

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
DIRECCIÓN DE POSGRADO
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN AGRONOMÍA MENCIÓN
CAMBIO CLIMÁTICO

MODALIDAD DE TITULACIÓN: Proyecto de Investigación

Trabajo de titulación previo a la obtención del Grado Académico de
Magister en Agronomía Mención Cambio Climático

INFLUENCIA DE LA COBERTURA VEGETAL Y RELIEVE
SOBRE EL ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN EL SUELO
DEL ECOSISTEMA PÁRAMO

Autor: Ing. Agr., Daniel Patricio Reinoso Torres

Director: Ing. MSc., Pedro Pablo Pomboza Tamaquiza, PhD

Cevallos – Ecuador

2020

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ciencias Agropecuarias

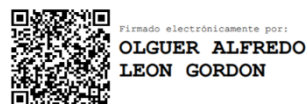
El Tribunal receptor del Trabajo de Investigación, presidido por el Ingeniero Marco Pérez Salinas Magíster, e integrado por los señores (Ing. Michel Leiva Mora Ph.D.; Ing. Olguer Alfredo León Gordon Mg.) designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Investigación con el tema: INFLUENCIA DE LA COBERTURA VEGETAL Y RELIEVE SOBRE EL ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN EL SUELO DEL ECOSISTEMA PÁRAMO, elaborado y presentado por el señor Ingeniero Agrónomo Daniel Patricio Reinoso Torres, para optar por el Grado Académico de Magíster en Agronomía Mención Cambio Climático; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Investigación; el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



Ing. Marco Pérez Salinas Mg.
Presidente del Tribunal



Ing. Michel Leiva Mora Ph.D.
Miembro del Tribunal



Ing. Olguer Alfredo León Gordon Mg.
Miembro del Tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

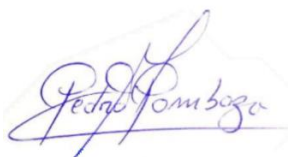
La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Investigación, presentado con el tema: “INFLUENCIA DE LA COBERTURA VEGETAL Y RELIEVE SOBRE EL ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN EL SUELO DEL ECOSISTEMA PÁRAMO”, le corresponde exclusivamente a: Ingeniero Agrónomo Daniel Patricio Reinoso Torres, Autor bajo la Dirección del Ing. MSc., Pedro Pablo Pomboza Tamaquiza, PhD Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Agr. Daniel Patricio Reinoso Torres

0503500480

AUTOR



Ing. MSc., Pedro Pablo Pomboza Tamaquiza, PhD

1802343283

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Investigación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.



Ing. Agr. Daniel Patricio Reinoso Torres

0503500480

ÍNDICE GENERAL

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ciencias Agropecuarias.	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. CAPÍTULO I.....	1
1.1. Introducción	1
1.2. Justificación.....	3
2. CAPÍTULO II.....	4
2.1. Estado del Arte.....	4
2.1.1. Carbono orgánico del suelo (COS).....	4
2.1.2. Ciclo del carbono	6
2.1.3. Sumideros de carbono.....	7
2.1.4. El páramo como sumidero de carbono	8
2.1.5. Relieve del suelo	8
2.1.6. Tipo de vegetación.....	9
2.1.7. El carbono orgánico del suelo (COS) y su relación con el cambio climático	10
2.2. Objetivos	10
2.2.1. General.....	10
2.2.2. Específicos	10
3. CAPÍTULO III.....	11
3.1. Metodología	11
3.1.1. Ubicación del sitio de estudio.....	11

3.1.2.	Tipo de investigación.....	15
3.1.3.	Hipótesis	15
3.1.4.	Operacionalización de variables	16
3.1.5.	Análisis e interpretación de datos	17
4.	CAPÍTULO IV	18
4.1.	Análisis de resultados.....	18
4.1.1.	Determinación de la cantidad de carbono orgánico del suelo (COS t/ha) 18	
4.1.2.	Relación entre la densidad aparente y la cantidad de COS almacenado en el horizonte de los sistemas estudiados.	22
	Tabla 8 Análisis de varianza de una regresión lineal simple de la relación entre la densidad aparente y la cantidad de COS.	22
4.1.3.	Relación entre el pH y la cantidad de COS almacenado en el horizonte de los sistemas estudiados.	24
	Tabla 9 Análisis de varianza de una regresión lineal simple de la relación entre el pH y la cantidad de COS.	24
4.1.4.	Relación entre la conductividad eléctrica y la cantidad de COS almacenado en el horizonte de los sistemas estudiados.	25
	Tabla 10 Análisis de varianza de una regresión lineal simple de la relación entre la CE y la cantidad de COS.	25
5.	CAPÍTULO V.....	26
5.1.	Conclusiones	26
5.2.	Recomendaciones.....	27
6.	BIBLIOGRAFÍA	28
7.	ANEXOS	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Reservas de Carbono en los suelos del mundo.	6
Tabla 2 Resultados del análisis de laboratorio.	18
Tabla 3 Análisis de varianza de COS t/ha.	19
Tabla 4 Prueba de comparación de todas las medias de COS t/ha para Relieve*Cobertura.	20
Tabla 5 Prueba de comparación de todas las medias de COS t/ha para Relieve*Profundidad.	20
Tabla 6 Prueba de comparación de todas las medias de COS t/ha para Cobertura vegetal*Profundidad.	21
Tabla 7 Prueba de comparación de todas las medias de COS t/ha para Relieve*Cobertura vegetal*Profundidad.	21
Tabla 8 Análisis de varianza de una regresión lineal simple de la relación entre la densidad aparente y la cantidad de COS.	22
Tabla 9 Análisis de varianza de una regresión lineal simple de la relación entre el pH y la cantidad de COS.	24
Tabla 10 Análisis de varianza de una regresión lineal simple de la relación entre la CE y la cantidad de COS.	25

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Descripción de factores de estudio.....	12
Cuadro 2 Operacionalización de variables dependiente e independiente.....	16

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Reservorio de carbono en el páramo: a) biomasa aérea, b) necromasa, c) raíces y d) carbono orgánico del suelo.	5
Figura 2 Mapa de ubicación de la zona de estudio en la comunidad Tamboloma de la parroquia Pilahuín.	11
Figura 3 Regresión lineal para contenido de COS t/ha, en función de la Da g/cm ³	23
Figura 4 Regresión lineal para contenido de COS t/ha, en función del pH.	24
Figura 5 Regresión lineal para contenido de COS t/ha, en función de la CE uS/cm.	25

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Porcentaje de carbono (%C).....	33
Anexo 2 Carbono orgánico del suelo (COS) t/ha	33
Anexo 3 Carbono orgánico del suelo (COS) kg/m ²	34
Anexo 4 Densidad aparente (Da) g/cm ³	34
Anexo 5 pH.....	35
Anexo 6 Conductividad eléctrica (CE) uS/cm.....	35
Anexo 7 Fotografías	36

RESUMEN

La investigación se la realizó en el páramo de la comunidad de Tamboloma perteneciente a la parroquia de Pilahuín del cantón Ambato, la información primaria se recolectó a través de una entrevista personal con el presidente de la comunidad de Tamboloma el Sr. Humberto Matiag. También, se analizaron 48 muestras de suelo para determinar la cantidad del carbono orgánico del suelo (COS) en función de los factores de estudio: relieve, cobertura vegetal, profundidad y las variables evaluadas fueron: COS, densidad aparente, pH, conductividad eléctrica. La investigación tuvo como objetivo principal determinar la acumulación de carbono en ecosistemas de páramo natural e intervenido y la relación con factores climáticos. El contenido de COS se determinó por el método modificado de Walkey y Black (1947). El contenido medio de COS en el ecosistema páramo dentro de una zona natural o de pajonal fue de 147,05 t/ha y para una zona de intervención humana o de pastizal fue de 162,49 t/ha, donde el orden del suelo de páramo para la provincia de Tungurahua corresponde a los Andosoles. El valor medio de pH del suelo fue de 5,64, la densidad aparente fue de 0,81 g/cm³ y con una conductividad eléctrica media de 629,79 uS/cm. Además, la variable densidad aparente ($R^2=0,4093$) fue la única variable que presentó respuesta positiva con la cantidad de COS en el análisis de correlación, mientras que las variables de pH y CE mostraron un valor de R^2 de 0,0015 y 0,0056 respectivamente.

Palabras claves

Carbono orgánico del suelo, cobertura vegetal, páramo, pendiente.

ABSTRACT

The investigation was carried out in the paramo of the community of Tamboloma belonging to the parish of Pilahuín in the canton of Ambato, the primary information was collected through a personal interview with the president of the community of Tamboloma, Mr. Humberto Matiag. Also, 48 soil samples were analyzed to determine the amount of soil organic carbon (COS) based on the study factors: relief, vegetation cover, depth and the variables evaluated were: COS, apparent density, pH, electrical conductivity. The main objective of the research was to determine the accumulation of carbon in natural and intervened páramo ecosystems and the relationship with climatic factors. Soil carbon content using the modified method of Walkey and Black (1947). The mean SOC content in the páramo ecosystem within a natural or grassland area was 147.05 t/ha and for a human intervention or grassland area it was 162.49 t/ha, where the soil order of páramo for the province of Tungurahua corresponds to the Andosols. The mean pH value of the soil was 5.64, the apparent density was 0.81 g/cm³ and with an average electrical conductivity of 629.79 uS/cm. In addition, the apparent density variable ($R^2 = 0.4093$) was the only variable that presented a positive response with the amount of COS in the correlation analysis, while the pH and EC variables showed an R^2 value of 0.0015 and 0.0056 respectively.

Keywords

Soil organic carbon, slope, vegetation cover, páramo.

1. CAPÍTULO I

1.1. Introducción

El páramo es un sistema natural que sus interacciones ayuda al equilibrio y normal funcionamiento de la naturaleza. Además, alberga gran biodiversidad, tiene funciones sociales, culturales, económicas, ecológicas, biológicas e hidrológicas, que son servicios ecosistémicos de importancia para las comunidades. Está protegido por los parques y reservas ecológicas que cubren las áreas altoandinas. Además, el páramo ecuatoriano alcanza aproximadamente 1.835.834 hectáreas (Llambí et al., 2012), que refleja la importancia ecológica en la región andina.

Los suelos del páramo brindan funciones y servicios ecosistémicos que ayuda a un desarrollo sostenible del territorio y se agrupan en las siguientes categorías: servicios de provisión, servicios de regulación, servicios culturales y servicios de soporte (Zúñiga Ugalde et al., 2018). Entre los servicios ambientales están la provisión de agua en calidad y cantidad; almacenamiento de carbono atmosférico. En base a este último, el suelo es la mayor reserva de carbono orgánico terrestre en la biosfera (Li et al., 2016), que ayuda a reducir las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) como el CO₂, N₂O y evita que salgan del sistema suelo hacia la atmósfera (Burbano Orjuela, 2018).

Los disturbios como la agricultura en zonas vulnerables, el sobrepastoreo de ovinos y bovinos, la quema de rastrojos y pajonales, la forestación de especies exóticas como el pino (*Pinus radiata*) afecta el almacenamiento de carbono en el suelo del páramo (Cuesta, Sevink, Llambi, De Bièvre, & Posner, 2014). El cambio climático unido con el cambio del uso de suelo, mala administración ecológica del suelo ha inducido a una aceleración en la pérdida del CO almacenado en la zona edáfica y la rebaja del potencial de captura de CO₂ atmosférico (Africano Pérez, Cely Reyes, & Serrano Cely, 2016). En consecuencia, estos cambios afectan a los procesos de regulación de los GEI y lo que es peor, disminuye la productividad y calidad de los suelos (Caviglia, Wingeyer, & Novelli, 2016).

El uso del suelo en el ecosistema altoandino es un factor importante en el cambio del paisaje natural. La extensión de la frontera agrícola, la sobrepoblación de animales, la reforestación con pino (*Pinus patula*) y eucalipto (*eucalyptus globulus labill*), la quema de pajonal ha ocasionado la disminución de biodiversidad, degradación del suelo (M. Cárdenas, 2015). También ha provocado una reducción en la acumulación de materia orgánica al suelo (Castañeda-Martín & Montes-Pulido, 2017). Asimismo, el mismo autor en su investigación mencionó que en áreas donde predomina la ganadería de bovinos y ovinos, la densidad aparente (Da) promedio del suelo es de 1,13 g/cm³, mientras que en páramos sin intervención la Da promedio es de 0,80 g/cm³.

El pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y saturación de bases intercambiables (SB), son propiedades químicas del suelo que favorece a explicar las condiciones del suelo como medio químico donde se desarrollan un conjunto de procesos fisicoquímicos, tales como oxidación de materia orgánica. Las condiciones fisicoquímicas del suelo afectan el COS, siendo el pH del suelo muy influyente sobre la cantidad y calidad de este. A su vez, la disponibilidad de nutrientes para los microorganismos descomponedores, especialmente las bases intercambiables Ca, Mg y K, también tienen una importancia sobre la dinámica del COS (Valenzuela B. & Visconti M., 2018)

Las comunidades Yatzaputzan, Tamboloma, Cunugyacu y La Esperanza integran la Corporación de Organizaciones Campesinas de Pilahuín (COCAP) y hacen parte del Plan de Manejo de Páramos Tungurahua, disponen de un área de 5.736 hectáreas de páramo, dedicados a la conservación de manera principal al recurso hídrico, que es abastecido por 29.854 regantes (A. Cárdenas, 2019).

1.2. Justificación

De acuerdo con el IPCC (2015), los cambios de uso de suelo, la agricultura, la ganadería y la silvicultura contribuyen con el 24% de las emisiones globales de GEI y a la degradación de suelos. Por lo tanto, una gestión sostenible de los suelos ayuda a la reducción de los efectos del cambio climático a través del almacenamiento de carbono orgánico y la disminución de las emisiones de GEI a la atmósfera. El sistema suelo como mecanismo para capturar carbono puede ser fácilmente reversible, tanto como sumidero de carbono, como emisor de CO₂ a la atmósfera. Sin embargo, la aplicación de alternativas de captura de carbono permitirá la sostenibilidad del recurso natural y ayudará a la mitigación del cambio climático (Caviglia et al., 2016).

La COCAP protege el páramo a través de proyectos, dichas superficies están en proceso de recuperación desde hace 20 años, en el transcurso del tiempo se reforestó un área representativa de la zona con especies endémicas como el arbusto yagual (*Polylepis incana*). Siendo una especie que actúa como “red captadora de agua de la neblina y depósito hídrico en el suelo”, por tal razón la zona está catalogada como una de las mejores para capturar carbono orgánico (A. Cárdenas, 2019).

La presión que ejerce el hombre contra los recursos naturales, en especial en el suelo del páramo ha provocado que la disponibilidad de agua se disminuya a causa de diversos factores. El deterioro de los páramos influye en la capacidad de retención de agua y en la capacidad de fijación de carbono orgánico. Por otro lado, la falta de información y de estudios sobre las concentraciones de contenido de carbono son escasos y limita la toma de decisiones en cuanto a medidas protección de los ecosistemas altoandinos. De este modo, con este tipo de investigaciones se busca proveer datos que ayuden a la conservación y restauración del ecosistema altoandino, a través de la cuantificación de CO, teniendo en cuenta los servicios ambientales que éstos prestan y su sensibilidad frente a los efectos del cambio climático.

2. CAPÍTULO II

2.1. Estado del Arte

2.1.1. Carbono orgánico del suelo (COS)

El COS integra la materia orgánica que a su vez influye en las propiedades físicas y químicas como la estructura, la densidad aparente, la porosidad y la infiltración la CIC (Serrano, Pacheco, Jiménez, Paredes, & Molina, 2015). El COS es parte del ciclo del carbono y se estima que el primer metro de suelo almacena aproximadamente 1500 Pg C (FAO, 2017). Asimismo, (Singh, Setia, Wiesmeier, & Kunhikrishnan, 2018) indicaron que en los tres primeros metros de suelo se almacena 2344 Pg C, debido a la incorporación de materia en descomposición de plantas, animales y microorganismos.

El COS está en constante rotación en el sistema natural del suelo, donde se mineraliza, libera, pierde y es remplazado por nuevos insumos orgánicos de carbono (Singh et al., 2018). En la trayectoria del proceso de liberación del CO del sistema suelo hacia la atmósfera se incluyen las actividades humanas como el establecimiento de cultivos comerciales, la quema agrícola por creencias ancestrales. Por lo tanto, como efecto principal provoca una reducción de las entradas orgánicas al suelo.



Figura 1 Reservorio de carbono en el páramo: a) biomasa aérea, b) necromasa, c) raíces y d) carbono orgánico del suelo.

Fuente: (Terán, Pinto, Ortiz, Salazar, & Cuesta, 2018)

Los suelos del páramo de la provincia de Tungurahua son clasificados dentro de los órdenes de: Entisol, Histosol, Inceptisol y Mollisol (Sánchez et al., 2015). En la tabla 1 se describe la cantidad de COS en suelos de mundo, según la clasificación del suelo. El COS tiene una actividad variable en el sistema edáfico, es decir que cuando empiezan las actividades antrópicas, el cambio de cobertura natural o pajonal a pastura el CO aumenta en un 8% y por el contrario en el cambio de pastura a cultivos disminuye en un 10 % (Lao, 2017). La composición fundamental de la MO en promedio tiene 50 % de carbono, 40 % de oxígeno y 3 % de nitrógeno, con pequeñas cantidades de fósforo, potasio, calcio, magnesio y otros elementos como micronutrientes.

Tabla 1 Reservas de Carbono en los suelos del mundo.

Orden/Tipo de suelo	Área (Mha)	Carbono orgánico del suelo (COS)	
		Contenido (t/ha)	Reserva (Pg)
Alfisoles	1262	125	158
Andisoles	91	220	20
Aridisoles	1570	38	59
Entisoles	2114	42	90
Gelisoles	1126	281	316
Histosoles	153	1170	179
Inceptisoles	1286	148	190
Mollisoles	901	134	121
Oxisoles	981	128	126
Suelo rocoso	1308	17	22
Arenas movedizas	532	4	2
Espodosoles	335	191	64
Ultisoles	1105	124	137
Vertisoles	316	133	42
Total	13083	-	1526

Fuente: (Lao, 2017)

2.1.2. Ciclo del carbono

El CO₂ presente en la atmósfera representa aproximadamente el 71,5 % de los gases de efecto invernadero del planeta (Rojas-Vargas, Silva-Agudelo, Guillén-Motta, Motta-Delgado, & Herrera-Valencia, 2019). La comunidad vegetal tiene la capacidad de almacenar carbono en su biomasa aérea a través del proceso de la fotosíntesis, para luego incorporar al suelo por medio de la descomposición del mantillo, constituyendo una reserva de carbono en el suelo (Rojas-Vargas et al., 2019).

El intercambio de carbono entre el sistema del suelo y el atmosférico resulta de acciones naturales como la fotosíntesis y la respiración, así como la generación de gases de origen antropogénico (Burbano Orjuela, 2018). El carbono circula entre la MO y el ambiente físico químico de una forma constante. En efecto, la unión del carbono con el oxígeno en la atmósfera forma un gas natural, el bióxido de carbono (CO₂), siendo con el vapor de agua gases necesarios para la regulación de la temperatura en el planeta (Martínez, Julia. Fernández, 2004).

El metano (CH₄) es un gas natural que es parte del ciclo del carbono, es después del CO₂ es el componente de carbono más concentrado en la atmósfera, éste se produce por la fermentación de la MO en condiciones anaeróbicas. Además, el metano tiene la capacidad de absorber radiación infrarroja 20 veces más por molécula que el CO₂ (Martínez, Julia. Fernández, 2004).

2.1.3. Sumideros de carbono

El sistema natural del suelo es considerado uno de los mayores sumideros de carbono que beneficia a la mitigación del cambio climático (Rojas, Andrade, & Segura, 2018) debido a la gran capacidad de almacenamiento y captura del carbono de la atmósfera, es por esta razón que el páramo es un sistema estratégico de interés nacional e internacional (Fernandez, Cely, & Serrano, 2019). Además, cuantitativamente los océanos son los principales sumideros de carbono del planeta (Burbano Orjuela, 2018).

Los bosques naturales tropicales también tienen gran capacidad como sumidero de carbono. Es importante indicar que el contenido de carbono en estos sistemas aumenta conforme aumenta el tamaño de los árboles. También, un bosque de áreas naturales protegidas tienen la capacidad de almacenar 9,7 millones de toneladas de carbono por año (Vicuña et al., 2019).

Los océanos son ecosistemas que almacenan grandes cantidades de carbono, debido a que microorganismos marinos como el fitoplancton captan el CO₂ disuelto en el agua para la fotosíntesis y lo transforma a carbono orgánico. De igual forma, otros

organismos marinos usan el CO₂ para convertir en carbonato cálcico (CaCO₃) e integrar en sus estructuras, para más adelante de la vida de éstos organismos se precipiten al fondo marino y permita que los océanos continúen atrapando CO₂ de la atmósfera (Gaviria, 2011). El sistema océano-atmósfera permite que los océanos almacenen entre 1,7 y 1,9 Pg C/año (Martínez, Julia. Fernández, 2004).

2.1.4. El páramo como sumidero de carbono

Las temperaturas bajas que predominan en los páramos permiten la acumulación de carbono orgánico en el suelo, debido a las tasas bajas de descomposición de la MO (Martínez, 2019). La vegetación del páramo da origen a la capa fértil del suelo y permite que el 95% del carbono del ecosistema sea almacenado en el suelo, debido a que la producción de MO es mayor a la tasa de descomposición (Vega, 2017). Por otro lado, un suelo del ecosistema altoandino puede alcanzar a incorporar al sistema edáfico aproximadamente 1200 tC/ha.

El reservorio de carbono en el suelo es 3,3 veces el tamaño del reservorio de la atmósfera que comprende 760 Gt y 4,5 veces el tamaño del reservorio biótico con 560 Gt (Yang, Zhou, Huang, Cao, & Groves, 2015). Es por ello, que el carbono en el suelo del ecosistema páramo tiene un papel fundamental ante una preocupación mundial de cambio climático. Por el contrario, las malas prácticas de manejo de páramos han provocado el principal flujo de salida de carbono del ecosistema hacia la atmósfera.

2.1.5. Relieve del suelo

(Nina, 2019) conceptualiza al relieve como el conjunto de geoformas o configuración física que se presentan en la superficie terrestre. Se refiere a la inclinación, longitud de las laderas, orientación del terreno y posición fisiográfica. En relación a, la pendiente (Garnica & Saldarriaga, 2015) explica que una pendiente mayor influye en la formación del suelo y el espesor disminuye en las zonas altas del páramo mientras en las zonas medias y bajas aumenta. El tipo de clima que caracteriza los diferentes pisos altitudinales de la cordillera de los Andes permite

que los elementos climatológicos influyan en las características de los suelos. Más aun, el factor climatológico relieve influye en los patrones de lluvia y temperatura.

Los suelos de ecosistemas altoandinos son distinguidos por localizarse en altitudes en donde las temperaturas disminuyen y tienen el potencial de ser el hábitat de un sin número de especies endémicas en flora y fauna. Por el contrario, las precipitaciones aumentan a medida que incrementa la altura, de esta forma ayuda en la regulación del sistema hídrico para el normal funcionamiento de las actividades humanas y la sostenibilidad del sistema. Hay diferencias entre las propiedades de los suelos de zonas bajas y los suelos que tienen un grado de inclinación, conservando en las partes planas la provisión y acumulación de agua en las almohadillas, zona herbácea natural que contribuye a incrementar la materia orgánica en el suelo. Del mismo modo, mientras el porcentaje de pendiente disminuye, la profundidad del suelo y el contenido de humedad aumenta lo que favorece a tener suelos más desarrollados con mayor cantidad de materia orgánica (Llambí et al., 2012).

2.1.6. Tipo de vegetación

(Sánchez et al., 2015) menciona que en el ecosistema páramo de Tungurahua es característico observar la vegetación de pajonal, matorrales, y plantaciones de pino hasta una altitud de 3900 msnm, lo que ha provocado que las especies exóticas deterioren en el transcurso de años anteriores los recursos naturales. Por otra parte, sobre dicha altitud se puede encontrar extensas áreas de almohadillas, *Polylepis* en óptimo estado de conservación y que son indicadores que el páramo se encuentra en un proceso de recuperación.

Las áreas del ecosistema páramo en especial los bosques naturales y las zonas de pajonal durante la historia ha sido común los disturbios ocasionados por el hombre, como la sobreexplotación de leña, actividades productivas de ganadería, ha originado el cambio de la estructura paisajística y los beneficios del entorno natural. Durante el tiempo la presencia de la especie *Lachemilla orbiculata* (orejuela) en el páramo indica que el pajonal ha sido sometido a pastoreo (Sánchez et al., 2015).

2.1.7. El carbono orgánico del suelo (COS) y su relación con el cambio climático

Estudios realizados por (Bermeo & Correa, 2020), han demostrado que el CO almacenado en los primeros 0,30 metros de profundidad mantiene valores altos en el suelo. En este sentido el COS se pierde en altas cantidades por varios factores, como las inapropiadas prácticas de cuidado del páramo y la continua ampliación de la frontera agrícola. Por su parte, (M. Cárdenas, 2015) atribuye que el cambio climático afectaría de forma considerable en las reservas de carbono orgánico debido al aumento de la temperatura y de forma consecutiva el incremento en la tasa de mineralización de la materia orgánica por los microorganismos presentes en los ecosistemas de alta montaña.

2.2. Objetivos

2.2.1. General

- Determinar la acumulación de carbono orgánico del suelo en ecosistemas de páramo natural e intervenido.

2.2.2. Específicos

- Determinar el efecto del tipo de cobertura vegetal en la conservación del carbono orgánico del suelo.
- Determinar el efecto de la pendiente y la profundidad sobre el contenido de carbono orgánico del suelo.
- Determinar la relación entre las propiedades fisicoquímicas (densidad aparente, pH, CE) y la cantidad de carbono orgánico del suelo.

3. CAPÍTULO III

3.1. Metodología

3.1.1. Ubicación del sitio de estudio

La presente investigación se realizó en la comunidad de Tamboloma de la parroquia Pilahuín, cantón Ambato. A una altitud de 3735 msnm en las siguientes coordenadas: X 747200, Y 9853742 (GPS). La zona registra una precipitación anual promedio de 1142 mm y una temperatura anual que fluctúa de 0 a 14 ° Celsius (GAD Parroquial de Pilahuín, 2015).

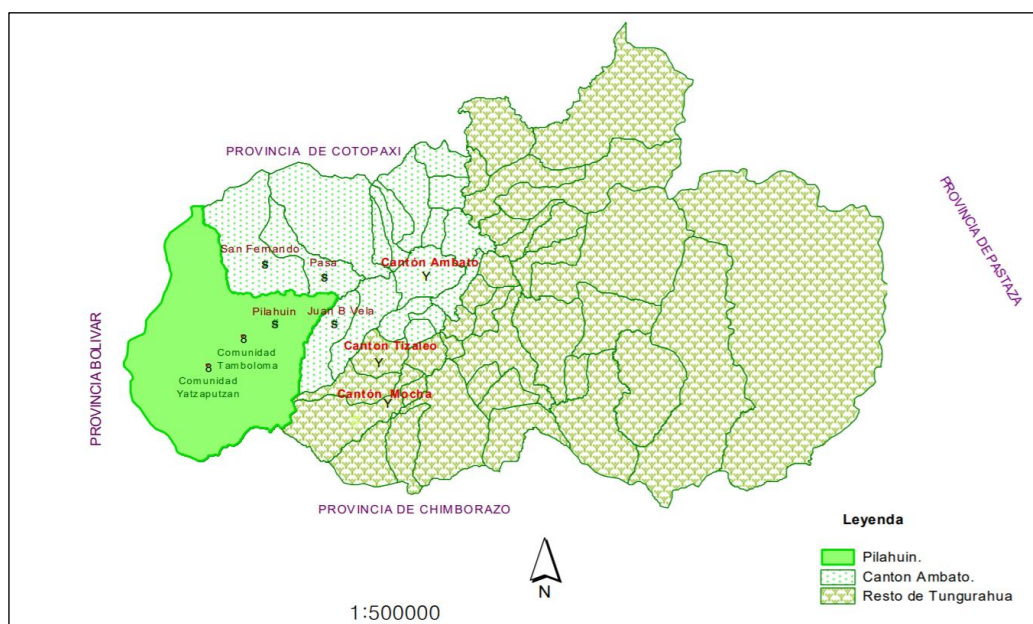


Figura 2 Mapa de ubicación de la zona de estudio en la comunidad Tamboloma de la parroquia Pilahuín.

Fuente: (COCAP, 2011).

En la figura 2 se sitúa la zona de estudio. Primero se realizó una entrevista personal al presidente de la comunidad Tamboloma el Sr. Humberto Matiag, para identificar el área. Es conveniente indicar que, la comunidad es parte de la COCAP

(Corporación de Organizaciones Campesinas de Pilahuín) y la ejecución de la presente investigación fue con el apoyo del “Fondo de Manejo de Páramos Tungurahua”.

Muestreo del suelo

Para la caracterización de parámetros químicos y físicos se realizó un total de dieciséis calicatas situadas en un área que cubre una zona natural o sin intervención del hombre y otra zona cultivada o intervenida por el hombre que va desde los 3719 hasta los 3737 msnm.

Cada zona se dividió en dos rangos de inclinación según su topografía (plana e inclinada). Para cada subárea se seleccionó al azar cuatro sitios para realizar las calicatas. La toma de muestras se dio a tres niveles de profundidad, la primera abarcó los primeros 30 cm, la segunda de 30 a 60 cm y la tercera de 60 a 90 cm.

Los detalles de los tratamientos se describen en el siguiente cuadro:

Cuadro 1 Descripción de factores de estudio

N°	Código	Descripción	Número de muestras
1	R1C1P1	Relieve plano/cobertura pajonal/profundidad 0-30 cm	4
2	R1C1P2	Relieve plano/cobertura pajonal/profundidad 30-60 cm	4
3	R1C1P3	Relieve plano/cobertura pajonal/profundidad 60-90 cm	4
4	R1C2P1	Relieve plano/cobertura pastizal/profundidad 0-30 cm	4
5	R1C2P2	Relieve plano/cobertura pastizal/profundidad 30-60 cm	4
6	R1C2P3	Relieve plano/cobertura pastizal/profundidad 60-90 cm	4
7	R2C1P1	Relieve inclinado/cobertura pajonal/profundidad 0-30 cm	4
8	R2C1P2	Relieve inclinado/cobertura pajonal/profundidad 30-60 cm	4
9	R2C1P3	Relieve inclinado/cobertura pajonal/profundidad 60-90 cm	4
10	R2C2P1	Relieve inclinado/cobertura pastizal/profundidad 0-30 cm	4
11	R2C2P2	Relieve inclinado/cobertura pastizal/profundidad 30-60 cm	4
12	R2C2P3	Relieve inclinado/cobertura pastizal/profundidad 60-90 cm	4
TOTAL DE MUESTRAS			48

Caracterización del suelo

La caracterización física y química del suelo se realizó en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato.

El procedimiento para determinar la densidad aparente (D_a), pH y conductividad eléctrica (CE) se describe a continuación:

Con la ayuda de un cilindro de volumen conocido (74 cm³) se tomó la muestra de suelo sin perturbar y se colocó en una funda plástica biodegradable etiquetada con el respectivo código.

Luego fue llevada al laboratorio y se pesó en una balanza digital. A continuación, se secó las muestras en una estufa a 105°C por 24 horas hasta obtener un peso constante, después se pesó las muestras secas. La densidad está determinada por la relación entre el peso seco obtenido y el volumen correspondiente (Rubio, 2010).

Se realizó el cálculo para determinar la densidad aparente a través de la siguiente formula:

$$D_a = \frac{W_{ss}}{V_s}$$

Donde:

D_a = Densidad aparente expresado en ($\frac{g}{cm^3}$)

W_{ss} = Peso del suelo secado a 105°C hasta peso constante

V_s = Volumen original de la muestra del suelo

Por último, para determinar el pH y la (CE) en agua se utilizó un pH-metro de mesa calibrado con las soluciones estándar. Luego se pesó 20 g de suelo en un vaso de 100 ml y se agregó 50 ml de agua destilada. Después se mezcló con una varilla de vidrio por 5 minutos y se dejó reposar por 30 segundos.

Seguido se introdujo el electrodo en la suspensión y se procedió a dar lectura del valor cuando fue estable en la pantalla. De forma inmediata se cambió al modo

conductímetro y se introdujo el electrodo conveniente para dar paso a la lectura de CE en unidades uS/cm (Andrades, Moliner, & Masaguer, 2015).

Determinación del Carbono orgánico

Para la cuantificación de carbono en el compartimiento suelo, se extrajo muestras de 1 kg de suelo por cada profundidad establecida, se guardó la muestra en bolsas plásticas biodegradables etiquetadas y se llevó al laboratorio de suelos de la misma universidad. Después se determinó el CO por el método de Walkley-Black (Black, 1967), dicho método se basa en la oxidación de COS por medio de una disolución de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado.

Para la transformación de porcentaje de carbono (%C) a toneladas de carbono por hectárea (tC/ha), se usó las siguientes fórmulas (Torres, 2016):

$$Pss = Da * Pm * 10000 \text{ m}^2$$

Donde:

Pss= Peso seco del suelo expresado en *t/ha*

Da= densidad aparente del suelo expresado en $\left(\frac{g}{cm^3}\right)$

Pm= Profundidad de muestreo

10000 m² es la equivalencia a 1 *ha*

$$Cc = \frac{\% C}{100} * Pss$$

Donde:

Cc= Contenido de carbono *t/ha*

%C= Porcentaje de carbono obtenido en laboratorio

Pss= Peso seco del suelo expresado en *t/ha*

3.1.2. Tipo de investigación

La investigación fue de tipo descriptiva, se estudió y describió el efecto del tipo de cobertura vegetal y relieve en el contenido del COS. También se observó el cambio que presenta en las profundidades del suelo de 0-30 cm; 30-60 cm y 60-90 cm.

3.1.3. Hipótesis

H0: La cantidad de carbono orgánico almacenado en los suelos del páramo no tiene relación con la cobertura vegetal y el relieve.

H1: La cantidad de carbono orgánico almacenado en los suelos del páramo tiene relación con la cobertura vegetal y el relieve.

3.1.4. Operacionalización de variables

Cuadro 2 Operacionalización de variables dependiente e independiente

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional		
		Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
(VD) Variable dependiente Cantidad de carbono orgánico en el suelo	Es la cantidad de carbono orgánico que se encuentra en el suelo producto de la acumulación y descomposición de la materia orgánica	Carbono almacenado en el ecosistema suelo	Carbono del suelo t/ha	Para determinar el porcentaje de carbono se realizó el análisis en el laboratorio.
(VI) Variable independiente Relieve Cobertura vegetal	Es la forma que tiene la corteza terrestre	Relieve semiplano Relieve inclinado	Porcentaje de inclinación Pendiente	Observación de la zona
	Es la capa de vegetación que cubre la superficie del suelo	Vegetación natural Vegetación cultivada	Porcentaje de cobertura natural Porcentaje de cobertura de pasto	Observación directa
Profundidad	Es el espesor de la capa de suelo en metros	Propiedades químicas Propiedades físicas	pH CE Altura (0,30 m) Da	Perfil del suelo Calicata Cinta métrica Cilindro de volumen conocido pH-metro, conductímetro Balanza digital Estufa

3.1.5. Análisis e interpretación de datos

Las variables estudiadas se tabularon y registraron en una base de datos, ordenándose por el relieve, tipo de cobertura vegetal, profundidad de muestreo y repetición. Ante la diversidad de factores que influyen en los parámetros fisicoquímicos, se utilizó el modelo de regresión lineal para evaluar la relación entre la cantidad de COS con las variables pH, Da y CE. Para el análisis estadístico, las variables fueron procesadas en el software Statistix 10, en un DBCA con parcelas divididas. En la comparación de medias se usó la prueba de Tukey al 5%.

4. CAPÍTULO IV

4.1. Análisis de resultados

4.1.1. Determinación de la cantidad de carbono orgánico del suelo (COS t/ha)

Se determinó el contenido de COS t/ha del páramo de Tamboloma para cada sistema evaluado, los resultados se presentan en la tabla 2. En el ANOVA (tabla 3) para COS los factores de estudio muestran estadísticamente una similitud, esto se debe a las unidades de (t/ha) que se maneja la cantidad de carbono. El coeficiente de variación (CV) para la interacción (A*B) fue de 14,24%, el CV para la interacción (A*B*C) fue de 16,18%, el CV para la interacción (A*B*C*D) fue de 8,64 %, con una media de 153,6 tC/ha.

Tabla 2 Resultados del análisis de laboratorio.

N°	Código	Medias					
		% C	COS kg/m ²	COS t/ha	Da g/cm ³	pH	CE uS/cm
1	R1C1P1	6,52	15,93	159,30	0,81	5,70	512,50
2	R1C1P2	5,36	14,35	143,48	0,89	5,88	309,50
3	R1C1P3	6,24	13,84	138,38	0,74	5,99	406,00
4	R1C2P1	6,37	15,47	154,72	0,81	6,11	452,75
5	R1C2P2	5,66	16,62	166,24	0,98	6,01	407,50
6	R1C2P3	6,40	16,65	166,52	0,86	5,88	388,50
7	R2C1P1	7,19	15,71	157,07	0,73	5,19	980,00
8	R2C1P2	6,10	14,59	145,92	0,80	5,35	756,75
9	R2C1P3	6,78	15,92	159,25	0,78	5,59	599,00
10	R2C2P1	6,71	15,36	153,63	0,76	5,17	1032,25
11	R2C2P2	6,26	14,47	144,68	0,77	5,32	908,25
12	R2C2P3	7,15	15,41	154,11	0,72	5,49	804,50

Tabla 3 Análisis de varianza de COS t/ha.

F. V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloques (A)	3	743,4	247,79		
Relieve (B)	1	65,2	65,16	0,14	0,7367
Error A*B	3	1435,9	478,64		
Cobertura (C)	1	444,0	444,03	0,72	0,4290
B*C	1	1051,0	1051,00	1,70	0,2398
Error A*B*C	6	3705,2	617,54		
Profundidad (D)	2	319,5	159,77	0,91	0,4174
B*D	2	383,2	191,61	1,09	0,3533
C*D	2	612,6	306,31	1,74	0,1974
B*C*D	2	634,5	317,24	1,80	0,1870
Error A*B*C*D	24	4231,1	176,30		
Total	47	13625,7			

CV(Bloques*Relieve) 14,24

CV(Bloques*Relieve*Cobertura) 16,18

CV(Bloques*Relieve*Cobertura*Profundidad) 8,64

Para la separación de las medias se utilizó la prueba de Tukey para un nivel de significación del 5% para el COS de los factores de estudio relieve, cobertura vegetal y profundidad para determinar las diferencias. La tabla 4 enseña la media alta que es de 162,49 t/ha COS que comprende el sistema R1C2 (relieve plano, cobertura vegetal pastizal). Por el contrario, la media menor fue de 147,05 t/ha que comprende el sistema R1C1 (relieve plano, cobertura pajonal).

Al analizar el comportamiento de mayor contenido de carbono en la cobertura de pastizal se explica que los restos de MO queda del cultivo y de las heces del ganado. Igualmente, los restos vegetales de arbustos presentes en el ecosistema genera la acumulación de MO, de esta manera ayuda a mantener la mayor cantidad de CO en los primeros centímetros de profundidad y el equilibrio con los GEI de la atmósfera.

Tabla 4 Prueba de comparación de todas las medias de COS t/ha para Relieve*Cobertura.

Relieve	Cobertura	Medias
R1	C2	162,49
R2	C1	154,08
R2	C2	150,81
R1	C1	147,05

Tabla 5 Prueba de comparación de todas las medias de COS t/ha para Relieve*Profundidad.

Relieve	Profundidad	Medias
R1	P1	157,01
R2	P3	156,68
R2	P1	155,35
R1	P2	154,86
R1	P3	152,45
R2	P2	145,30

De acuerdo a la prueba de medias, para los factores B, D (relieve, profundidad) la mayor cantidad de COS se encuentra en el sistema R1P1 (relieve plano, profundidad 0-30 cm) con una media de 157,01 COS t/ha. Mientras que la mínima cantidad de COS está situado en el sistema R2P2 (relieve pastizal, profundidad 30-60 cm) con una media de 145,30 COS t/ha.

De modo general, el CO en función de la pendiente tiene una conducta regular en las tres profundidades, en el relieve plano existe mayor acumulación de carbono. (Reyes, 2018) indicó que en la mayoría de los ecosistemas vegetales hay una tendencia a concentrar mayor cantidad de COS en la posición inferior de las pendientes. La afirmación anterior tiene validez en el análisis del efecto de la pendiente mayor y menor para las profundidades.

Tabla 6 Prueba de comparación de todas las medias de COS t/ha para Cobertura vegetal*Profundidad.

Cobertura	Profundidad	Media
C2	P3	160,32
C1	P1	158,19
C2	P2	155,46
C2	P1	154,17
C1	P3	148,81
C1	P2	144,70

De acuerdo a la prueba de medias, para los factores C, D (cobertura vegetal, profundidad) la mayor cantidad de COS se encuentra en el sistema C2P3 (cobertura vegetal pastizal, profundidad 60-90 cm) con una media de 160,32 COS t/ha. Mientras que la mínima cantidad de COS está situado en sistema C1P2 (cobertura vegetal pajonal, profundidad 30-60 cm) con una media de 144,70 COS t/ha.

(Castañeda-Martín & Montes-Pulido, 2017) señalaron que en el primer estrato del suelo (0-40 cm) bajo una vegetación natural la cantidad de almacenamiento de carbono respecto a la biomasa aérea varía entre 119 y 397 t/ha. Esta significación en las diferencias se debe a la densidad de la cobertura natural como a la cantidad de raíces por unidad de área.

Según (Andrade & Yépez, 2014) un área de nativo pajonal tiene un potencial de fijación de carbono del suelo que captó 179,6 t/ha. Mientras que un área de pastos alcanzó a fijar al suelo 114,9 tC/ha.

Tabla 7 Prueba de comparación de todas las medias de COS t/ha para Relieve*Cobertura vegetal*Profundidad.

Relieve	Cobertura vegetal	Profundidad	Media
R1	C2	P3	166,52
R1	C2	P2	166,24
R1	C1	P1	159,30
R2	C1	P3	159,25
R2	C1	P1	157,07
R1	C2	P1	154,72
R2	C2	P3	154,11

R2	C2	P1	153,63
R2	C1	P2	145,92
R2	C2	P2	144,68
R1	C1	P2	143,48
R1	C1	P3	138,38

De acuerdo a la prueba de medias, para los factores B, C, D (relieve, cobertura vegetal, profundidad) la mayor cantidad de COS se encuentra en el sistema R1C2P3 (relieve plano, cobertura vegetal pastizal, profundidad 60-90 cm) con una media de 166,52 COS t/ha. Mientras que la mínima cantidad de COS está situado en sistema R1C1P3 (relieve plano, cobertura vegetal pajonal, profundidad 60-90 cm) con una media de 138,38 COS t/ha.

A medida que se usa maquinaria agrícola la materia orgánica presente en la superficie se va incluyendo en los estratos inferiores del perfil del suelo. Mientras que en espacios con pajonal el contenido de materia orgánica y carbono disminuye a medida que se profundiza el muestreo (Ayala, Villa, Aguirre, & Aguirre, 2014).

4.1.2. Relación entre la densidad aparente y la cantidad de COS almacenado en el horizonte de los sistemas estudiados.

El análisis de varianza de la tabla 8 muestra un p valor altamente significativo para la variable Da.

Tabla 8 Análisis de varianza de una regresión lineal simple de la relación entre la densidad aparente y la cantidad de COS.

F. V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Da (g/cm ³)	1	5576,5	5576,54	31,87	0,0000
Error	46	8049,2	174,982		
Total	47	13625,7			

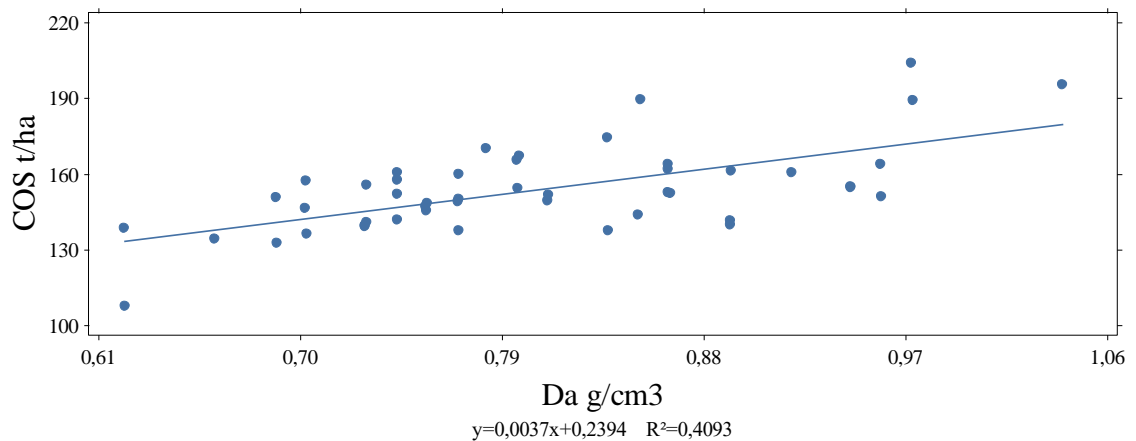


Figura 3 Regresión lineal para contenido de COS t/ha, en función de la Da g/cm³.

La figura 3, representa la regresión lineal entre el contenido de COS versus la densidad aparente, existe un coeficiente de determinación $R^2=0,4093$, donde la tendencia lineal positiva de la recta indica que las variaciones que se den en el COS t/ha en un 40% depende de la Da g/cm³. El 60 % va a depender de otros factores como: tipo de suelo, clima, etc.

La media de Da es de 0,81 g/cm³, dato similar se reportó por (Daza, Hernández, & Alba, 2014) en suelos andosoles que tiene un promedio de 0,92 g/cm³. La compactación del suelo va a tener una relación directa con el tipo de cobertura vegetal, cantidad de ganado por área, el clima de la zona, actividad microbiana.

(Fernandez et al., 2019) indicaron que la baja densidad aparente, con alta porosidad y alta MO de los suelos del páramo, provoca que tenga una gran capacidad de retención de agua y almacenamiento de carbono orgánico en la estructura. Sin embargo, las intervenciones antrópicas, de manera principal la ganadería, plantaciones forestales exóticos y la agricultura alteran en forma negativa las propiedades edáficas del ecosistema páramo, con incremento en la densidad aparente, disminución de la capacidad hídrica y del contenido de COS.

4.1.3. Relación entre el pH y la cantidad de COS almacenado en el horizonte de los sistemas estudiados.

Tabla 9 Análisis de varianza de una regresión lineal simple de la relación entre el pH y la cantidad de COS.

F. V.	gl	SC	CM	F	p-valor
pH	1	20,0	20,0093	0,07	0,7960
Error	46	13605,7	295,776		
Total	47	13625,7			

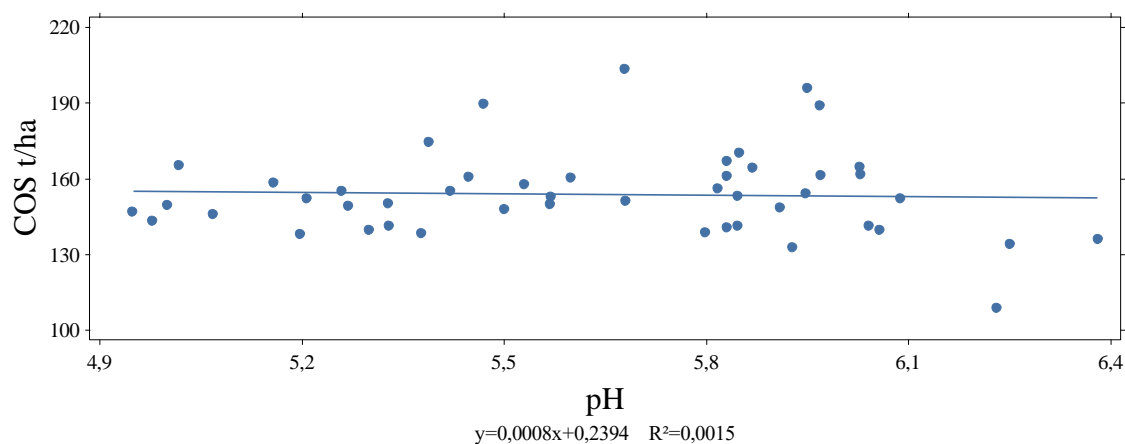


Figura 4 Regresión lineal para contenido de COS t/ha, en función del pH.

La figura 4, representa la regresión lineal entre el contenido de COS versus el pH, el coeficiente de determinación es $R^2=0,0015$, donde la tendencia lineal de la recta indica que las variaciones que se den en el COS t/ha no está determinado en función del pH.

Los valores de pH van desde 5,17 a 6,11 que corresponde a una categoría de moderadamente ácido

4.1.4. Relación entre la conductividad eléctrica y la cantidad de COS almacenado en el horizonte de los sistemas estudiados.

Tabla 10 Análisis de varianza de una regresión lineal simple de la relación entre la CE y la cantidad de COS.

F. V.	gl	SC	CM	F	p-valor
CE uS/cm	1	75,9	75,9425	0,26	0,6141
Error	46	13549,8	294,560		
Total	47	13625,7			

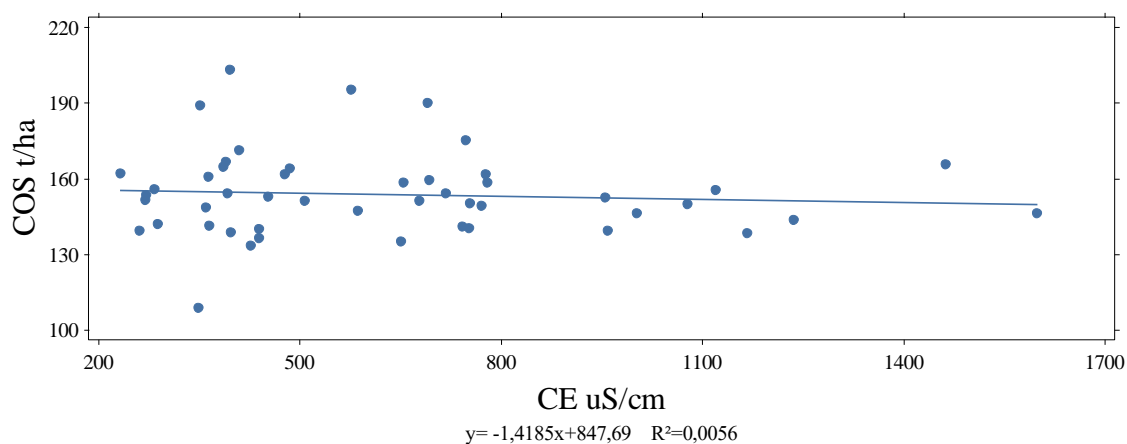


Figura 5 Regresión lineal para contenido de COS t/ha, en función de la CE uS/cm.

La figura 5, representa la regresión lineal entre el contenido de COS versus la CE, existe un coeficiente de determinación $R^2=0,0056$, donde la tendencia lineal de la recta indica que las variaciones que se den en el COS t/ha no está determinado en función de la conductividad eléctrica.

Según (Daza et al., 2014), mientras más contenido de materia orgánica tiene un suelo mayor es la conductividad eléctrica, esto se explica a que las partículas de los coloides retienen cationes que no lixiviados con el agua.

5. CAPÍTULO V

5.1. Conclusiones

- El contenido de carbono orgánico en los suelos del páramo de la comunidad de Tamboloma muestra en la zona natural un almacenamiento de 158,19; 144,70; 148,81 t C/ha en las tres profundidades respectivamente. Mientras que para la zona intervenida o pastizal la acumulación de carbono orgánico es 154,17; 155,46; 160,32 t c/ha para las tres profundidades respectivamente.
- No existieron diferencias en cantidad de carbono orgánico almacenado en los suelos entre el páramo de la zona natural y la zona intervenida o pastizal.
- La pendiente y la profundidad no tuvieron efecto significativo sobre el contenido de carbono orgánico del suelo.
- La densidad aparente tuvo una relación significativa con el contenido de carbono orgánico del suelo a diferencia del pH y la CE.

5.2. Recomendaciones

- Dar seguimiento a la cantidad de CO en los páramos de Tungurahua que ayude a efectuar futuros proyectos de conservación.
- Desarrollar investigaciones sobre la dinámica del COS en áreas con diferentes tipos de vegetación.
- Realizar investigaciones sobre la relación del COS y variables climáticas.
- Concientizar a la comunidad de Tamboloma sobre la importancia que juega el recurso suelo en el secuestro de carbono.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Africano Pérez, K. L., Cely Reyes, G. E., & Serrano Cely, P. A. (2016). Potencial de Captura de CO₂ asociado al componente edáfico en páramos Guantiva-La Rusia, departamento de Boyacá, Colombia. *Perspectiva Geográfica*, 21(1), 91. <https://doi.org/10.19053/01233769.4572>
- Andrade, A., & Yépez, H. (2014). *Almacenamiento De Agua Y Cuantificacion De Carbono En El Ecosistema Paramo Dentro De Un Esquema Global* (Escuel Politécnica Nacional). Retrieved from file:///C:/Users/PC/Downloads/CD-5541.pdf
- Andrades, M., Moliner, A., & Masaguer, A. (2015). Prácticas de edafología : métodos didácticos para análisis de suelos. *Universidad de Rioja*, 79.
- Ayala, L., Villa, M., Aguirre, Z., & Aguirre, N. (2014). Cuantificación del carbono en los páramos del parque nacional Yacuri, provincias de Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador. *Cedemaz*, 4(1), 45–52. Retrieved from http://unl.edu.ec/sites/default/files/investigacion/revistas/2014-12-1/art_5.pdf
- Bermeo, C., & Correa, M. (2020). *Determinación de carbono orgánico en el suelo andino de Ichubamba y Guargualla, parroquia Cebadas* (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). Retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13957/1/156T0011.pdf>
- Burbano Orjuela, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 82. <https://doi.org/10.22267/rcia.183501.85>
- Cárdenas, A. (2019, February 3). La comunidad es clave en el rescate de los páramos en Tungurahua. *EL UNIVERSO*. Retrieved from <https://www.eluniverso.com/noticias/2019/02/03/nota/7168019/comunidad-es-clave-rescate-paramos-tungurahua>
- Cárdenas, M. (2015). Evaluación de la calidad de los suelos de páramo intervenido y no intervenido en la comuna Monjas Bajo, parroquia Juan Montalvo, cantón Cayambe. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.39079>
- Castañeda-Martín, A. E., & Montes-Pulido, C. R. (2017). Carbono almacenado en páramo andino. *Entramado*, 13(1), 210–221. <https://doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25112>

- Caviglia, O. P., Wingeyer, A. B., & Novelli, L. E. (2016). El rol de los suelos agrícolas frente al cambio climático. *Serie de Extensión INTA Paraná*, (78), 27–32.
- COCAP. (2011). *Plan de manejo de páramos de la zona alta de Pilahuín*. Retrieved from <http://rrnn.tungurahua.gob.ec/documentos/ver/520da475ebd424e01d000002>
- Cuesta, F., Sevink, J., Llambi, L., De Bièvre, B., & Posner, J. (2014). *Avances en la investigación para la conservación de los Paramos andinos*.
- Daza, M., Hernández, F., & Alba, F. (2014). Efecto del Uso del Suelo en la Capacidad de Almacenamiento Hídrico en el Páramo de Sumapaz - Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 67(1), 7189–7200. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v67n1/v67n1a06.pdf>
- FAO. (2017). *Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto*. Retrieved from www.fao.org/publications
- Fernandez, C., Cely, G., & Serrano, P. (2019). Cuantificación de la captura de carbono y análisis de las propiedades del suelo en coberturas naturales y una plantación de pino en el páramo de Rabanal , Colombia 1 Quantification of Carbon Sequestration and Analysis of Soil Properties in Natural Coverag. *Cuadernos de Geografía*, 28, 121–133. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v28n1.66152.1>
- GAD Parroquial de Pilahuín. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial. Pilahuín*. Retrieved from <http://www.prefecturadeesmeraldas.gob.ec/web/assets/2017--pdot-gadpe-septiembre.pdf>
- Garnica, J., & Saldarriaga, S. (2015). *Diversidad funcional en un gradiente altitudinal del complejo de páramos Sumapaz - Cruz Verde* (Universidad Distrital Francisco José de Caldas). Retrieved from <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/4919/1/GarnicaDíazClaudiaJuliana2015.pdf>
- Gaviria, J. (2011). El océano como sumidero de carbono. *Revista de Química de La Universidad de Pablo de Olavide*. Retrieved from https://www.upo.es/cms1/export/sites/upo/moleqla/documentos/Numero_4.pdf
- IPCC. (2015). Climate change 2014, synthesis report. In *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Vol. 9781107025). <https://doi.org/10.1017/CBO9781139177245.003>

- Lao, C. (2017). *Fracciones Del Carbono Orgánico Lábil En Suelos De La Amazonia Peruana Bajo Diversos Sistemas De Uso* (UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA). Retrieved from <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2048/E20-R56-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Li, Y., Jiao, J., Wang, Z., Cao, B., Wei, Y., & Hu, S. (2016). Effects of revegetation on soil organic carbon storage and Erosion-Induced carbon loss under extreme rainstorms in the hill and gully region of the loess plateau. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/ijerph13050456>
- Llambí, L. D., Soto, A., Borja, P., Ochoa, B., Celleri, R., & Bievre, B. (2012). Páramos Andinos: Ecología, hidrología y suelos de páramos. *Los Suelos Del Páramo*, (June 2014), 292. Retrieved from <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56477.pdf>
- Martínez, Julia. Fernández, A. (2004). *Cambio Climático una visión desde México* (Primera). Retrieved from https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/53409504/Victor-Jaramillo-Cambio-Climatico-Una-Vision-desde-Mexico-.pdf?response-content-disposition=inline%3Bfilename%3DVictor_Jaramillo_Cambio_Climatico_Una_Vi.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-C
- Martínez, J. (2019). Efecto del estado de conservación del ecosistema páramo en el contenido de carbono total en la región sur del Ecuador (Universidad Nacional de Loja). Retrieved from <http://dspace.unl.edu.ec:9001/jspui/handle/123456789/22285>
- Nina, S. S. (2019). *Factores morfoclimáticos favorables para la preservación del carbono orgánico humificado en suelos de montaña, San Rafael (Perú)* (Universidad Nacional de Colombia). Retrieved from <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/75591/118797483.2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Reyes, S. M. (2018). *Influence of cover, slope and depth, on soil carbon and nitrogen*. 10(51). Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v10n51/2007-1132-remcf-10-51-201.pdf>
- Rojas-Vargas, E. P., Silva-Agudelo, E. D., Guillén-Motta, A. Y., Motta-Delgado, P.

- A., & Herrera-Valencia, W. (2019). Carbono almacenado en estrato arbóreo de sistemas ganaderos y naturales del municipio de Albania, Caquetá, Colombia. *Ciencia y Agricultura*, 16(3), 35–46. <https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n3.2019.9515>
- Rojas, A. S., Andrade, H., & Segura, M. (2018). Los suelos del paisaje Alto-Andino de Santa Isabel (Tolima, Colombia) ¿son sumideros de carbono orgánico? *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(1), 51–59. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n1.2018.662>
- Rubio, A. M. (2010). La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los alcornocales. 1, 1(1), 88.
- Sánchez, C., Altamirano, N., Hinojosa, H., Lasluisa, L., López, E., Acosta, J., ... Toaza, G. (2015). *Estado Actual Del Ecosistema Páramo En Tungurahua*. Retrieved from file:///C:/Users/PC/Downloads/2015-red-Estudio_Estado_Actual_del_Ecosistema_P+íramo (1).pdf
- Serrano, J. I. B., Pacheco, L. A. C., Jiménez, A. H., Paredes, J. D. G., & Molina, M. (2015). Cambios En Las Reservas De Carbono Orgánico Del Suelo Bajo Diferentes Coberturas. *Cultivos Tropicales*, 36(4), 63–69. Retrieved from <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v36n4/ctr08415.pdf>
- Singh, B. P., Setia, R., Wiesmeier, M., & Kunhikrishnan, A. (2018). Agricultural Management Practices and Soil Organic Carbon Storage. In *Soil Carbon Storage*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812766-7.00007-x>
- Terán, A., Pinto, E., Ortiz, E., Salazar, E., & Cuesta, F. (2018). Monitoreo de páramos: Tungurahua. Retrieved from CONDESAN website: <https://condesan.org/monitoreo-paramos/>
- Torres, S. (2016). Protocolo para la cuantificación de carbono a nivel de ecosistema ecosistema páramo y elaboración y calibración de ecuaciones alométricas para especies andinas. *FONAG*. Retrieved from <http://geovisor.fonag.org.ec/documents/1065>
- Valenzuela B., I. G., & Visconti M., E. F. (2018). Influencia del clima, uso del suelo y profundidad sobre el contenido de carbono orgánico en dos pisos altitudinales andinos del departamento Norte de Santander, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(1), 233–243. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i1.7349>
- Vega, A. (2017). *Análisis de la concentración de carbono y composición vegetal en*

humedales de páramo altoandinos en una gradiente altitudinal en el Parque Nacional Cayambe Coca (Universidad san Francisco de Quito). Retrieved from <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/6474/1/131061.pdf>

- Vicuña, E., Baker, T. R., Banda., K., Honorio, E., Monteagudo, A., Phillips, O. L., ... VASQUEZ MARTINEZ, R. (2019). El El Sumidero De Carbono En Los Bosques Primarios Amazónicos Es Una Oportunidad Para Lograr La Sostenibilidad De Su Conservación. *Folia Amazónica*, 27(1), 101–109. <https://doi.org/10.24841/fa.v27i1.456>
- Yang, H., Zhou, L., Huang, L., Cao, J., & Groves, C. (2015). A comparative study of soil carbon transfer between forest soils in subtropical karst and clasolite areas and the karst carbon sink effect in Guilin, Guangxi, China. *Environmental Earth Sciences*, 74(2), 921–928. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3903-4>
- Zúñiga Ugalde, F., Huertas Delgado, J., Guerrero Obando, G., Dörner Fernández, J., Sarasty Bravo, J., & Burbano Orjuela, H. (2018). Propiedades morfológicas de los suelos asociadas a los ecosistemas de Páramo, Nariño, Sur de Colombia. *Revista Terra Latinoamericana*, 36(2), 183. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i2.363>

7. ANEXOS

Tablas de resultados de laboratorio

Anexo 1 Porcentaje de carbono (%C)

N°	Código	%C				Media
		Repeticiones				
		I	II	III	IV	
1	R1C1P1	6,34	7,40	5,88	6,45	6,52
2	R1C1P2	5,21	5,29	5,48	5,47	5,36
3	R1C1P3	5,79	6,32	6,42	6,44	6,24
4	R1C2P1	5,81	6,47	6,75	6,44	6,37
5	R1C2P2	6,26	5,69	5,26	5,44	5,66
6	R1C2P3	6,96	6,23	6,04	6,38	6,40
7	R2C1P1	7,09	6,91	7,27	7,47	7,19
8	R2C1P2	6,43	5,60	5,88	6,49	6,10
9	R2C1P3	6,12	6,78	6,97	7,24	6,78
10	R2C2P1	6,94	6,94	6,41	6,53	6,71
11	R2C2P2	5,95	6,37	6,49	6,24	6,26
12	R2C2P3	6,90	7,42	7,08	7,21	7,15
Media total						6,39

Anexo 2 Carbono orgánico del suelo (COS) t/ha

N°	Código	COS t/ha				Media
		Repeticiones				
		I	II	III	IV	
1	R1C1P1	141,4	189,0	152,6	154,3	159,3
2	R1C1P2	139,4	141,5	137,7	155,2	143,5
3	R1C1P3	108,0	164,0	132,7	148,8	138,4
4	R1C2P1	160,2	188,9	134,1	135,8	154,7
5	R1C2P2	195,4	163,8	151,4	154,4	166,2
6	R1C2P3	203,2	161,6	161,6	139,7	166,5
7	R2C1P1	155,2	165,3	150,3	157,5	157,1
8	R2C1P2	140,8	143,0	152,6	147,3	145,9
9	R2C1P3	148,9	151,2	166,7	170,2	159,2
10	R2C2P1	146,3	174,4	145,5	148,2	153,6
11	R2C2P2	137,5	139,5	150,0	151,8	144,7
12	R2C2P3	159,4	138,4	157,9	160,8	154,1
Media total						153,6

Anexo 3 Carbono orgánico del suelo (COS) kg/m²

N°	Código	COS kg/m ²				Media
		I	II	III	IV	
1	R1C1P1	14,1	18,9	15,3	15,4	15,9
2	R1C1P2	13,9	14,2	13,8	15,5	14,3
3	R1C1P3	10,8	16,4	13,3	14,9	13,8
4	R1C2P1	16,0	18,9	13,4	13,6	15,5
5	R1C2P2	19,5	16,4	15,1	15,4	16,6
6	R1C2P3	20,3	16,2	16,2	14,0	16,7
7	R2C1P1	15,5	16,5	15,0	15,7	15,7
8	R2C1P2	14,1	14,3	15,3	14,7	14,6
9	R2C1P3	14,9	15,1	16,7	17,0	15,9
10	R2C2P1	14,6	17,4	14,6	14,8	15,4
11	R2C2P2	13,7	13,9	15,0	15,2	14,5
12	R2C2P3	15,9	13,8	15,8	16,1	15,4
Media total						15,4

Anexo 4 Densidad aparente (Da) g/cm³

N°	Código	Da g/cm ³				Media
		I	II	III	IV	
1	R1C1P1	0,74	0,85	0,86	0,80	0,81
2	R1C1P2	0,89	0,89	0,84	0,95	0,89
3	R1C1P3	0,62	0,86	0,69	0,77	0,74
4	R1C2P1	0,92	0,97	0,66	0,70	0,81
5	R1C2P2	1,04	0,96	0,96	0,95	0,98
6	R1C2P3	0,97	0,86	0,89	0,73	0,86
7	R2C1P1	0,73	0,80	0,69	0,70	0,73
8	R2C1P2	0,73	0,85	0,86	0,76	0,80
9	R2C1P3	0,81	0,74	0,80	0,78	0,78
10	R2C2P1	0,70	0,84	0,76	0,76	0,76
11	R2C2P2	0,77	0,73	0,77	0,81	0,77
12	R2C2P3	0,77	0,62	0,74	0,74	0,72
Media total						0,81

Anexo 5 pH

N°	Código	pH				Media
		Repeticiones				
		I	II	III	IV	
1	R1C1P1	6,04	5,47	5,85	5,42	5,70
2	R1C1P2	6,06	5,85	5,80	5,82	5,88
3	R1C1P3	6,23	5,87	5,93	5,91	5,99
4	R1C2P1	5,83	5,97	6,25	6,38	6,11
5	R1C2P2	5,95	6,03	6,09	5,95	6,01
6	R1C2P3	5,68	5,97	6,03	5,83	5,88
7	R2C1P1	5,26	5,02	5,33	5,16	5,19
8	R2C1P2	5,33	4,98	5,57	5,50	5,35
9	R2C1P3	5,00	5,68	5,83	5,85	5,59
10	R2C2P1	4,95	5,39	5,07	5,27	5,17
11	R2C2P2	5,20	5,30	5,57	5,21	5,32
12	R2C2P3	5,60	5,38	5,53	5,45	5,49
Media total						5,64

Anexo 6 Conductividad eléctrica (CE) uS/cm

N°	Código	CE uS/cm				Media
		Repeticiones				
		I	II	III	IV	
1	R1C1P1	365	692	274	719	512,50
2	R1C1P2	262	291	400	285	309,50
3	R1C1P3	350	485	426	363	406,00
4	R1C2P1	364	351	654	442	452,75
5	R1C2P2	579	386	272	393	407,50
6	R1C2P3	398	232	481	443	388,50
7	R2C1P1	1122	1462	681	655	980,00
8	R2C1P2	746	1240	455	586	756,75
9	R2C1P3	1079	511	393	413	599,00
10	R2C2P1	1600	750	1005	774	1032,25
11	R2C2P2	1166	756	756	955	908,25
12	R2C2P3	695	962	782	779	804,50
Media total						629,79

Anexo 7 Fotografías

