



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE QUÍMICA

**EVALUACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO EN DIFERENTES
FRACCIONES COMPUESTAS DEL SUELO DE PÁRAMO,
CHAMBO Y PUNGALÁ.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar al grado académico de:

QUÍMICA

AUTORAS:

LIZBETH ANATOLIA ALLAUCA ORTEGA

JENNIFER BELEN AYALA SANCHEZ

Riobamba – Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE QUÍMICA

**EVALUACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO EN DIFERENTES
FRACCIONES COMPUESTAS DEL SUELO DE PÁRAMO,
CHAMBO Y PUNGALÁ.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar al grado académico de:

QUÍMICA

AUTORAS: LIZBETH ANATOLIA ALLAUCA ORTEGA

JENNIFER BELEN AYALA SANCHEZ

DIRECTORA: DRA. MAGDY MILENI ECHEVERRÍA GUADALUPE PhD.

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, **Lizbeth Anatolia Allauca Ortega y Jennifer Belén Ayala Sánchez**

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

Nosotras, LIZBETH ANATOLIA ALLAUCA ORTEGA Y JENNIFER BELEN AYALA SANCHEZ, declaramos que el presente trabajo de integración curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autoras asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnico de Chimborazo.

Riobamba, 03 de agosto de 2021



Lizbeth Anatolia Allauca Ortega

060437028-8



Jennifer Belén Ayala Sánchez

180539437-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: el Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto de Investigación, “**EVALUACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO EN DIFERENTES FRACCIONES COMPUESTAS DEL SUELO DE PÁRAMO, CHAMBO Y PUNGALÁ**”, realizado por las señoritas: **LIZBETH ANATOLIA ALLAUCA ORTEGA Y JENNIFER BELEN AYALA SANCHEZ**, ha sido revisado minuciosamente 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.

	FIRMA	FECHA
Ing. Sofía Carolina Godoy Ponce. M. Sc PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: SOFIA CAROLINA GODOY PONCE	03/08/2021
Dra. Magdy Mileni Echeverría PhD. DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 Firmado electrónicamente por: MAGDY MILENI ECHEVERRIA GUADALUPE	03/08/2021
Ing. Andrés Agustín Beltrán Dávalos MIEMBRO DE TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: ANDRES AGUSTIN BELTRAN DAVALOS	03/08/2021

DEDICATORIA

A Dios por su protección y fuerza espiritual, pero de forma especial dedico este trabajo a mis padres por brindarme su apoyo económico y moral.

A mi hermana y hermano por ser mis modelos a seguir, quiénes me inspiran a seguir cumpliendo mis metas profesionales.

A mis familiares y a todas aquellas personas que me han brindado su apoyo, confianza y amistad.

Lizbeth

A Dios por ser el ente quien estuvo conmigo espiritualmente en todas las noches de desvelo y me dio fuerzas para seguir y no desmayar, ante las dificultades que día a día se presentaron.

A mis padres que fueron el pilar fundamental tanto en lo económico, sentimental y que con sus consejos formaron a la persona que soy actualmente, a mi hermano porque con sus ocurrencias me alegraba cuando estaba cansada, me inspiraba a seguir cumpliendo mis sueños y a todas las personas que me ayudaron en el trayecto cursado.

Jennifer

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, hermanos, familiares, amigos, maestros por acompañarme en cada paso dado, por el apoyo incondicional en cada tropiezo y victoria, pero fundamentalmente por el amor recibido.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la carrera de Química perteneciente a la Facultad de Ciencias por abrirme las puertas para formarme profesionalmente.

A mi tutora Dra. Magdy Echeverría al permitirme desarrollar el trabajo de integración curricular en el grupo de Investigación GIDAC, también, por su sabiduría, consejo y apoyo.

Al Ing. Andrés Beltrán como miembro de nuestra tesis, de igual manera al Ing. José Luis Herrera, Ing. Bryan Barragán, Ing. Franklin Cargua, Ing. Jorge Ilbay, Ing. Diego Damián, por compartir su valioso tiempo, sabiduría y dedicación para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Lizbeth

Agradezco a mis padres, hermano, incluidos los profesores que a lo largo de estos años se han convertido en mis amigos y familia, quienes me han dado su apoyo incondicional y amor.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la carrera de Química perteneciente a la Facultad de Ciencias por abrirme las puertas para formarme profesionalmente.

A mi tutora Dra. Magdy Echeverría al permitirme desarrollar el trabajo de integración curricular en el grupo de Investigación GIDAC, también, por su sabiduría, consejo y apoyo.

Al Ing. Andrés Beltrán como miembro de nuestra tesis, de igual manera al Ing. José Luis Herrera, Ing. Bryan Barragán, Ing. Franklin Cargua, Ing. Jorge Ilbay, Ing. Diego Damián, por compartir su valioso tiempo, sabiduría y dedicación para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Jennifer

TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
RESUMEN	xv
SUMARY.....	xvi
INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN	2
OBJETIVOS.....	3
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
1.1. Antecedentes	4
1.2. Bases teóricas	7
1.2.1. <i>Cambio climático</i>	7
1.2.2. <i>Edafología</i>	7
1.2.3. <i>Suelo</i>	7
1.2.4. <i>Suelo fértil</i>	8
1.2.5. <i>Páramos</i>	8
1.2.6. <i>Tipos de suelos</i>	10
1.2.7. <i>Zonas intervenidas</i>	11
1.2.8. <i>Zonas no Intervenidas</i>	12
1.2.9. <i>Propiedades químicas del suelo</i>	12
1.2.10. <i>Propiedades físicas del suelo</i>	14
1.2.11. <i>Materia Orgánica del suelo</i>	16
1.2.12. <i>Carbono orgánico</i>	17
1.2.13. <i>Ciclo del carbono</i>	17
1.3. Bases conceptuales.....	19
1.3.1. <i>Páramo alto andino</i>	19
1.3.2. <i>Suelo de páramo</i>	19
1.3.4. <i>Carbono orgánico del suelo de páramo</i>	19
1.3.5. <i>Método LOI</i>	20

1.3.6.	<i>Fracciones del suelo de páramo</i>	20
1.3.7.	<i>Capacidad de intercambio catiónico efectiva</i>	20

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	21
2.1.	Área de estudio	21
2.2.	Población y muestra	22
2.2.1.	<i>Población</i>	22
2.2.2.	<i>Tamaño de la muestra</i>	22
2.3.	Tipo y diseño de la investigación	23
2.3.1.	<i>Tipo de Investigación</i>	23
2.3.2.	<i>Variables</i>	23
2.3.3.	<i>Diseño de la investigación</i>	24
2.3.4.	<i>Selección de la muestra</i>	28
2.4.	Materiales y Equipos	31
2.4.1.	<i>Materiales</i>	31
2.4.2.	<i>Equipos</i>	32
2.5.	Métodos y técnicas	32
2.5.1.	<i>Fase de campo</i>	32
2.5.2.	<i>Fase de laboratorio</i>	33

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	38
3.1.	Análisis estadístico de carbono orgánico	38
3.1.1.	<i>Análisis de normalidad del porcentaje de carbono en el sector Chambo</i>	38
3.1.2.	<i>Análisis de ANOVA del porcentaje de carbono en el sector Chambo</i>	38
3.1.3.	<i>Análisis de Normalidad de los Residuos del porcentaje de carbono en el sector Chambo</i>	39
3.1.4.	<i>Análisis de Homogeneidad de Varianzas (Homocedasticidad) de residuos del porcentaje de carbono en el sector Chambo</i>	39
3.1.5.	<i>Análisis de ANOVA de datos transformados en el sector Chambo</i>	40
3.1.6.	<i>Análisis de Normalidad de los residuos del modelo ANOVA de los datos transformados</i>	40

3.1.7. <i>Análisis de Homogeneidad de Varianzas en los residuos del modelo ANOVA de los datos transformados</i>	41
3.1.8. <i>Gráficos de efectos activos en el sector de Chambo</i>	41
3.1.9. <i>Análisis de normalidad de datos del porcentaje de carbono en el sector Pungalá</i>	44
3.1.10. <i>Análisis de ANOVA de datos del porcentaje de carbono</i>	45
3.1.11. <i>Análisis de Normalidad de los Residuos del porcentaje de carbono de las diferentes fracciones compuestas del sector Pungalá</i>	45
3.1.12. <i>Análisis de Homogeneidad de Varianzas (Homocedasticidad) de residuos del porcentaje de carbono del sector Pungalá</i>	46
3.1.13. <i>Gráficos de efectos activos en el sector de Pungalá</i>	46
3.1.14. <i>Análisis de carbono orgánico por fraccionamiento</i>	48
3.1.15. <i>Análisis de normalidad de datos en el sector Chambo y Pungalá</i>	49
3.1.16. <i>Análisis del ANOVA de zona intervenida y no intervenida de Chambo</i>	49
3.1.17. <i>Análisis de comparaciones múltiples de zona intervenida y no intervenida de Chambo</i>	49
3.1.18. <i>Gráfico de efecto activo en la zona intervenida y no intervenida de Chambo</i>	50
3.1.19. <i>Análisis del ANOVA de zona intervenida y no intervenida de Pungalá</i>	51
3.1.20. <i>Análisis de comparaciones múltiples zona intervenida y no intervenida de Pungalá</i>	52
3.1.21. <i>Gráficos de efectos activos en la zona intervenido y no intervenida de Pungalá</i>	52
3.2. <i>Estadístico descriptivo de cationes y CICE respecto al sector (Chambo y Pungalá)</i> ..	54
CONCLUSIONES.....	56
RECOMENDACIONES.....	57
GLOSARIO	
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Superficie de páramos en América Latina	9
Tabla 2-1:	Clasificación de los páramos.....	9
Tabla 3-1:	Clasificación del suelo en base a USDA	13
Tabla 4-1:	Clasificación por tamaños de partículas de suelos-USDA	15
Tabla 5-1:	Contenido de materia orgánica	16
Tabla 1-2:	Tratamientos para el suelo de Chambo	24
Tabla 2-2:	Tratamiento para el suelo de Pungalá	26
Tabla 3-2:	ANOVA: Modelo factorial con tres factores.....	27
Tabla 4-2:	ANOVA: Modelo factorial con un solo factor	28
Tabla 5-2:	Descripción de la selección de la muestra	28
Tabla 6-2:	Coordenadas geográficas del Sector Chambo	29
Tabla 7-2:	Coordenadas geográficas del Sector Pungalá.....	30
Tabla 1-3:	Prueba de hipótesis de Anderson-Darling para determinar normalidad en los datos de Chambo.....	38
Tabla 2-3:	Tabla ANOVA del porcentaje de COS de Chambo, frente a las variables de Intervención, Altitud y Profundidad.....	38
Tabla 3-3:	Prueba de Anderson-Darling para los residuos del ANOVA	39
Tabla 4-3:	Prueba de Bartlett para los residuos del ANOVA	39
Tabla 5-3:	Tabla ANOVA de la transformación logarítmica del porcentaje de COS frente a la Intervención, Altitud y Profundidad en Chambo.....	40
Tabla 6-3:	Prueba de Normalidad de los residuos del ANOVA con los datos transformados de Chambo.....	40
Tabla 7-3:	Prueba de Bartlett de los residuos del ANOVA con los datos transformados de Chambo.....	41
Tabla 8-3:	Prueba de hipótesis de Anderson-Darling para determinar normalidad en los datos de Pungalá	44
Tabla 9-3:	Tabla ANOVA del porcentaje de COS de Pungalá, frente a las variables de Intervención, Altitud y Profundidad.....	45
Tabla 10-3:	Prueba de Anderson-Darling para los residuos del ANOVA respecto al sector Pungalá	45
Tabla 11-3:	Prueba de Bartlett para los residuos del ANOVA respecto al sector Pungalá ...	46
Tabla 12-3:	Prueba de hipótesis de Anderson-Darling para determinar normalidad en los datos conjuntos de Chambo y Pungalá	49
Tabla 13-3:	Análisis del ANOVA de zona intervenida y no intervenida de Chambo	49

Tabla 14-3:	Comparaciones múltiples de fracciones granulométricas de zona intervenida y no intervenida de Chambo	49
Tabla 15-3:	Análisis del ANOVA de zona intervenida y no intervenida de Pungalá.	51
Tabla 16-3:	Comparaciones múltiples zona intervenida y no intervenida de Pungalá.	52

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Distribución de páramos de América Latina	9
Figura 2-1:	Ciclo de carbono	18
Figura 1-2:	Mapa de zona de estudio Chambo y Pungalá.....	21
Figura 2-2:	Mapa de muestreo de Chambo y Pungalá	29
Figura 3-2:	Recolección de la muestra de suelo y utilización del barreno	33
Figura 4-2:	Medición de pH y CE	34
Figura 5-2:	Tamizaje	35
Figura 6-2:	Colocación de crisoles en la mufla.....	36
Figura 7-2:	Envío de muestras a LABSU	37

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1:	Composición del suelo.....	8
Gráfico 1-2:	Estructura de conglomerado.....	32
Gráfico 1-3:	Efecto del factor Altitud respecto al COS.....	41
Gráfico 2-3:	Efecto del factor Profundidad respecto al COS.....	42
Gráfico 3-3:	Efecto del factor Intervención respecto al COS.....	43
Gráfico 4-3:	Efecto de la Interacción entre los factores Altitud y Profundidad.....	44
Gráfico 5-3:	Efecto del factor Altitud respecto al COS del sector Pungalá.....	46
Gráfico 6-3:	Efecto de factor Profundidad respecto al sector Pungalá.....	47
Gráfico 7-3:	Efecto del factor Intervención respecto al sector Pungalá.....	48
Gráfico 8-3:	Carbono orgánico en las diferentes fracciones compuestas de zona intervenida y no intervenida de Chambo.....	50
Gráfico 9-3:	Efecto activo en la zona intervenida y no intervenida en Pungalá.....	52
Gráfico 10-3:	Fracciones compuestas de Chambo y Pungalá.....	53
Gráfico 11-3:	Estadístico descriptivo de los promedios de cationes y CICE respecto al sector (Chambo y Pungalá).....	54
Gráfico 12-3:	Estadístico descriptivo de los promedios de cationes y CICE de acuerdo a la intervención respecto al sector (Chambo y Pungalá).....	54

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: INSPECCIÓN DEL LUGAR DE MUESTREO

ANEXO B: HERRAMIENTAS PARA EL MUESTREO

ANEXO C: TOMA DE MUESTRA

ANEXO D: ACTIVIDADES EN EL LABORATORIO

ANEXO E: INFORME DE CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO EFECTIVA
POR LABSU

ANEXO F: REPORTE URKUND

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

C:	Carbono
CE:	Conductividad eléctrica
CIC:	Capacidad de intercambio catiónico
CICE:	Capacidad de intercambio catiónico efectiva
pH:	Potencial de hidrógeno
CO:	Carbono Orgánico
COS:	Carbono Orgánico del Suelo
CO₂:	Dióxido de carbono
ESPOCH:	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
GIDAC:	Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente Y Cambio Climático
GPS:	Geoposicionador
ISSS:	International Society of Soil Science
LABSU:	LABORATORIO AMBIENTAL, suelos, agua, alimentos, emisiones y ruido
LOI:	Loss on ignition (perdida por ignición)
MO:	Materia orgánica
m.s.n.m:	Metros sobre nivel del mar
n:	Tamaño de muestra
USDA:	United States Department of Agricultura
ZI:	Zona intervenida
ZNI:	Zona no intervenida

RESUMEN

El páramo alto andino del Ecuador es un sistema megadiverso que juega un papel importante en el cambio climático, al ser considerado como una reserva de carbono orgánico. El objetivo del presente estudio es evaluar la cantidad de carbono orgánico que se encuentran en las diferentes fracciones compuestas del suelo de páramo en zonas intervenidas y no intervenidas de Chambo y Pungalá, provincia de Chimborazo. El área total de estudio es 42.365 ha: en Chambo 15.900 ha y Pungalá 26.465 ha, con el diseño experimental se determinó 75 puntos de monitoreo a 8 altitudes que van desde 2600-4200m.s.n.m, las muestras se recolectan a dos profundidades 0-30 cm y 30-60 cm (protocolo GIDAC), se aplicó fraccionamiento granulométrico (um) para diferentes partículas y la metodología de pérdida por ignición con el fin de estimar el carbono del suelo en los diferentes tamaños de partículas; a su vez, se analizó la capacidad de intercambio catiónico efectiva a profundidad de 0-30 cm por el método de referencia normalizado-PEE-LABSU. El análisis estadístico ANOVA, indica que el carbono orgánico del suelo es significativo para: profundidad, piso altitudinal, intervención y fracciones compuestas; en cuanto a la capacidad de intercambio catiónico efectiva a través de estadística descriptiva se determinó en Pungalá el mayor valor (23.10 cmol/kg) respecto a Chambo (18.98 cmol/kg). Se concluye que existe diferencia significativa en el contenido de COS en la fracción granulométrica en zonas no intervenidas (2000 µm) y zonas intervenidas (53 µm), por otro lado, la capacidad de intercambio catiónico efectiva en los dos sectores son altos en zonas intervenidas con respecto a zonas no intervenidas. Se recomienda difundir los resultados obtenidos, a la comunidad científica, GADS, pobladores de Chambo y Pungalá, por la importancia de la conservación de los páramos.

Palabras clave: <CARBONO ORGÁNICO>, <FRACCIONES COMPUESTAS>, <ZONA INTERVENIDA>, <ZONA NO INTERVENIDA>, <PÁRAMO ANDINO>, <INTERCAMBIO CATIONICO EFECTIVA>.



Firmado electrónicamente por:
**HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA**

1380-DBRA-UPT-2021

2021-07-15

SUMMARY

The objective of this study is to evaluate the amount of organic carbon found in the different fractions of the soil of the paramo in the intervened and non-intervened areas of Chambo and Pungalá, in the province of Chimborazo. The total study area is 42,365 ha, in Chambo 15,900 ha, and Pungalá 26,465 ha. With the experimental design, 75 monitoring points were determined at 8 altitudes ranging from 2600 to 4200 m.a.s.l. The samples were collected at two depths 0-30 cm and 30-60 cm (GIDAC protocol), granulometric fractionation (μm) was applied for different particles and the loss on ignition method to estimate the soil carbon in the different particle sizes. In turn, the effective cation exchange capacity was analyzed at a depth of 0-30 cm by the standard reference method-PEELABSU. The ANOVA statistical analysis indicates that soil organic carbon is significant for depth, altitude floor, intervention, and composite fractions. Regarding the effective cation exchange capacity through descriptive statistics, the highest value of (23.10 cmol / kg) was determined in Pungalá concerning Chambo (18.98 cmol / kg). It is concluded that there is a significant difference in the COS content in the granulometric fraction in non-intervened areas (2000 μm) and intervened areas (53 μm), on the other hand, the effective cation exchange capacity in the two sectors is higher in areas intervened to non-intervened areas. It is recommended to disseminate the results obtained to the scientific community, GADS, residents of Chambo and Pungalá, due to the importance of the conservation of the paramos.

Keywords: <ORGANIC CARBON> <COMPOSITE FRACTIONS> <SOIL>
<ANDEAN PARAMETER> <EFFECTIVE CATIONIC EXCHANGE>.

INTRODUCCIÓN

Los páramos son ecosistemas biodiversos neotropicales poco estudiados pero con características únicas, poseen un clima tropical de alta montaña; frío, húmedo y con nubosidades, es por esta razón, que regulan los flujos hídricos esenciales para el ser humano, la degradación de la materia orgánica, la acumulación del carbono orgánico en el suelo, el cambio climático y el ciclo de los nutrientes esenciales para las plantas (Correa et al. 2020, pp. 3-56). La mayoría de los páramos se encuentra en Ecuador (39.8%) y Colombia (30.5%), aunque también los hay en el norte de Perú (24,6%) y occidente de Venezuela (5,2%), refiriéndonos en América Latina (Giné y Sánchez, 2015, pp. 369-388).

En la actualidad en la provincia de Chimborazo, sectores Chambo y Pungalá se está observando un grave problema que es la pérdida de carbono orgánico en el suelo de estos páramos debido a varias circunstancias como el aumento de actividades antropogénicas que cada vez siguen arrasando con los mismos, contribuyendo al cambio climático de manera involuntaria, ya que los páramos son considerados sumideros de carbono que una vez perdidos es difícil volver a recuperarlos (Lefèvre et al., 2017, pp.5-47). Es por ello que, en este trabajo se busca determinar la cantidad de carbono orgánico en las distintas fracciones del suelo de páramo en zonas intervenidas y no intervenidas de Chambo y Pungalá, que influyen en los procesos de degradación de los suelos.

La intervención del ser humano, es el ente principal que produce la disminución de carbono orgánico en el suelo de páramo Chambo y Pungalá, se ha observado que la mayoría de personas que habitan en estos sectores se dedican a la agricultura que incluye la deforestación, labranza, pastoreo, quema, conllevando al avance de la frontera agrícola, entre otras actividades, debido a que este es su único sustento económico, otro factor influyente son los factores ambientales como los vientos y tormentas que provocan la erosión del suelo (Robert, 2002, pp.5-8).

Los principales efectos negativos que produce la pérdida de carbono orgánico en el suelo de páramo, están relacionados con la liberación de dióxido de carbono a la atmosfera, la cual aumenta el efecto invernadero ocasionando alteraciones en el clima como las olas de calor, precipitaciones fluviales inesperadas, deshielo polar, extinción de animales , contaminación entre otras (Mondragón et al., 2019, pp. 52-57).

¿Qué cantidad de carbono orgánico se encuentran en las diferentes fracciones compuestas del suelo de páramo en zonas intervenidas y no intervenidas de Chambo y Pungalá?

JUSTIFICACIÓN

La conservación de los páramos es realmente importantes dado que son considerados como reguladores de los sistemas y son la segunda reserva más grande de carbono orgánico, poseen diversidad biológica, a causa de diferentes factores pero los más importantes la baja temperatura y la descomposición lenta de herbazales de páramos; es por ello que al conservar los suelos de páramo se regulan los sistemas como la conservación de dióxido de carbono y se reduce el efecto invernadero (Ayala et al., 2014, pp. 45-52).

En los últimos años se han desarrollado investigaciones en torno a la medición y monitoreo del carbono orgánico de los páramos para identificar sumideros y flujo de carbono (Castañeda y Montes, 2017, pp. 210-221). En este contexto el presente estudio tiene un impacto social aportando así con la evidencia científica y la información actualizada de la cantidad de carbono orgánico almacenado en las diferentes fracciones del suelo de páramo en zonas intervenidas y no intervenidas de Chambo y Pungalá, para que los pobladores y comunidades tomen conciencia y autoridades pertinentes generen nuevas políticas públicas ambientales que ayuden a su respectiva conservación.

Al no existir estudios previos a nivel nacional e internacional del fraccionamiento de carbono orgánico en los páramos de Chambo y Pungalá, su desarrollo es limitado pero factible de realizarse por cuanto el grupo de investigación y desarrollo para el ambiente y cambio climático (GIDAC) de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), se encuentra desarrollando el programa de investigación “Building a Resilient Future for the Andean Paramo Ecosystem of Ecuador” y proyecto de facultad: “Evolución y Secuestro de Carbón Orgánico del Suelo en los Ecosistemas Páramo de Cuenca del río Chambo” que es auspiciante del trabajo de integración curricular, además de ello se cuenta con el apoyo técnico del Laboratorio de Investigación y Desarrollo Ambiental de la ESPOCH.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la cantidad de carbono orgánico que se encuentran en las diferentes fracciones compuestas del suelo de páramo en zonas intervenidas y no intervenidas de Chambo y Pungalá, provincia de Chimborazo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar el contenido de carbono orgánico en las diferentes fracciones compuestas del suelo de páramo de zonas intervenidas y no intervenidas de Pungalá.
- Comparar el contenido de carbono orgánico en las diferentes fracciones compuestas del suelo de páramo de zonas intervenidas y no intervenidas de Chambo.
- Analizar la capacidad de intercambio catiónico efectiva en los suelos del páramo Chambo y Pungalá.

HIPÓTESIS

Hipótesis nula

No existe diferencia significativa del contenido de carbono orgánico en las diferentes fracciones compuestas del suelo de páramo en zonas intervenidas y no intervenidas de Chambo y Pungalá.

Hipótesis alternativa

Existe diferencia significativa del contenido de carbono orgánico en las diferentes fracciones compuestas del suelo de páramo en zonas intervenidas y no intervenidas de Chambo y Pungalá.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

Correa et al. (2020, pp. 3-56) en la investigación “A concerted research effort to advance the hydrological understanding of Tropical Páramos” indican que los páramos son considerados ecosistemas biodiversos neotropicales muy poco estudiados pero con características únicas, poseen un clima tropical de alta montaña; frío, húmedo y con nubosidades, es por esta razón, que regulan los flujos hídricos esenciales para el ser humano, la degradación de la materia orgánica, la acumulación del carbono orgánico en el suelo, el cambio climático y el ciclo de los nutrientes esenciales para las plantas. A su vez Giné y Sánchez (2015, pp. 369-388), “El páramo andino: características territoriales y estado ambiental. Aportes interdisciplinarios para su conocimiento” exponen que es un espacio cultural, político e histórico con actividades antropológicas entre las cuales se pueden observar la agricultura, pesca, ganadería entre otros.

Ayala et al. (2014, pp. 45-52) “Cuantificación del carbono en los páramos del parque nacional Yacuri, provincias de Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador” hace mención que el manejo eficiente de los páramos ayuda a la conservación del carbono orgánico que se deposita en estos suelos, sin embargo si no se presta la atención adecuada el carbono fácilmente se libera a la atmosfera en forma de dióxido de carbono $CO_2(g)$ produciendo el efecto invernadero.

En el estudio realizado por Castañeda y Montes (2017, pp. 210-217), referente al “Carbono almacenado en páramo andino”, centran su investigación en el carbono orgánico almacenado en la vegetación propia del entorno y suelos, relacionando la influencia de las actividades humanas con la distribución de la materia orgánica, reconociendo que al reducir la cobertura natural del suelo se libera el carbono a la atmosfera y puede reducir significativamente los niveles de carbono orgánico.

Martínez et al. (2017, pp. 49-55) en su estudio “Estimating soil organic carbon in Mollisols and its particle-size fractions by loss-on-ignition in the semiarid and semihumid Argentinean Pampas”, hacen mención que no existe literatura reportada usando LOI en materia orgánica particulada, es por ello que el objetivo de su investigación fue utilizar el método LOI para determinar la materia orgánica, por ende el carbono orgánico en cada fracción y en la totalidad del suelo, en tal sentido se obtuvo tres tipos de granulometría (2000-105 μm , 105-53 μm y <53 μm), partículas gruesas, partículas finas y partículas muy finas a través de un fraccionamiento físico-húmedo, concluyendo que el método LOI puede predecir con exactitud el CO en el tamaño de partículas de 105-2000 μm y que no existe diferencia significativa entre fracciones, además sugieren que el método debe ser utilizado cuando se requiere aproximaciones.

Estudios realizados por Six et al. (1973, pp. 94-98), "Estructura del suelo y materia orgánica: Distribución de clases de tamaño agregado y carbono asociado a agregados" analizaron tres usos de suelo: vegetación nativa, siembra directa y labranza convencional; las muestras recolectadas fueron separadas en cuatro tamaños de partículas (<53, 53–250, 250–2000 y >2000 µm) por tamizado húmedo, concluyendo que en suelos dominados por arcilla, el contenido de carbono en macro agregados fue 1,65 veces mayor que en los micro agregados mientras que en un suelo mixto el C no incrementa, es por ello que al aumento de la intensidad del cultivo conduce a una pérdida de macro-agregados ricos en carbono.

Lluga y Duche (2020, pp. 16-20), "Estimación de carbono orgánico total en el suelo y biomasa del páramo andino de Yasipan y Atillo" utilizaron el método Loss Ignition para estimar el carbono orgánico total (COT) en el suelo de Atillo-Yasipan a una profundidad de 0-30 cm y 30-60 cm, para la investigación los factores significativos son la profundidad, piso altitudinal y lugar de estudio por lo consiguiente los ecosistemas andinos almacenan una gran cantidad de carbono orgánico ayudando aminorar el cambio climático.

También Solís et al. (2014, pp. 5-11), "Carbono orgánico del suelo en rodales silvícolas del ejido La Victoria, Pueblo Nuevo, Durango", indica que el carbono orgánico tiene una estrecha relación con la profundidad y demuestra que la mayor cantidad de carbono orgánico se encuentra a profundidades menores (0-20 cm) y disminución de carbono al aumentar la profundidad.

Resultados: "Quantification of organic carbon stored in the soil in the paramo of Igualata, Chimborazo province-Ecuador" indican que el contenido promedio de carbono orgánico en el páramo Igualata aumento a mayor altitud y disminuyo con la profundidad del suelo (Echeverría et al., 2018, pp. 2-8).

Gerzabek et al.(2001, pp. 352-358), "Soil Organic Matter Pools and Carbon-13 Natural Abundances in Particle-Size Fractions of a Long-Term Agricultural Field Experiment Receiving Organic Amendments" plantean que el fraccionamiento de la materia orgánica es un indicador de la calidad del suelo debido a que modifica las propiedades físicas, químicas y biológicas a la vez son utilizadas para entender la dinámica del carbono, las fracciones de limo cumplen la función de sumideros de carbono temporales y la arena puede ser indicador sensible a los cambios en el estado del suelo en respuesta a las actividades antropogénicas.

Matus y Maire (2000, pp.112-126), con el tema de "Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno" mencionan que las partículas de arcilla y limo disminuyen a medida de que las fracciones aumentan en el suelo, en tal medida el C en las fracciones de arcilla y limo baja al momento que se incrementa las fracciones en el suelo.

En el estudio de Ketterings et al. (2014, pp. 230-236), "A Simple Method for Estimating Effective Cation Exchange Capacity, Cation Saturation Ratios, and Sulfur Across a Wide Range of Soils", Ross y Kettering (2011, pp. 75-86), indica no utilizar el método de suma para determinar la

capacidad de intercambio catiónico efectiva cuando el pH es superior a 7.5 o cuando ha sido encalado o fertilizado.

Los resultados de Borja et al. (2008, pp. 7-12), “Características Físico-Químicas de Histosoles y Andosoles de los páramos de Quimsacocha, Ecuador”, indican que, el páramo Quimsacocha tiene una capacidad de intercambio catiónico promedio en andosoles de 14.5 meq/100ml y para los histosoles de 5.92 meq/100ml, el catión calcio predomina en estos tipos de suelo seguido por el catión magnesio pero dependen en gran medida de la cantidad de carbono (C) y del pH.

La investigación “Chemical characterization and anion exchange properties of a west Tennessee loess soil” realizada por Ottinger (2013, pp. 26-58), en 10 parcelas a diferentes profundidades 245 a 261cm, 213 a 229 cm, 15 a 30 cm, detectó que la capacidad de intercambio catiónico efectiva (ECEC) promedio es alta, distribuido en 78% Ca, 6.8% K, 14.8% Mg, 0.4% Na, concluyendo que a mayor profundidad menor concentración de calcio, mayor concentración de potasio y mayor concentración de magnesio. Coincidiendo con el estudio de Liebenberg et al. (2020, pp. 1-17), “Extent of soil acidity in no-tillage systems in the western cape province of south africa” que indica que a mayor profundidad menor concentración de calcio y magnesio.

Jaremko y Kalembsa (2014, pp. 487-498), “A comparison of methods for the determination of cation exchange capacity of soils”, e indica que los valores de cationes van en orden decreciente Ca (56-96%), Mg (6-32%) y potasio (0.3-12%), sin embargo, estos resultados dependen de las propiedades fisicoquímicas de los suelos, la capacidad de intercambio y método utilizado para no sobreestimar sus valoraciones, finalmente menciona que el contenido de carbono orgánico aumenta en los sitios cargados negativamente de materia orgánica, por lo tanto aumenta la capacidad de intercambio catiónico efectiva.

La investigación realizada por Solly et al. (2020, pp. 1-12), con el tema “A Critical Evaluation of the Relationship Between the Effective Cation Exchange Capacity and Soil Organic Carbon Content in Swiss Forest Soils”, en los suelos no fertilizados ni encalado, considerando muestras a intervalos de profundidad de 0-30 cm, 30-120 cm y 0-120cm, concluyen que la materia orgánica no contribuye de manera significativa en la capacidad de intercambio catiónica efectiva en suelos a una profundidad mayor a 30 cm, pero si a una profundidad de 0-30 cm y que la capacidad de intercambio catiónico efectiva se relaciona con el COS porque los cationes como el Ca^{2+} forman complejos organometálicos, el Na^{1+} no forma enlaces iónicos y el K^{1+} solo participa en ciertos complejos, estos a su vez permiten proteger a los compuestos orgánicos del suelo y con ello preservar el COS.

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Cambio climático

Semarnat (2009, p. 2), plantea un concepto del cambio climático entendiéndose como: “todo cambio que ocurre en el clima a través del tiempo es resultado de la variabilidad natural o de las actividades humanas”, y sus efectos se evidencian al monitorear la temperatura superficial y marítima, se sabe que naturalmente varían, sin embargo, eruditos indican que las actividades antrópicas son los principales productores de CO₂ causante del efecto invernadero en el planeta. Los efectos del calentamiento global afectan negativamente a la ganadería, pesca y en especial a la agricultura debido que disminuye la concentración de carbono orgánico provoca rendimientos bajos en producción, ausencia de macro-microorganismos y pérdida de ecosistemas, reflejándose 1.8 veces más en tierras áridas que en tierras húmedas; los suelos áridos se propagaran con rapidez y fácilmente liberan vapor de agua a la atmosfera consecuencia aún más grave, en tal sentido ha estado en el centro de varios acuerdos internacionales (Lefevre et al., 2017, pp. 5-47).

1.2.2. Edafología

El desarrollo de esta disciplina fue rápido, continuo y con un ámbito universal, estudia todas las características del suelo: “morfología, composición, propiedades físicas-químicas y biológicas, formación, evolución, taxonomía, distribución, utilidad, recuperación y conservación”, también permite saber su potencialidad, limitaciones, posibles técnicas de mejoramiento y explotación para beneficio del ser humano, ciencia estudiada a profundidad por agrónomos para evitar la degradación, contaminación y mal uso de los suelos (Pereira et al., 2011, pp. 16-17).

1.2.3. Suelo

Es considerado como el cuerpo natural, tridimensional, abierto, versátil al tiempo y al territorio (Conti, 2000, p. 2). Indispensable en los ecosistemas debido a que intercambia sustancias entre la litosfera, la biosfera y la atmósfera (Porta et al., 2008a, p. 20). Además para Pereira et al. (2011, p. 17), el suelo forma la esencia de la Edafología e indica que es estructurado dependiente de la parte biótica, abiótica, además la temperatura, relieve y organismos que actúan en la roca ígnea. Estos factores provocan transformaciones del suelo y la unificación con el humus que es producto de la descomposición de seres vivos (Llambí et al., 2012, p. 12).

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos Servicio de Conservación de Recursos Naturales (2014, p.11), lo define como “el medio natural para el desarrollo de plantas terrestres, ya sea que tenga o no horizontes discernibles”.

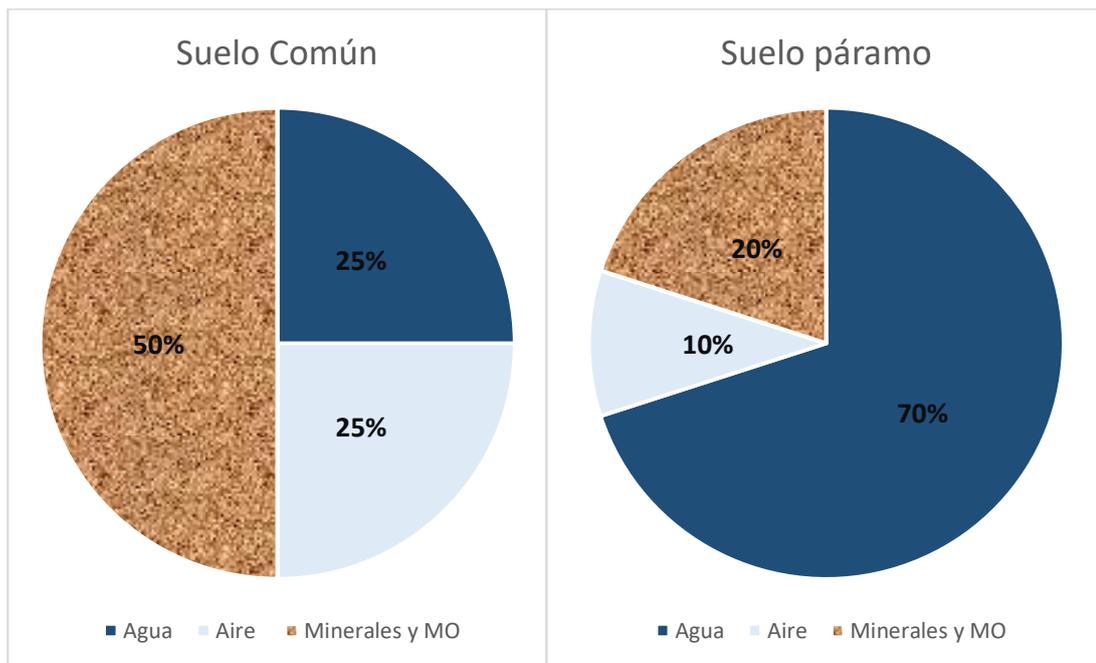


Gráfico 1-1: Composición del suelo

Fuente: (Llambí et al., 2012, p. 12).

1.2.4. Suelo fértil

De acuerdo con Pereira et al. (2011, p. 67) el suelo con una buena relación de las propiedades física-química y biológicas, es idóneo para que las plantas se desarrollen y produzcan cosechas con buenos rendimientos.

1.2.5. Páramos

Los páramos forman una ecorregión neotropical de altura, entre el límite forestal superior y las nieves perpetuas, se encuentran distribuidos a lo largo de los andes húmedos entre Perú (24,6%), Ecuador (39,8%), Colombia (30,5 %) y Venezuela (5,2%) (Giné y Sánchez, 2015, pp. 369-388). Además de ello son considerados ecosistemas capaces de brindar servicios ambientales principalmente agua, considerado también como un lugar de producción y trabajo, enfocándose a la historia, cultural y política (Hofstede et al., 2015, p. 27).

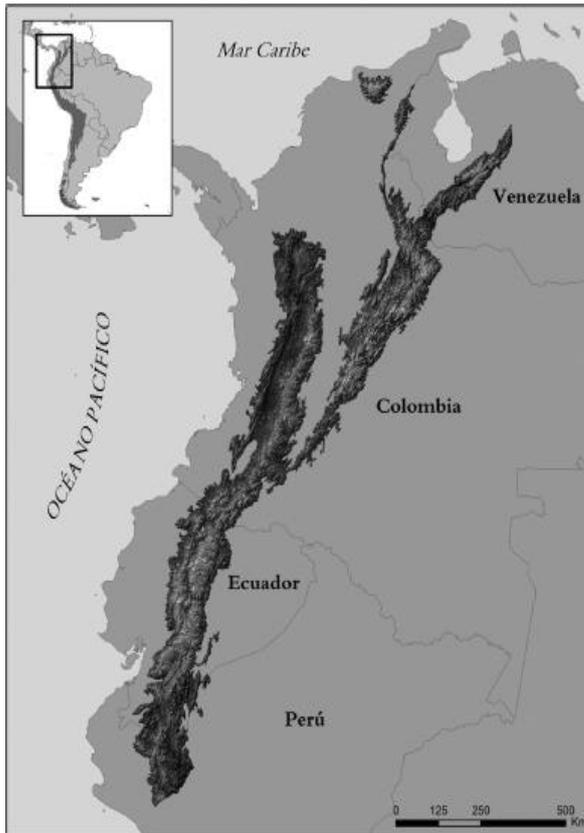


Figura 1-1: Distribución de páramos de América Latina

Fuente: Cuesta et al., 2008.

- Superficie total (Andes del Norte): 3.576.798 ha
- 7.3 % de la superficie de los Andes del Norte.

Tabla 1-1: Superficie de páramos en América Latina

Superficie		
País	Páramos (ha)	Porcentaje
Colombia	1.405.765	39,30
Ecuador	1.835.834	51,33
Perú	95.346	2,67
Venezuela	239.854	6,71
Total	3.576.798	100

Fuente: Cuesta et al., 2008.

1.2.5.1. Ecosistema de herbazal de páramo

El ecosistema del páramo se modifica con la evolución del suelo, los páramos Ecuador se desarrollan sobre depósitos volcánicos con un clima frío y húmedo predominado por gramíneas, generalmente son Andisoles, el piso altitudinal superior de los bosques andinos va desde 3.000 m.s.n.m y los 3.500 m.s.n.m con un límite inferior de 4.800 m.s.n.m a 5.000 m.s.n.m que corresponde a las nieves perpetuas (Gardi et al., 2014, p. 160).

La clasificación de los páramo a) Inferior, b) Medio, c) Superior, se lo realiza de acuerdo a la altura, Holdridge citado por Camacho (2014, pp. 80-81), indica que los ecosistema de alta montaña crean un sin número de microclimas debido a la temperatura y las precipitaciones por tal motivo lo subdivide en dos pisos altitudinales: d) Páramos y e) Subpáramo.

Tabla 2-1: Clasificación de los páramos

Clasificación	Altitud
Páramo inferior	Zona de pajonal entre 3.200 y 4.000 m.s.n.m, con una tendencia a subir del límite inferior por intervención de la presión humana

Páramo medio	Entre 4.000 y 4.500 m.s.n.m.
Páramo superior	Sobre los 4.500 m.s.n.m.
Páramos	Son áreas sobre los 3.600 o 3.900 m.s.n.m, hasta los 4.700 m.s.n.m, con temperaturas entre 3 y 6°C, y estas se pueden dividir en siete formaciones ecológicas: Bosque húmedo subalpino, bosque muy húmedo subalpino, bosque pluvial subalpino, subpáramo seco, subpáramo húmedo, subpáramo muy húmedo y subpáramo lluvioso.
Sub-páramos	Se ubican en la cordillera central y en la cordillera entre 3.000 a 3.600 m.s.n.m y entre 3.200 a 3.900 m.s.n.m respectivamente Occidental con un rango de temperaturas entre 6 y 12 °C

Fuente: Camacho, 2014, pp.80-81.

1.2.5.2. Condiciones climáticas

El clima de los páramos es frío, húmedo con alta irradiación y nubosidades, esto es una generalización ya que las condiciones climáticas son variadas tanto en la precipitación, temperatura, irradiación, vientos y humedad relativa (Hofstede et al., 2015, p.28). La variación media en el año es pequeña pero en el día es elevada, por lo cual el sueco O.hedberg (1964) citado en Llambí et al. (2012, p.21) menciona que el clima de los páramos se asemeja al verano en el día e invierno en la noche.

1.2.5.3. Suelo

Los suelos de páramo tienen una elevada cantidad de materia orgánica, capacidad de retención de agua y nutrientes, gran parte de estos suelos se formaron al interactuar hace millones de años: rocas, cenizas volcánicas y la intervención de varios factores de formación; material parental, clima, organismos vivos, relieve y el tiempo, la velocidad con la que se desarrollen y evolucionen va a depender en gran medida de la intensidad con la que interactúen estos factores (Llambí et al., 2012, pp. 183-184).

1.2.6. Tipos de suelos

- Andisoles: Se desarrollaron a partir de la roca madre volcánica, presentan capas de color oscuro y baja densidad aparente ($<0,9$ a $0,3$) (Smith y Smith, 2014, p. 120). Considerados suelos jóvenes, tasa de carbono orgánico alta, estructura estable, porosidad, permeables, presencia de aluminio, fósforo y no contiene arcillas bien cristalizadas (Mena et al., 2000, p.13).

- Vertisoles: Suelos arcillosos (fracción de arcilla del 60%), con una profundidad (60 a >120 cm), color negro a gris, pH ácido- levemente ácido, capacidad de intercambio catiónico de elevado a medio, contiene calcio, magnesio, potasio y sodio, suelo apto para cultivos de arroz, sorgo y bosques (Pereira et al., 2011, pp. 104-105).
- Oxisoles: Altamente degradados con poca fertilidad natural, capacidad de intercambio catiónico baja, suelos de colores claros (amarillento y rojizo), estructura granular arcillosa, alto grado de permeabilidad (Soil Survey Staff, 2015, p. 341).
- Entisoles: Suelos poco evolucionados con ausencia de horizontes, no aptos para el cultivo agrícola, colores claros u oscuros, texturas arenosas a arcillosas, profundidad (menor 25>40 cm), pH altamente ácido a alcalino e intercambio catiónico de medio a relativamente bajo (Pereira et al., 2011, pp. 105-106).
- Aridisoles: Son suelos característicos de ambientes extremadamente secos, bajos contenidos de materia orgánica y altos en contenido básico (Smith y Smith, 2014, p. 120).
- Inceptisoles: Suelos más evolucionados que los entisoles, poco profundos (60 a > 120 cm), textura franco arenosa hasta arcillosa, color pardo a pardo rojizo, pH bajo a alto y son excelentes para cultivos de algodón , ajonjolí, cacao, maní, maíz hortalizas, guineo entre otros (Pereira et al., 2011, pp. 106.-107).
- Alfisoles: El suelo es húmedo pH ácido a neutro, posee un color claro (pardo rojizo y amarillento), los procesos de formación están en relativo equilibrio, como resultado las bases se suministran al suelo a través de la meteorización y la lixiviación, tienen una saturación de bases de moderada a alta, textura franco arcilloso y franco arenoso (Soil Survey Staff, 2015, p. 7).
- Ultisoles: Suelos con textura arcilloso y franco arcilloso, color amarillento y rojizo, pH ácidos altos e intermedios, contenidos relevantes de aluminio, hierro y fósforo, los cultivos que se desarrollan van a depender de la pendiente en la que se ubique el suelo (Pereira et al., 2011, pp. 109.-110).
- Histosoles: Son suelos con elevada acumulación de sustancias orgánicas abarcando el 12 al 18% de CO (Soil Survey Staff, 2015, p. 218). Posee alto contenido de nutrientes, pH superior a 6 en altitudes bajas, mientras en altitudes altas el pH es altamente ácido (Driessen y Deckers, 2001, pp. 28-29).

1.2.7. Zonas intervenidas

Son sectores del páramo en los que mediante la intervención del ser humano se ha modificado el ecosistema propio del lugar, esto debido a las actividades que realizan como:

- La agricultura: Consiste en la siembra de cultivos mediante dos sistemas; reposo después de cada siembra o aquella que se realiza sin reposo y con adición de abonos, los puntos con mayor índice de producción entre 1940 y 1950 se ubican en Venezuela, Ecuador (Carchi y

Chimborazo), esta actividad ha producido efectos negativos en los páramos ; disminución de micro organismo y fauna, descenso de compuestos orgánicos y elementos nutritivos para las plantas , polución de aguas y suelos (destrozo de la estructura) por lo tanto baja retención de agua, recalcando que esta actividad es la más perjudicial para los páramos (Llambí et al., 2012, p.73).

- Ganadería : Esta actividad depende de varios factores como el tipo, manejo, carga del animal y si este va combinado con quema o no, porque causa daños irreparables a la vegetación propia de los páramos, en primer lugar una de los inconvenientes es que los animales al consumir las plantas de los páramos y estas al no estar adaptadas comienzan a desaparecer y con esto dejan desprotegido al suelo y por ende se produce la erosión del mismo, otra forma en la que afectan indirectamente es que para darles lugar y alimentación a los animales se procede a la quema de grandes extensiones de terreno para colocar pasto , con esto produce perdida de plantas autóctonas del lugar y nutrientes (Orozco, 2014, pp. 53-55).
- Introducción de especies vegetales: Actualmente conocemos que a partir del siglo XX se han introducido varias especies entre ellas el pino, eucalipto entre otras, ocasionando con esto alteraciones en el panorama del lugar, perdida de diversidad vegetal, disminución de materia orgánica , nitrógeno y baja capacidad de retención de agua en lugares donde predomina el pino (Llambí et al., 2012, pp. 77-78).

1.2.8. Zonas no Intervenidas

El termino tierra natural hace referencia a zonas no intervenidas, definiéndolo como un suelo virgen, sin desarrollo de actividades antrópicas y con partículas de minerales aun existentes (Porta et al., 2008b, p.123).

1.2.9. Propiedades químicas del suelo

1.2.9.1. pH

Es el logaritmo negativo de la concentración de H^+ en una fase acuosa, la escala del pH se presenta en el rango de 0 a 14, valores menores que 7 indican que la concentración de hidrogeniones es más alta que la concentración de iones hidróxidos; al tratarse de una variable intensiva esta no depende del volumen total de la solución, es decir que depende de la proporción del soluto (suelo) con el agua (Porta et al., 2008a, p.229). Es importante conocer el pH del suelo dado que influyen en las propiedades físicas, químicas y biológicas, en la calidad de absorción de nutrientes - humificación (Pereira et al., 2011, p.53).

Tabla 3-1: Clasificación del suelo en base a USDA

pH de solución del suelo	Categoría
<4	Suelo extremadamente ácido
4.5-5.0	Suelo muy fuertemente ácido
5.1-5.5	Suelo fuertemente ácido
5.6-6.0	Suelo medianamente ácido
6.1-6.5	Suelo ligeramente ácido
6.6-7.3	Suelo neutro
7.4-7.8	Suelo medianamente básico
7.9-8.4	Suelo moderadamente básico
8.5-9.0	Suelo fuertemente básico
>9.1	Suelo muy fuertemente básico

Fuente: Pereira et al., 2011

1.2.9.2. Intercambio Iónico

Es considerado un proceso reversible, ilimitado y de alto valor por su influencia en la nutrición de plantas, propiedades físico-químicas del suelo y actuación en el modo de cultivo (Navarro y Navarro, 2003, p.104). Y según el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A (1970, p.73), define al intercambio iónico como “el complejo coloidal del suelo que adsorbe a los iones de la fase líquida y retiene al mismo tiempo en cantidades equivalentes a los mismos”.

1.2.9.3. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Sposito (1989) citado en Porta et al (2008a, p.235), indica que es “El número de moles de iones carga positivos adsorbidos que pueden ser intercambiados por unidad de masa seca, bajo unas condiciones dadas de temperatura, presión, composición de la fase líquida y una relación de masa-solución dada”; El comportamiento en el suelo depende de los nutrientes presentes, elementos tóxicos, pH, taxonomía del suelo y se expresa en unidades de $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ (centimol carga por cada kilogramo de sustancia) equivalente a meq/100g de suelo seco.

Para que un suelo tenga mayor CIC las partículas deben tener mayor superficie de contacto, en tal sentido, se encuentra relacionada directamente con la estructura y su composición (Pereira et al., 2011, pp. 54-55)

Cuando mayor es la cantidad de materia orgánica mayor será la capacidad de intercambio catiónico y de la misma manera incrementa el pH, se cree que el 19% y el 45% en la capacidad de intercambio catiónico lo proporcionada la MO esto al poseer el suelo un pH entre 2.6 a 8.0, sin

embargo, la pérdida de MO evita retener cationes básico-ácidos y hasta amortiguadores (López, 2002, p.146).

1.2.9.4. *Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE)*

Mide la concentración de cargas negativas en una superficie de suelo, pH, nivel salino y es considerado como la suma de los iones básicos y ácidos de fácil intercambio como son el calcio, magnesio, potasio, sodio, aluminio e hidrogeno, en tal sentido un extracto de suelo debe tener un capacidad de intercambio catiónico efectivo menor o igual a 12 cmol.kg^{-1} de arcilla para ser tóxico (Porta et al., 2008b, p.215).

Utilizando acetato de amonio y posterior análisis por absorción atómica se identifica los siguientes niveles de las bases intercambiables:

Cada catión debe encontrarse en el complejo de intercambio entre ciertos límites relativos, que son los siguientes: Calcio (Ca) 60 a 80 % de la CIC*, Magnesio (Mg) 10 a 20 % de la CIC*, Potasio (K) 2 a 6 % de la CIC* y Sodio (Na) 0 a 3 % de la CIC* (Pereira et al., 2011, pp. 86-88).

1.2.9.5. *Conductividad*

Las unidades de la conductividad eléctrica se expresa en Siemens (S), depende de la movilidad de los iones, de la viscosidad del medio, del voltaje y la carga, para transportar corriente eléctrica en la disolución, útil para expresar la cantidad total de componentes ionizados, guarda relación con el contenido de sales disueltas, además está estrechamente correlacionado con la suma de cationes o aniones y con los sólidos totales disueltos (Andrades et al., 2015, p.43).

1.2.10. *Propiedades físicas del suelo*

1.2.10.1. *Densidad*

Se distingue dos tipos a) densidad real y b) densidad aparente, esta clasificación se lleva acabo considerando los componentes sólidos de la matriz total del suelo incluyendo los espacios intersticiales y los poros de agregados (Pereira et al., 2011, p.48).

- a) Densidad real: Conti (2000, p.160) lo define como “la media de las partículas sin incluir el volumen de poros”. No varía con el tiempo, no depender de la estructura, son por estas razones que se estima como constate a un horizonte del suelo (Porta et al., 2008a, p.291)
- b) Densidad aparente: Se determina al dividir la masa del suelo seco con el espacio que ocupa(Volumen), a diferencia de la densidad real aquí se considera los espacios del suelo como también la materia orgánica; Los páramos andinos poseen una densidad baja entre los

0.4 y 0.8 g/cm³, mientras que los suelos considerados como normales varían entre los 1.1 y 1.8 g/cm³, en páramos ecuatorianos la densidad promedio es de 1.4 g/cm³ (Llambí et al., 2012, p.212).

1.2.10.2. *Color*

El origen del color proviene de las adiciones, pérdidas, translocaciones y transformaciones de la roca madre o por herencia, existiendo presencia de elementos cromóforos que dan el color característico de un suelo (Porta et al., 2008b, p.131). No obstante su importancia radica debido a que evalúa tres parámetros relacionados a la fertilidad del suelo: materia orgánica, condiciones de drenaje, y aireación (Conti, 2000, p.169).

1.2.10.3. *Profundidad*

La profundidad de un suelo estima la productividad óptima de los cultivos y la erosión, las unidades en los que se expresan son en centímetros o metros del suelo hasta la roca madre (Larson y Pierce, 1991; Doran y Parkin, 1994; Seybold et al., 1997; citados en Bautista et al 2004, p. 94).

1.2.10.4. *Textura y Granulometría*

Se considera como sinónimos las palabras “Textura” y “Granulometría” pero Porta et al (2008a, pp. 93-94), plantea diferencias en donde la textura se identifica a través del tacto y depende de la cantidad de los tamaños de partículas, este significado es equivalente a clase textural, mientras que la granulometría investiga a las partículas disgregadas e inferiores a 2 mm, agrupadas en diferentes tamaños de partícula, y al ser una característica estable permite evaluar la influencia de otras propiedades como el uso de la tierra y el comportamiento del suelo; entre todas se puede destacar la capacidad de almacenar nutrientes.

Existen dos propuestas para clasificar los límites del tamaño de partícula la primera fue ISSS-International Society of Soil Science y la segunda por USDA-United States Department of Agricultura cada una se utiliza de acuerdo a las metas planteadas por los investigadores (Conti, 2000, pp. 49-50).

Tabla 4-1: Clasificación por tamaños de partículas de suelos-USDA

Clasificación Americana (USDA)		Diámetro (mm)	Diámetro (µm)
Arena	Muy gruesa	2.00-1.00	2000-50

	Gruesa	1.00-0.50	
	Media	0.50-0.25	
	Fina	0.25-0.10	
	Muy fina	0.10-0.05	
Limo		0.05-0.002	50-2
Arcilla		< 0.002	<2

Fuente: Conti, 2000.

Las partículas del suelo se asocian en fracciones de acuerdo a su tamaño y por ende la textura se define de acuerdo a las proporciones de arena, limo y arcilla (Porta et al., 2008a, p.51-52).

Arcilla: están constituidas básicamente por silicatos de aluminio hidratados, en ocasiones silicatos de magnesio, hierro u otros metales, también hidratados. Tiene una consistencia moldeable, alta plasticidad, superficie brillante y se adhiere a los dedos (Vargas, 2009, p.26-76).

Arena: no se puede moldear, no se adhiere a los dedos y se siente muy granuloso (Vargas, 2009, p.26-76). Se estudia para determinar la proporción de meteorización de un suelo y el lavado del horizonte (Porta et al., 2008a, p.83).

Limo: A diferencia de la arcilla este no es pegajoso, es débilmente moldeable, tiene una superficie áspera y rasposa, sin embargo se adhiere a los dedos y se posee una sensación harinosa (como el polvo del talco) (Vargas, 2009, p.26-76).

1.2.11. *Materia Orgánica del suelo*

El contenido de materia orgánica en el suelo varía en función del relieve, clima, vegetación, el material original, el tiempo, y las acciones antrópicas; el responsable de la mayor o menor humedad del suelo en partes bajas, de la exposición solar, como también de la vegetación, es el relieve, con ello retarda o incrementa la putrefacción de la MO, su rápida descomposición se debe a climas secos y cálidos, mientras que en climas húmedos y fríos incrementa, el suelo evoluciona constantemente cada vez enriqueciéndose de MO pero el hombre interfiere en estos niveles (Conti, 2000, 82-86).

Tabla 5-1: Contenido de materia orgánica

Categoría	Contenido de Materia Orgánica
Bajo	>1%
Medio bajo	1-2%
Medio	2-4%

Alto	8-12%
------	-------

Fuente: Conti, 2000.

La importancia de la materia orgánica radica en la edafogénesis, propiedades físicas del suelo, propiedades físico-químicas y biológicas, fisiológicas:

- En el movimiento de Fe, Al, Mn, floculación de arcillas, retención de agua, controla absorción y liberación de energía.
- Incrementa; la CIC, la estabilidad coloidal como gel, la capacidad reguladora ácido-base, liberación de elementos inorgánicos, puede activar la respiración celular, como también la concentración de azúcares, efectos auxínicos, e inducir a alelopatías (Conti, 2000, 82-86).

De tal manera es la MO es un indicador clave para la productividad agrícola y para la resiliencia ambiental, además también es útil para describir el grado descomposición en tejidos de plantas, animales muertos, materiales de menos de 2 mm de tamaño y organismos del suelo (Lefevre et al., 2017, pp. 5-47).

1.2.12. Carbono orgánico

El carbono orgánico se almacena en la materia orgánica en descomposición, suelo, raíces y vegetación, pero el más estable es el suelo, pero el más difícil de instaurar debido a que necesita mucho tiempo y diversos factores ambientales, por otro lado, los árboles nativos son buenos almacenadores de carbono, pero no son sumideros (Gardi et al., 2014, p.136).

El COS es dinámico debido a que se encuentra en la litosfera (suelo, plantas), hidrosfera, atmósfera. Incrementa el contenido de carbono orgánico cuando existe mayor cantidad de materia orgánica producto de la mineralización de desechos orgánicos, su distribución es muy heterogénea depende del tipo de suelo, clima, y principalmente el uso del suelo debido a que puede ser una fuente de gases de efecto invernadero principalmente liberar dióxido de carbono (Lefevre et al., 2017, pp. 5-47).

1.2.13. Ciclo del carbono

El ciclo de carbono se da en dos periodos; la biogeoquímica, que se desenvuelven en intervalos de tiempo cortos (días-décadas); y la geoquímica del carbonato-silicato que se produce durante largos periodos de tiempo (miles hasta millones de años) (Marino, 2016, p.56).

El proceso biogeoquímico explica cómo el carbono se transforma, un ejemplo son las plantas que a través de la fotosíntesis toman el CO₂ de la atmósfera, agua, luz solar y lo convierten en carbohidratos, los cuales son consumidos por los seres humanos para la obtención de energía y al exhalar retorna el CO₂ al ambiente, al igual que las plantas al terminar su ciclo, se descomponen

todas sus partes y vuelven a constituirse como parte de la materia orgánica del suelo (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, 2015, p. 16).

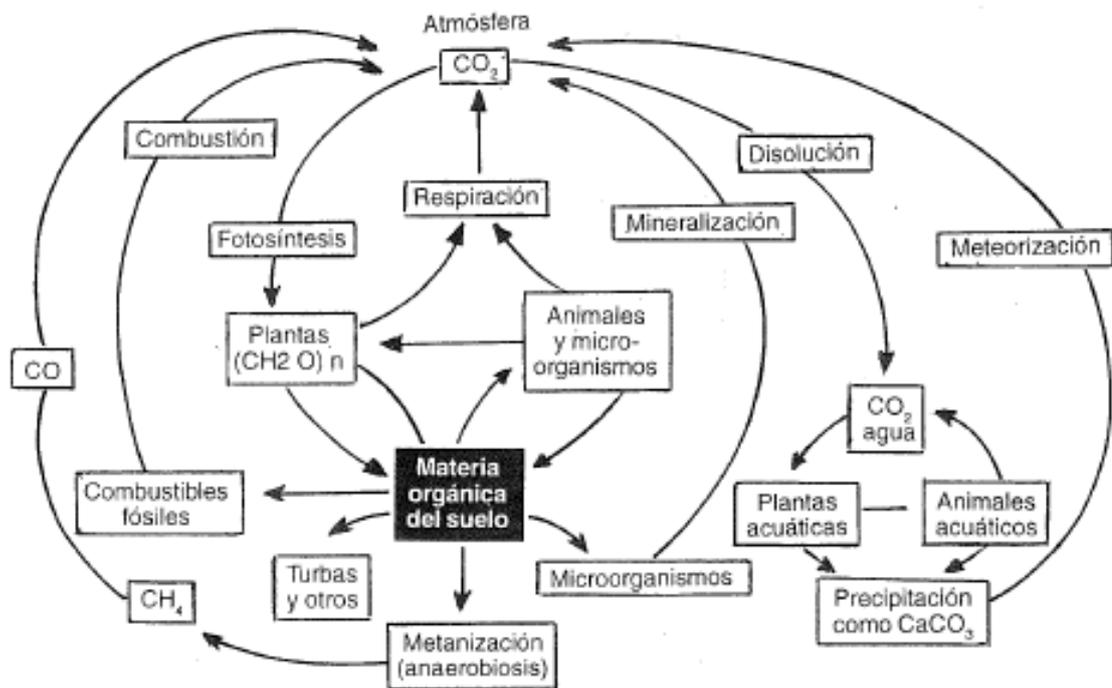
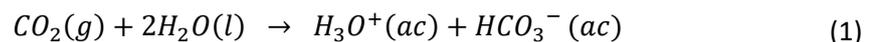


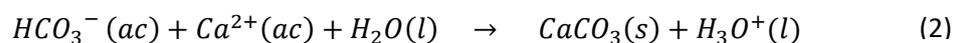
Figura 2-1: Ciclo de carbono

Fuente: (Adaptado de Porta, 1994).

Mientras que el proceso geológica del carbonato-silicato tarda mucho tiempo en transformar el carbono, porque se basa en la acumulación de restos de animales, plantas que tardaron millones de años para convertirse en lo que actualmente conocemos como combustibles fósiles, otro ejemplo es el proceso de disolución de CO_2 de la atmósfera en el mar, el cual se convierte en bicarbonato y se puede juntar con el calcio, formando de esta manera lo que conocemos como roca caliza, de esta manera el carbono se inserta en la corteza terrestre, considerándose la mayor fuente de carbono en el mundo (Marino, 2016, p.56).



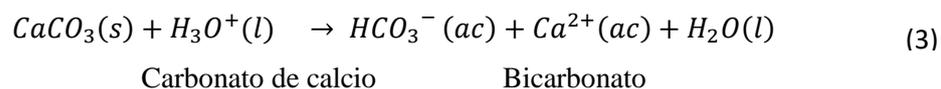
Bicarbonato



Bicarbonato

Carbonato de calcio

Después de un intervalo largo de tiempo, mediante las distintas actividades volcánicas o propiamente desintegración de las rocas calizas el carbono ingresa nuevamente a la atmósfera, dando como concluido el proceso geológica del carbonato-silicato (Marino, 2016, p.56).



1.3. Bases conceptuales

1.3.1. *Páramo alto andino*

Los páramos ecuatorianos no son homogéneos, poseen diversidad de microclimas y zonas de vida debido a factores meteorológicos, por esta razón un páramo de la región no es igual a otro, aunque tengan una misma altitud; la cordillera occidental posee 9.32°C un grado más que la Cordillera Central 8.32°C, factor influyente sobre su vegetación (Camacho, 2014, pp. 80-81).

La superficie de páramos en Ecuador representa el 5% alrededor de 1'337.119 ha, limitada al norte con Colombia y al Sur con Perú, distribuida sobre las cordilleras Oriental y Occidental de los Andes; la cordillera Oriental tiene la mayor extensión de páramos con 3.970 km², que va desde Carchi hasta Cañar sin interrupción, la Cordillera Occidental está entre las provincias de Tungurahua, Chimborazo y Bolívar su extensión también es grande, pero son más angostos y fragmentados, en el centro y norte del país, el ecosistema está por encima de los 3500 m.s.n.m y en el sur del territorio nacional los páramos son de menor humedad y altitud 3000 m.s.n.m, por el ejemplo los páramos de Chambo y Pungalá tiene una altitud de 2600-4200, rangos que se encuentran en dichos parámetros (Orozco, 2014, pp. 24-27).

1.3.2. *Suelo de páramo*

Existen diferentes tipos de suelos que se pueden hallar en los páramos pero los más relevantes son doce de los cuales en Ecuador predominan los tres tipos; Andosol vítrico (suelos con edad inferiores a los 2000 años, característicos de cenizas de volcanes en erupción, baja cantidad de carbono orgánico, alta densidad aparente y encontrados mayormente en las laderas del pichincha), Andosol alofánico (suelos característicos de Chimborazo, Cañar-Azogues o Cajas, presencia de minerales paracrystalinos, aluminio intercambiable bajo, pH superior a 5, alta fertilidad) y Andosol no alofánico (tipo de suelo que predomina en Carchi, Cañar y Cajas, complejos de aluminio con materia orgánica, pH y cationes intercambiables bajos) (Mena et al., 2000, pp. 16-17).

1.3.4. *Carbono orgánico del suelo de páramo*

El carbono orgánico es considerado como un indicador de la calidad del suelo debido a que representa la totalidad de sustancias orgánicas en el suelo sin considerar el origen o

descomposición, además su importancia radica sobre las funciones ecológicas, físicas, químicas y biológicas del suelo (Stolbovoy et al., 2005, pp. 1-13).

El contenido de carbono en los páramos húmedos supera al 40%, mientras que en los ecosistemas más jóvenes varía entre 2 y 10%, en tal sentido se estima que el suelo de tipo Andosol contiene una gran riqueza de carbono orgánico (Llambí et al., 2012, p.147).

1.3.5. Método LOI

El método LOI indica “la masa de la muestra perdida (por ejemplo, oxidada y liberada como gas o volatilizada) al ser calentada a altas temperaturas”, recalando que la LOI no solo representa la pérdida de carbono orgánico sino la pérdida de la materia orgánica (carbono, hidrogeno, oxígeno, azufre), por lo cual para obtener el porcentaje de carbono orgánico se debe realizar la relación entre el %LOI y el % C_{org} (Hoyt, 2014, p.62).

1.3.6. Fracciones del suelo de páramo

El fraccionamiento granulométrico de suelos extraídos de páramos se basa en disgregar la MOS que está asociada con partículas de diferentes tamaños como son arena muy gruesa (2-1 mm), arena gruesa (1-0.50), arena fina (0.25-0.10 mm), arena muy fina (0.10-0.05), limo (0.05-0.002 mm) y arcilla (< 0.002 mm) (Conti, 2000, pp. 49-50). Difieren en composición mineralógica, estructura y función, con ellos, la fracción de la MOS separada físicamente es una mezcla de restos de plantas, animales y microorganismos en diferentes estados de descomposición (Trizar y Cosentino, 2010, pp.1-7).

1.3.7. Capacidad de intercambio catiónico efectiva

Ross y Kettering (2011, pp. 75-86), define a la capacidad de intercambio catiónica de un suelo como la medida de la cantidad de sitios en la parte exterior que pueden retener cationes como el calcio, magnesio, potasio y sodio, por lo cual el suelo de páramo Chambo o Pungalá que tenga mayor capacidad de intercambio catiónico, tendrá la posibilidad de mantener cantidades idóneas de cationes , que un suelo que tenga baja su capacidad de intercambio catiónico y Jaremko y Kalembasa (2014, pp. 487-498), recalcan que la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) se determina mediante la suma de sus cationes, tomando en cuenta el pH del suelo, porque si el $pH > 5.5$ se despreja la acidez intercambiable en el cálculo y si el suelo tiene un $pH < 5.5$ se incluye en la suma de cationes el aluminio e hidrógeno.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Área de estudio

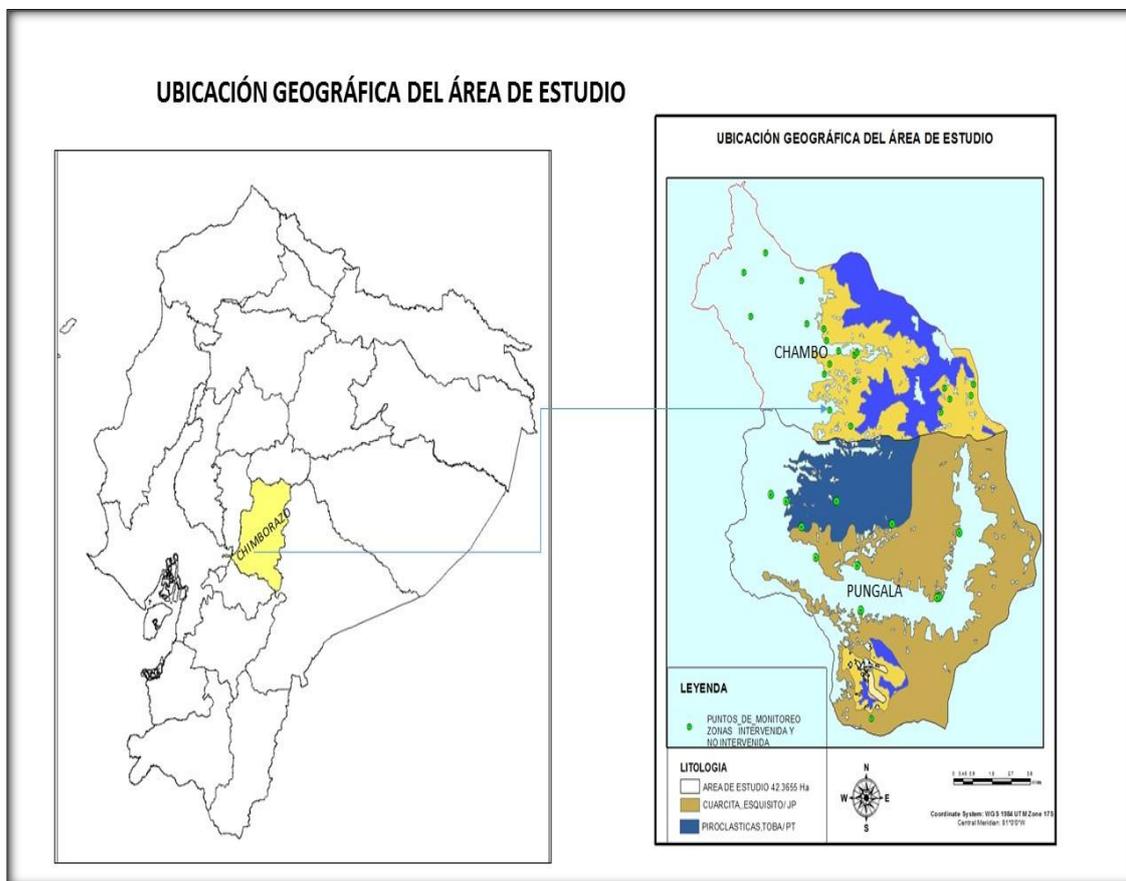


Figura 1-2: Mapa de zona de estudio Chambo y Pungalá.

Fuente: GIDAC, 2020.

La Parroquia Pungalá fue creada el 29 de mayo de 1861, perteneciente al cantón Riobamba, provincia de Chimborazo, está limitado al norte con el Cantón Chambo al Sur con el Cantón Guamote, al este con la provincia de Morona Santiago, al Oeste con la parroquia Licto, tiene una extensión de 26.465 hectáreas, clima frío de 2-12°C, precipitaciones de 750-150mm, rango altitudinal de 2680 a 4440 m.s.n.m y un promedio de 7.597 habitantes (Pungalá, 2020).

Chambo fue creado el 18 de marzo de 1988, pertenece al cantón Riobamba, provincia de Chimborazo, está limitada al norte con el cantón Penipe, al sur cantón Chambo, al este cantón Guamboya, al oeste parroquia Cubijies, tiene una extensión de 15.900 hectáreas, temperatura promedio de 14 °C, rango altitudinal de 2.400 m.s.n.m – 5.319 m.s.n.m y con un promedio de 5.257 habitantes (Chambo, 2020).

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

El área en la cual se va a realizar los análisis de carbono orgánico en las diferentes fracciones de suelos intervenidos y no intervenidos del ecosistema herbazal de páramos constan de una superficie total de 42.365 ha, distribuyéndose para Chambo 15.900 ha y Pungalá 26.465 ha pertenecientes al cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo.

2.2.2. Tamaño de la muestra

El diseño muestral se realizó tomando en cuenta un muestreo aleatorio estratificado en el cual se consideró los estratos como la zona intervenidas (14 conglomerados) y no intervenidas (11 conglomerados) en Chambo y Pungalá. La fórmula contigua se utiliza para el cálculo del número de muestras total con un nivel de confianza del 95%:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^L \frac{N_i \cdot p_i \cdot q_i}{a_i}}{N \cdot D + \sum_{i=1}^L N_i \cdot p_i \cdot q_i} \cong 75 \quad (4)$$

Donde:

n = Tamaño de muestra total (75).

N_i = Área de las zonas intervenidas (23.724,4) y no intervenidas (18.640,6).

L = Número de estratos.

p_i = Porcentaje de carbono orgánico del suelo de acuerdo con la zona.

$q_i = 1 - p_i$.

a_i = Afijación proporcional de acuerdo con la zona. (0.56) y (0.44).

N = Área total de los sectores de Chambo y Pungalá.

$$D = \frac{B^2}{4}$$

B = Error del experimentador.

Determinado el tamaño muestral completo, se procedió a la determinación del número de muestras para la zona intervenida y no intervenida, mediante el cálculo de las afijaciones proporcionales para cada zona en el área de análisis Chambo y Pungalá, partiendo de la siguiente ecuación:

$$n_i = n * a_i; \quad a_i = \frac{N_i}{N} \quad (5)$$

Se determinaron los siguientes tamaños por estrato:

$$n_{Intervenidas} = 75 * 0.56 = 42$$

$$n_{No Intervenidas} = 75 * 0.44 = 33$$

2.3. Tipo y diseño de la investigación

2.3.1. Tipo de Investigación

La investigación es cuantitativa, según el objetivo es aplicada debido a que, el propósito es evaluar el contenido de carbono orgánico en las diferentes fracciones compuestas del suelo de páramo en zonas intervenidas y no intervenidas de Chambo y Pungalá. De acuerdo al nivel de profundización es explicativa en el cual se busca analizar la relación que existe entre el carbono orgánico y sus variables. En cuanto a la manipulación de variables es cuasiexperimental al no existir un control absoluto de las variables. Por la condición de estudio es de laboratorio. Según el periodo es transversal porque las muestras se recolectan en un solo momento. De acuerdo al tipo de inferencia es deductiva porque se desarrolló conclusiones a partir de las variables planteadas que permitió interpretar resultados y comprobar variables, hipótesis y problema de la investigación.

2.3.2. Variables

Variable independiente

- Diferentes fracciones compuestas del suelo de páramo en zonas intervenidas y no intervenidas de Chambo y Pungalá

Variable dependiente

- Contenido de carbono orgánico del suelo (COS)

Factores Principales

- Sector
- Intervención
- Piso altitudinal
- Profundidad
- Tamaño de partícula
- Porcentaje de carbono orgánico
- Capacidad de intercambio catiónica efectiva

2.3.3 Diseño de la investigación

2.3.3.1. Diseño experimental

El diseño de la investigación es cuasiexperimental, debido a que, el contenido de carbono orgánico en las diferentes fracciones compuestas del suelo de páramo Chambo y Pungalá no se pueden controlar por el experimentador, porque dependen de las propiedades del suelo (pH, granulometría, capacidad de intercambio catiónico efectiva), factores sociales (acceso a las comunidades, transporte) y factores ambientales (clima).

Para determinar si las variables son significativas o no, se aplicó un ANOVA y para validar sus resultados se establecieron los supuestos de normalidad, varianza constante e independencia. La técnica estadística aplicada para las variables altitud, profundidad e intervención fue el diseño multifactorial, y para fraccionamiento el diseño de un solo factor.

2.3.3.2. Tratamientos para el suelo

Chambo

Tabla 1-2: Tratamientos para el suelo de Chambo

Zona	Altitud (m.s.n.m)	Profundidad (cm)	Tamaño de partícula (µm)
No Intervenido	3400-3600	0-30	2000
			250
			180
			63
			53
	3400-3600	30-60	2000
			250
			180
			63
			53
	3600-3800	0-30	2000
			250
			180
			63
			53
	3600-3800	30-60	2000
			250
			180
			63
			53
3800-4000	0-30	2000	
		250	
		180	
		63	
		53	
3800-4000	30-60	2000	
		250	

			180
			63
			53
			2000
	4000-4200	0-30	250
	4000-4200	0-30	180
	4000-4200	0-30	63
	4000-4200	0-30	53
			2000
	4000-4200	30-60	250
	4000-4200	30-60	180
	4000-4200	30-60	63
	4000-4200	30-60	53
			2000
			250
	2600-2800	0-30	180
	2600-2800	0-30	63
	2600-2800	0-30	53
			2000
	2600-2800	30-60	250
	2600-2800	30-60	180
	2600-2800	30-60	63
	2600-2800	30-60	53
			2000
			250
	2800-3000	0-30	180
	2800-3000	0-30	63
	2800-3000	0-30	53
			2000
	2800-3000	30-60	250
	2800-3000	30-60	180
	2800-3000	30-60	63
	2800-3000	30-60	53
			2000
			250
	3000-3200	0-30	180
	3000-3200	0-30	63
	3000-3200	0-30	53
			2000
	3000-3200	30-60	250
	3000-3200	30-60	180
	3000-3200	30-60	63
	3000-3200	30-60	53
			2000
			250
	3200-3400	0-30	180
	3200-3400	0-30	63
	3200-3400	0-30	53
			2000
	3200-3400	30-60	250
	3200-3400	30-60	180
	3200-3400	30-60	63
	3200-3400	30-60	53
			2000
			250
	3400-3600	0-30	180
	3400-3600	0-30	63
	3400-3600	0-30	53
			2000
	3400-3600	30-60	250
	3400-3600	30-60	180
	3400-3600	30-60	63
	3400-3600	30-60	53

Realizado por: GIDAC, 2021

Pungalá

Tabla 2-2: Tratamiento para el suelo de Pungalá

Zona	Altitud (m.s.n.m)	Profundidad (cm)	Tamaño de partícula (μm)
No Intervenido	3400-3600	0-30	2000
			250
			180
			63
			53
	3400-3600	30-60	2000
			250
			180
			63
			53
	3600-3800	0-30	2000
			250
			180
			63
			53
	3600-3800	30-60	2000
250			
180			
63			
53			
3800-4000	0-30	2000	
		250	
		180	
		63	
		53	
3800-4000	30-60	2000	
		250	
		180	
		63	
		53	
4000-4200	0-30	2000	
		250	
		180	
		63	
		53	
4000-4200	30-60	2000	
		250	
		180	
		63	
		53	
Intervenido	3200-3400	0-30	2000
			250
			180
			63
			53
	3200-3400	30-60	2000
			250
			180
			63
			53
	3400-3600	0-30	2000
			250
180			
63			
53			
3400-3600	30-60	2000	

			250
			180
			63
			53

Realizado por: GIDAC, 2021

2.3.3.3. Modelo estadístico para las variables altitud, profundidad e intervención

La influencia de la altitud, profundidad e intervención con respecto al porcentaje de carbono orgánico del suelo, se puede construir con el arreglo factorial $a \times b \times c$. A continuación, se describe el modelo.

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl};$$

$$i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, b; k = 1, 2, \dots, c; l = 1, 2, \dots, n$$

Donde:

μ = es la media general.

α_i = es el efecto del nivel i -ésimo del factor A.

β_j = es el efecto del nivel j del factor B.

γ_k = es el efecto del nivel k en el factor C.

$(\alpha\beta)_{ij}(\alpha\gamma)_{ik}(\beta\gamma)_{jk}$ = representan efectos de interacción dobles (de dos factores) en los niveles ij , ik , jk , respectivamente.

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ = es el efecto de interacción triple en la combinación o punto ijk .

ε_{ijkl} = representa el error aleatorio en la combinación $ijkl$

l = son las repeticiones o réplicas del experimento.

Tabla 3-2: ANOVA: Modelo factorial con tres factores

FV	SC	GL	CM	F_0	Valor-p
Efecto A	SC_A	a-1	CM_A	CM_A/CM_E	$P(F > F_0^A)$
Efecto B	SC_B	b-1	CM_B	CM_B/CM_E	$P(F > F_0^B)$
Efecto C	SC_C	c-1	CM_C	CM_C/CM_E	$P(F > F_0^C)$
Efecto AB	SC_{AB}	(a-1)(b-1)	CM_{AB}	CM_{AB}/CM_E	$P(F > F_0^{AB})$
Efecto AC	SC_{AC}	(a-1)(c-1)	CM_{AC}	CM_{AC}/CM_E	$P(F > F_0^{AC})$
Efecto BC	SC_{BC}	(b-1)(c-1)	CM_{BC}	CM_{BC}/CM_E	$P(F > F_0^{BC})$
Efecto ABC	SC_{ABC}	(a-1)(b-1)(c-1)	CM_{ABC}	CM_{ABC}/CM_E	$P(F > F_0^{ABC})$
Error	SC_E	abc(n-1)	CM_E		
Total	SC_T	abcn-1			

Realizado por: GIDAC, 2021

2.3.3.4. Modelo estadístico para el fraccionamiento

Planteamiento de hipótesis

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu$$

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

El interés es comparar las medias de los diferentes tamices, si el contenido de carbono es igual estadísticamente en cuanto a sus medias, existe la alternativa de que al menos dos de los tamices sean diferentes.

El modelo estadístico para este diseño es:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde;

μ = es el parámetro de escala común a todos los tratamientos, llamado media global.

τ_i = es un parámetro que mide el efecto del tratamiento i .

ε_{ij} = es el error atribuible a la medición Y_{ij} .

Tabla 4-2: ANOVA: Modelo factorial con un solo factor

FV	SC	GL	CM	F ₀	Valor-p
Tratamiento	$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{Y_{i.}^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$	k-1	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k-1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
Error	$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	N-k	$CM_E = \frac{SC_E}{N-k}$		
Total	$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_j} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$	N-1			

Realizado por: GIDAC, 2021

2.3.4. Selección de la muestra

La estratificación de los datos se realizó en función del área de estudio de Pungalá (26.465 ha) y Chambo (15.900 ha), en base a esto se toma los siguientes conglomerados y parcelas, como se ilustra en la tabla 4-2.

Tabla 5-2: Descripción de la selección de la muestra

Lugar	Área (ha)	Conglomerado	Parcela
Pungalá	26.465	12	36
Chambo	15.900	13	39
Total		25	75

Realizado por: Allauca Lizbeth, Ayala Jennifer, 2021

Basándose en esta estratificación se recolectaron 25 conglomerados a distintos rangos altitudinales, que corresponden a 75 parcelas de monitorio, en cada parcela una sub-parcela (20 x 20) m de la cual se toma una muestra homogénea de los puntos extremos y del punto centro a diferentes profundidades (0-0.30) m; (0.30-0.60) m, respectivamente de zonas intervenidas y no intervenidas con total de 150 muestras correspondientes a 750 fracciones compuestas.

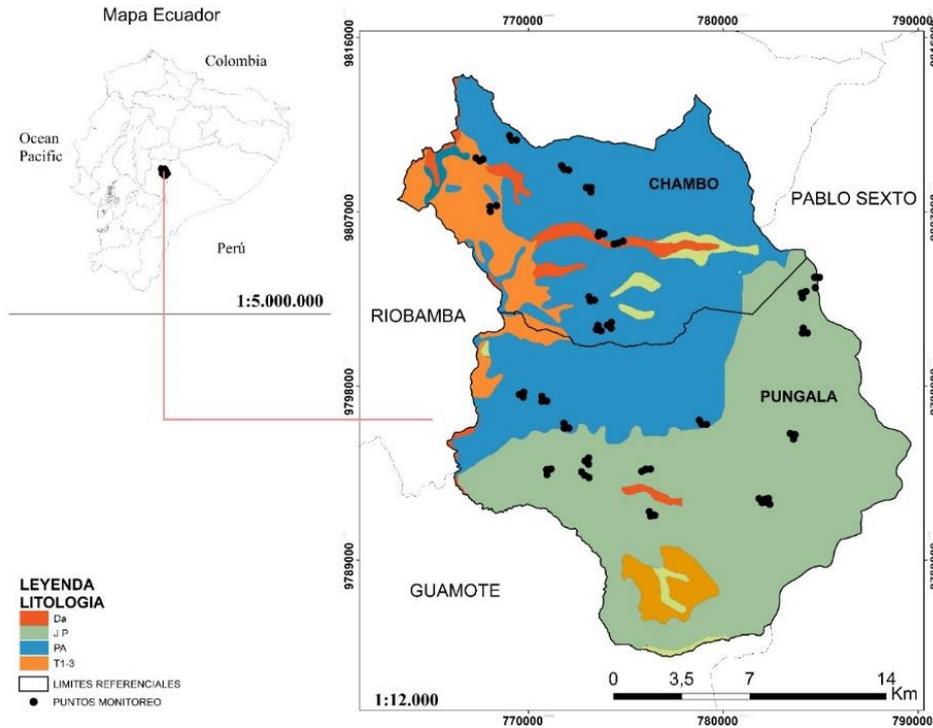


Figura 2-2: Mapa de muestreo de Chambo y Pungalá

Fuente: GIDAC, 2020.

Coordenadas Geográficas

Tabla 6-2: Coordenadas geográficas del Sector Chambo

CONGLOMERADO	PARCELA	COORDENADAS		RANGO ALTITUD (m.s.n.m)
		X	Y	
C3-R1-PA	A1	773631	9805948	3620
C3-R1-PA	A2	773581	9805753	3446
C3-R1-PA	A3	773869	9805867	3622
C2-R3-PA	A1	774054	9801146	3840
C2-R3-PA	A2	774244	9800992	3800
C2-R3-PA	A3	774260	9801292	3882
C2-R2-PA	A1	773490	9800917	3722
C2-R2-PA	A2	773569	9801135	3765
C2-R2-PA	A3	773728	9800855	3724
C1-R3-JP	A1	784055	9800742	3610

C1-R3-JP	A2	784097	9800991	3612
C1-R3-JP	A3	784309	9800742	3684
C3-R3-JP	A1	783999	9802800	3804
C3-R3-JP	A2	784062	9802564	3822
C3-R3-JP	A3	784236	9802888	3921
C1-R4-JP	A1	784682	9803619	4004
C1-R4-JP	A2	784720	9803082	4012
C1-R4-JP	A3	784934	9803613	4128
C1-T1/3-I	A1	767504	9809624	2722
C1-T1/3-I	A2	767313	9809789	2730
C1-T1/3-I	A3	767672	9809723	2800
C2-T1-3-I	A1	768033	9807274	2808
C2-T1-3-I	A2	768044	9807021	2823
C2-T1-3-I	A3	768371	9807320	2844
C3-PA-I	A1	769134	9810703	3029
C3-PA-I	A2	769029	9810939	3036
C3-PA-I	A3	769391	9810705	3046
C4-PA-I	A1	771822	9809200	3320
C4-PA-I	A2	772069	9809160	3356
C4-PA-I	A3	771708	9809388	3282
C5-PA-I	A1	773210	9808261	3560
C5-PA-I	A2	773202	9808017	3522
C5-PA-I	A3	772961	9808257	3496
C6-PA -I	A1	773171	9802398	3465
C6-PA -I	A2	773105	9802618	3478
C6-PA -I	A3	773392	9802437	3498
C7-DA-I	A1	774616	9805390	3588
C7-DA-I	A2	774855	9805482	3496
C7-DA-I	A3	774392	9805333	3446

Realizado por: GIDAC, 2021

Tabla 7-2: Coordenadas geográficas del Sector Pungalá

CONGLOMERADO	PARCELA	COORDENADAS		RANGO ALTITUD (m.s.n.m)
		X	Y	
C1-R1-PA	A1	770687	9797225	3588
C1-R1-PA	A2	770942	9797226	3625
C1-R1-PA	A3	770691	9797473	3586
C2-R3-PA	A1	771839	9795824	3804
C2-R3-PA	A2	771822	9796081	3824
C2-R3-PA	A3	772078	9795828	3826
C3-R1-PA	A1	778885	9796042	3998
C3-R1-PA	A2	779136	9796025	4002
C3-R1-PA	A3	778764	9796241	4000
C4-R1-JP	A1	782173	9792003	3522
C4-R1-JP	A2	782381	9791902	3368

C4-R1-JP	A3	782310	9792203	3543
C5-R2-JP	A1	781984	9791987	3643
C5-R2-JP	A2	782133	9792161	3627
C5-R2-JP	A3	781830	9792192	3812
C1-JP-I	A1	772906	9794137	3258
C1-JP-I	A2	773082	9793971	3266
C1-JP-I	A3	773087	9794298	3288
C2-PA-I	A1	769533	9797569	3212
C2-PA-I	A2	769761	9797688	3202
C2-PA-I	A3	769729	9797436	3246
C3-JP-I	A1	776016	9793703	3465
C3-JP-I	A2	776263	9793719	3456
C3-JP-I	A3	775812	9793600	3440
C4-JP-I	A1	783673	9795505	3440
C4-JP-I	A2	783596	9795269	3442
C4-JP-I	A3	783435	9795554	3564
C5-JP-I	A1	776264	9791289	3542
C5-JP-I	A2	776201	9791515	3410
C5-JP-I	A3	776485	9791329	3380
C6-JP-I	A1	770937	9793691	3284
C6-JP-I	A2	770952	9793439	3422
C6-JP-I	A3	771160	9793718	3246
C7-JP-I	A1	772897	9793389	3048
C7-JP-I	A2	773108	9793278	3042
C7-JP-I	A3	772724	9793571	3040

Realizado por: GIDAC, 2021

2.4. Materiales y Equipos

2.4.1. *Materiales*

- Barreno
- Hoyadora
- Fundas Ziploc
- Fundas de halar grandes
- Plástico adhesivo transparente
- Cilindros de acero inoxidable
- Probeta
- Vasos de precipitación
- Varillas de agitación
- Tarrinas de aluminio

- Tarrinas de plástico
- Crisoles de porcelana
- Desecador
- Espátula
- Papel de empaque
- Mortero y pistilo

2.4.2. Equipos

- GPS (Geoposicionador)
- Balanza analítica
- Potenciómetro
- Conductímetro
- Estufa
- Horno mufla

2.5. Métodos y técnicas

2.5.1. Fase de campo

Para empezar la fase de campo, primero se debe georreferenciar el lugar a través del GPS, el cual nos indica la correcta posición del conglomerado, posteriormente se comienza con la identificación de las parcelas las cuales se ubican en forma de L separadas por una distancia de 250 metros y finalmente se recolecta la muestra (Schweizer, 2011, pp. 19-23).

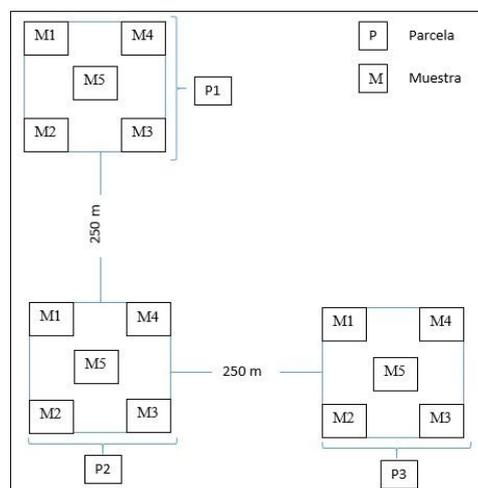


Gráfico 1-2: Estructura de conglomerado

Realizado por: GIDAC, 2021

a. Suelo

- La técnica a utilizar para la recolección de la muestra de suelo es el barreno y consiste en introducirlo y presionar hasta llegar a la profundidad requerida. La capa superficial del suelo como la parte intermedia de las dos profundidades 0-0.30 m y 0.30-0.6 m debe ser eliminada.
- Se recolectaron 25 conglomerados, que corresponden a 75 parcelas de monitorio, en cada parcela una sub-parcela (20 x 20) m de la cual se toma una muestra homogénea de los puntos extremos y del punto central a diferentes profundidades (0-0.30) m; (0.30-0.60) m, respectivamente de zonas intervenidas y no intervenidas.
- Una vez recolectada se coloca en fundas de sello hermético (ziploc) previamente etiquetado, el cual se presiona para sacar el aire con el fin de evitar la pérdida de dióxido de carbono por evaporación, recalcando que la cantidad de muestra que se debe recoger es aproximadamente 1 kilo (2,2 libras) (Schweizer, 2011, pp. 19-23).



Figura 3-2: Recolección de la muestra de suelo y utilización del barreno

Fuente: Allauca Lizbeth y Ayala Jennifer, 2021

2.5.2. Fase de laboratorio

Una vez recolectada la muestra es llevada al laboratorio y ordenada según el conglomerado, profundidad y sector al que pertenece, para proceder a realizar los análisis establecidos por el protocolo del grupo de investigación GIDAC.

a) pH y conductividad eléctrica

Los análisis de pH y conductividad son de alta importancia porque son propiedades químicas que deben ser realizados inmediatamente después de la toma de muestra, también cuando la muestra

de suelo está seca, el método utilizado para este análisis es el potenciómetro y constan del siguiente proceso:

- Se pesa 20 gramos de suelo en un envase de plástico previamente etiquetado y se añade 45 ml de agua destilada.
- Luego mover constantemente durante 15 minutos y dejar reposar alrededor de unos 5 minutos.
- Transcurrido el tiempo se procede a medir el pH con ayuda del potenciómetro y registrar los datos (Zagal, 2007, pp. 19.23).
- En cuanto a la conductividad eléctrica las muestras a utilizar son las mismas, pero a diferencia del pH, se mide después de 24 horas aproximadamente y de igual forma se registran los datos (Ortíz, 2016, p. 69).



Figura 4-2: Medición de pH y CE

Fuente: Allauca Lizbeth y Ayala Jennifer, 2021

b) Fraccionamiento

El método para el fraccionamiento del suelo es el tamizaje y la técnica a utilizar es el tamiz estandarizado (2000 μm , 180 μm , 63 μm , 53 μm). A continuación, se detalla el procedimiento: Las muestras que llegan del campo al laboratorio, se colocan sobre papel de empaque para ser secadas a temperatura ambiente alrededor de 8 días, terminado con este proceso se proceden a retirar restos de raíces, piedras, pasto para empezar con el tamizaje que consta de los siguientes pasos:

- Las muestras de suelo fueron trituradas hasta obtener partículas de menor tamaño mediante la utilización del mortero y pistilo, estas muestras son trasladada hacia el juego de tamices estandarizados, ordenados de mayor a menor tamaño (2000 μm , 180 μm , 63 μm , 53 μm) y limpios.
- Una vez colocados en el juego de tamices se agitan constantemente por unos 3 minutos aproximadamente, con el propósito de separar los diferentes tamaños de partículas que engloban a la muestra en su totalidad.

- Al terminar el tamizaje, las muestras a recolectar son aquellas que pasan de los diferentes tamices, son empacadas en fundas y guardadas en tarinas que previamente se encuentran etiquetadas para evitar confusiones o pérdida de muestras (Ortíz, 2016, p. 69).



Figura 5-2: Tamizaje

Fuente: Allauca Lizbeth y Ayala Jennifer, 2021

c) **Materia Orgánica**

La determinación de materia orgánica se realizó mediante el método de pérdida por ignición (LOI), el cual consiste:

- Tarar los crisoles en un horno-mufla a una temperatura de 800°C durante 2 horas, después del tiempo transcurrido dejar enfriar hasta que llega a una temperatura de 360°C para seguidamente colocar en un desecador con silica gel activada, a continuación, se pesa en una balanza analítica y se registra su peso como “P1”.
- Posteriormente se pesaron 5 gramos de suelo seco de las fracciones de 2000 μm , 250 μm , 180 μm , 63 μm y 53 μm respectivamente y con ello se registró el siguiente peso “P2”.
- Para eliminar el agua hidrosférica que se encuentra todavía en el suelo se procede a colocar los crisoles con muestra en la estufa a 105 °C, por 24 horas, cumplido el tiempo se traslada al desecador hasta que llegue a la temperatura idónea, se pesa y se registra el peso como “P3”.
- El crisol con la muestra nuevamente se coloca en la horno-mufla pero a diferencia del proceso de tarado de crisoles se lo lleva por un intervalo de tiempo de 2 horas a 360 °C, con el propósito de calcinar la materia orgánica, la temperatura y la duración de la ignición es primordial para evitar pérdida de CO_2 de carbonatos, el agua estructural de minerales arcillosos como también de materiales amorfos, la oxidación de Fe^{2+} y la descomposición de sales hidratadas, entonces se coloca nuevamente en un desecador hasta que alcance una temperatura apta para ser pesada en la balanza y se registra el peso como “P4”.

- Con la siguiente ecuación se obtuvo el contenido de materia orgánica del suelo (Chatterjee et al., 2009, pp. 164-178).

$$\%MO = \frac{(Peso\ 3 - Peso\ 4)}{(Peso\ 3 - Peso\ 1)} \times 100 \quad (6)$$



Figura 6-2: Colocación de crisoles en la mufla

Fuente: Allauca Lizbeth y Ayala Jennifer, 2021

d) Carbono Orgánico

El carbono orgánico se estimó a partir de los resultados obtenidos de materia orgánica, en el que se determina el porcentaje de carbono orgánico basado en el factor de Van Bemmelen que corresponde a 1,724, es el método más utilizado porque asume que la materia orgánica comprende el 58% de carbono orgánico (Tabatabai, 1996 citado en Eyherabide et al., 2014, pp. 13-19).

$$\%CO = \frac{\%MO}{1.724} \quad (7)$$

e) Capacidad de intercambio catiónico efectiva

Los laboratorios no suelen proporcionar una medida directa de la CICE por lo tanto se estima con la suma de las bases intercambiables Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , el sodio al no estar en cantidades abundantes, pero si apreciables también debe agregarse, el pH del suelo es fundamental para incluir a otros cationes en el cálculo como es el caso del Al, H, etc., otros cationes como el NH_4 y los metales traza suelen estar presentes en cantidades relativamente menores y pueden ignorarse eficazmente (Ross y Kettering, 2011, pp. 75-86).

El método de referencia normalizado- PEE-LABSU: Booker tropical soil manual-PEE-LABSU-06/76, utilizado para la obtención de resultados de cationes intercambiables efectiva fue realizado

por LABSU (laboratorio ambiental en análisis de suelo, agua, alimentos, emisiones, ruido), ubicado en el COCA, provincia de Orellana- Ecuador.



Figura 7-2: Envío de muestras a LABSU

Fuente: Allauca Lizbeth y Ayala Jennifer, 2021

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1. Análisis estadístico de carbono orgánico

3.1.1. Análisis de normalidad del porcentaje de carbono en el sector Chambo

Tabla 1-3: Prueba de hipótesis de Anderson-Darling para determinar normalidad en los datos de Chambo

Prueba de normalidad	
Prueba de Anderson-Darling	A=16.182, p-value < $2.2 e^{-16}$
Realizado por: GIDAC, 2021	

En la tabla 1-3 se indica los porcentajes de COS no cuentan con normalidad en su distribución. Por tal motivo no se recomienda el uso de pruebas paramétricas, debido a que existe una gran posibilidad de no conseguir el cumplimiento de los supuestos. No obstante, se procede con la determinación del ANOVA.

3.1.2. Análisis de ANOVA del porcentaje de carbono en el sector Chambo

Tabla 2-3: Tabla ANOVA del porcentaje de COS de Chambo, frente a las variables de Intervención, Altitud y Profundidad

ANOVA						
Porcentaje de carbono en comparación con la intervención, altitud y profundidad respecto a Chambo						
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
Intervención	1	2468.6	2468.6	1182.853	$<2e^{-16}$	***
Altitud	7	2030.8	290.1	139.009	$<2e^{-16}$	***
Profundidad	1	29.6	29.6	14.179	0.000193	***
Intervención-Profundidad	1	0.1	0.1	0.035	0.850991	
Altitud-Profundidad	7	16.5	2.4	1.132	0.342346	
Residuals	372	776.4	2.1			
Signit. Codes:				0	***	0.001
				**	0.01	*
				0.05	.	0.1
				'	'	''
				1		

Realizado por: GIDAC, 2021

Los factores principales producen un efecto significativo sobre la variable respuesta de porcentaje de COS (Tabla 2-3), debido a que los valores p de sus estadísticos son muy cercanos a cero. Ningún efecto de interacción entre los factores antes mencionados produce cambios en el porcentaje de COS.

Estos resultados y conclusiones deben ser contrarrestados con los supuestos clásicos de las pruebas de hipótesis: Normalidad y Homocedasticidad de los residuos del ANOVA. Se debe tomar en cuenta que el supuesto de Independencia de los residuos se asume cumplido, puesto que los datos fueron obtenidos de manera estocástica, a través del muestreo aleatorio estratificado.

3.1.3. *Análisis de Normalidad de los Residuos del porcentaje de carbono en el sector Chambo*

Tabla 3-3: Prueba de Anderson-Darling para los residuos del ANOVA

Prueba de normalidad	
Prueba de Anderson-Darling	$A=2.85, p\text{-value} = 3.531 e^{-07}$

Realizado por: GIDAC, 2021.

De acuerdo con la tabla 3-3, el test de Anderson-Darling rechazó la hipótesis nula, puesto que el valor p que se obtuvo es de aproximadamente cero. Debido a esto se concluye que el supuesto de normalidad de los residuos no se cumple.

3.1.4. *Análisis de Homogeneidad de Varianzas (Homocedasticidad) de residuos del porcentaje de carbono en el sector Chambo*

Tabla 4-3: Prueba de Bartlett para los residuos del ANOVA

Prueba de Homogeneidad de Varianzas	
Prueba de Bartlett	Bartlett's K-squared= 238.93, df=17, p-value < e^{-16}

Realizado por: GIDAC, 2021.

Con los resultados de la prueba de hipótesis de Bartlett, de la tabla 4-3, se determinó un valor p de aproximadamente cero. Entonces se define que tampoco se cumple el supuesto de Homogeneidad de Varianza en los residuos.

Debido a que no se cumplen dos de los tres supuestos del ANOVA (Normalidad y Homocedasticidad), no se pueden validar los resultados obtenidos. Una manera de solventar este inconveniente es la aplicación de transformación logarítmica de los datos del porcentaje de COS y nuevamente aplicar el ANOVA y la validación de supuestos.

3.1.5. Análisis de ANOVA de datos transformados en el sector Chambo

Tabla 5-3: Tabla ANOVA de la transformación logarítmica del porcentaje de COS frente a la Intervención, Altitud y Profundidad en Chambo.

ANOVA					
Porcentaje de carbono en comparación con la intervención, altitud y profundidad					
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Intervención	1	16.926	16.926	2314.556	$<2e^{-16}$ ***
Altitud	7	23.892	3.413	466.720	$<2e^{-16}$ ***
Profundidad	1	0.201	0.201	27.451	$2.71 e^{-07}$ ***
Intervención-Profundidad	1	0.045	0.045	6.209	0.0131*
Altitud-Profundidad	7	0.063	0.009	1.239	0.2802
Residuals	372	2.720	0.007		
Signit. Codes:				0**** 0.001*** 0.01** 0.05* 0.1 . 1	

Realizado por: GIDAC, 2021

A partir de la tabla 5-3, se puede concluir que los factores que producen cambios en el porcentaje de COS, del sector de Chambo, son: la Intervención, la Altitud y la Profundidad del lugar donde se tomaron las muestras; debido a que sus valores p son aproximadamente 0. Además, se define que la interacción entre la Intervención y la Profundidad produce un cambio en la variable respuesta, aunque con menor significancia que los factores individuales.

Con estas conclusiones, se procede con la validación de los supuestos del ANOVA, para confirmar la exactitud de los resultados antes mencionados, teniendo en cuenta que los supuestos de independencia si se cumple debido a que los datos son recolectados a partir de un muestreo probabilístico (muestreo aleatorio estratificado).

3.1.6. Análisis de Normalidad de los residuos del modelo ANOVA de los datos transformados

Tabla 6-3: Prueba de Normalidad de los residuos del ANOVA con los datos transformados de Chambo

Prueba de normalidad	
Prueba de Anderson-Darling	A=0.699, p-value = 0.06751

Realizado por: Allauca Lizbeth, Ayala Jennifer y GIDAC, 2021

En la tabla 6-3 se define que los residuos, una vez transformado logarítmicamente los datos de porcentaje de COS, no rechazan la hipótesis nula. Entonces, se puede asumir normalidad en los residuos en esta ocasión y, por ende, se cumple el supuesto.

3.1.7. Análisis de Homogeneidad de Varianzas en los residuos del modelo ANOVA de los datos transformados

Tabla 7-3: Prueba de Bartlett de los residuos del ANOVA con los datos transformados de Chambo

Prueba de Homogeneidad de Varianzas	
Prueba de Bartlett	Bartlett's K-squared= 102.13, df=17, p-value = 3.583×10^{-14}
Realizado por: GIDAC, 2021	

Para la tabla 7-3, se determinó un valor p de aproximadamente cero, por este motivo se concluye que no existe homogeneidad de varianzas en los residuos del modelo, de igual manera que sucedió sin la transformación logarítmica. Este supuesto no se cumple.

En este caso se cumplen ya dos de los tres supuestos, entonces se puede afirmar que las conclusiones de los datos transformados son adecuadas para tenerlos en cuenta, validando el último ANOVA realizado. Dicho esto, se puede proceder con la interpretación de los gráficos de los efectos activos.

3.1.8. Gráficos de efectos activos en el sector de Chambo

a) Efecto del factor Altitud respecto al COS

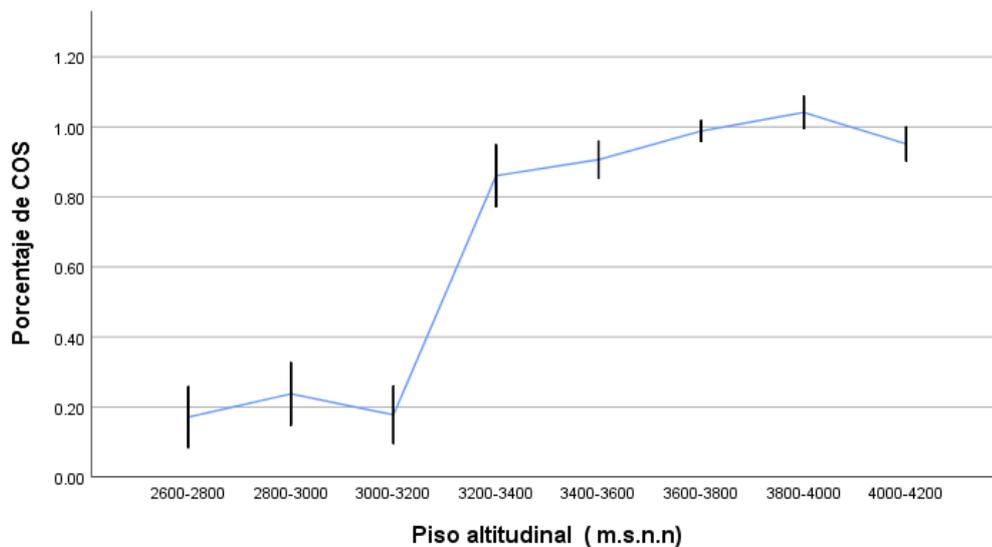


Gráfico 1-3: Efecto del factor Altitud respecto al COS

Realizado por: GIDAC, 2021

Se define que los valores promedios del porcentaje de carbono orgánico transformados a logaritmo de las diferentes fracciones compuestas de Chambo (Gráfico 1-3), cuentan con una

relación directamente proporcional con la altitud, encontrándose mayor porcentaje de COS a mayor altitud. Se observa que en altitudes de 2600 a 3200 m.s.n.m. se muestra un comportamiento levemente variable, sin embargo, de 3200 a 3400 se observa un incremento claro de los valores del COS, mientras que después de esa altitud y hasta los 4000 m.s.n.m. también crece el contenido de COS, aunque de manera más controlada. Pero de esta altitud y hasta los 4200 m.s.n.m. se observa un ligero decremento del COS.

Los resultados observados en el gráfico 1-3 coinciden con el estudio de Echeverría et al.(2018, pp. 2-8) el cual indica que el contenido promedio de carbono orgánico en el páramo Igualata aumenta a 4130 m.s.n.m y disminuye a 4090 m.s.n.m, es decir aumenta a medida que se eleva la altitud con una distribución homogénea de carbono orgánico esto se debe a la baja temperatura de los páramos, que evita la descomposición de materia orgánica, también a la poca intervención humana en el área y las propiedades físico-químicas del suelo que juegan un papel importante para la conservación del carbono orgánico.

b) Efecto del factor Profundidad respecto al COS

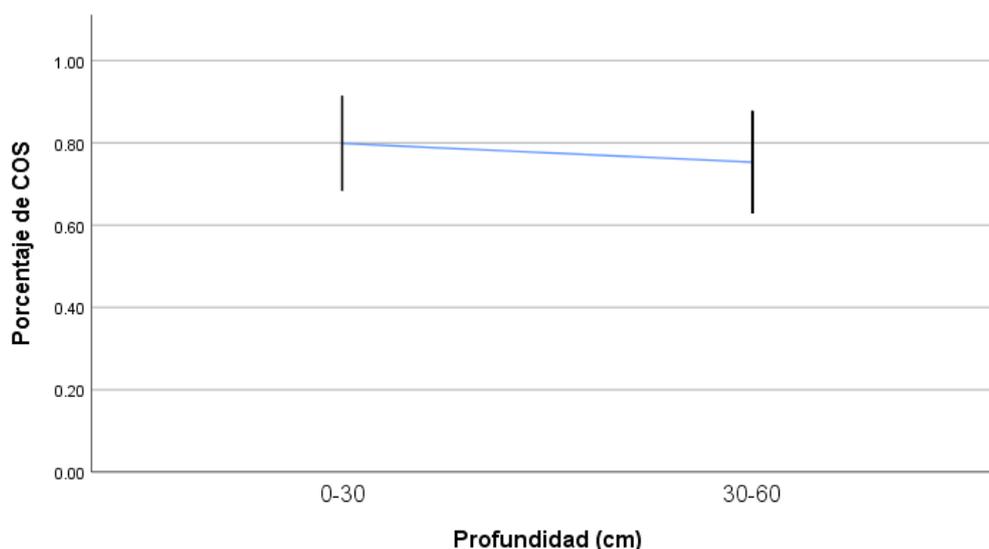


Gráfico 2-3: Efecto del factor Profundidad respecto al COS

Realizado por: GIDAC, 2021

De acuerdo con el gráfico 2-3 se define que, a pesar de que los valores promedio de COS transformados a logaritmo se vean aproximadamente iguales, resultan ser estadísticamente diferentes, y puede deberse a la gran dispersión de los datos de Chambo. Por lo tanto, se define que existe mayor porcentaje de COS a menores profundidades 0-30 cm, mientras que, a una mayor profundidad 30-60 cm se encuentra ligeramente menor porcentaje de COS.

Solís et al. (2014, pp. 5-11) y Echeverría et al., (2018, pp. 2-8), demuestran que la mayor cantidad de carbono orgánico se encuentra a profundidades menores y disminuye al aumentar la profundidad

y según Shaver y Aber (1996), citados por Acosta et al., (2008, pp. 105-114), esto se debe a la gran actividad que realizan las raíces de las plantas en los primeros centímetros del suelo.

c) Efecto del factor Intervención respecto al COS.

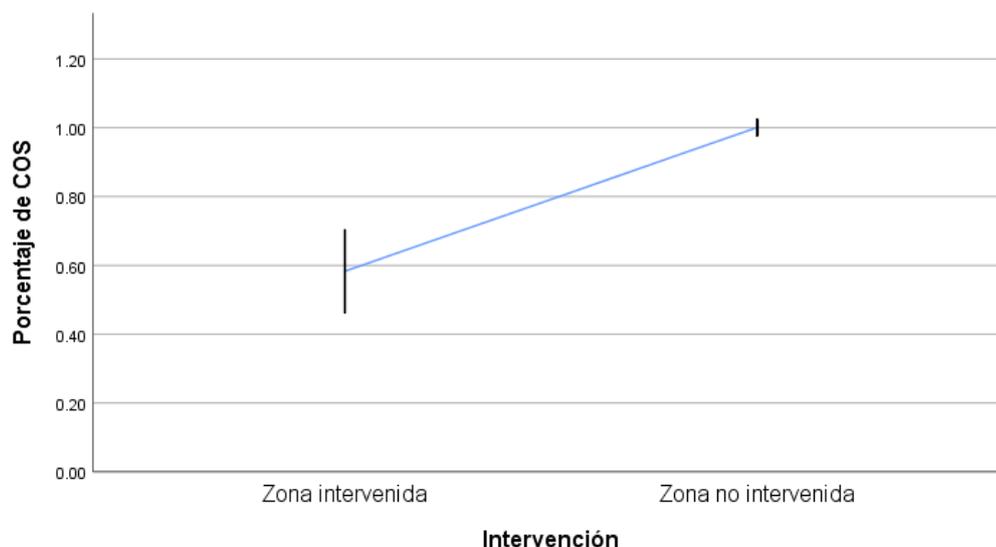


Gráfico 3-3: Efecto del factor Intervención respecto al COS

Realizado por: GIDAC, 2021

En el gráfico 3-3, se observa que el porcentaje de COS de las diferentes fracciones compuestas es mayor en la zona no intervenida, mientras que, en la zona intervenida se determina menor porcentaje de COS. También se define que los valores de COS en la zona intervenida muestran mayor dispersión, mientras que en la zona no intervenida hay menor dispersión de los datos.

Esto se debe a que, la zona no intervenida es considerada como suelo virgen, sin desarrollo de actividades antrópicas y con partículas de minerales aun existentes (Porta et al., 2008b, p.123), además de ello los factores que influyen en el aumento de carbono orgánico es el clima, según Davidson y Janssens (2006) y Buol et al. (2011) citado en Gutiérrez et al.(2020, pp. 1-10) indican que temperaturas bajas y pluviosidades altas, producen inhibición de la actividad enzimática de microorganismos, dando como resultado bajas tasas de descomposición de materia orgánica y mayor acumulación de carbono orgánico.

En la zona intervenida se define como ecosistemas que han sido modificados por actividades del ser humano: ganadería, agricultura, introducción de especies y minería, son algunas de las tantas actividades que han ocasionado graves efectos en el ecosistema del páramo, (Llambí et al., 2012, p.79), por lo cual Ortiz et al. (2016, p. 126) menciona que la actividad que más problemas ocasiona es la agricultura porque al aumentar la frontera agrícola, se intensifica la labranza extensiva la cual produce la activación de exceso de microorganismo que descompone a la materia orgánica ocasionando la disminución del carbono orgánico del suelo.

d) Efecto de la Interacción entre los factores Altitud y Profundidad.

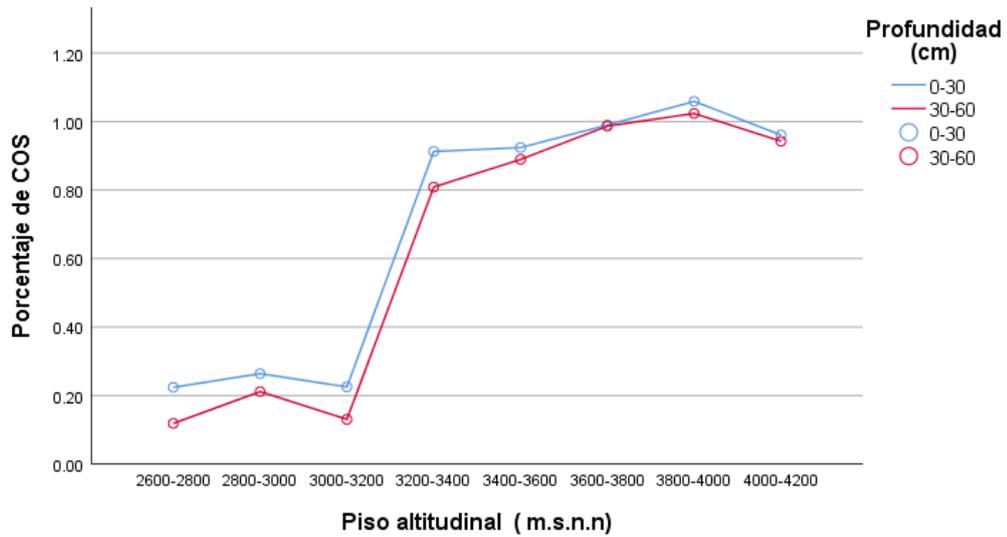


Gráfico 4-3: Efecto de la Interacción entre los factores Altitud y Profundidad

Realizado por: GIDAC, 2021

De acuerdo con el gráfico 4-3, en el sector de Chambo, se observa que la interacción entre las variables Altitud y Profundidad es similar, pero estadísticamente se muestra que dicha interacción produce diferencias significativas. Se puede explicar por una diferencia leve en la transición de los datos transformados en las altitudes de 3200 a 3400 m.s.n.m. y de 3800 a 4000 m.s.n.m. puesto que existe una leve diferencia entre los valores de COS en esas altitudes, pero a diferentes profundidades.

3.1.9. Análisis de normalidad de datos del porcentaje de carbono en el sector Pungalá

Tabla 8-3: Prueba de hipótesis de Anderson-Darling para determinar normalidad en los datos de Pungalá

Prueba de normalidad	
Prueba de Anderson-Darling	A=2.4821, p-value = $2.784e^{-06}$

Realizado por: GIDAC, 2021

En la tabla 8-3 se definió que los porcentajes de COS de las diferentes fracciones compuestas del sector de Pungalá tampoco cuentan con normalidad en su distribución. Entonces no se recomienda el uso de pruebas paramétricas, debido a que existe una gran posibilidad de no conseguir el cumplimiento de los supuestos. Se procede con el cálculo de la tabla ANOVA.

3.1.10. Análisis de ANOVA de datos del porcentaje de carbono

Tabla 9-3: Tabla ANOVA del porcentaje de COS de Pungalá, frente a las variables de Intervención, Altitud y Profundidad

ANOVA								
Porcentaje de carbono orgánico en comparación a la intervención, altitud y profundidad de Pungalá.								
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)			
Intervención	1	1745.1	1745.1	816.406	$< 2 e^{-16}$ ***			
Altitud	1	852.2	213.0	99.666	$< 2 e^{-16}$ ***			
Profundidad	1	30.1	30.1	14.082	0.000205 ***			
Zona-Profundidad	1	0.3	0.3	0.153	0.696077			
Altitud- Profundidad	4	5.9	1.5	0.686	0.602316			
Residuals	348	743.9	2.1					
Signif. codes:			0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	0.1 ' '	1

Realizado por: GIDAC, 2021

Se determinó en la tabla 9-3, que los factores principales producen un efecto significativo sobre la variable respuesta de porcentaje de COS en el sector de Pungalá, puesto que sus valores p son muy cercanos a cero. No existen efectos de interacción activos entre los factores antes mencionados que puedan producir cambios en el porcentaje de COS.

Al igual que en el sector de Chambo, para los datos del ANOVA de Pungalá se debe determinar los supuestos del modelo, para validar los resultados. Hay que recordar que el supuesto de Independencia de los datos del sector de Pungalá se cumple de manera implícita, debido a que los datos fueron obtenidos mediante muestreo aleatorio estratificado.

3.1.11. Análisis de Normalidad de los Residuos del porcentaje de carbono de las diferentes fracciones compuestas del sector Pungalá

Tabla 10-3: Prueba de Anderson-Darling para los residuos del ANOVA respecto al sector Pungalá

Prueba de Normalidad	
Prueba de Anderson-Darling	A = 0.66917, p-value = 0.07996

Realizado por: GIDAC, 2021

De acuerdo con la tabla 10-3, el test de Anderson-Darling no rechazó la hipótesis nula, puesto que el valor p que se obtuvo es mayor que el nivel de significancia. Debido a esto el supuesto de normalidad de residuos sí se cumple.

3.1.12. Análisis de Homogeneidad de Varianzas (Homocedasticidad) de residuos del porcentaje de carbono del sector Pungalá

Tabla 11-3: Prueba de Bartlett para los residuos del ANOVA respecto al sector Pungalá

Prueba de homogeneidad de Varianzas	
Prueba de Bartlett	Bartlett's K-squared = 73.637, df = 11, p-value = $2.47e^{-11}$

Realizado por: GIDAC, 2021

Con los resultados de la prueba de hipótesis de Bartlett de la tabla 11-3, se determinó un valor p de aproximadamente cero. Por tal motivo, se define que no existe evidencia para asumir el cumplimiento del supuesto de Homogeneidad de Varianza en los residuos.

A razón de que se cumplen dos de los tres supuestos del ANOVA (Normalidad e Independencia de los residuos), se validan los resultados obtenidos por el ANOVA en el sector de Pungalá y se puede continuar con el análisis de los efectos principales (efectos activos) sin necesidad de la transformación utilizada en los datos del sector de Chambo.

3.1.13. Gráficos de efectos activos en el sector de Pungalá

a) Efecto del factor Altitud respecto al COS.

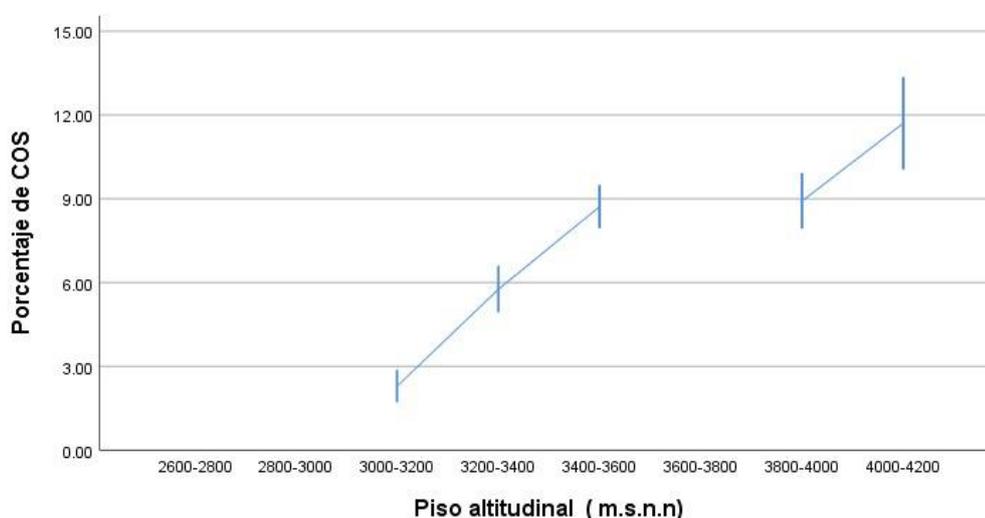


Gráfico 5-3: Efecto del factor Altitud respecto al COS del sector Pungalá

Realizado por: GIDAC, 2021

Se observa en el gráfico 5-3, que los valores de porcentaje de COS de Pungalá son de 2.30 % a un piso altitudinal de 3000-3200, 5.76% a 3200-3400, 8.72 % a 3400-3600, 8.92 % a 3800-4000, 11.70 % a 4000-4200 con excepción en el piso altitudinal de 3600-3800 debido a que no fue tomado en cuenta en la estratificación aleatoria.

Por lo tanto se determina que el porcentaje de COS de Pungalá , aumento paulatinamente a medida que ascendido el piso altitudinal, además los datos de COS muestran menos dispersión, mientras se incrementa la altitud, esto debido a que el páramo posee un ecosistema neotropical, que evita la degradación de la materia orgánica (Correa et al., 2020, pp. 3-56).

b) Efecto del factor Profundidad respecto al COS.

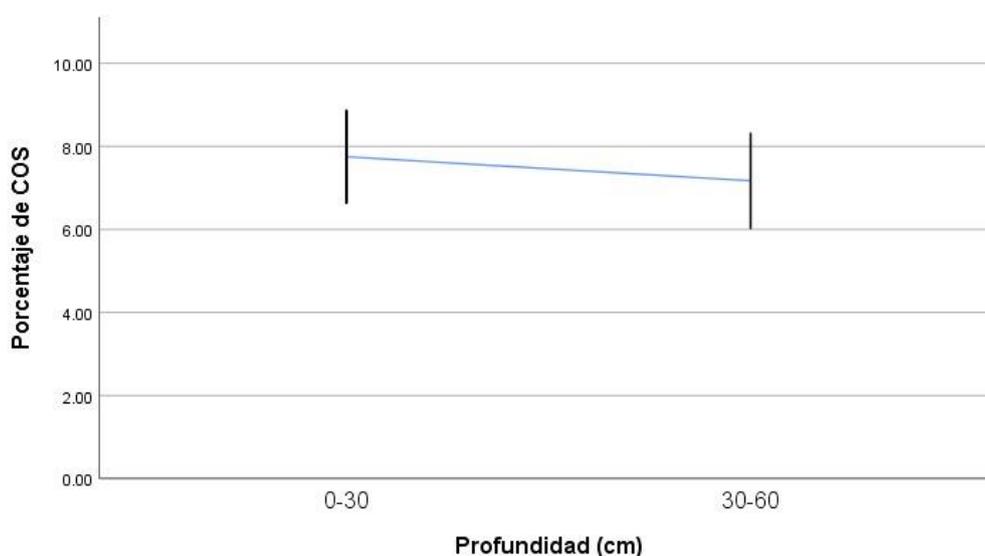


Gráfico 6-3: Efecto de factor Profundidad respecto al sector Pungalá

Realizado por: GIDAC, 2021

En el gráfico 6-3 se determina que, a pesar de que los valores de COS de Pungalá, se vean prácticamente similares, resultan ser estadísticamente diferentes, lo cual puede deberse a la gran variabilidad que muestran los datos de profundidad. Por lo cual, se define que existe mayor carbono orgánico (7.75%) a menores profundidades 0-30 cm, mientras que, a una mayor profundidad 0-60cm existe menor porcentaje de carbono orgánico (7.17 %).

c) Efecto del factor Intervención respecto al COS.

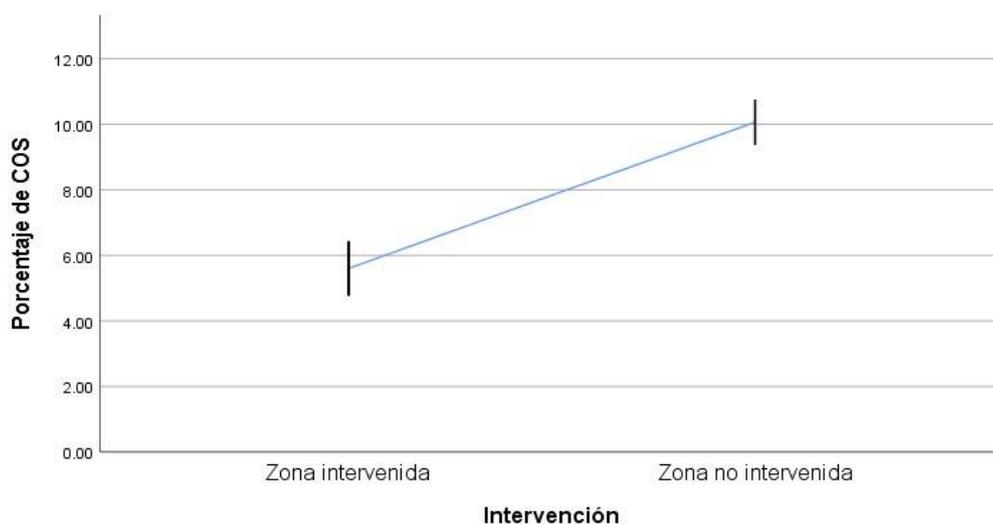


Gráfico 7-3: Efecto del factor Intervención respecto al sector Pungalá

Realizado por: GIDAC, 2021

Con respecto a la intervención en el gráfico 7-3 se establece que el porcentaje de COS es mayor (10.07 %) en zonas no intervenidas, mientras que, en zonas intervenidas se determina menor porcentaje de COS (5.60 %). También se define que los valores de COS en la zona intervenida muestran mayor dispersión, mientras que en zonas no intervenidas hay menor dispersión de los datos.

Esta condición se debe a que el ser humano expone al suelo a ganadería y agricultura extensiva que reduce la cobertura física del suelo provocando pérdidas de carbono a la atmósfera, por otro lado, las zonas no intervenidas se conservan al no existe erosión y fertilización externa (Castañeda y Montes, 2017, pp. 210-221). Hontoria et al. (2004, pp. 149-154) indica que, al aminorar el laboreo, el uso de cubiertas sobre el terreno, el control de la erosión, la fertilización, los sistemas agroforestales y el control del sobrepastoreo se conserva el carbono orgánico.

3.1.14. Análisis de carbono orgánico por fraccionamiento

Para determinar si se produjo cambios significativos en el contenido de COS en las diferentes fracciones compuestas de zonas intervenidas y no intervenidas de Chambo y Pungalá se procede a realizar una comparación de un solo factor, donde se comparan los contenidos de COS según el tamiz utilizado e intervención.

Primeramente, se analizó la normalidad de la muestra completa de los sectores Chambo y Pungalá, para determinar si los datos cuentan con normalidad y definir la prueba de hipótesis adecuada para la determinación del COS.

3.1.15. Análisis de normalidad de datos en el sector Chambo y Pungalá

Tabla 12-3: Prueba de hipótesis de Anderson-Darling para determinar normalidad en los datos conjuntos de Chambo y Pungalá

Prueba de Normalidad	
Prueba de Anderson-Darling	A=13.388, p-value < $2.2 e^{-16}$

Realizado por: GIDAC, 2021

De acuerdo con la prueba de Anderson Darling de los datos de Chambo y Pungalá, analizados de manera conjunta, se obtuvo un valor p de prácticamente cero, por lo que se puede asumir que no existe normalidad en los datos. Probablemente no es buena idea ocupar un ANOVA para el análisis de los datos, pero se lo realiza para determinar si los supuestos pueden validar su aplicación.

3.1.16. Análisis del ANOVA de zona intervenida y no intervenida de Chambo

Tabla 13-3: Análisis del ANOVA de zona intervenida y no intervenida de Chambo

ANOVA					
COS					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2670.679	9	296.742	39.965	0.000
Dentro de grupos	2814.059	379	7.425		
Total	5484.738	388			

Realizado por: GIDAC, 2021

Los resultados del estadístico F de Fisher-Snedecor, resultante de la tabla ANOVA define un valor p de 0.000, por el cual, se observan diferencias significativas en al menos una fracción granulométrica. Por lo tanto, se aplica una prueba de HSD Tukey para determinar cuáles son las fracciones granulométricas que presentan diferencia significativa.

3.1.17. Análisis de comparaciones múltiples de zona intervenida y no intervenida de Chambo

Tabla 14-3: Comparaciones múltiples de fracciones granulométricas de zona intervenida y no intervenida de Chambo

COS
HSD Tukey^{a,b}

	Tamaño de partículas (µm)	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	3
Zona intervenida	250	42	4,8769		
	180	42	4,8802		
	2000	42	4,9432		
	63	42	5,2590		
	53	42	5,4464		
Zona no intervenida	63	36		9,2639	
	180	36		9,4053	
	53	36		10,0425	10,0425
	250	36		10,8522	10,8522
	2000	36			11,4383
Sig.			,996	,239	,423

Realizado por: GIDAC, 2021

Los resultados hallados en Chambo mediante la prueba de HSD Tukey indican que todas las fracciones granulométricas presentan diferencia significativa en zonas intervenidas a diferencia de las zonas no intervenidas las cuales tienen diferencia significativa en las fracciones granulométricas 63 µm, 180 µm y 2000 µm.

3.1.18. Gráfico de efecto activo en la zona intervenida y no intervenida de Chambo

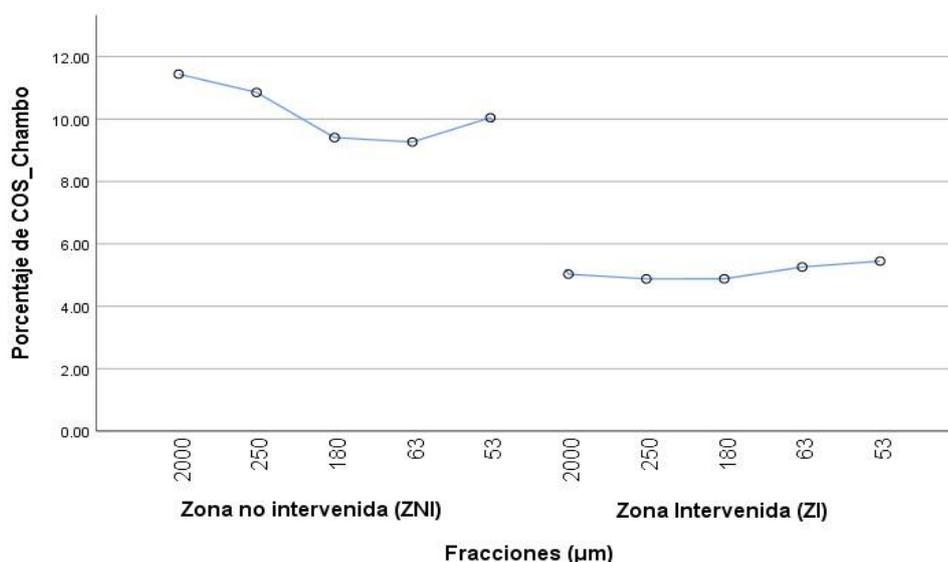


Gráfico 8-3: Carbono orgánico en las diferentes fracciones compuestas de zona intervenida y no intervenida de Chambo

Realizado por: GIDAC, 2021

En el gráfico 8-3, se puede definir que existe diferencias entre los valores de porcentaje de COS de las diferentes fracciones compuestas en zonas no intervenidas, sin embargo, en las zonas intervenidas al parecer existe una leve diferencia significativa en las diferentes fracciones.

Por lo tanto, las fracciones granulométricas de 53 μm , 2000 μm son las que mejor estiman el carbono orgánico de acuerdo a su tendencia central en zonas intervenidas y no intervenidas, concordando con el estudio de Martínez et al., (2017, pp. 49-55) e Irizar, (2004, pp. 4-50) que indican que esas fracciones predicen con exactitud el carbono orgánico, pero difieren en que no existe diferencia significativa entre fracciones. En cambio se observó que los menores estimadores de tendencia central se dan en los tamaños de partícula de 250 μm y 63 μm en zonas intervenidas y no intervenidas respectivamente.

Las zonas no intervenidas alberga la máxima cantidad de COS en fracciones de mayor tamaño debido a que las partículas de arcilla y limo disminuyen a medida de que las fracciones incrementan y por lo contrario el contenido de carbono disminuye cuando las fracciones contienen exceso de arcilla y limo (Matus y Maire , 2000, pp. 112-126).

Para Six et al. (1973, pp. 94-98), el carbono orgánico del suelo se reduce debido al incremento en la intensidad de cultivo, coincidiendo con los valores reportados en este investigación donde las zonas intervenidas poseen menor cantidad de carbono con respecto a las zonas no intervenidas, sin embargo también indican que no existe diferencia en la cantidad de carbono en suelos mixtos.

3.1.19. Análisis del ANOVA de zona intervenida y no intervenida de Pungalá

Tabla 15-3: Análisis del ANOVA de zona intervenida y no intervenida de Pungalá.

ANOVA					
COS					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1927.598	9	214.178	51.701	.000
Dentro de grupos	1449.905	350	4.143		
Total	3377.503	359			

Realizado por: GIDAC, 2021

Los resultados del estadístico F de Fisher-Snedecor, resultante de la tabla ANOVA define un valor p de 0.000, por el cual, se observan diferencias significativas en al menos una fracción utilizada.

3.1.20. Análisis de comparaciones múltiples zona intervenida y no intervenida de Pungalá

Tabla 16-3: Comparaciones múltiples zona intervenida y no intervenida de Pungalá.

COS						
HSD Tukey ^{a,b}						
	Tamaño de partículas (µm)	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
			1	2	3	4
Zona intervenida	180	42	4.8886			
	250	42	5.1090	5.1090		
	2000	42	5.6262	5.6262		
	63	42	5.8790	5.8790		
	53	42		6.4945		
Zona no intervenida	180	30			9.1383	
	63	30			9.2707	
	53	30			9.7180	9.7180
	250	30				10.9450
	2000	30				11.2557
Sig.			.574	.125	.973	.054

Realizado por: GIDAC, 2021

Los resultados hallados en Pungalá mediante la prueba de Tukey indican que, las fracciones granulométricas de 53 y 180 µm presentan diferencia significativa en zonas intervenidas a diferencia de las zonas no intervenidas en los cuales son las fracciones granulométricas de 63 µm, 180, 250 y 2000 µm.

3.1.21. Gráficos de efectos activos en la zona intervenido y no intervenida de Pungalá

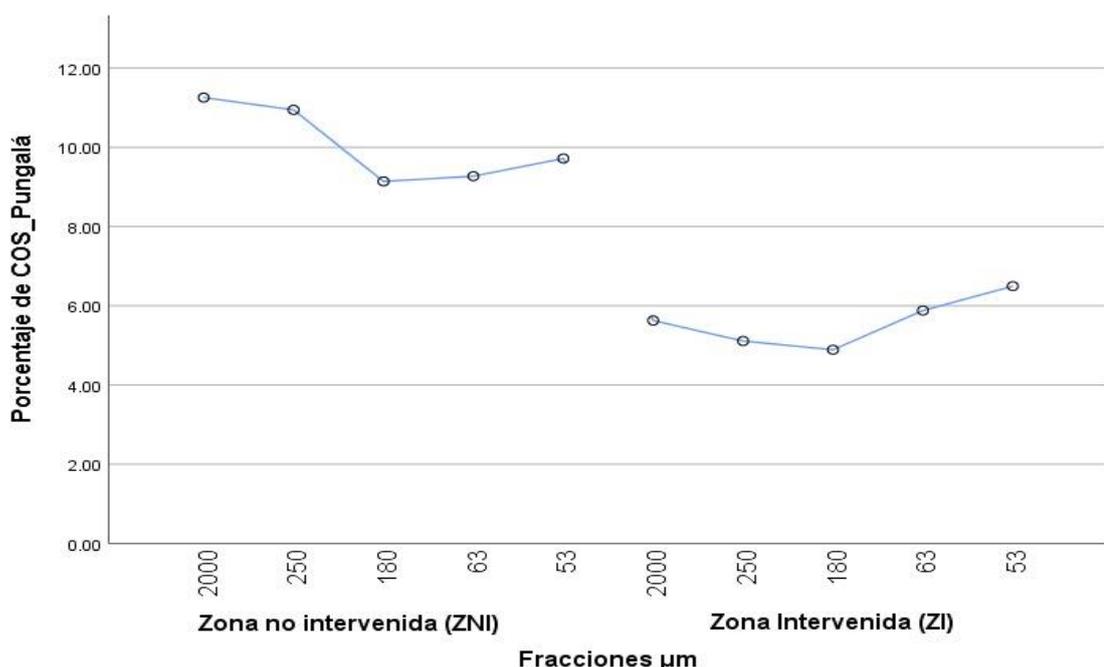


Gráfico 9-3: Efecto activo en la zona intervenida y no intervenida en Pungalá

Realizado por: GIDAC, 2021

De acuerdo con el gráfico 9-3 se evidencia que en el páramo de Pungalá la fracción compuesta que determina de mejor manera el carbono es el de 2000 μm y en menor medida el de 180 μm , esto en zonas no intervenidas a diferencia de las zonas intervenidas en las cuales el que mejor determina el carbono es la fracción de 63 μm y el que menor estima el de 180 μm , esto refiriéndose claramente a los promedios de carbono orgánico en relación a las fracciones compuestas.

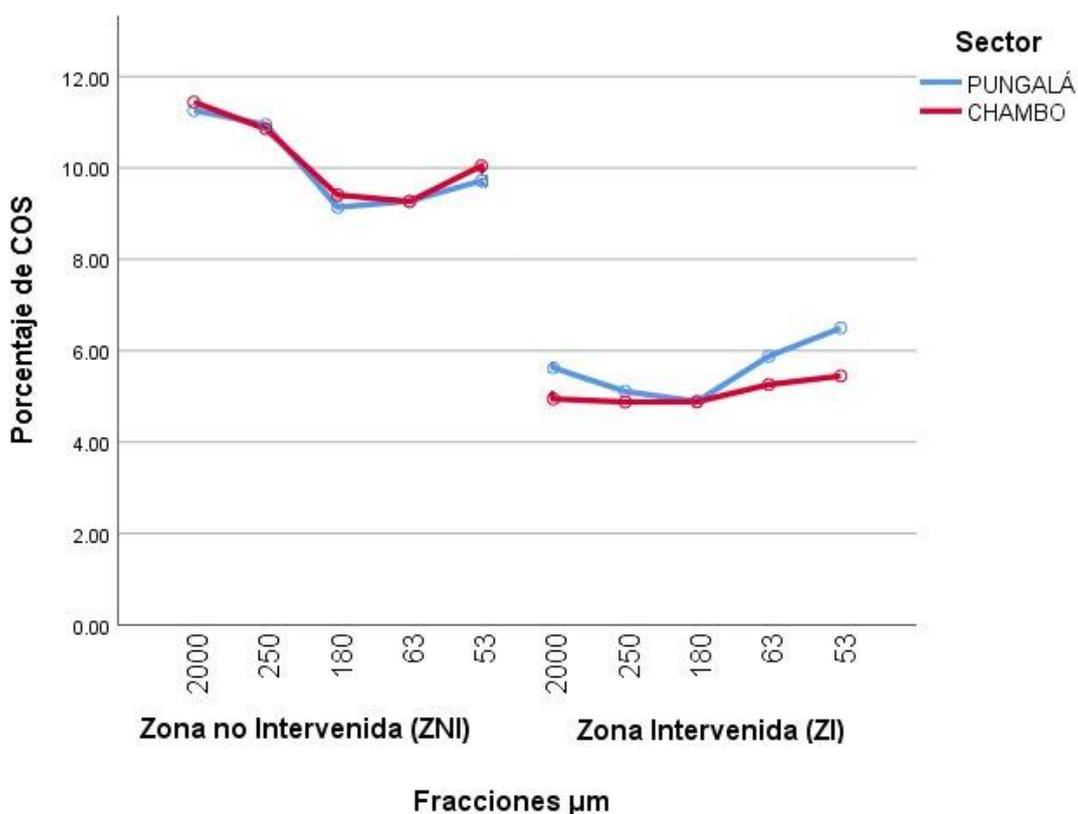


Gráfico 10-3: Fracciones compuestas de Chambo y Pungalá

Realizado por: GIDAC, 2021

Una vez concluido con el análisis estadístico del carbono orgánico y de las diferentes fracciones compuestas se puede resumir en que, el contenido de carbono orgánico en los sectores de Chambo y Pungalá no cumple con normalidad, por lo que, se procede con la aplicación del ANOVA obteniendo que las variables zona, altitud y profundidad poseen diferencia significativa de las cuales la zona no intervenida posee mayor cantidad de carbono orgánico, casos similar sucede cuando existe mayor altitud y menor profundidad. Cabe recalcar que en el sector Chambo el contenido de carbono se transformó a logaritmo al no cumplir con los supuestos de normalidad y homocedasticidad en los residuos del ANOVA.

Para determinar si existe diferencia significativa en las diferentes fracciones compuestas de los sectores Chambo y Pungalá se aplicó la prueba de Tukey, en el cual se demostró que existe

diferencia significativa en las diferentes fracciones compuestas de zonas intervenidas y no intervenidas, además se identificó que la zona no intervenida de Chambo (11.44%) presenta mayor carbono orgánico en relación a Pungalá (11.26%), por lo contrario, para zonas intervenidas el sector Pungalá (6.49%) tiene mayor carbono orgánico en comparación con Chambo (5.45%).

3.2. Estadístico descriptivo de cationes y CICE respecto al sector (Chambo y Pungalá).

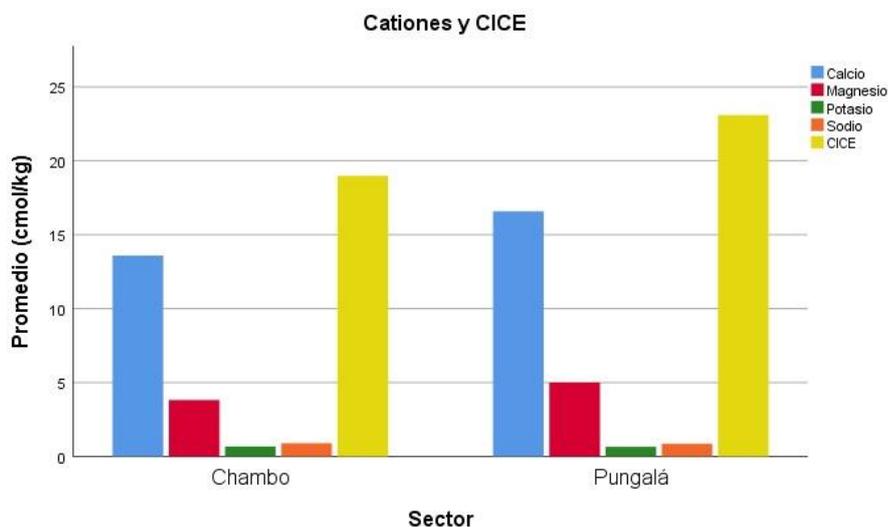


Gráfico 11-3: Estadístico descriptivo de los promedios de cationes y CICE respecto al sector (Chambo y Pungalá)

Realizado por: Allauca Lizbeth, Ayala Jennifer, 2021

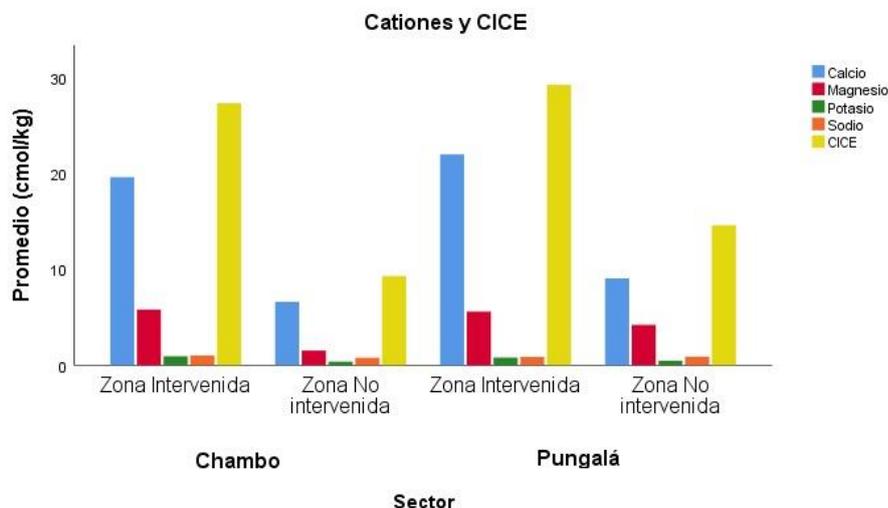


Gráfico 12-3: Estadístico descriptivo de los promedios de cationes y CICE de acuerdo a la intervención respecto al sector (Chambo y Pungalá)

Realizado por: Allauca Lizbeth, Ayala Jennifer, 2021

De acuerdo a los resultados se identifica que Pungalá contienen mayor capacidad de intercambio catiónico efectiva que Chambo al igual que sus cationes calcio y magnesio, por lo contrario, potasio y sodio en Pungalá son menores que en Chambo.

En base a los resultados del gráfico 12-3, la zona intervenida de Chambo y Pungalá superan los valores de cationes y capacidad de intercambio catiónico efectiva en cuanto a la zona no intervenida de ambos sectores, con la diferencia del catión sodio del sector Pungalá que en la zona no intervenida es mayor con respecto a la zona intervenida.

El páramo ecuatoriano de Quimsacocha ubicado en Cuenca-Azuay tiene menor capacidad de intercambio catiónico efectiva (14.5 meq/100ml) en andisoles como en histosoles (5.92 meq/100ml) en comparación con el páramo de Chambo y Pungalá, sin embargo, las bases intercambiales sigue la misma tendencia $Ca > Mg$ (Borja et al., 2008, pp. 7-12). Esta peculiaridad también se evidencia en los estudios de Ottinger (2013, pp.26-58), Liebenberg et al. (2020, pp. 1-17) y Jaremko y Kalembasa (2014, pp. 487-498) mostrando resultados mayores de CICE.

La razón de que exista mayor o menor capacidad de intercambio catiónico efectivo de acuerdo a Jaremko y Kalembasa (2014, pp. 487-498) se debe al contenido de carbono orgánico que aumenta en los sitios cargados negativamente de materia orgánica y a suelos dominados por arcilla por su carga variable.

El Ca^{2+} predomina por ser débilmente polarizable, tiende a formar enlaces iónicos con ligandos que contienen oxígeno (ácidos carboxílicos), por lo cual forman complejos organometálicos, el Na^{1+} no forma enlaces iónicos y el K^{1+} solo participa en ciertos complejos, estos a su vez permiten proteger a los compuestos orgánicos del suelo y con ello preservar el carbono orgánico suelo (Solly et al., 2020, pp. 5-11). Además, su escasa presencia en andosoles se da por el bajo contenido de K^{1+} en cenizas volcánicas y poca retención en suelos arcillosos.

CONCLUSIONES

- En el páramo de Pungalá y Chambo, la zona no intervenida presenta mayor porcentaje de carbono orgánico en la fracción compuesta de 2000 μm en comparación con la zona intervenida en la cual la fracción compuesta que mejor estima el carbono orgánico es la de 53 μm .
- Las fracción compuesta que menor estiman el carbono orgánico en Pungalá en la zona no intervenida es la de 180 μm y en la zona intervenida es la de 180 μm , a diferencia del sector Chambo en el cual la fracción compuesta que menor estima en la zona no intervenida es la de 63 μm y en la zona intervenida es la de 250 μm , por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa.
- La capacidad de intercambio catiónico efectiva en los sectores Chambo y Pungalá son altos en zonas intervenidas por la fertilización y menores en zonas no intervenidas por ausencia de aditivos químicos, en cuanto al sector que contiene mayor capacidad de intercambio catiónico efectiva es Pungalá con un promedio de 23.10 cmol/kg, siendo esta mayor que en Chambo con un promedio de 18.98 cmol/kg.
- La cantidad de carbono orgánico en el páramo de Chambo y Pungalá se incrementa con la altitudinal, en profundidades de 0-30 cm y en zonas no intervenidas, esto dado por las propiedades físico-químicas y factores ambientales propios del páramo.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere hacer el estudio de capacidad de intercambio catiónico efectiva en páramos altos andinos donde se incluya al catión aluminio y determinar la relación que tiene con cada catión intercambiable, pH y actividad microbiana del suelo.
- Se recomienda ampliar el estudio en los sectores del páramo tanto nacionales e internacionales, debido a la poca existencia de información con respecto al carbono orgánico.
- Difundir los resultados obtenidos, a toda la comunidad científica, personas naturales, jurídicas, GADS, pobladores de Chambo y Pungalá, para que, se tome conciencia de la importancia de la conservación de los páramos, y generar políticas públicas que contribuyan en su protección.

GLOSARIO

Agregado: Son fracciones que se encuentran pegadas unas a otras por la materia orgánica, las propiedades del suelo definen la forma y tamaños de estas partículas (FAO, 2017, p. 108).

Catión Calcio: “En la corteza terrestre se tiene un 3.2% de calcio. Es uno de los elementos ampliamente difundidos durante la cristalización del magma, está en la composición de las rocas máficas y en menor cantidad en rocas félsicas” (Padilla, 2014, p. 8).

Carbono: Elemento químico importante en la vida de los seres vivos, porque es participe del ADN, se halla en la superficie terrestre, océano como metano y en la atmosfera como dióxido de carbono (Cruz et al., 2018, p. 64).

Catión Magnesio: Uno de los 10 elementos indispensables para la planta, se halla en el suelo en su mayoría parte como minerales (silicatos) y en diferentes formas: asimilables, lentamente asimilable, rápidamente asimilables (Navarro y Navarro, 2003, pp. 309-320).

Catión Potasio: Catión que forma parte estructural de micas y feldspatos, macronutriente abundante pero insuficiente para cubrir las necesidades de los cultivos, debido a su carga se encuentra retenido en minerales, arcillas y materia orgánica (Núñez, 2014, pp. 4-6).

Catión Sodio: Compuesto catiónico, forma enlaces iónicos al desplazar otras bases de la superficie estructural. Su alta concentración disminuye la porosidad y la permeabilidad del suelo (Lamz y Gonzáles, 2013. p. 33).

Descomposición: Es la transformación de la materia orgánica a formas más elementales de la materia (FAO, 2017, p. 110).

Ecosistema: Estructura activa en los que los organismos vivos son parte fundamental y su intermediario es la red trófica (Chauvín, 2007, p. 40).

Mineralización: Es el proceso por el cual la materia orgánica se desdobra en compuestos nitrogenados produciendo como producto final el amonio (Olmedo, 1993, p. 4).

Suelo: Es la capa superficial, el soporte de sistemas bióticos y abióticos, constituido de minerales, materia orgánica, microorganismos, además es el que, mayor reserva tiene de agua y carbono orgánico influenciado por factores climáticos como genéticos (FAO y MADS, 2018, pp. 5-9).

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, Miguel; et al. "Determinación del carbono total en bosques mixtos de *Pinus patula* Schl. et Cham". *Terra Latinoamericana* [en línea], 2008, (México) 27(2), pp. 105-114. [Consulta: 12 de Septiembre del 2020]. ISSN 2395-8030. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v27n2/v27n2a3.pdf>

ANDRADES, Marisol; et al. *Prácticas de edafología : métodos didácticos para análisis de suelos* [en línea]. España:Universidad de la Rioja, 2015. [Consulta:27 de diciembre 2020]. ISBN 978-84-608-5117-2, Disponible en: <https://publicaciones.unirioja.es/catalogo/monografias/mdaa15.shtml>

AYALA, Leonardo; et al. "Cuantificación del carbono en los páramos del Parque Nacional Yacuri, provincias de Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador". *Cedamaz* [en línea], 2014, (Loja) 4(1), pp. 45-52.[Consulta: 10 de Septiembre del 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/280561086_Cuantificacion_del_carbono_en_los_paramos_del_parque_nacional_Yacuri_provincias_de_Loja_y_Zamora_Chinchipe_Ecuador

BAUTISTA, A; et al. "La calidad del suelo y sus indicadores". *Ecología y Medio Ambiente* [en línea],2004, (México)59(8), p. 94. [Consulta:30 de abril del 2021]Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572>

BORJA, Pablo; et al. "Características Físico -Químicas De Histosoles y Andosoles de los Páramos de Quimsacocha, Ecuador". *XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo* [en línea], 2008,(Cuenca) 11, pp. 7-12. [Consulta:12 de diciembre 2020]. Disponible en: <https://studylib.es/doc/3431456/caracteristicas-fisico-quimicas-de-histosoles-y-andosoles>

CAMACHO, Miguel. "Los páramos Ecuatorianos : caracterización y consideraciones para su conservación y aprovechamiento sostenible". *Anales* [en línea], 2014, (Quito) 1, pp. 80-81. [Consulta:10 de noviembre 2020]. ISBN 13907891. Disponible en: <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/anales/article/view/1241>

CASTAÑEDA-MARTÍN, Abel Efrén; & MONTES-PULIDO, Carmen Rosa. "Carbono almacenado en páramo andino". *Entramado* [en línea], 2017, (Colombia) 13(1), pp. 210-221. [Consulta:16 de noviembre 2020]. ISSN 19003803. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/entra/v13n1/1900-3803-entra-13-01-00210.pdf>

CHAMBO, GAD. *Chambo - Censo de Población, Densidad Poblacional y Superficie de Ecuador* [blog]. [Consulta: 15 de noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.dateas.com/es/explore/censo-poblacion-densidad-superficie-ecuador/chambo-234>

CHATTERJEE, A.; et al. "Evaluation of different soil carbon determination methods". *Critical Reviews in Plant Sciences* [en línea], 2009, (Inglaterra) 28(3), pp. 164-178. [Consulta:15 de noviembre 2020]. ISSN 07352689. DOI 10.1080/07352680902776556. Disponible en: <https://n9.cl/sxka>

CHAUVÍN, Silvina. *La biodiversidad en los ecosistemas* [en línea]. Buenos Aires: Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación, 2007. [Consulta: 07 mayo 2021]. ISBN 9789500006736, Disponible en: <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL002707.pdf>

CONTI, M. *Principios Edafología con énfasis en suelos Argentinos* [en línea]. Argentina: Facultad de Agronomía, 2000. [Consulta:22 de diciembre 2020]. Disponible en : <http://files.bgf-info9.webnode.com/200000212-c98f3ca895/Principios Edafología M Conti.pdf>

CORREA, Alicia; et al. "A concerted research effort to advance the hydrological understanding of tropical páramos". *Hydrological Processes* [en línea], 2020, (Quito) 34(24), pp. 3-56. [Consulta:10 de noviembre 2020].ISSN 10991085. Disponible en: <https://n9.cl/82zmt>

CRUZ, Javier; et al. *Química del carbono* [en línea]. 6 ed. México: Universidad Autónoma de Sinaloa, 2018. [Consulta: 07 mayo 2021]. Disponible en: <http://up-rid2.up.ac.pa:8080/xmlui/handle/123456789/1456>

DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS SERVICIO DE CONSERVACIÓN DE RECURSOS NATURALES. *Claves para la Taxonomía de Suelos* [en línea]. México: Departamento de Agricultura, 2014. [Consulta: 15 Noviembre 2020]. Disponible en: http://www.mdp.edu.ar/agrarias/grado/723_Genesis/archivos/Taxonomia_Suelos_2010.pdf

DRIESSEN, Paul; & DECKERS, Jozef. *Lecture notes on the major soils of the world* [en línea]. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2001. Disponible en: <http://www.fao.org/3/y1899e/y1899e.pdf>

ECHEVERRÍA, Magdy; et al. "Quantification of organic carbon stored in the soil in the paramo of Igualata, Chimborazo province-Ecuador". *AIP Conference Proceedings*, [en línea], 2018, (Chimborazo), pp. 2-8. [Consulta:10 de octubre 2020]. ISSN 15517616. Disponible en:

<https://doi.org/10.1063/1.5050356>

EYHERABIDE; SAINZ; et al. "Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo". *Ciencia del suelo*, [en línea], 2014 (Argentina) 32(1), pp. 13-19. [Consulta:9 de noviembre 2020]. ISSN 1850-2067. Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/25777>

FAO. *Ingignia de los suelos* [en línea]. Organización de las Naciones Unidas por la Alimentación y la Agricultura, 2017. [Consulta:05 mayo 2021]. ISBN 9789253084340, Disponible en: www.fao.org/publications

FAO; & MADS. *Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales* [en línea]. Colombia: Organización de las Naciones Unidas por la Alimentación y la Agricultura, 2018. [Consulta:05 mayo 2021]. ISBN 9789251304259, Disponible en: www.fao.org/colombia

GARDI, C; et al. *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe, Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea* [en línea]. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995 Luxemburgo, 2014. Disponible en: https://esdac.jrc.ec.europa.eu/Library/Maps/LatinAmerica_Atlas/Documents/LAC.pdf

GERZABEK, Martin; et al. "Soil Organic Matter Pools and Carbon-13 Natural Abundances in Particle-Size Fractions of a Long-Term Agricultural Field Experiment Receiving Organic Amendments". *Soil Science Society of America Journal*, [en línea], 2001, (USA), 65(2), pp. 352-358. [Consulta:10 de noviembre 2020]. ISSN 1435-0661. Disponible en : <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj2001.652352x>

GINÉ, David ; & SÁNCHEZ, Remigio. "El páramo andino: Características territoriales y estado ambiental. Aportes interdisciplinarios para su conocimiento". *Estudios Geograficos*, [en línea], 2015, (España) 76(278), pp. 369-388. [Consulta:13 de septiembre 2020]. ISSN 19888546. Disponible en : <https://n9.cl/ox14x>

GUTIÉRREZ, J. "Estimation of organic carbon in paramo ecosystem soils in Colombia". *Ecosistemas*, [en línea], 2020, (Colombia) 29(1), pp. 1-10. [Consulta: 23 de Octubre]. ISSN 16972473. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/340938818_Estimation_of_organic_carbon_in_paramo_ecosystem_soils_in_Colombia

HOFSTEDE, R.; et al. *Vivir en los páramos* [en línea]. Quito:UICN, 2015. [Consulta: 14 de Diciembre 2020]. Disponible en : <http://www.uicn.org/sur> y <http://www.portalces.org/paramos>

HONTORIA, C.; et al. "Contenido de carbono orgánico en el suelo y factores de control en la España peninsular". *Edafología* [en línea], 2004, (Madrid) 11(2), pp. 149-154. [Consulta en : 12 de diciembre 2020]. Disponible en: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1999.03615995006300030026x>

HOYT. *Métodos para evaluar las existencias y los factores de emisión de carbono en manglares, marismas y pastos marinos* [en línea]. Australia: Carbono Azul, 2014. [Consulta: 16 de noviembre 2020]. Disponible en: www.iucn.org/es

INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS DE LA O.E.A. *Revisiones bibliográficas sobre Química del suelo* [en línea].Turrialba,Costa Rica:Orton,1970. [Consultado en: 30 de abril 2021].Disponible en: <https://n9.cl/5sxr5>

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA. *Semana de la Ciencia y Tecnología Jornada de Puertas Abiertas INIA* [en línea]. Tacurembo, 2015. [Consultado en: 30 de abril 2021]. Disponible en: [http://inia.uy/Documentos/Públicos/INIA Tacuarembó/2015/El Suelo 20 de mayo.pdf](http://inia.uy/Documentos/Públicos/INIA_Tacuarembó/2015/El_Suelo_20_de_mayo.pdf).

IRIZAR, Alicia. Cambios en las reservas de materia orgánica del suelo y sus fracciones granulométricas : efecto de la secuencia de cultivo , del sistema de labranza y de la fertilización nitrogenada [en línea]. (Trabajo de titulación).Buenos Aires,Ciencias, Agronomía. Argentina. 2004. pp. 4-50 [Consulta: 24 de Octubre 2020]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/33998473.pdf>

IRIZAR, Alicia; & COSENTINO, Diego. "Comparación de dos métodos de fraccionamiento físico de la materia orgánica del suelo".*UBA*, [en línea], 2010, (Argentina) 28(1), pp. 1-7. [Consulta:7 de Octubre 2020]. Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/16213>.

JAREMKO, Dawid; & KALEMBASA, Dorota. "A comparison of methods for the determination of cation exchange capacity of soils". *Ecological Chemistry and Engineering*, [en línea],2014, (*Polonia*) 21(3) (2014), pp. 487-498. [Consulta: 15 de diciembre 2020]. ISSN 18986196. Disponible en: <https://doi.org/10.2478/eces-2014-0036>

KETTERINGS, Quirine; et al. "A simple method for estimating effective cation exchange

capacity, cation saturation ratios, and sulfur across a wide range of soils". *Soil Science* [en línea], 2014, (New York) 179(5), pp. 230-236. [Consulta:11 enero 2021]. ISSN 15389243. Disponible en: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20143391274>

LAMZ, Alexis; & GONZÁLES, María. "La salinidad como problemas en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata". *Cultivos tropicales* [en línea], 2013, (Cuba) 34(4), p. 33. [Consulta: 05 mayo 2021]. ISSN 18194087. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193228546005>

LEFEVRE, C.; et al. "Carbono Orgánico del Suelo el Pontencial Oculto". *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura* [en línea], 2017, (Roma), pp. 5-47. [Consulta:24 julio 2020]. ISSN 9789253096817. Disponible en: www.fao.org/publications.

LIEBENBERG, Adrian; et al. "Extent of soil acidity in no-tillage systems in the western cape province of south africa". *Land* [en línea], 2020, (Sur Africa) 9(10), pp. 1-17. [Consulta:12 diciembre 2020]. ISSN 2073445X. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/344434640>

LLAMBÍ, L.; et al. *Páramos Andinos: Ecología, hidrología y suelos de páramos* [en línea]. 5 ed. Quito: Proyecto Páramo Andino, 2012. [Consulta:30 marzo 2021]. ISBN 9789942115492, Disponible en: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56475.pdf>.

LLUGSA, Mayra, & DUCHE, Vanesa. Estimación de carbono orgánico total en el suelo y biomasa del Páramo Andino de Yasipan y Atillo [en línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ciencias, Ecuador. 2020. pp. 16-20. [Consulta: 10 octubre 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13956>

LÓPEZ, Roberto. *Degradación del Suelo, causas, procesos, evaluación e investigación* [en línea]. 2 ed. Venezuela: Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial Universidad de los Andes, 2002. [Consulta:13 abril 2021]. ISBN 9806483103, Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/264311522>

MARTÍNEZ, Juan: et al. " Estimando el carbono orgánico del suelo en Mollisols y sus fracciones del tamaño de partículas por pérdida de ignición en las Pampas argentinas semiáridas y semihúmedas". *Geoderma Regional* [en línea], 2017, (Argentinean) 12, pp. 49-55. [Consulta:28 agosto 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.12.004>

MARINO, Mario. *Cambio Climático* [en línea]. México: Centro Mario Marino, 2014. [Consulta: 13 de Diciembre 2020]. Disponible en: <https://centromariomolina.org/libro/estudiante/files/assets/downloads/publication.pdf>

MATUS, Francisco J.; & MAIRE G, Christian R. "Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno ". *Scielo* [en línea], 2000, (Chillán) 60(2), pp. 112-126. [Consulta:15 diciembre 2020]. ISSN 0365-2807. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072000000200003>

MENA, Patricio; et al. *Los suelos del páramo* [en línea]. Ecuador: Serie Páramo, 2000. [Consulta:13 abril 2021]. ISBN 9978045910, Disponible en: <https://es-static.z-dn.net/files/d5c/a9751b4293c82c26ef428db85b953254.pdf>

MONDRAGÓN, J.; et al. "Calentamiento global: Una secuencia didáctica". *Mexicana de Física E* [en línea], 2019, (México) 65(1), pp. 52-57. [Consulta:10 julio 2020]. ISSN 18703542. Disponible en: <https://doi.org/10.31349/RevMexFisE.65.52>

NAVARRO, Simón; & NAVARRO, Gine. *Química Agrícola* [en línea]. 2 ed. Madrid: Mundi-Prensa,2003. [Consulta:30 de abril 2021]. Disponible en: <https://itscv.edu.ec/wp-content/uploads/2018/10/QUIMICA-AGRICOLA.pdf>.

NÚÑEZ, Agustín. Dimámica del potasio en suelos agrícolas del litoral oeste de Uruguay [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad de la república, Agronomía, Uruguay. 2014. pp. 4-6. [Consulta: 05 mayo 2021]. Disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/11187/1/FA-Ing-Agr.2014-nunez-agustin.pdf>

OROZCO, William. *Los Páramos Andinos* [en línea]. Ecuador: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales, 2014. [Consulta:13 abril 2021]. ISBN 9789978993293, Disponible en: https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/styles/publication/public/book_covers/BC-2014-025.JPG

ORTIZ, Diego. *Fundamentos y procedimientos para análisis físicos y morfológicos del suelo*[en línea]. Ecuador: Universidad Técnica de Machala, 2016. [Consulta:22 octubre 2020]. ISBN 9789942240828, Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/10690/1/FUNDAMENTOS Y PROCEDIMIENTOS.pdf>

OTTINGER, Jessica. Chemical characterization and anion exchange properties of a west Tennessee loess soil [en línea] (Trabajo de titulación). (Master) University of Tennessee, Science, Knoxville. 2013. pp. 26-58. [Consulta: 10 julio 2020]. Disponible en: https://trace.tennessee.edu/utk_gradthes

PADILLA, Alfonso. Procesos hidrogeoquímicos que dan origen a la salinidad en el sistema acuifero de Tierra Nueva [en línea] (Trabajo de titulación). Centro de investigación científica y de educación superior de enseñanza, Ciencias, México. 2014. p. 8. [Consulta: 07 mayo 2021]. Disponible en: <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/927>

PEREIRA, César; et al. *Edafología 1* [en línea]. Colombia: Universidad en el campo, 2011. [Consulta: 27 diciembre 2020]. Disponible en: www.espaciograficosa.com

PORTA, Jaume; et al. *Edafología: para la agricultura y el medio ambiental*. 3 ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2008a. ISBN 8484761487, Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=122479>

PORTA, Jaume; et al. *Introducción a la edafología: uso y protección del suelo*. Madrid: Mundi-Prensa, 2008b. ISBN 9788484763420, Disponible en: <https://www.mundiprensa.com/catalogo/9788484767503/edafologia--uso-y-proteccion-de-suelos>

PUNGALÁ, GAD. *Características generales del territorio* [blog]. [Consulta: 15 de noviembre 2020]. Disponible en: <http://pungala.gob.ec/>

ROBERT, Michel. "Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra". *Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación* [en línea], 2002, (Roma) (96), pp. 5-8. [Consulta: 08 enero 2020]. ISSN 9253046902. Disponible en: http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=OKZt9agfRksC&oi=fnd&pg=PR3&dq=CAPTURA+DE+CARBONO+EN+LOS+SUELOS+PARA+UN+MEJOR+MANEJO+DE+LA+TIERRA&ots=5xOjDqvtWf&sig=c9-6h5Q4W_qU0xBHudD4IqchYyc

ROSS, Ds.; & KETTERING, Q. "Recommended methods for determining soil cation exchange capacity. Chapter 9". *Cooperative Bulletin* [en línea], 2011, (Northeasten United States) (493), pp. 75-86. [Consulta: 15 enero 2020]. ISSN 14596067. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/242681520_Chapter_9_Recommended_Methods_for_Determining_Soil_Cation_Exchange_Capacity

SCHWEIZER, Susana. *Muestreo y análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad* [en línea]. Costa Rica: INTA Costa Rica, 2011. [Consulta: 13 abril 2021]. ISSN 0033-3042, Disponible en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P33-9965.pdf>

SEMARNAT. *Cambio climático ciencia , evidencia y acciones* [en línea]. México: Secretaría de medio ambiente y recursos naturales, 2009. [Consulta: 21 diciembre 2020]. Disponible en: http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/cambio_climatico.pdf.

SIX, J.; et al. "Soil Structure and Organic Matter: I. Distribution of Aggregate-Size Classes and Aggregate-Associated Carbon". *Soil Sci Soc Am Proc* [en línea], 1973, (United States) 37(1), pp. 94-98. [Consulta: 8 diciembre 2020]. ISSN 14596067. Disponible en: <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.642681x>

SMITH, Thomas; & SMITH, Robert. *Ecología* [en línea]. 6 ed. España: Pearson., 2014. ISBN 9788478290840, [Consulta: 10 diciembre 2020]. Disponible en: https://bgf-info9.webnode.com/_files/200000679-4ac514ac53/Ecologia.6ed.Smith.PDF.pdf

SOIL SURVEY STAFF. *Illustrated guide to soil taxonomy* [en línea]. 2 ed. Lincoln: Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, 2015. Disponible en: <http://edafologia.ugr.es/comun/libros.html>

SOLÍS, Adalberto; et al. "Carbono orgánico del suelo en rodales silvícolas del ejido La Victoria, Pueblo Nuevo, Durango". *Investigación y Ciencia* [en línea], 2014, (Aguascalientes) 22(63), pp. 5-11. [Consulta: 11 enero 2021]. ISSN 16654412. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5473738>

SOLLY, Emily F.; et al. "A Critical Evaluation of the Relationship Between the Effective Cation Exchange Capacity and Soil Organic Carbon Content in Swiss Forest Soils". *Frontiers in Forests and Global Change* [en línea], 2020, 3, pp. 1-12. [Consulta: 9 octubre 2020]. ISSN 2624893X. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00098>

STOLBOVOY, Vladimir; et al. "Soil sampling protocol to certify the changes of SOC in mineral soils of the EU". *European Communities* [en línea], 2005, (New York), pp. 1-13. [Consulta: 15 noviembre 2020]. ISSN 9789279053795. Disponible en:

VARGAS, R. *Guía para la descripción de suelos* [en línea]. 4 ed. Bolivia: Universidad Mayor de San Simón, 2009. [Consulta: 24 julio 2020]. ISBN 9789253055210, Disponible en:

<https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2016000087>

ZAGAL, Sadsawka. *Protocolo de métodos de análisis para suelos y lodos* [en línea]. Ciencia Del Suelo, 2007. [Consulta: 15 marzo 2021]. Disponible en: http://www.sag.cl/sites/default/files/METODOS_LODOS_SUELOS.pdf

ANEXOS

ANEXO A: INSPECCIÓN DEL LUGAR DE MUESTREO



Sector Pungalá (1)



Sector Pungalá (2)



Sector Chambo (1)



Sector Chambo (2)

ANEXO B: HERRAMIENTAS PARA EL MUESTREO



Barreno



Funda plástica



Fundas Ziploc

ANEXO C: TOMA DE MUESTRA



Solicitud verbal de ingreso al terreno



Ingreso del barreno



Muestra de suelo en el barreno



Colocación del suelo en la funda plástica



Mezcla del suelo



Muestras de suelo en fundas Ziploc

ANEXO D: ACTIVIDADES EN EL LABORATORIO



Análisis de pH



Etiquetado de muestras



Secado de muestras



Triturado



Tamizaje



Crisoles + muestra en la estufa



Crisoles+ muestra en la mufla



Pesaje de crisoles+ muestra



Análisis de capacidad de intercambio catiónico

ANEXO E: INFORME DE CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO EFECTIVA POR LABSU

 LABSU LABORATORIO AMBIENTAL Suelos, Aguas, Alimentos, Emisiones, Ruido	VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Finq. P. de Villaqueimado S/N y Av. Lahuza E-mail: laboratorio@labsu.com.ec Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefonos: (09) 306 - 3981108	Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° SAE LEN 07-003
	INFORME DE ENSAYO N° 133 887	
SPS: 20 - 0 268		Análisis de Suelo

Coca, 8 de enero de 2021

1.- INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Solicitado por: **SRTAS. JENNIFER AYALA & LIZBET ALLAUCA**

Dirección: **Pungulá - Ambato**

Fecha hora de toma de muestra: **2 020 10 21** N/A

Responsable: **Srtas. Jennifer Ayala & Lizbet Allauca**

Identificación de la muestra: **Suelo, Cód: C1-JP-I**

2.- INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

Fecha hora ingreso al Laboratorio: **2 020 12 24** **16:00**

Fecha del análisis: **2 020 12 24** a **2 021 01 08**

Condiciones Ambientales de Análisis T. Máx: **26,5°C** T. Mín: **21,5°C**

Código de LabSu: **s 15 462**

2.1.- PARÁMETROS, MÉTODO / REFERENCIA:

Ítem	Análisis solicitados	Método de Referencia Normalizado/ PEE - LABSU	Unidad	Código a 15 462
1	% Calcio	BOGNER TECHNICAI SOIL MANUAL/PEE-LABSU-06/76	mg/Kg	5205,98
2	% Magnesio	BOGNER TECHNICAI SOIL MANUAL/PEE-LABSU-06/76	mg/Kg	443,44
3	% Potasio	BOGNER TECHNICAI SOIL MANUAL/PEE-LABSU-06/76	mg/Kg	308,54
4	% Sodio	BOGNER TECHNICAI SOIL MANUAL/PEE-LABSU-06/76	mg/Kg	107,63

2.2.- COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

2.2.1.- COMENTARIOS

- El laboratorio no es responsable por la información proporcionada por el cliente.
- Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

3.- RESPONSABLES DEL INFORME:


Téc. Anderson Pizarro
DIRECTOR TÉCNICO
AUTORIZACIÓN




Ing. Leticia Linares Veloz
RESPONSABLE DE CALIDAD
REVISIÓN



Urkund Analysis Result

Analysed Document: LizabethAllauca-JenniferAyala.docx (D106566902)
Submitted: 5/26/2021 6:57:00 PM
Submitted By: magdy.echeverria@epoch.edu.ec
Significance: 4 %

Sources included in the report:

ESTIMACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO TOTAL EN EL SUELO Y BIOMASA DEL PÁRAMO ANDINO DE Y ASIPAN Y ATILLO.docx (D62887814)
TIC COMPLETA_compressed.pdf (D102482157)
JUMBO MIRIAM & MONAR JOHANNA.docx (D104974089)
DETERMINACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO ANDINO DE ICHUBAMBA Y GUARGUALLA, PA RROQUIA CEBADAS.docx (D63202567)
Jefferson bautista-shirley lema.docx (D104479047)
INFLUENCIA DE LA INTERVENCIÓN EN LOS SUELOS DEL PÁRAMO DE NAVAG-CHIMBORAZO EN EL C ONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA.pdf (D62956482)
TESTS_Paulina_Davies.docx (D77290334)
EVALUACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO EN EL ECOSISTEMA DE PÁRAMO DE LA MICROCU ENCA DEL RÍO CHIMBORAZO EN BASE A LAS ACTIVIDADES ANTRÓPICAS.docx (D47872320)
TESIS FINAL UNMSM Marzo 2017 - copia.pdf (D26290473)
ESTIMACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO Y BIOMASA DEL PÁRAMO DE QUIMIAG.pdf (D61006781)
TESIS FINAL BRAYAN CHILUIZA.docx (D60634652)
CUANTIFICACIÓN DE LA RESPIRACIÓN EDÁFICA COMO MEDIDA DE LA ACTIVIDAD MICROBIANA E N SUELOS DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CHIMBORAZO.docx (D47949879)
TESIS CHOCA.pdf (D24691688)
<http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/13956/1/156T0010.pdf>
<https://core.ac.uk/download/pdf/288186225.pdf>
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/4645/4/IV_FIN_107_TE_Caceres_Lopez_2018.pdf
https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2013/hdl_2072_210370/PFC_CarlaGuillenEscriba.pdf

Instances where selected sources appear:

40