'0.86124"	3077
Agricultura SI	S 0°11'32.29"	W 78°31'50.99"	3570
Agricultura NI	S 0°11'33.74"	W 78°31'53.77"	3614
Sendero NI	S 0°10'30.62"	W 78°32'56.94"	4101
Parte Baja SI	S 0°11'32.88"	W 78°31'18.65"	3209

Nota. NI: No Intervenido; SI: Suelo Intervenido. Fuente: Elaboración propia.

3.4.Procedimientos

La investigación se realizó de manera experimental y de campo, se procedió con la toma de datos experimentales los cuales permitieron analizar los niveles de afectaciones que tienen las actividades antrópicas en el páramo mediante el análisis de las muestras tomadas *in situ*.

La investigación tuvo 5 visitas, la primera y segunda visita consistió en el reconocimiento del lugar, la tercera consistió en la identificación de las actividades antropológicas realizadas en el sector, la cuarta consistió en la delimitación del sector y se tomó las primeras muestras y la cual serviría para la quinta que consistió en tomar las muestras que faltaron para su respectivo análisis de laboratorio a distintas alturas de los dos tipos de suelo (intervenido y no intervenido).

La toma de muestras consistió en tomar 8 submuestras a tres distintas alturas en suelos intervenidos y no intervenidos, con la ayuda del barreno se tuvo en rangos de 30 cm de profundidad del suelo, la toma de las muestras fue analizadas en el laboratorio con la cantidad de carbono orgánico del suelo, materia orgánica del suelo y el pH.

3.4.1. Metodología de toma de muestras de suelo

Una vez tomadas las muestras, se realizó la fase de laboratorio donde se conoció en qué estado se encuentra el suelo del sector. Asimismo, se identificó si las actividades realizadas causan impactos al respecto con las actividades antrópicas realizadas. Al momento de recolectar las muestras se tomó en cuenta los protocolos establecidos previamente Villaseñor (2016); para esto, se realizó un mapa donde se identifica las coordenadas.

Hay que mencionar que antes de tomar las muestras el suelo fue limpiado con una profundidad de 10 cm, para poder evitar la presencia de raíces y restos de plantas. Las muestras del suelo fueron tomadas con la ayuda de palas para así poder tener mayor profundidad del suelo y que este no esté tan afectado. A su vez otras muestras fueron tomadas con la ayuda del barreno el cual permitía tomar muestras a una mayor profundidad.

3.5. Materiales y Equipos

3.5.1. Materiales usados en la fase de campo

Tabla 3.

Materiales de fase de campo

Materiales	Reactivos	Equipos
Azadón	Agua	GPS
Tijera	Hielo	
Barreno		

Cinta masking
 Cooler
 Espátula
 Flexómetro
 Fundas ziploc
 Guantes de nitrilo
 Marcador permanente
 Pala

Nota. Equipos y materiales utilizados en la toma de muestras en campo.

3.5.2. *Materiales usados en la fase de laboratorio*

Tabla 4

Materiales de fase de laboratorio

Materiales	Reactivos	Equipos
Brocha	Agua destilada	Balanza Granataria (Ae ADAM)
Crisol de porcelana de 100mL		Estufa (MEMMERT)
Marcador permanente		Mufla (THERMOLINE)
Pinzas de crisol de acero inoxidable		pH-metro de mesa (METTLER-TOLEDO)
Piseta plástica		Tamiz N°10 (DANTECH)
Probeta graduada de vidrio de 50 mL		
Varilla agitadora de vidrio		
Vaso de precipitación de 500 mL		

Nota. Elementos utilizados en el análisis de laboratorio. Elaborado por: Los Autores

3.6. Variables

Para la investigación se utilizaron dos variables:

Fase de campo: se identificaron las actividades antrópicas mediante las visitas realizadas.

Fase de laboratorio: se determinó el pH, densidad aparente, porosidad, humedad, materia orgánica, carbono orgánico del suelo. A continuación, se describen las variables.

3.6.1. Determinación del pH del suelo

Para el análisis del pH del suelo fue realizado mediante la metodología de pH en una pasta saturada, con la ayuda de un instrumento de mesa, marca METTLER-TOLEDO, la cual se la tomo con una combinación de suelo/agua que se obtuvo tras mezclar con la ayuda de la varilla de agitación durante diez minutos y reposando durante tres minutos (Liscano, et al., 2017).

3.6.2. Densidad aparente

A partir de una distinción de muestras obtenidas del suelo se pudo determinar la densidad aparente, donde los resultados obtenidos fueron las características de similitud de sólidos y espacio poroso. Se utilizó la técnica metodológica del crisol, en el cual se depositó la muestra y se presionó para que esta se compactara para el análisis. La muestra fue llevada al laboratorio, donde se la colocó en la estufa donde estuvo sometida a una temperatura de 105°C por 24 horas, este procedimiento se lo realizó posteriormente de haber pesado el crisol y sabiendo que se utilizó crisoles de 100 mL, estos datos son necesarios para el cálculo de la densidad aparente.

La fórmula utilizada fue la establecida según (Villaseñor, 2016), es la siguiente:

$$Da = \left(\frac{M_{ss}}{V_t} \right)$$

Donde:

Da: densidad aparente.

Mss: Masa del suelo seco (Masa conocida + suelo seco – masa conocida) en g.

Vt: Volumen total de la muestra en cm³.

3.6.3. Porcentaje de Porosidad

Con los datos obtenidos de la densidad aparente se procedió a calcular la porosidad, con la ayuda de la fórmula establecida según (Gaibor, 2019)

$$Porosidad (\%) = \left(1 - \frac{Da}{Dr} \right) * 100$$

Donde:

Da: densidad aparente

Dr: densidad real

3.6.4. Humedad

La humedad del suelo se procedió con la ayuda de los crisoles los cuales fueron pesador en un comienzo vacíos, luego de los pesos con la muestra fresca y por último se la peso con la muestra seca después de haber estado en la estufa durante 24 horas. La fórmula utilizada es la recomendada en (Gaibor, 2019), la cual es:

$$Humedad (\%) = \left(\frac{(W1 - Wt) - (W2 - Wt)}{(W2 - Wt)} \right) * 100$$

Donde:

W1: peso del crisol fresco

W2: peso del crisol después de haber estado en la estufa

Wt: peso del crisol vacío

3.6.5. *Materia orgánica del suelo*

Para el análisis de la materia orgánica se siguió las recomendaciones de (Izquierdo & Arévalo, 2021), siguiendo con las sugerencias se sometió la muestra al equipo de laboratorio Mufla, en la cual estuvo sometida por 24 horas a 105°C, después de esto se dejó enfriar para poder pesar la muestra y posteriormente con la ayuda de la Estufa se la sometió a una temperatura de 360°C durante 2 horas. Con los datos obtenidos se procedió a calcular con la formula descrita por Schulte y Hopkins en 1996 y que se menciona en (Izquierdo & Arévalo, 2021)

$$\%MOS = \left(\frac{\text{Peso a } 105^{\circ}C - \text{Peso a } 360^{\circ}C}{\text{Peso a } 105^{\circ}C} \right)$$

3.6.6. *Determinación de Carbono Orgánico del Suelo*

El carbono orgánico del suelo fue determinado bajo los métodos de combustión en seco, siguiendo las recomendaciones de Lizcano *et al.* (2017).

Según Martínez, *et al.* (2017) el proceso para obtener el porcentaje de Carbono hay que transformar el COS a MOS por medio del factor de conversión 1,724 que la propuso Van Bemmelen en 1890, quien afirma que el porcentaje promedio de Materia Orgánica del Suelo contiene 58% de C, así se la implementara en la siguiente ecuación para la obtención del Factor de Conversión:

$$\frac{100\%MOS}{58\%CO} = 1,724$$

Ecuación para determinar el COS la cual se menciona en (Castillo, Bojórquez, Hernández, & García, 2016):

$$COS = \%CO * Da * m$$

Donde:

COS: Carbono Orgánico total en suelo por superficie en miligramos por hectárea

%CO: Carbono Orgánico total en porcentaje

Da: Densidad aparente en gramos centímetros cubico

M: Profundidad del suelo en centímetros

3.7.Recolección de datos

La fase de campo consistió en cinco visitas las cuales consistieron en la identificación de las zonas y la toma de muestras, las actividades antrópicas desarrolladas en el sector también fueron identificadas en estas visitas.

3.7.1. *Recolección de las muestras en la fase de campo*

Para la recolección de las muestras se hicieron de la siguiente forma:

Se Identificó las alturas para realizar las muestras tomando en cuenta que estén cerca de las áreas intervenidas con su actividad antrópica desarrollada y de las áreas no intervenidas. Se realizó la toma de muestras las cuales fueron 9 submuestras con la ayuda de barreno y 9 submuestras con la ayuda de la pala. Una vez tomado los puntos de muestreo se procedió a limpiar la superficie vegetal y a realizar unos huecos lo cual permitían que se pueda obtener muestras más profundas. Con la ayuda del barreno se pudo tomar muestras con una profundidad de 30cm, este se empujó para poder tomar

muestras más profundas y se lo giro, al retirar el barreno las muestras fueron depositadas en las fundas ziploc y depositadas en el cooler.

Las muestras con la pala fueron de la misma forma solo que con estas se obtuvo muestras más uniformes y con menos profundidad, las muestras tomadas igual fueron etiquetadas en cada una de las fundas con la ayuda del marcador permanente.

3.8.Fase de laboratorio

Una vez tomadas las muestras están fueron llevadas al laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur (laboratorios de química y de aguas), en los cuales se utilizó los equipos necesarios para los análisis.

Análisis de las muestras

Se siguieron los siguientes pasos.

Se realizó el pesaje de las muestras, las fundas ziploc, los crisoles y los vasos de precipitación.

Se traspasó las muestras a los vasos de precipitación que servirían como fuente para poder colocar en los crisoles y luego ser llevados a las maquinas como la estufa y la mufla.

Las muestras tomadas con los dos métodos (barreno y pala), en la estufa fueron sometidas a 105°C por un tiempo de 24 horas, para después tener la obtención de los parámetros físico-químicos a analizar.

Una vez tomadas las muestras, se analizaron los parámetros físico-químicos para tener los datos del pH, densidad aparente, porcentaje de porosidad, humedad, materia orgánica y carbono orgánico del suelo.

3.8.1. *Determinación del pH del suelo y conductividad*

Con la ayuda del equipo de mesa marca METTLER TOLEDO se procedió a analizar las muestras de laboratorio, este equipo permite tomar los valores de pH y de conductividad, lo cual primero se tomo en cuenta que el equipo este calibrado, con las muestras ya totalmente secas que estuvieron en la estufa, se la coloco en el tamiz Nro. 10 mm, para poder obtener un material de poro de 10 mm.

Con la ayuda del vaso de precipitación de 400 mL y con una relación de 1:1 lo cual corresponde a 100 mL de agua destilada y 100 g de la muestra recolectada.

Una vez que se tiene la muestra en el vaso de precipitación se la mezclo con el agua destilada y se procedio a agitar durante 10 min con el agitador de vidrio, y se la dejó reposar por un tiempo de tres minutos.

Una vez reposada la muestra se procedió a usar el equipo el cual nos entregaría el resultado del pH y la conductividad de la muestra, se registró los datos arrojados.

3.8.2. *Determinación de la densidad aparente*

Para el análisis de la densidad se utilizaron las muestras recolectadas por el método de la pala, las cuales estaban etiquetadas en las fundas ziploc y ya pasaron por el proceso de secado en la estufa por un tiempo de 24 horas, a una temperatura de 105°C, después de que las muestras se enfriaron se procedió con los pesajes de:

Peso de las fundas ziploc vacías

Peso de las muestras

Peso de los crisoles

3.8.3. Determinación del porcentaje de porosidad

El análisis de porosidad del suelo resultó del modelo de los crisoles, el cual nos permitía obtener los resultados de la densidad aparente con el desarrollo de la ecuación.

Determinación de la humedad del suelo.

Al tener la medida en volumen de los crisoles se procedió a pesarlo cada uno de estos donde iban a depositarse las muestras, los pesajes correspondieron al crisol vacío, luego el crisol con las muestras y luego el peso de los crisoles con la muestra seca, la diferencia de pesos nos permitirá conocer la diferencia que se obtuvo entre estos.

3.8.4. Determinación de la materia orgánica del suelo

Conociendo el peso de las muestras, el peso de los crisoles de 100 mL y después de haber pasado por la estufa, se procedió a llevar las muestras a la mufla en la cual estarían sometidas por un tiempo de 2 horas a una temperatura de 360°C, se volvió de pesar las muestras, y con los datos obtenidos se procedió a reemplazar los datos en la ecuación.

3.8.5. Determinación del Carbono Orgánico del suelo

Se analizó las muestras obtenidas mediante el método del barreno y de la pala para después los datos que se tuvieron fueron reemplazados en la ecuación que se menciona en el literal 3.7.6 para el respectivo cálculo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de parámetros analizados

En la tabla 5 se puede leer detalladamente el resultado de cada uno de los parámetros que fueron analizados en esta investigación, los mismos que son: pH, conductividad, densidad aparente, porosidad, humedad, materia orgánica y Carbono orgánico del suelo y que a continuación de presentan:

Tabla 5

Resultados globales de muestras de pH de suelos intervenidos y no intervenidos

		pH		Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		Densidad Aparente (g/cm^3)		Porosidad (%)		Humedad (%)		Materia Orgánica (%)		Carbono orgánico del suelo (%)	
		S. inter	S. no inter	S. inter	S. no inter	S. inter	S. no inter	S. inter	S. no inter	S. inter	S. no inter	S. inter	S. no inter	S. inter	S. no inter
Sector 1	Punto 1	6,36	6,87	119,00	173,22	1,13	1,19	57,39	55,16	23,08	20,55	4,55	4,15	89,37	85,80
	Punto 2	6,04	6,46	121,26	172,72	0,94	0,90	64,50	66,17	36,82	54,84	5,51	5,69	90,21	88,75
	Punto 3	6,45	6,92	521,04	456,76	0,69	0,93	73,78	64,90	59,46	37,26	6,94	4,80	83,89	77,86
Sector 2	Punto 1	6,12	6,25	143,68	173,22	1,13	1,17	57,43	55,71	21,96	20,85	4,61	4,26	90,56	86,99
	Punto 2	6,93	6,21	165,76	153,82	1,00	0,87	62,27	67,06	36,32	50,81	4,94	6,19	86,00	94,18

	Punto 3	6,15	6,90	306,70	151,74	1,06	1,09	59,94	58,87	22,77	22,81	4,20	4,55	77,64	86,06
Sector 3	Punto 1	6,11	6,17	179,30	115,84	1,07	1,17	59,52	55,97	26,90	20,36	4,91	4,34	91,75	88,18
	Punto 2	7,07	7,73	562,34	505,12	1,04	1,30	60,89	50,86	17,14	9,26	4,99	3,22	89,92	73,01
	Punto 3	6,42	7,07	162,00	152,97	0,81	1,29	69,41	51,32	41,85	32,33	5,50	4,08	77,59	91,34

Nota. Todos los resultados presentes en la tabla 5 y analizados en laboratorio cuentan con su promedio general total y su desviación estándar tanto en zonas intervenidas y zonas no intervenidas en el volcán Rucu Pichincha. Elaborado por los autores, 2023Potencial hidrógeno (pH)

Los valores de potencial de hidrógeno pH que a continuación se presentan corresponden a las zonas intervenidad y no intervenidas del volcán Rucu Pichincha. Dichos valores varían dependiendo de la zona y la altura en donde se encuentran. Siendo así que que en primera altura encontramos un pH de 6,28 en suelo intervenido y 6,75 en suelo no intervenido es decir que encontramos un pH que se aproxima más a la neutralidad del suelo o que puede ser considerado también como un resultado ligeramente ácido, de igual manera en la segunda altura se encontró un pH de 6,4 para el suelo intervenido y de 6,45 para el suelo no intervenido al igual que en el primera altura se puede mencionar que el suelo de esta zona se encuentra con un pH ligeramente ácido y para la tercera altura se encontraron valores de 6,53 y te 6,99 tanto para el suelo intervenido y suelo no intervenido respectivamente.

En las tres alturas el pH que se encontró es ligeramente ácido debido a la gran cantidad de vegetación abundante que existe y que los suelos de estas zonas no han sido explotados como es el caso de otros sectores aledaños donde ya se presentan rangos ácidos como es el caso del sector de la Comunidad Ancestral Armero.

Tabla 6

Resultados promedio de análisis de muestras del pH del suelo

pH promedio en los suelos del Rucu Pichincha					
Primera altura		Segunda altura		Tercera altura	
Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha					
6,28 ± 0,10	6,75 ± 0,21	6,4 ± 0,22	6,45 ± 0,11	6,53 ± 0,17	6,99 ± 0,35

Nota. Potencial de Hidrógeno para cada altura en suelos intervenidos y no intervenidos en el páramo del Rucu Pichincha con sus respectivos errores en cada medición. Elaborado por los autores, 2023.

Tabla 7.

Análisis estadístico ANOVA del pH

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,00	5	0,20	0,91	0,5071
Z	0,35	2	0,18	0,80	0,4703
S	0,48	1	0,48	2,16	0,1669
z*s	0,17	2	0,08	0,39	0,6885
Error	2,65	12	0,22		
Total	3,65	17			

Nota. Resultados del Análisis de la varianza (ANOVA) de pH tanto en zonas intervenidas como en zonas no intervenidas del Volcán Rucu Pichincha. Elaborado por los autores, 2023.

Gracias a los resultados obtenidos del ANOVA del pH se puede apreciar que no existen diferencias significativas en las mediciones de potencial de Hidrógeno de entre

todos los tipos de suelos, alturas y puntos selecciones para la toma de muestras dentro del Volcán Rucu Pichincha, es decir, tanto en los suelos cuyas actividades antrópicas fueron de Turismo las cuales fueron consideradas como zonas intervenidas y aquellas en las cuales no existieron actividades antrópicas las cuales se consideraron como zonas no intervenidas, entre las que se puede encontrar gran cantidad de vegetación como pajonal y bosque nativo, existieron valores de pH similares en ambas divisiones, lo que nos conduce a determinar que se puede aceptar la hipótesis nula para ambos factores y su interacción.

4.2. Conductividad del suelo del Rucu Pichincha

El suelo tiene una gran capacidad de conducir electricidad pero esta depende de diferentes factores y de la cantidad en la que se encuentran, es decir, la cantidad agua y arcilla, asimismo éstas condicionan la cantidad de iones que se pueden intercambiar para generar electricidad afectando la fertilidad del suelo.

Tabla 8

Promedios de conductividad encontrada en los suelos del páramo del Volcán Rucu Pichincha

Conductividad en los suelos del Rucu Pichincha. Todos los valores están medidos en $\mu\text{S}/\text{cm}$.					
Primera altura		Segunda altura		Tercera altura	
Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha	Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha	Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha	Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha	Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha	Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha
253,77 \pm 0,17	261,03 \pm 0,32	205,38 \pm 0,25	159,59 \pm 0,40	301,21 \pm 0,21	310,48 \pm 0,26

Nota. Conductividad para cada altura en suelos intervenidos y no intervenidos en el páramo del Rucu Pichincha con sus respectivos errores en cada medición. Elaborado por los autores, 2023.

Tabla 9.

Análisis estadístico ANOVA para conductividad

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	38034,72	5	7606,94	0,25	0,9341
Z	31800,67	2	15900,33	0,51	0,6109
S	2829,08	1	2829,08	0,09	0,7676
z*s	3404,98	2	1702,49	0,05	0,9467
Error	371508,04	12	30959,00		
Total	409542,77	17			

Nota. Resultados del Análisis de la varianza (ANOVA) de conductividad tanto en zonas intervenidas como en zonas no intervenidas del Volcán Rucu Pichincha. Elaborado por los autores, 2023.

Los resultados que se obtuvieron en el Análisis de varianza (ANOVA) fueron realizados al igual que en caso anterior de potencial de hidrógeno con un nivel de significancia del 0,05 o 5%, se logra observar que el valor de F es de 0,2457 correspondiente a los distintos tratamientos empleados en esta investigación, y al ser mayor al grado de significancia de 0,05 se puede mencionar que no existen diferencias significativas para el caso de conductividad por lo que se acepta la hipótesis nula.

4.3.Densidad aparente (Da) del suelo del Rucu Pichincha

El estudio de la densidad aparente del suelo permite determinar la calidad en la que se encuentra el suelo, tiene una relación directa entre la masa del suelo que deberá estar seco y el volumen en el que se encuentra el suelo, una de las principales características que se encuentran en esos suelos es su baja densidad aparente ya que tienen una alta capacidad para retener agua la misma que está cargada por una gran cantidad de nutrientes que ahí existen.

Tabla 10.*Densidad aparente*

Densidad aparente promedio en los suelos del Rucu Pichincha. Todos los valores de densidad están medidos en g/cm ³ .					
Primera altura		Segunda altura		Tercera altura	
Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha	Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha	Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha	Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha	Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha	Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha
0,92 ± 0,10	1,00 ± 0,03	1,06 ± 0,06	1,04 ± 0,07	0,97 ± 0,07	1,25 ± 0,03

Nota. Densidad aparente (Da) para cada altura en suelos intervenidos y no intervenidos en el páramo del Rucu Pichincha con sus respectivos errores en cada medición. Elaborado por los autores, 2023.

Tabla 11.*Análisis estadístico ANOVA para la Densidad aparente (Da)*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,20	5	0,04	1,85	0,1779
Z	0,07	2	0,03	1,61	0,2411
S	0,06	1	0,06	2,79	0,1208
z*s	0,07	2	0,03	1,62	0,2385
Error	0,25	12	0,02		
Total	0,45	17			

Nota. Resultados del Análisis de la varianza (ANOVA) de Densidad aparente tanto en zonas intervenidas como en zonas no intervenidas del Volcán Rucu Pichincha. Elaborado por los autores, 2023.

Los resultados de la ANOVA realizada en los datos que se obtuvieron de Densidad aparente (Da) indican que no existe una diferencia significativa ya que nuestro valor de F es 1,8475 siendo mayor que nuestro nivel de significancia de 0,05. Siendo así que, no existen mayores diferencias en su densidad entre las diferentes alturas de donde se obtuvieron las muestras de suelo. Es decir que, tanto en suelo intervenidos como suelos no intervenidos se acepta la hipótesis nula para ambos casos.

Los análisis de DA en los suelos del Páramo del Rucu Pichincha es la cantidad de peso de suelo que existe en un volumen de suelo sin compactar, así más adelante la DA nos permitirá realizar cálculos para determinar la porosidad, es decir, el espacio poroso del suelo. Los resultados que se obtuvieron de esta medición en las zonas intervenidas fueron para la primera altura se logró determinar un valor de 0,92 g/cm³ para la segunda altura 1,06 g/cm³ y para la tercera altura se logró determinar un valor de 0,97 g/cm³ en el cual se puede apreciar que existe una mayor densidad aparente en la segunda altura de un suelo intervenido. Por su parte de los suelos no intervenidos se obtuvieron los siguientes valores para la primera altura 1 para la segunda altura 1,04 g/cm³ y para la tercera altura 1,25 g/cm³ estos valores lograron dar a denotar que existe un crecimiento de DA en la zona baja de la montaña la cual comprenden una altura de 2900 a 3200 msnm. Según el texto Ecología, hidrología y suelos de páramos los rangos normales de la densidad aparente varían de entre 0,4 a 0,8 g/cm³ sin embargo en el texto se proponen densidades encontradas por otros investigadores que varían de entre 0,65 a 1,4 g/cm³, esto se debe a la cantidad de minerales que contienen los suelos lo que hace que su densidad sea mas alta a los valores normales establecidos.

4.4.Porosidad del suelo del Rucu Pichincha

La porosidad del suelo relaciona directamente a la densidad aparente que fue desarrollada en la presente investigación y la densidad real del suelo es de 2,65 g/cm³. (Martínez, V. E., & LópezS., M. Y. (2001). Efecto de hidrocarburos en las propiedades físicas y químicas de suelo arcilloso. Terra Latinoamericana, 19(1), 9-17.)

La porosidad puede verse afectada debido a algunos factores que vienen dados por la misma altura, el tipo de suelo, la materia orgánica que allí se encuentre y el contenido de

humedad que esté presente, todas aquellas variables han sido descritas en la presente investigación y analizadas.

Tabla 12

Porosidad en los suelos del Rucu Pichincha

Porosidad en los suelos del Rucu Pichincha.					
Primera altura		Segunda altura		Tercera altura	
Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha					
66,83 ± 0,05	62,08 ± 0,13	59,88 ± 0,22	60,55 ± 0,21	63,27 ± 0,09	59,25 ± 0,13

Nota. Valores de porosidad promedio en los suelos del Páramo Rucu Pichincha en zonas intervenidas y no intervenidas con sus respectivos errores. Elaborado por los autores, 2023.

Tabla 13.

Análisis estadístico ANOVA para la porosidad del suelo

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	97,17	5	19,43	1,81	0,1855
Z	34,17	2	17,09	1,59	0,2439
S	29,57	1	29,57	2,75	0,1230
z*s	33,43	2	16,71	1,56	0,2507
Error	128,91	12	10,74		
Total	226,09	17			

Nota. Resultados del Análisis de la varianza (ANOVA) de porosidad tanto en zonas intervenidas como en zonas no intervenidas del Volcán Rucu Pichincha. Elaborado por los autores, 2023.

La Tabla 13 representa a los valores de porosidad que fueron analizados mediante un Análisis de varianza ANOVA la misma que represente los diferentes porcentajes de porosidad que se obtuvieron en esta investigación, con un nivel de significancia del 0,05 o 5%. Una vez realizado el análisis ANOVA se observó que para los tratamientos usados para calcular esta variable se encontró un valor mayor al nivel de significancia, es decir

que no existen diferencias significativas entre los suelos analizados en los diferentes puntos y alturas a los que fueron tomadas las muestras.

En los análisis que se lograron encontrar gracias a los cálculos de porosidad se obtuvieron los siguientes datos en zonas intervenidas en el páramo del Rucu Pichincha para la primera altura se obtuvo un valor de 66,83% para la segunda altura 59,88% y para la tercera altura 63,27% con estos resultados en zonas intervenidas el valor más bajo que se logró obtener fue en la segunda altura. En zonas no intervenidas se logró evidenciar un decrecimiento ya que se obtuvieron valores en primera altura de 62,08% para la segunda altura 60,55% y para la tercera altura se obtuvo un valor de 59,25%. Estos valores de porosidad indican que existe una gran cantidad de espacio poroso en los puntos donde se tomaron las muestras que pueden estar relacionadas a la actividad antrópica que allí se realizan o la materia orgánica que se pueda encontrar o también a la cantidad de vegetación que se puede llegar a encontrar como las raíces de plantas.

Tabla 14.

Humedad del suelo del Rucu Pichincha

Humedad en los suelos del Rucu Pichincha. Todos los valores de humedad están medidos en porcentaje (%)						
Primera altura		Segunda altura		Tercera altura		
Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha	Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha	Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha	Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha	Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha	Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha	Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha
39,79 ± 0,22	37,55 ± 0,08	27,02 ± 0,17	31,49 ± 0,13	28,63 ± 0,25	20,65 ± 0,32	

Nota. Valores de humedad promedio en los suelos del Páramo Rucu Pichincha en zonas intervenidas y no intervenidas con sus respectivos errores. Elaborado por los autores, 2023.

Tabla 15.*Análisis estadístico ANOVA para la humedad del suelo*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	306,00	5	61,20	0,74	0,6052
Z	246,14	2	123,07	1,50	0,2627
S	9,87	1	9,87	0,12	0,7349
z*s	49,99	2	24,99	0,30	0,7433
Error	986,43	12	82,20		
Total	1292,43	17			

Nota. Resultados del Análisis de la varianza (ANOVA) de humedad tanto en zonas intervenidas como en zonas no intervenidas del Volcán Rucu Pichincha. Elaborado por los autores, 2023.

En la tabla 12 se presentan los resultados que se obtuvieron mediante un análisis ANOVA con un nivel de significancia del 0,05 o 5%, el mismo que muestra que no existen diferencias significativas entre los valores que se obtuvieron de humedad tanto en zonas intervenidas como en zonas no intervenidas. el análisis muestra un valor que supera a nuestro nivel de significancia que es de 0,7081 siendo así que se acepta la hipótesis nula.

Los resultados que se lograron obtener relacionados a la humedad del suelo en el Páramo del Rucu Pichincha en las zonas intervenidas a la primera altura fueron de 39,79% en la segunda altura 27,02% y a la tercera altura se obtuvo un valor de 20,65%. Para los suelos no intervenidos se obtuvieron los siguientes valores que evidencian un decrecimiento para la primera altura se obtuvo un valor de 37,55% para la segunda altura 31,49% y para la tercera altura 20,65%. Se debe tomar en consideración que estos resultados corresponden a porcentaje. Estos valores de humedad indican que existe una cantidad de humedad moderada, es decir, las muestras que fueron analizadas cuentan con a suficiente agua para satisfacer cada una de la necesidad de vegetación que allí habitan y, también este suelo es capaz de realizar los diferentes procesos químicos y biológicos que se producen en el suelo.

4.5. Materia Orgánica del Suelo del Rucu Pichincha

Hay que considerad que la materia orgánica varía dependiendo de la altura o la posición en donde se lleve a cabo la toma de muestras, esta materia orgánica en su mayor parte corresponde a materia vegetal.

Tabla 16.

Materia Orgánica del Suelo (MOS)

Materia orgánica en los suelos del Rucu Pichincha. Todos los valores de MOS están medidos en porcentaje (%)					
Primera altura		Segunda altura		Tercera altura	
Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha	Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha	Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha	Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha	Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha	Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha
6,18 ± 0,63	6,28 ± 0,17	4,58 ± 0,78	6,39 ± 0,84	5,96 ± 0,82	4,20 ± 0,46

Nota. Valores de la materia orgánica en los suelos del Páramo Rucu Pichincha en zonas intervenidas y no intervenidas con sus respectivos errores. Elaborado por los autores, 2023.

Tabla 17.

Análisis estadístico ANOVA para la materia orgánica

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9,55	5	1,91	1,83	0,1819
Z	3,12	2	1,56	1,49	0,2640
S	2,44	1	2,44	2,33	0,1526
z*s	3,99	2	2,00	1,91	0,1905
Error	12,55	12	1,05		
Total	22,10	17			

Nota. Resultados del Análisis de la varianza (ANOVA) de materia orgánica tanto en zonas intervenidas como en zonas no intervenidas del Volcán Rucu Pichincha. Elaborado por los autores, 2023.

Los valores que se muestran en la tabla 17 corresponden a los resultados del análisis de varianza ANOVA la misma que como en los anteriores análisis se encuentra en un grado de confianza del 0,05 o 5%. Este análisis permite observar que no existen

diferencias significativas en los valores que corresponden a los suelos intervenidos que en su mayor parte corresponden a la actividad antrópica de turismo y a los suelos no intervenidos que corresponden a pajonal y a gran parte de bosque nativo. Siendo así que su valor F es mayor al grado de confianza conlleva a mencionar que se acepta la hipótesis nula para estos tratamientos de materia orgánica.

Los resultados que se lograron obtener de la determinación de Materia Orgánica del Suelo (MOS) para los suelos intervenidos en primera altura 6,18% el valor de la segunda altura fue de 4,58% y para la tercera altura fue de 5,96%. Para las zonas no intervenidas la cantidad de MOS en la primera altura fue de 6,28% para la segunda altura 6,39% y para la tercera altura se obtuvo un valor de 4,39%. estos valores indican que la materia orgánica que se encuentra en estos suelos es moderada debido a la altitud y el grado de humedad que éstas presentan y, como se mencionó anteriormente el grado de humedad y la cantidad de materia orgánica están relacionadas directamente por sus valores que en ambos casos representan una cantidad moderada.

Los resultados antes presentados fueron realizados utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ MOS} = \frac{\text{peso a } 105^{\circ}\text{C} - \text{peso a } 360^{\circ}\text{C}}{\text{peso a } 105^{\circ}\text{C}} * 100$$

4.6. Carbono Orgánico del Suelo

Tabla 18.

Resultados de Carbono Orgánico del Suelo (COS)

Carbono Orgánico en los suelos del Rucu Pichincha. Todos los valores de COS están medidos en porcentaje (%)					
Primera altura		Segunda altura		Tercera altura	
Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha	Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha	Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha	Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha	Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha	Suelo intervenido del páramo del Rucu Pichincha
6,21 ± 0,31	5,33 ± 0,19	8,73 ± 0,09	3,9 ± 0,16	6,33 ± 0,25	9,41 ± 0,19

Nota. Valores de la materia orgánica en los suelos del Páramo Rucu Pichincha en zonas intervenidas y no intervenidas con sus respectivos errores. Elaborado por los autores, 2023.

Tabla 19.

Análisis estadístico ANOVA para el Carbono orgánico

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	42,23	5	8,45	0,30	0,9030
Z	4,46	2	2,23	0,08	0,9241
S	0,46	1	0,46	0,02	0,9004
z*s	37,31	2	18,66	0,66	0,5323
Error	336,69	12	28,06		
Total	378,93	17			

Nota. Resultados del Análisis de la varianza (ANOVA) de carbono orgánico tanto en zonas intervenidas como en zonas no intervenidas del Volcán Rucu Pichincha. Elaborado por los autores, 2023.

Los resultados que se pueden apreciar en la tabla 19 corresponden al análisis ANOVA de la variable Carbono orgánico el mismo en el que se encuentra un valor que supera al nivel de significancia del 0,05 o 5% que corresponde al grado de confianza, por lo que, se considera que no existen diferencias significativas entre los suelos intervenidos y no intervenidos del Volcán Rucu Pichincha.

Los valores que se obtuvieron de COS en el páramo del Rucu Pichincha en los suelos intervenidos en la primera altura fue de 96,21% para la segunda altura se obtuvo un valor de 84,73% y para la tercera altura 77,78% como se puede observar en existió una disminución de COS en relación a las dos primeras mediciones. Para los suelos no intervenidos se lograron obtener para la primera altura 91,12% para la segunda altura 72,64% y para la tercera altura 91,41% como se puede observar en el gráfico de barras entre la segunda medición es baja en relación a las anteriores sin embargo todo estos valores indican que los suelos analizados en el páramo del Volcán Rucu Pichincha goza de una riqueza en contenido de carbono orgánico y estos se debe a los parámetros que fueron analizados en esta investigación los mismos que fueron indicados anteriormente que son moderadamente altos como es el caso de la humedad, es decir, la capacidad de almacenar agua que estos suelos mantienen y, que son indispensables en el ciclo del carbono.

Todos los resultados para el cálculo del porcentaje de CO y posteriormente el cálculo del porcentaje de COS fueron realizados por medio de las siguientes fórmulas:

$$\frac{\%MOS}{1,724} = \%CO \quad COS = \%CO * Da * m$$

4.7.Discusión

El proyecto “Páramos andinos, Ecología, hidrología y suelos de páramos” (Llambí, 2012) establece que los suelos existentes en los páramos presentan un potencial de Hidrógeno (pH) que varía entre 5 y 7, sin embargo, es posible encontrar valores más altos como sucede en el sur de Ecuador los cuales varían entre 3,9 a 5,8, por su parte el norte de Ecuador tiene valores que varían desde 5,3 hasta 6,3. Los análisis de pH que

presentaron las muestras obtenidas en el Páramo del Rucu Pichincha varían desde 6,04 hasta 7,728, estos valores dan a denotar que existe un grado más Neutro principalmente en la zona alta de la montaña.

La densidad que proponen los mismos autores expuestos anteriormente (Llambí et al., 2012) presentan bajan densidad principalmente valores que van desde 0,4 hasta 0,8 g/cm^3 y mencionan que la existencia de minerales produce una densidad que varía desde 1,1 hasta 1,8 g/cm^3 . Los valores de densidad aparente que se encontraron el páramo del Rucu Pichincha para suelos intervenidos presenta un promedio de 0,98 g/cm^3 y para los suelos no intervenidos presenta un promedio de 1,1 g/cm^3 . Así, los valores encontrados en primera, segunda y tercera altura para suelos intervenidos fueron de: 0,92 – 1,06 – 0,97 g/cm^3 respectivamente y para suelos no intervenidos las densidades que se lograron encontrar de igual manera para primera, segunda y tercera altura fueron los siguientes: 1,00 – 1,04 – 1,25 g/cm^3 respectivamente. Entonces se puede mencionar que los suelos del Rucu Pichincha tanto intervenidas como no intervenidas existe presencia de minerales y se comprueban con el proyecto propuesto por Llambí.

El mismo proyecto propuesto por Llambí en 2012 indican que el porcentaje de porosidad que debe existir para zonas no intervenidas pueden variar desde 60 a 90% los valores que se lograron obtener de los análisis en los suelos no intervenidos del páramo del Rucu Pichincha tienen un promedio de 60,62 es decir, están dentro del rango que propone LLambí. Para suelos intervenidos se presenta un promedio de 62,79% significando que están dentro de un rango de zonas no intervenidas, sin embargo, estos resultados podrían disminuir por la presencia de actividades antrópicas principalmente el turismo que existe.

Según Arcos en 2022, el porcentaje que debe existir de humedad en los suelos de los páramos y suelos no intervenidos debe ser de 66% y para un suelo intervenido debe ser de 44% estos como valores mínimos. Los resultados de humedad obtenidos en los suelos intervenidos y no intervenidos en el páramo del Rucu Pichincha presentan promedios de 32,48% y 29,90% respectivamente, es decir no entra dentro de los rangos propuestos por Arco debido a las actividades antrópicas que se realizan en los páramos del Rucu Pichincha.

Según Llambí (2012), estableció que la materia orgánica del suelo presenta valores que varían desde 1 a 5%, sin embargo, considera que podrían existir variaciones debido al efecto que produzcan las actividades antrópicas presentes en los páramos. Los resultados que se obtuvieron en los páramos del Rucu Pichincha para suelos intervenidos presentaron valores de 6,18 – 4,58 y 5,96 para primera segunda y tercera altura respectivamente y para suelos no intervenidos los valores que se obtuvieron fueron de 6,28 – 6,39 y 4,39 respectivamente. Llambí propone también que los valores para suelos no intervenidos pueden llegar a alcanzar el 44%.

La última variable que se consideró para realizar los análisis en los páramos del Rucu Pichincha fue Carbono Orgánico en el Suelo (COS) el cual, según Rosero, 2019, en su trabajo de investigación explica que las cantidades de COS va en dependencia del tipo de uso que se le dé al suelo, es decir que, que si al suelo se usa para cultivos y pastizales va a existir aumento de COS, esto para suelos intervenidos. Por otra parte, los autores Cabezas y Guevara en 2020, mencionan que existe pérdida de COS cuando los suelos son intervenidos con la presencia de cultivos y pastos y eso se debe a que cada 5 años existe un cambio en relación al COS.

Es así que, los resultados que se obtuvieron en el Páramo del Rucu Pichincha tienen valores de COS en suelos intervenidos para primera altura tienen un valor de 96,21 mg/ha

y en suelos no intervenidos presenta un valor de 106,33 mg/ha a pesar de que la diferencia entre suelos no es tan significativa la pequeña diferencia que existe se debe a la presencia de la población que cada vez comienzan a crear nuevas rutas de llegada hacia la cumbre del Rucu Pichincha. Así los valores que se obtuvieron para la segunda altura tanto en suelos intervenidos como no intervenidos correspondan a zonas donde los cultivos comienzan a tomar fuerza es así que los valores para ambas zonas son: 84,74 y 113,9 mg/ha como se puede apreciar el COS en esta parte del páramo y en suelo intervenido disminuye en relación con la de suelo no intervenido y se debe al desgaste del suelo posiblemente por erosión provocado por fertilizantes y desgaste del suelo generado por los cultivos y la presencia de poblaciones como el Barrio de Pablo Armero que cada día sigue en aumento quitándole cada vez mas espacio al páramo del Rucu Pichincha. Los valores que se obtuvieron para la tercera altitud tanto en suelo intervenido como suelo no intervenido son: 106,33 y 91,41 mg/ha la presencia de actividades antrópicas principalmente el cultivo y el aumento de la población hacen que los valores sean algo similares a los de la primera altitud.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Los análisis físico-químicos permitieron una correcta medición de la concentración de COS principalmente y de las demás variables propuestas en este proyecto de los cuales se comprobó que existe un decrecimiento de cobertura vegetal que es producido por las actividades antrópicas que ahí se realizan entre las cuales destaca principalmente las actividades de turismo como montar a caballo, caminar, tomar fotografías entre otros por lo que el Carbono Orgánico del Suelo en el Sector de Cruz Loma gracias a los análisis realizados en el laboratorio no indican que existen diferencias significativas entre las alturas, las actividades que allí se realizan a pesar de ser muy invasivas no han logrado que la concentración de Carbono disminuya ya que en esos sectores no se practica extracción de recursos naturales, sobrepastoreo o prácticas agrícolas no sostenibles.
- Mediante las visitas realizadas se comprobó que las actividades antropológicas realizadas en el sector son: agricultura, ganadería, turismo a gran escala, senderismo, presencia de vehículos, los cuales determinan la incidencia de pérdida de Carbono Orgánico del Suelo en el páramo, sin embargo,
- Al obtener los resultados se pudo determinar que a pesar de la cercanía de los puntos de estudio los suelos del páramo intervenidos tienen un grado de influencia importante, demostrando que las actividades antrópicas influyen en la pérdida de la calidad del suelo, por lo que se concluye que en estos lugares se debería dar importancia a establecer un programa de monitoreo para evaluar si existen evoluciones a futuro en cada una de las variables que fueron analizadas durante

este proyecto y así observar la respuesta que generan los seres humanos con respecto a las actividades antrópicas y así garantizar que los páramos se mantengan vigentes y no se deterioren.

- Se determinó que los nutrientes del suelo son afectados con las actividades antrópicas ya que la características físicas y químicas del suelo se ven afectadas evitando que los suelos del páramo se puedan regenerar normalmente con la fauna presente. Los análisis estadísticos realizados proporcionan un evidencia sólida que garantiza las diferencias significativas entre los suelos intervenidos y no intervenidos en los páramos del Volcán Rucu Pichincha que mediante la ANOVA se logró comprobar las medias de concentración que existen principalmente del Carbono orgánico y retención de agua en los diferentes suelos analizados, permitiendo determinar si las diferencias significativas analizadas corresponden a pruebas estadísticas significativas.

5.2.Recomendaciones

- Se recomienda tomar en cuenta el clima respecto al análisis de los suelos ya que estos se pueden ver afectados por las lluvias o por las temporadas de sequía.
- Rucu Pichincha es un sector que tiene una gran influencia de turistas, se recomienda que exista concientización sobre la conservación del páramo de este sector ya que al haber más personas puede haber más daños al ecosistema.
- Se recomienda realizar mayores investigaciones en los páramos de Quito.
- En base a los hallazgos obtenidos se recomienda optar por medidas de mitigación con la finalidad de conservar estos territorios y que tengan un adecuado manejo sostenible para que la salud del suelo se mantenga y así poder garantizar la sostenibilidad a mediano y largo plazo los ecosistemas que allí existen.

BIBLIOGRAFÍA

- Baretta, et al. (2014). Análisis de textura del suelo con hidrómetro: Modificaciones al método de Bouyoucus. *Ciencia e investigación agraria*, 41(2), 263-271.
- Burbano. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias agrícolas*, 33(2), 117-124.
- Burbano Orejuela, H. (2016). *The organic carbon of the soil in the field of nature and society*. In Suelos Ecuatoriales (Vol. 46).
- Castillo, L., Bojórquez, J., Hernández, A., & García, D. (2016). Contenidos de Carbono Orgánico en Suelos Bajo Diferentes Coberturas Vegetales y de Cultivo. *Cultivos Tropicales*, 72-78.
- Colom, F., García, J., & Jaramillo, J. (2003). *Manual del auxiliar de laboratorio*. MAD.
- Cotler y Etchavers. (2016). Carbono orgánico en suelos agrícolas de México: Investigación y políticas públicas. *Terra Latinoamericana*, 34(1), 125-138.
- Course Hero*. (16 de Julio de 2022). Obtenido de <https://www.coursehero.com/file/158883246/IX-sesi%C3%B3npdf/>
- Crespo, et al. (2014). Impactos del cambio de uso de la tierra sobre la hidrología de los páramos húmedos andinos. *Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos*. CONDESAN, Quito., 288-304.
- Domínguez Soto, et al. (2012). Sistema de Notación Munsell y CIELab como herramienta para evaluación de color en suelos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(1), 141-155.
- Encalada Vásquez, O. (2014). *La lengua en el patrimonio*. Azuay: Revista De La Universidad Del Azuay.
- Espinoza, et al. . (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Temas agrarios*, 23(2), 177-187.

- Eyherabide. (2014). Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo. *Ciencia del suelo*, 32(1), 13-19.
- FAO. (2015). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Gaibor, J. (2019). *Influencia del Uso del Suelo en la Infiltración del Agua de la Microcuenca Alta del Río Sábalo*. Valle Hermoso.
- García, N. (2013). *Química agrícola: química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Glatstein, et al. . (2023). Potencial de alcalinización de escorias siderúrgicas para el tratamiento de drenajes ácidos de minas. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 75(1).
- Gomez, V. (2019). *Las 6 actividades antrópicas principales y sus efectos*. Lifeder. Obtenido de <https://www.lifeder.com/actividades-antropicas/>
- González -Barrios, et al. (2012). Porosidad del suelo en tres superficies típicas de la cuenca alta del río Nazas. . *Tecnología y ciencias del agua*, 3(1), 21-32.
- González, et al. . (2007). El método del hidrómetro: base teórica para su empleo en la determinación de la distribución del tamaño de partículas de suelo. *Revista ciencias técnicas agropecuarias*, 16(3), 19-24.
- Guerrero, et al. (2021). Caracterización y clasificación geo ecológica y ambiental: humedales altoandinos de la provincia de Loja - Ecuador. *AXIOMA*.
- Horejuela, B. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 82-96.
- Hurtado Naranjo, M. A. (2022). *Análisis de la cantidad de carbono secuestrado en humedales altoandinos del páramo de Sayaro en el cantón Cayambe*. Quito.
- Izquierdo, J., & Arévalo, J. (2021). Determinación de la materia orgánica del suelo (MOS) por el método químico y por calcinación. *Revista Ingeniería y Región* , 20-28.

Joseph, E. (s.f.). *Manual de Laboratorio para Química: experimentos y teorías*. REVERTÉ S.A.

Leféve, et al. (2018). *Carbono Orgánico del Suelo: El potencial oculto*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Liscano, et al. (2017). *Muestreo de suelos, técnicas de laboratorio e interpretación de análisis de suelos*.

Llambí, L., Soto, A., Borja, P., Ochoa, B., Celleri, R., & Bievre, B. (2012). *Páramos Andinos: Ecología, hidrología y suelos de páramos*. In *Los suelos del Páramo*.

Loayza, et al. . (2020). Mapeo digital de carbono orgánico en suelos de Ecuador. *Ecosistemas*, 29(2), 1852-1852.

López- Pacheco, et al. . (2020). Evaluación del ciclo del nitrógeno en un suelo agrícola perturbado con compuestos Salfen de níquel y Zinc. *Biotecnia*, 22(3), 29-39.

Lozano, et al. . (1992). Balance sobre salinización y alcalinización en los suelos de la depresión de Baza (Granada). *Ars Pharmaceutica*, 33(1-2-3-4), 87-92.

Maldonado, E. (2019). *Impacto ambiental del visitante y capacidad de carga turística en el Área de Conservación Regional Huaytapallana* .

Martínez, et al. (2015). Regresión de las algas marinas en las islas Canarias y en la costa atlántica de la Península Ibérica por efecto del cambio climático. *Algas, Boletín de la Sociedad Española de Ficología*, 49, 5-12.

Martínez, et al. (2017). Ajuste en la Estimación de Carbono Orgánico por el Método de Calcinación en Molisoles del Sudoeste Bonaerense. *Ciencia Del Suelo*, 181-187.

Medina Valtierra, J. (2010). La Dieta del Dióxido de Carbono (CO₂). *Ciencia Tecnología* .

Meza, et al. . (2017). Importancia de los Servicios Ecosistémicos en un Paisaje Andino de la Sierra Central del Perú. *Leisa Revista de Agroecología*, 15-18.

Meztanza, et al. . (2019). Capacidad de carga turística para el desarrollo sostenible en senderos de uso público: un caso especial en la reserva de producción de fauna Cuyabeno, Ecuador. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales* , (3), 29.

Molinillo y Monasterio . (2002). *Patrones de Vegetación Y Pastoreo En Ambientes De Paramo*. Mérida: ECOTROPICOS.

Montico. (2021). El uso del suelo: cuando un recurso natural se transforma en recurso ambiental. *Anales de la ANAV*, 72.

Morales Bentacourt y Estévez Varón. (2006). *El páramo: ¿ecosistema en vía de extinción?* Luna Azul.

Nájera González, et al. . (2021). Cambio de cobertura y uso de suelo en la llanura costera asociados a procesos antropogénicos: caso San Blas, Nayarit. . *Madera y bosques*, 27(1).

Navarrete González, et al. . (2005). Páramos: hidrosistemas sensibles. *Revista de ingeniería*, 22, 64-75.

Ordoñez- Vargas, et al. (2023). Emisiones de gases de efecto invernadero por aplicación de excrementos bovinos al suelo. *Información tecnológica*, 34(1), 101-116.

Pagés, T., & Blasco Mínguez, J. (Dirección). (2008). *Phmetro* [Película].

Pinos Morocho, et al. (2021). *Suelos de páramo: Análisis de percepciones de los servicios ecosistémicos y valoración económica del contenido de carbono en la sierra sureste del Ecuador*. *Revistas de Ciencias Ambientales*.

Quichimbo, et al. . (2012). Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cárdenas, I., Crespo, P., & Célleri, R. (2012). Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. *Suelos Ecuatoriales* , 42(2), 138-153.

Ramírez, et al . (2011). Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. *Papeles de geografía*, (53-54), 77-88.

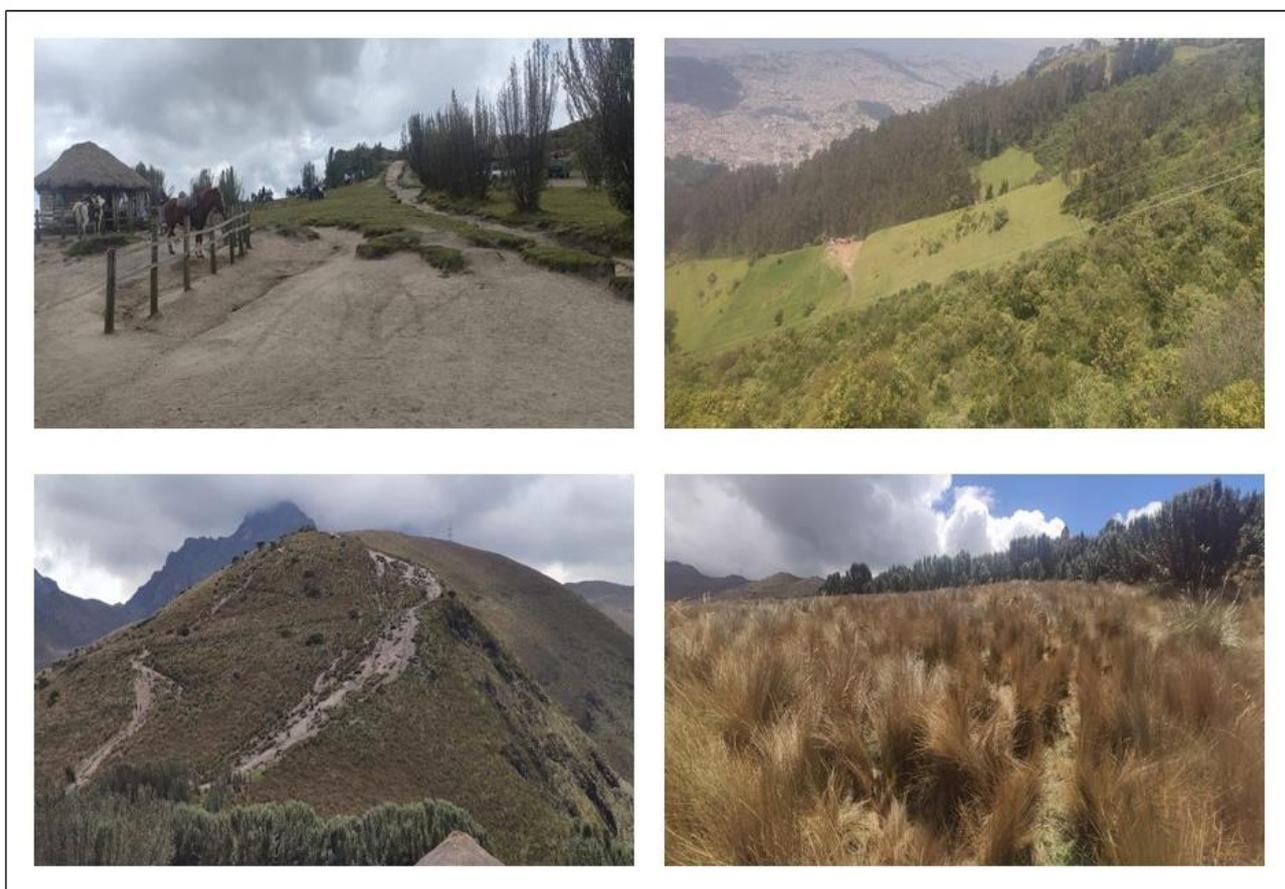
- Rueda. (2019). Aprovechamiento del suelo salino: agricultura salina y recuperación de suelos. *Apthapi*, 5(1), 1539-1563.
- Saynes Santillán, et al. . (2016). Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas de México. *Terra Latinoamericana*, 34(1), 83-96.
- Segura Castruita, et al. . (2005). CARBONO ORGÁNICO DE LOS SUELOS DE MÉXICO. *TERRA Latinoamericana*, 21-28.
- Sosa Rodríguez y García Vivas. (2019). Emisión de gases de efecto invernadero en el suelo bajo el uso de abonos verdes. *Agronomy Mesoamerican*, 767-782.
- Sundquist, & K, V. (2004). The geological history of the carbon cycle . *In Biogeochemistry* , 425-72.
- Torres, et al. . (2012). Evaluación del impacto de actividades antrópicas en el almacenamiento de carbono en biomasa vegetal en ecosistemas de alta montaña de Colombia. . *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 16(1), 132-142.
- Vásconez y Hofstede. (2006). Los páramos ecuatorianos. *Botánica Económica Los Andes Cent*, 91-109.
- Villaseñor, D. (2016). *Fundamentos y procedimientos para análisis físicos y morfológicos del suelo*. UTMACH.

ANEXOS

Anexo 1: Tabla de comparación de coeficientes

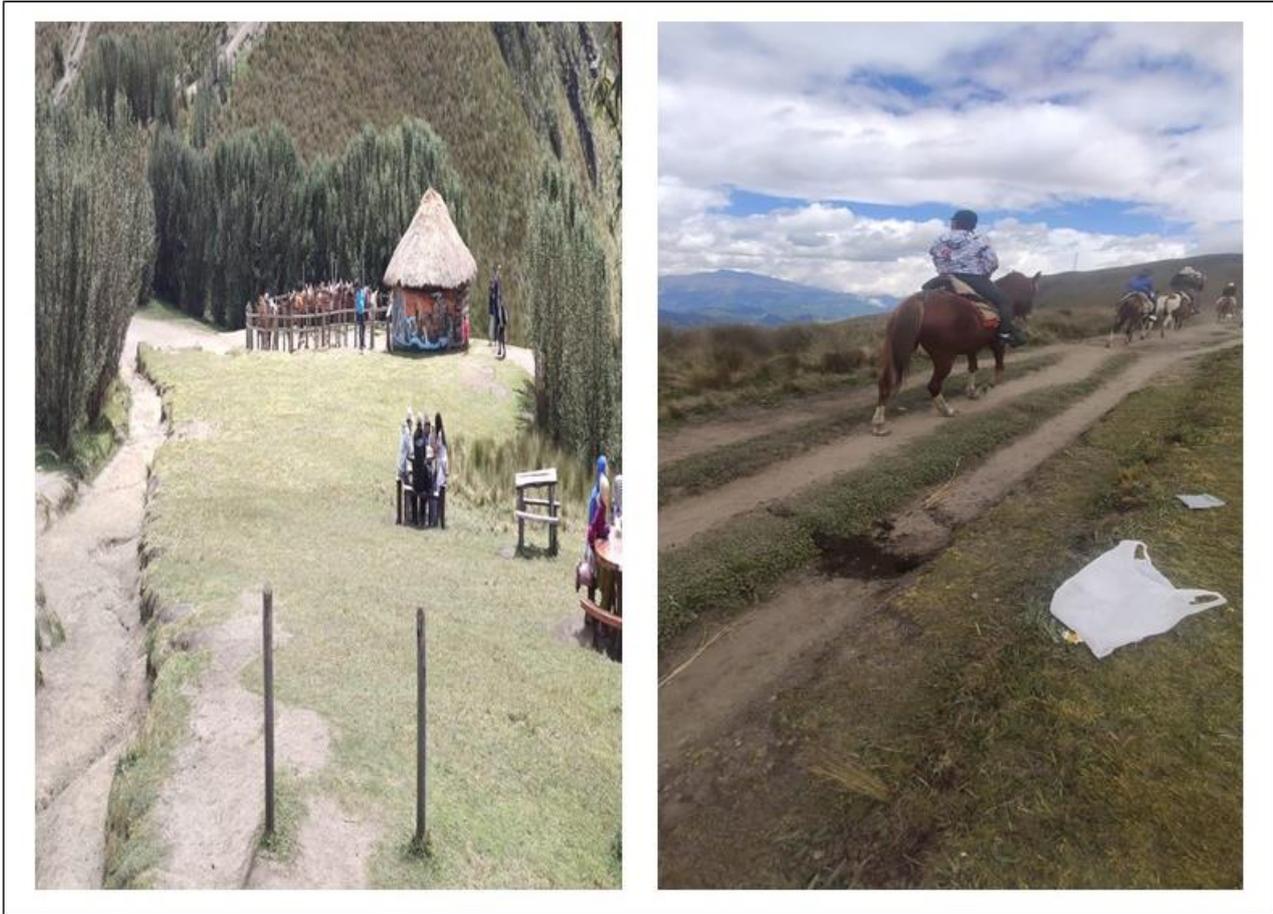
Valor del coeficiente de variación %	Interpretación del coeficiente	
	Variabilidad	Estabilidad
Igual a cero	Nula	Muy alta
Mayor de 0 hasta 20	Baja	Alta
Mayor de 20 hasta 60	Moderada	Moderada
Mayor de 60 hasta 90	Alta	Baja

Anexo 2: Áreas de suelos analizados



Nota. Fotografías de las zonas analizadas. Elaborado por: Los Autores.

Anexo 3: Actividades antrópicas realizadas en el páramo



Nota. Actividades antrópicas que se pueden observar que se realizan. Elaborado por: Los autores.

Anexo 4: Materiales utilizados por el método de barreno y pala



Nota. Las muestras se tomaron con la ayuda de barreno y pala

Anexo 5: Muestras etiquetadas



Nota. Muestras etiquetadas y empacadas en las fundas ziploc. Elaborado por: Los autores

Anexo 6: Pesaje de los materiales en fase de laboratorio



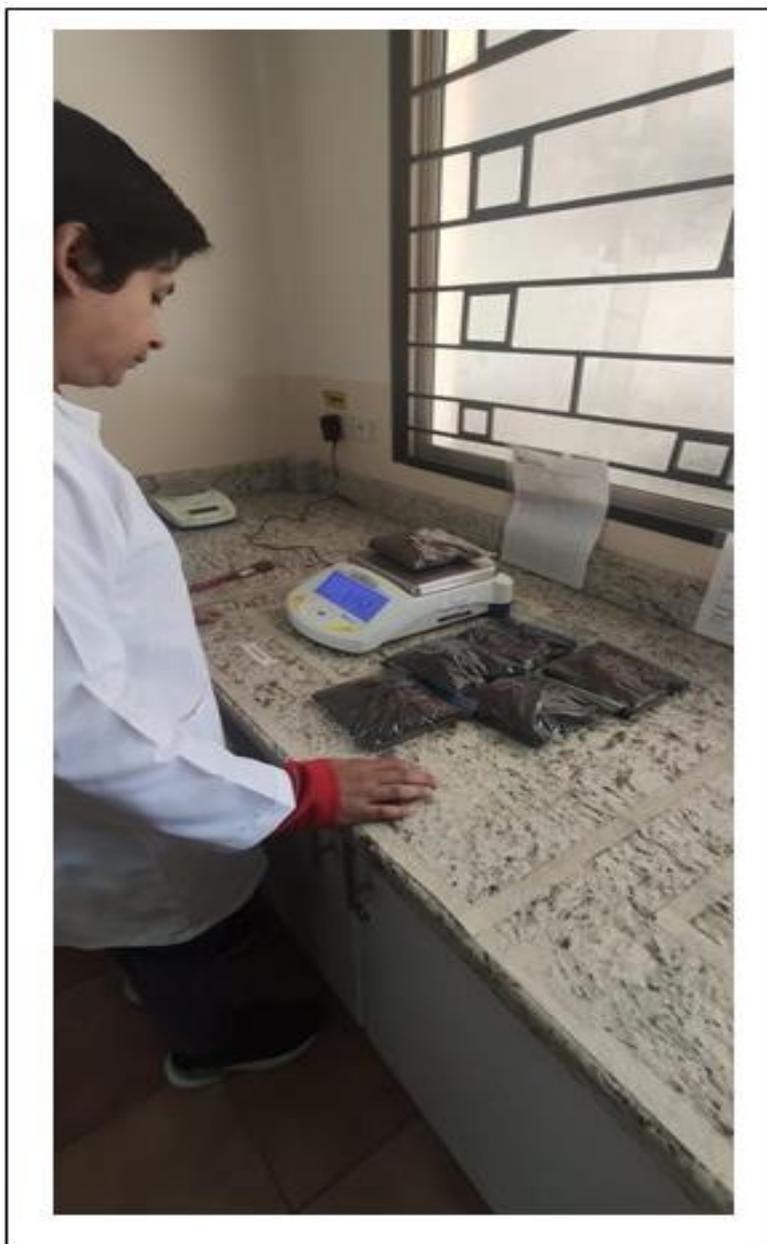
Nota. Pesaje de las muestras tomadas, del vaso de precipitación y traspaso de las muestras. Elaborado por: Los autores.

Anexo 7: Análisis físicos-químicos



Nota. Procedimiento del análisis del pH y conductividad de las muestras tomadas

Anexo 8: Pesaje de las muestras



Nota. Pesaje de las muestras para utilizarlas en los equipos del laboratorio

Anexo 9: Estufa y Mufla



Nota. Secado de las muestras con el uso de los equipos de laboratorio. Elaborado por:
Los Autores.