



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

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

TRABAJO DE TITULACIÓN

ESTIMACIÓN DEL SECUESTRO DE CARBONO EDÁFICO EN EL ECOSISTEMA
HERBAZAL DE PÁRAMO DEL TERRITORIO HÍDRICO DEL RÍO CEBADAS,
CHIMBORAZO, ECUADOR.

Autor: Carlos Ignacio Hernández Muñoz

Tutor: PhD. Omaira Márquez

Riobamba – Ecuador

Año 2018

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL

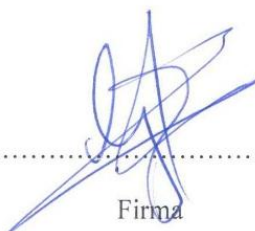
Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: **“ESTIMACIÓN DEL SECUESTRO DE CARBONO EDÁFICO EN EL ECOSISTEMA HERBAZAL DE PÁRAMO DEL TERRITORIO HÍDRICO DEL RÍO CEBADAS, CHIMBORAZO, ECUADOR”**, presentado por: Carlos Ignacio Hernández Muñoz y dirigido por: PhD. Omaira Márquez.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación, se constató el cumplimiento de las observaciones realizadas y se remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para constancia de lo expuesto firman:

MsC. Patricio Santillán

Presidente del tribunal



Firma

PhD. Omaira Márquez

Tutor del Proyecto



Firma

Ing. Juan Carlos Caicedo

Miembro del Tribunal



Firma

Ing. Álvaro Delli

Miembro del Tribunal



Firma

DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA

Por la presente, certifico que el actual trabajo de investigación previo a la obtención del título de **INGENIERO AMBIENTAL**, elaborado por el señor Carlos Ignacio Hernández Muñoz con el tema: **“ESTIMACIÓN DEL SECUESTRO DE CARBONO EDÁFICO EN EL ECOSISTEMA HERBAZAL DE PÁRAMO DEL TERRITORIO HÍDRICO DEL RÍO CEBADAS, CHIMBORAZO, ECUADOR”**, el mismo que fue analizado y supervisado bajo mi asesoramiento permanente en calidad de Tutor y Guía, por lo que se encuentra apto para ser presentado y defendido.

Es todo lo que se puede informar en honor a la verdad.



PhD. Omaira Márquez.

C.I: 1757244114

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **CARLOS IGNACIO HERNÁNDEZ MUÑOZ** con cédula de identidad 060420140-0; hago referencia como autor del presente trabajo de investigación, titulado: **“ESTIMACIÓN DEL SECUESTRO DE CARBONO EDÁFICO EN EL ECOSISTEMA HERBAZAL DE PÁRAMO DEL TERRITORIO HÍDRICO DEL RÍO CEBADAS, CHIMBORAZO, ECUADOR”**, dirigida por el tutor del proyecto, PhD. Omaira Márquez.

Manifiesto la originalidad en la conceptualización de ideas, interpretación de resultados, con el sustento de autores que han sido debidamente referenciados en el documento.

.....*Carlos Hernández #7*.....

Carlos Ignacio Hernández Muñoz

C.I: 060420140-0

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser la luz de mi camino durante mi formación profesional, y a mi familia por apoyarme en todo momento de mi vida.

A la PhD. Omaira Márquez, a los ingenieros forestales Marco Rodríguez y Franklin Cargua quienes con su conocimiento supieron guiarme en el desarrollo del presente trabajo de titulación.

A la Carrera de Ingeniería Ambiental que me abrió las puertas del saber, lugar en que recibí los conocimientos académicos necesarios para mi formación profesional.

Al PhD. Víctor García Director del Proyecto “Soil Organic Carbon Evaluation and Sequestration in Ecuadorian Páramo Ecosystem” por haberme permitido formar parte del grupo de investigación; y poder desarrollar el presente trabajo de grado.

A todas las personas que de una u otra manera me han orientado en ciertos aspectos importantes para el desarrollo y culminación de mi trabajo de investigación.

A todos ellos gracias...

Carlos Ignacio Hernández Muñoz

DEDICATORIA

A Dios por brindarme fortaleza, sabiduría y guiarme por el camino del bien, y permitirme que siga cumpliendo mis sueños y mis objetivos, a mi madre Margoth que con su amor, sacrificio y ejemplo me motivó y ofreció su apoyo incondicional para cumplir con esta meta.

A mis abuelitos Carlos e Imelda y a mi hermana Cinthia por todo el apoyo que me brindaron; y por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.

A mis tíos y mi enamorada quienes incondicionalmente me apoyaron a lo largo de mi vida académica.

Y, por último, a los docentes de la UNACH que me han brindado valiosos conocimientos en las aulas de clase y han reforzado el aprendizaje a través de sus experiencias profesionales.

Carlos Ignacio Hernández Muñoz

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

GEI: Gases de efecto invernadero.

CO₂: Dióxido de carbono.

pH: Potencial de hidrogeno unidad de medida que sirve para establecer el nivel de acidez o alcalinidad de una sustancia.

COS: Carbono orgánico del suelo.

C: Carbono

MO: Materia orgánica

LOI: Loss on ignition (calcinación o pérdida por ignición)

COT: Carbono orgánico total

THRC: Territorio hídrico del río Cebadas

(HMTq): Unidad Tarqui con contenido taxonómico de orden Histosol

(EMTq): Unidad Tarqui con contenido taxonómico de orden Entisol

(IMTq): Unidad Tarqui con contenido taxonómico de orden Inceptisol

(IJAp): Unidad Pelpetec con contenido taxonómico de orden Inceptisol

(EJAp): Unidad Pelpetec con contenido taxonómico de orden Entisol

(IJAm): Unidad Maguazo con contenido taxonómico de orden Inceptisol

(MJGc): Unidad Cebadas con contenido taxonómico de orden Molisol

(EJGc): Unidad Cebadas con contenido taxonómico de orden Entisol

(IJGc): Unidad Cebadas con contenido taxonómico de orden Inceptisol

(IG): Unidad Rocas Intrusivas con contenido taxonómico de orden Inceptisol

(IJAA): Unidad Alao con contenido taxonómico de orden Inceptisol

(Idg): Unidad Deposito Glacial con contenido taxonómico de orden Inceptisol

Da: Densidad aparente

F: Franco

Fa: Franco arenoso

FL: Franco limoso

CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL	i
DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA	v
LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
JUSTIFICACIÓN	5
OBJETIVOS	6
1. Objetivo General.....	6
2. Objetivos Específicos	6
ESTADO DEL ARTE.....	7
1. Ecosistema páramo	7
1.1. Páramo a nivel nacional y provincial.....	7
1.2. Herbazal de páramo	7
1.3. Importancia ambiental de los páramos	7
2. Tipología del suelo del ecosistema páramo	8
2.1. Formación	8
2.2. Características.....	8
2.3. Clase de suelo del área de estudio	8
3. Formaciones geológicas del territorio hídrico del rio Cebadas	8
3.1. Depósito Glacial	8
3.2. Rocas Intrusivas.....	9
3.3. Unidad Alao.....	9
3.4. Unidad Maguazo.....	9
3.5. Unidad Peltetec.....	9
3.6. Unidad Cebadas	9

3.7.	Formación Tarqui	10
4.	Taxonomía del suelo del territorio hídrico del río Cebadas	10
4.1.	Histosol	10
4.2.	Entisol	10
4.3.	Inceptisol.....	11
4.4.	Molisol.....	11
5.	Parámetros físicos y químicos de los suelos.....	12
5.1.	Color	12
5.2.	Textura.....	12
5.3.	Densidad aparente.....	12
5.4.	pH	13
6.	Carbono orgánico en el suelo	13
7.	Secuestro de carbono en el suelo	13
7.1.	Factores de influencia del secuestro y captura carbono.....	13
8.	Rol de la materia orgánica (MO) en los suelos.....	14
9.	Método de calcinación	14
METODOLOGÍA		15
1.	Delimitación del área de estudio.....	15
1.1.	Área de estudio	15
1.2.	Condiciones climáticas	15
1.3.	Estratificación	15
2.	Puntos de monitoreo	15
3.	Tamaño de la muestra	18
4.	Recolección de muestras de suelo	18
5.	Manejo y envío de muestras al laboratorio.....	18
6.	Descripción morfológica del suelo del área de estudio	19
6.1.	Densidad aparente.....	19
6.2.	Cuantificación de materia orgánica por LOI (calcinación)	19
6.3.	Calculo del porcentaje de carbono orgánico (%CO)	20
6.4.	Análisis estadístico	20
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		21
1.	Topografía (Relieve) y Altitud	21
2.	Aptitud del suelo.....	22

3.	Determinación de las unidades de monitoreo	23
4.	Propiedades físico-químicas de los suelos.....	24
4.1.	Textura.....	24
4.2.	Color	25
4.3.	pH	26
4.4.	Densidad aparente (Da)	28
5.	Contenido de Carbono orgánico	30
5.1.	Variación de la altura dentro de las diferentes unidades taxonómicas en la Unidad Geológica Tarqui.	32
5.2.	Variación del carbono orgánico dentro de las unidades taxonómicas en la Unidad Geológica Tarqui.	32
5.3.	Distribución espacial del contenido de carbono en THRC.....	34
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	36
1.	Conclusiones.....	36
2.	Recomendaciones	36
3.	Bibliografía	38
	ANEXOS	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relieve del territorio hídrico del río Cebadas	21
Tabla 2. Aptitud de suelo del territorio hídrico del río Cebadas.....	23
Tabla 3. Unidades Geológicas y Taxonómicas del territorio hídrico del río Cebadas bajo el Ecosistema herbazal de Páramo.....	23
Tabla 4. Relación entre la geología, rocas predominantes y la textura del suelo	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de Estudio	16
Figura 2. Puntos de monitoreo del THRC	17
Figura 3. Variaciones de la altitud en las diferentes Unidades Geológicas y Taxonómicas en el territorio hídrico del río Cebadas.....	22
Figura 4. Valores de pH (0 -30 y 30 – 60 cm) de los suelos del THRC	27
Figura 5. Densidad aparente (0-30 y 30 – 60 cm) de los suelos del THRC.....	29
Figura 6. Carbono orgánico (0 -30 y 30 – 60 cm) de los suelos del THRC	31
Figura 7. Unidades Taxonómicas de la unidad Tarqui en relación a la altura.....	32
Figura 8. Carbono Orgánico en las diferentes Unidades Taxonómicas en la Unidad Tarqui..	33
Figura 9. Distribución espacial del contenido de carbono en THRC	34

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Unidades de monitoreo	40
Anexo 2. Recolección de muestras por el método de barrenación	41
Anexo 3. Etiquetado y codificación de las muestras	41
Anexo 4. Determinación del color del suelo	41
Anexo 5. Determinación de pH	41
Anexo 6. Clase textural del suelo del (THRC)	42
Anexo 7. Color de suelo del THRC	42
Anexo 8. Base de datos de las variables estudiadas	43

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue estimar el contenido del carbono orgánico del suelo (COS) y la variabilidad espacial que muestra en el ecosistema herbazal de páramo del territorio hídrico del río Cebadas (THRC). El muestreo de los suelos se realizó utilizando un muestreo estratificado usando la geología y la taxonomía de los suelos como información básica para la estratificación y se utilizaron herramientas del software ArcGIS, y mediante el método de barrenación se logró recolectar las 432 muestras a dos profundidades 0-30 y 30-60 cm. Los parámetros físico-químicos analizados fueron: altitud, pendiente, aptitud del suelo, textura, pH, densidad aparente (D_a) y COS. Los resultados muestran que el 71.3% del THRC corresponde a una zona muy accidentada, con varias depresiones y fuertes pendientes. Los valores de pH son de tipo moderadamente a ligeramente ácido. El COS formo claramente cuatro grupos: (a) constituido por los suelos localizados en la unidad geológica Tarqui de orden Inceptisol, con un valor medio de 29,17%; (b) suelos localizados en las unidades geológicas Tarqui de orden: Histosol, Entisol y Rocas Ígneas Intrusivas de orden Inceptisol (23,0 – 24,7 %); (c) suelos localizados en las unidades Cebadas de orden: Entisol y Molisol; Deposito Glacial, Maguazo y Alao de orden: Inceptisol (11.26 – 12.9%) y (d) suelos localizados en las unidades Cebadas y Pelpetec de orden: Inceptisol y la unidad Pelpetec de orden: Entisol (6.8 – 8.8%). Este estudio permite comprender el papel que juegan los suelos en el secuestro de carbono bajo el ecosistema herbazal de páramo.

Palabras Claves: Secuestro de carbono en el suelo, Unidad geológica Tarqui, Unidades Taxonómicas Entisol, Inceptisol, Molisol, Histosol.

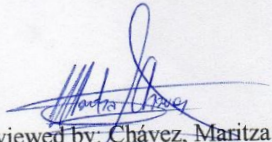
ABSTRACT

Abstract

The objective of the present research was to estimate the (OLC) organic land carbon content and the spatial variability which is showed in the scrubland ecosystem of the barren land from the hydrological territory in Cebadas river (HTCR) The sampling of the land was done using a stratified sampling and also using geology and taxonomy from the land as basic information to stratify and were also used ArcGIS software tools and through the gimlet method was able to harvest 432 sampling into 0-30 and 30-60 cm. The Physic-Chemical criteria analyzed were: altitude, slope, suitable land, texture, pH, apparent density (Da) and OLC. The results showed that 71, 3% from the (HTCR) belongs a much damaged area with some depression and hard slopes. The pH values are moderately and slightly acid. The (OLC) formed four groups: (a) It constituted by Inceptisol land located in the geological land of Tarqui with a median value of 29,17%; (b) lands located in Tarqui geological areas such as : Histosol Entisol and Ignea intrusive stones (23,0- 24,7%),(c) located Entisol and Molisol lands in Cebadas, Glacial area: Maguazo and Alao type: Inceptisol (11.26 – 12.9% and (d) lands located in Cebadas and Pelpetec type: Inceptisol and Pelpetec area type: Entisol(6,8-9,8%) This research allows understanding the role that lands take place in catching the Carbon under scrubland ecosystem in the barren land.

Key words: Catching carbon from the land, Tarqui Geological area, Entisol, Inceptisol, Molisol, Histosol Taxonomy areas.




Reviewed by: Chávez, Maritza
Language Center Teacher

INTRODUCCIÓN

El páramo es un ecosistema alto andino que se extiende al norte de la cadena montañosa denominada “Los Andes” diferenciado por tener una vegetación dominante como el pajonal. En el Ecuador los páramos ocupan una extensión de 1'337.119 ha, que corresponden aproximadamente al 5% del territorio nacional. La provincia de Chimborazo, con una extensión de 648.124 ha, posee más de 236.000 ha de ecosistema de páramo, es decir el 36,9% de la superficie de la provincia (Caranqui, Lozano, & Reyes, 2016).

En el páramo se desarrolla un sin número de relaciones entre seres vivos y su medio ambiente con características especiales como: temperatura, humedad, radiación solar, presión atmosférica, servicios ambientales como: regulación hídrica y secuestro de carbono acumulado en la biomasa y en la materia orgánica presente en el suelo (Harden, Farley, Bremer, & Hartsig, 2011).

Los páramos almacenan la mayor parte del carbono orgánico en el suelo los cuales se caracterizan por ser negros y húmedos debido a la alta humedad y al clima frío, el cual incide en una baja tasa de descomposición de la materia orgánica, beneficiando al proceso de acumulación de una capa gruesa de suelo orgánico (Llambí & Soto, 2012).

El ecosistema páramo es muy importante puesto que ofrece y presta importantes funciones ecológicas y de biodiversidad. Es muy conocido por su capacidad de retener y almacenar agua; también deben tomarse en cuenta las características del suelo, como es su gran capacidad de secuestrar, almacenar y transformar el CO₂ en otros compuestos con características menos tóxicas, reduciendo así su capacidad de daño tanto para el ambiente como para las personas (Coronel, 2016).

La medición y el monitoreo de carbono en ecosistemas de alta montaña se ha tornado un importante tópico de investigación en los años recientes, como resultado del cambio climático (Castañeda & Montes, 2017). Particularmente, es importante su cuantificación para disponer de datos empíricos en las negociaciones para reducir las emisiones de gases efecto invernadero asociadas a deforestación y degradación forestal (Goetz & Dubayah, 2011).

La finalidad de este estudio es que aporte información sobre la capacidad que tienen estos suelos discriminando entre unidades geológicas y taxonómicas de como almacenan estos ecosistemas el carbono en los suelos, así mismo esta información permitirá delinear investigaciones más profundas en esta área de investigación.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Conociendo que el ecosistema páramo es muy importante puesto que ofrece y presta importantes funciones ecológicas y de biodiversidad fundamentales para el desarrollo de la vida en nuestro planeta, es evidente el deterioro y pérdida que sufre este tipo de ecosistemas debido a muchos factores como el sobrepastoreo, quema de pajonal y avance de la frontera agrícola, desconociendo que este ecosistema y en especial sus suelos son muy importantes, frente a la problemática del calentamiento global (Rugel & Córdor, 2012).

Es de vital importancia realizar esfuerzos para tratar de mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y una de las formas de ayudar, es a través de la investigación y promoción de las fuentes fijadoras de carbono. Dado que los páramos actúan como sumideros de carbono, es necesario estimar la cantidad almacenada en ellos para conocer acerca de su capacidad de almacenamiento, en el ciclo del CO₂ (FAO 2014), ya que la cuantificación precisa y económica de reservas de carbono en la biomasa arbórea y en suelo, es esencial para incluir los servicios ecosistémicos de los páramos en las estrategias para la mitigación del cambio climático (Kearney *et al.* 2015).

Por lo anterior planteado, este trabajo está enmarcado dentro de las líneas de investigación del grupo *Energías Limpias y Ambiente (ELA)* de la Universidad Nacional de Chimborazo, específicamente dentro del proyecto, “Soil Organic Carbon Evaluation and Sequestration in Ecuadorian Páramo Ecosystems”- SOCEPE. Este proyecto tiene dentro de sus objetivos monitorear el carbono almacenado en suelos bajo el ecosistema páramo, en el corredor Andino el cual cubre un área de aproximadamente de 1’337.119 ha, aproximadamente el 5% del territorio nacional.

En el año 2017, se inició la cuantificación del carbono almacenado en el ecosistema herbazal de páramo en la subcuenca del río Chambo, para ello se subdividió la cuenca en tres áreas (ver Cuadro 1).

El presente trabajo de titulación, se busca responder la siguiente pregunta ¿Cuánto carbono está almacenado en las diferentes unidades geológicas y taxonómicas, en suelos bajo el ecosistema herbazal de páramo en el *Territorio Hídrico del río Cebadas* de la subcuenca del río Chambo? Disponer de datos sobre las cantidades carbono almacenado en este ecosistema podría contribuir a destacar la función de este ecosistema en las políticas de intercambio nacional de cambio climático.

Cuadro 1. *Diferentes Sitios de Muestreo del Carbono Edáfico en la cuenca del Río Chambo.*

Sitio	Responsable	Descripción	Este	Norte	Área(ha)
1	Carlos Hernández	Territorio Hídrico del río Cebadas	773146.2	9773859.6	80351
2	Marcela Muñoz	Zona de transición	753679.7	9803897.4	178179
3	Jonathan Orozco	Zona de Amortiguamiento	778270.3	9815870.9	91326

JUSTIFICACIÓN

En consideración a uno de los fenómenos naturales que más relevancia ha tenido en los últimos años en la temática ambiental es el cambio climático, el cual está asociado con el aumento en la temperatura que a su vez se convierte en uno de los problemas más severos que se enfrentan en el presente siglo. Este problema se acentúa por el rápido incremento actual en las emisiones de gases de efecto invernadero "GEI" y por las dificultades de reducir en forma sustantiva el incremento de los mismos. El verdadero problema del aumento de la concentración de CO₂ se da en el hecho de que los gases se dispersan sobre toda la atmósfera y no se concentran alrededor de sus fuentes, razón por la cual, todo el mundo siente el efecto del calentamiento global (Coronel, 2016).

El propósito primordial por el cual se desarrolló esta investigación fue la de estimar el contenido de carbono orgánico del suelo en el ecosistema herbazal de páramo; para lo cual fue necesario realizar salidas de campo y su posterior análisis de parámetros físico-químicos de las muestras de suelo en el laboratorio de servicios ambientales de la UNACH (LSA-UNACH).

OBJETIVOS

1. Objetivo General

- Estimar el secuestro de carbono edáfico en el ecosistema herbazal de páramo del territorio hídrico del río Cebadas, Chimborazo, Ecuador.

2. Objetivos Específicos

- Cuantificar el contenido de carbono en el suelo del ecosistema herbazal de páramo en las diferentes unidades geológicas y taxonómicas.
- Analizar la variabilidad del contenido de carbono edáfico en el herbazal de páramo en las diferentes unidades geológicas y taxonómicas.

ESTADO DEL ARTE

1. Ecosistema páramo

El páramo es propio de las partes altas de los andes ecuatorianos el cual está sujeta cambios bruscos de temperatura, humedad y generalmente cubiertas de niebla o sujetas a constantes precipitaciones y a fuertes vientos, se los denomina como un ecosistema de montaña debido a los rangos de elevación en que se localizan entre las cotas de los 3.200-4.700 m.s.n.m, es considerado como un sistema único por los servicios ambientales que ofrece; sin embargo, en ciertas zonas ya sea por condiciones climáticas o por intervención antrópica han provocado que el páramo se resbale y debido a eso este tipo de entorno se lo pueda visualizar desde altitudes tan bajas como 2.800 m, especialmente en la franja sur del Ecuador (Camacho, 2013).

1.1. Páramo a nivel nacional y provincial

Ocupan una extensión de 1'337.119 ha, las cuales corresponden alrededor del 5% de la extensión territorial. La provincia de Chimborazo posee extensión de 648.124 ha, es decir alrededor de 246.000 ha de ecosistema páramo, lo cual representa el 38% de la superficie de la provincia) y 49571.16 ha de bosque andino y altoandinos es decir un 8%. A nivel nacional esto representa el 18% del total de superficie de páramo en el país (Caranqui et al., 2016).

1.2. Herbazal de páramo

Este tipo de ecosistema se caracteriza por poseer una cobertura de tipo herbácea, la tipología de su clima es pluvial e hiperhúmedo, su rango altitudinal va desde los 3400 - 4300 m.s.n.m (Norte) y entre 2850 - 3900 m.s.n.m (Sur). Su relieve se caracteriza por ser de tipo montañoso con planicies y colinas, en cuanto a su biogeografía se encuentra localizado en la región de los andes, provincia andes del norte, sector páramos (Santiana, Báez, y Guevara, 2012).

1.3. Importancia ambiental de los páramos

La capacidad del páramo como almacenador y distribuidor del agua depende fundamentalmente de la estructura de sus suelos y la protección que presta la cobertura vegetal que crece sobre ellos. Por ello la importancia de esta estructura ecosistémica no solo por su función hídrica, pues también en su suelo alberga gran cantidad de carbono

el cual contribuye de manera indirecta pero muy importante a mitigar el efecto invernadero y su preservación es fundamental ya que su recuperación puede tardar años o perderse totalmente (Coronel, 2016).

2. Tipología del suelo del ecosistema páramo

2.1. Formación

El suelo de páramo se inicia 10000 años atrás, con la meteorización de roca descubierta al cabo de las últimas glaciaciones (Pleistoceno), cuando la totalidad de la extensión de páramo estuvo cubierta de hielo. En zonas donde hay volcanismo activo, el suelo tiene que formarse con cenizas volcánicas de edad todavía más reciente. Además gracias a las bajas temperaturas el proceso de formación de suelo es lento (Hofstede et al., 2014).

2.2. Características

Los suelos típicos de páramo son de coloración negros y húmedos, debido a dos factores predominantes como es la alta humedad y al clima frío propios de esta área, los cuales inciden en las tasas descomposición de materia orgánica haciéndola lenta, lo que produce que se acumule una gruesa capa de suelo orgánico, promoviendo la formación de reservas de carbono en el suelo, que a su vez es retenido por una intrincada red de raíces y rizomas que hacen parte de la cubierta vegetal continua de los páramos en buen estado (Llambí & Soto, 2012).

2.3. Clase de suelo del área de estudio

Los páramos de todo el centro y norte del Ecuador están ubicados sobre volcanes activos de tal forma que los suelos se desarrollaron a partir de la intemperización de cenizas volcánicas y se los conoce como Andosoles o Andisoles (Hofstede et al., 2014).

3. Formaciones geológicas del territorio hídrico del río Cebadas

3.1. Depósito Glacial

Los depósitos glaciares están formados por materiales que pueden haber sido erosionados o no por el glaciar, pero que han sido transportados y posteriormente abandonados por el hielo. Dependiendo del lugar en el que hayan viajado en el glaciar, los clastos pueden presentar algunas características que permiten su identificación cuando se encuentran formando parte de un depósito, aunque no siempre es así y se lo considera como una

serie de valles en U constituidos por tilitas, arenas, gravas y bloques sedimentarios, de composición variable (Naranjo, 2013).

3.2. Rocas Intrusivas

Se forman del magma que se solidifica en el interior de la tierra muy lentamente. En estas condiciones los minerales disponen de mucho tiempo para crecer, razón por la que presentan cristales grandes y visibles a simple vista. Son cuerpos intrusivos de edad Cretácico – Terciario de diversa composición afloran principalmente en la cordillera Real, así tenemos: Complejos ultramáficos (Ku), granodioritas (Kg), granodioritas/dioritas (Tg), tonalitas (Tn) (Naranjo, 2013).

3.3. Unidad Alao

Secuencia de rocas verdes andesíticas masivas a cizalladas y esquistosas. Las litologías menores incluyen esquistos verdes (metatobas), esquistos pelíticos y grafíticos, y mármoles oscuros (Naranjo, 2013).

3.4. Unidad Maguazo

Secuencia de turbiditas ligeramente metamorfoseadas y andesitas basálticas. Las turbiditas son de grano fino y silíceo con estratificación gradada. Las andesitas son típicamente rocas masivas con alguna alteración a rocas verdes no clivadas. Otras litologías incluyen metatobas verdes, pizarras negras, mármoles, ortocuarcitas y cherts (Naranjo, 2013).

3.5. Unidad Peltetec

Secuencia de metabasaltos, serpentinitas, piroxenitas, hornblenditas, filitas negras, rocas volcanoclásticas, rocas plutónicas menos alteradas como gabros de olivina melanocrático y peridotitas. Las rocas de la unidad Peltetec son interpretadas como corteza oceánica acrecionada (Naranjo, 2013).

3.6. Unidad Cebadas

Esta unidad comprende pizarras negras a grises, con cuarcitas subordinadas negras a grises de grano fino a medio (Naranjo, 2013).

3.7. Formación Tarqui

Las rocas de esta formación son fundamentalmente piroclásticas: aglomerados, aglomerados tobáceos y tobas de composición intermedia y ácida. Presenta una estratificación casi horizontal, se encuentra sobreyaciendo a rocas metamórficas y al volcanismo terciario en la parte central (Naranjo, 2013).

4. Taxonomía del suelo del territorio hídrico del río Cebadas

4.1. Histosol

Son suelos orgánicos muy profundos con un horizonte superficial de gran espesor, debido a que la producción de MO sobrepasa la mineralización, siendo una de las características de estos suelos el contener más del 20 % de materia orgánica, el crecimiento de estos suelos se produce desde el fondo hacia arriba y su desarrollo se da a partir de la acumulación de depósitos orgánicos y sedimentos lacustres y fluviales (Maycotte Morales, 2011).

Características principales:

- Su drenaje interno va desde pobre a muy pobre
- El contenido de MO decrece con la profundidad de muy alto a medio
- Presenta un pH fuertemente ácido

4.2. Entisol

Son suelos minerales de formación superficial y reciente que tiene poca evidencia con respecto al desarrollo de sus horizontes genéticos, puesto que han formado un epipedón ócrico u horizontes superficiales con un nivel bajo de evolución, se caracterizan por poseer colores claros en su epipedón ócrico, debido a su bajo contenido de MO menor a 1% y oscuros en su epipedón úmbrico, debido a su alto contenido de MO (Maycotte, 2011).

Características principales:

- Se encuentran en relieves planos a escarpados.
- Se caracteriza por ser muy variable en cuanto a su fertilidad y su drenaje interno siendo estos de bueno a muy pobre.

- Su textura tanto superficial como en el subsuelo varían de arenosa hasta arcillosas
- Su pH es de característica extremadamente ácido a medianamente alcalino.
- El contenido de carbono varía de alto a bajo.
- El uso potencial de este tipo de suelo es forestal o conservación de vegetación natural.

4.3. Inceptisol

Son suelos minerales e inmaduros que, de baja evolución, puesto que presentan condiciones similares al del material original, debido a su material original que es muy resistente, posee gran abundancia de cenizas volcánicas, se encuentran en pendientes muy irregulares y se los cataloga como suelos con falta de madurez edafológica, su subsuelo se caracteriza por tener un horizonte alterados denominado horizonte cámbico (Maycotte Morales, 2011).

Características principales:

- Posee un contenido de aluminio que fluctúa de alto a medio.
- El drenaje natural interno varia de muy pobre a bien drenados
- La textura superficial es franca hasta arcillosa, por otro lado, en zonas lluviosas presenta textura franca arcillosa a arcillosa y en zonas secas su textura es franco arcillosa y franco arcillo arenoso.
- El pH varía de extremadamente ácido a neutro.
- Son muy susceptibles a la erosión hídrica y eólica.
- Los Inceptisoles de alta pendiente son recomendables para preservación de la vida silvestre, y aquellos de mal drenaje son recomendables para cultivar
- estos suelos no se desarrollan en zonas áridas.

4.4. Molisol

Son suelos minerales con superficie profunda de coloración oscura y relativamente fértil, puesto que posee un horizonte superficial (epipedón mólico), y un horizonte argílico o cámbico en su subsuelo, siendo este tipo de suelo de una evolución variable de incipiente, joven hasta maduro.

Características principales:

- El drenaje interno es muy variable, puesto que va desde muy pobre a bien drenado.
- Presenta texturas franco arenosa a franco arcillo y arcillosa dependiendo de su profundidad.
- Su pH es fuertemente ácido a muy fuertemente alcalino
- Dependiendo de su pendiente su uso potencial varía de apto para cultivo, bosque de explotación hasta zonas de protección y conservación de flora y fauna (Maycotte Morales, 2011).

5. Parámetros físicos y químicos de los suelos

5.1. Color

Es uno de los parámetros físicos más importantes, la más obvia y de fácil determinación, que nos ayudan a la caracterización e identificación taxonómica de los suelos; puesto que guarda una estrecha relación con los componentes sólidos como: materia orgánica, textura, composición mineralógica y morfología. Cabe indicar también que este parámetro es un indicador de las condiciones pasadas y presentes de óxido-reducción del suelo (Domínguez Soto, Gutiérrez, Delia, Prieto García, & Acevedo Sandoval, 2012).

5.2. Textura

(Llambí & Soto, 2012) define a la textura como el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo como arena, limo y arcilla, cuyo tamaño de sus partículas son menores a 2 mm de diámetro y se los puede observar en los distintos horizontes del suelo.

Estos tamaños corresponden a:

- arenas (2 a 0.02 mm)
- limos (0.02 a 0.002 mm)
- arcillas (< a 0.002 mm)

5.3. Densidad aparente

La densidad aparente está relacionada con el peso específico de las partículas minerales y orgánicas, es así que la define como el peso seco del suelo por unidad de volumen de suelo, el mismo que coincide con lo expresado por (Llambí & Soto, 2012), el cual hace

referencia a la relación entre el peso del suelo seco y el volumen que ocupa el mismo, expresado en g/cm^3 .

5.4. pH

El pH es un indicador del porcentaje de acidez o alcalinidad que posee una solución del suelo, pero no la totalidad del mismo. Tiene gran influencia sobre la fauna del suelo y el desarrollo de las plantas, ya que afectan la disponibilidad o el estado de los nutrientes y tiene gran participación en varias actividades químicas y biológicas que ocurren en el suelo (Maycotte, 2011).

6. Carbono orgánico en el suelo

Los suelos contienen más C que la suma existente en la vegetación y en la atmósfera. El C en los suelos puede encontrarse en forma orgánica e inorgánica. Los suelos que acumulan la mayor cantidad de COS corresponden al orden Histosol y Andosol (Martínez, Fuentes, & Acevedo, 2008). El pajonal de los páramos tiene aproximadamente 40 toneladas por hectárea de carbono elemental, pero el suelo de los páramos puede almacenar 1700 toneladas por hectárea de este mismo elemento (Coronel, 2016).

7. Secuestro de carbono en el suelo

El secuestro de C en el suelo es el proceso de transformación del C del aire al carbono orgánico, almacenado en el suelo, este proceso ocurre teniendo a las plantas como paso intermedio las cuales convierten el CO_2 de la atmósfera en tejido vegetal mediante la fotosíntesis. A través del secuestro de C los niveles de CO_2 atmosférico pueden reducirse en la medida que los niveles de carbono orgánico del suelo aumentan. En general, las prácticas de manejo que incrementan el carbono orgánico del suelo también reducen la erosión del suelo, incrementan la producción y mejoran los recursos naturales (Pérez et al., 2013).

7.1. Factores de influencia del secuestro y captura carbono

Para que se desarrolle de forma normal el proceso de captura y retención del C en el suelo (Pérez-Ramírez et al., 2013), hace referencia a que este depende de algunos factores importantes como :

- **Factores definidos:** se refieren al origen del material parental, las características geomorfológicas y a la composición mineral del suelo.

- **Factores limitantes:** son la producción primaria neta, la composición del bosque y el clima.
- **Factores reductores:** incluyen la erosión, deforestación y uso del suelo, los cuales pueden disminuir la acumulación de carbono en el suelo.

8. Rol de la materia orgánica (MO) en los suelos

La MO juega un papel muy importante como indicador del estado o calidad del suelo, de sus funciones agrícolas y ambientales, entre las importantes la captura de C y la calidad del aire

Otras funciones:

- Principal determinante de la actividad biológica.
- Influye en la cantidad, diversidad, actividad de la fauna del suelo.
- Presenta resistencia contra la erosión hídrica y eólica.
- Mejora la dinámica y la biodisponibilidad de los principales nutrientes de las plantas (Loayza De la Torre, 2012).

9. Método de calcinación

El método de calcinación o pérdida por ignición (loss on ignition, LOI) consiste en estimar el valor del contenido de MO y se basa en cuantificar cuanto es la pérdida de peso que sufre una muestra de suelo al ser sometida a elevadas temperaturas con rangos de 250 - 600 °C siendo las más apropiadas de 350 - 400 °C en una mufla por periodos de tiempos estimados de 2-24 horas, en el cual también se incluye como pre-tratamiento el secado de la muestra a 105°C por 24 horas; cabe mencionar que al ser sometidos a temperaturas mayores a 500 °C pueden implicar importantes errores en la estimación de MO ya que puede existir una pérdida de dióxido de carbono de los carbonatos, agua estructural de los minerales de arcilla, oxidación del ión ferroso, descomposición de sales hidratadas y óxidos. También si se desea cuantificar el carbono orgánico total (COT) a partir de la MO se debe utilizar el factor Van Bemmelen el cual puede variar para distintos tipos de suelos (Eyherabide & Barbieri, 2014).

METODOLOGÍA

1. Delimitación del área de estudio

1.1. Área de estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en la zona denominada territorio hídrico del río Cebadas (THRC). Para la delimitación del área de estudio se utilizó el software ArcGIS 10.2 y se tomó como referencia el río Cebadas, el mismo que está localizado en la parte central del callejón interandino, atravesando la provincia de Chimborazo; en especial los cantones de Guamote, Alausi y Riobamba (Figura 1). La zona de estudio abarca un área de 80351 ha, que a su vez forma parte de la red hídrica de la subcuenca del río Chambo. Siendo el sujeto de estudio el ecosistema herbazal de páramo, el mismo abarca una superficie de 24991 ha y se encuentra entre las coordenadas 9773859,58 y 773146,23 localizándose entre un rango de altitud desde los 2760- 4640 m.s.n.m.

1.2. Condiciones climáticas

La estación meteorológica Alao (INAMHI: M396), ubicada en las coordenadas UTM 779993 y 9791630 a una altitud de 3200 m.s.n.m.; durante el año 2014, registró una temperatura media de 8 °C, con rangos de 4 - 12 °C y una precipitación de 750 mm, con rangos de (500 - 2000) mm.

1.3. Estratificación

Para obtener las unidades de muestreo, se llevó a cabo un proceso de estratificación (MAE, 2014); el cual consistió en dividir primero la población en subpoblaciones que no se superpongan entre sí; conocidas como estratos. En el presente trabajo se consideraron dos variables: geología y taxonomía, las mismas que sirvieron de base para estimar las unidades de muestreo y estimación del carbono en el suelo bajo el ecosistema herbazal de páramo (Ver Anexo 1).

2. Puntos de monitoreo

Para la implementación de los puntos de monitoreo, fue indispensable realizar salidas previas al campo; con la finalidad de evaluar cada una de las unidades de muestreo. Los parámetros que se consideraron fueron: topografía, accesibilidad y aspectos biofísicos; los mismos que sirvieron de base para ubicar cada uno de los puntos de monitoreo (Figura 2).

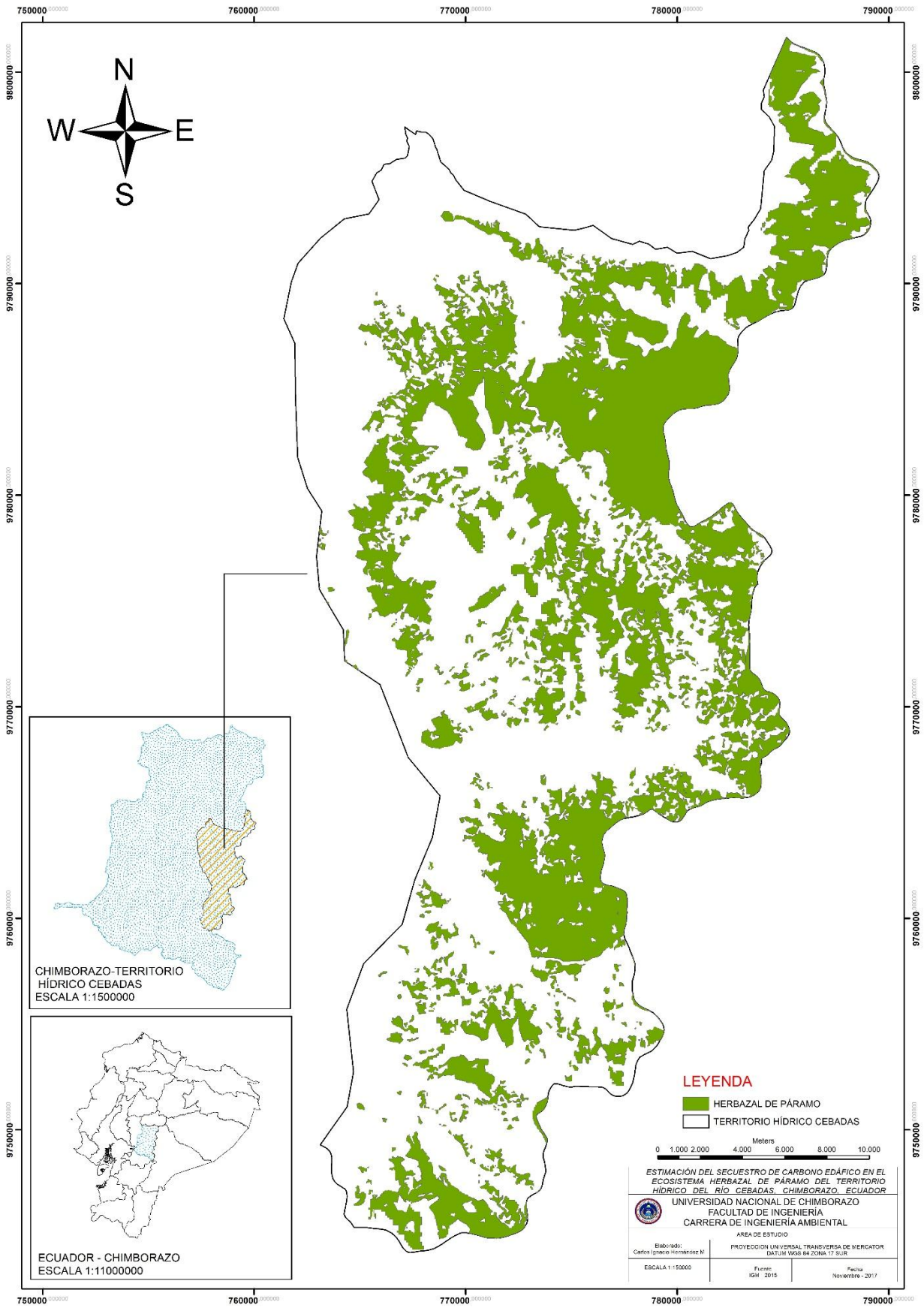


Figura 1. Área de Estudio
Elaborado por: El autor

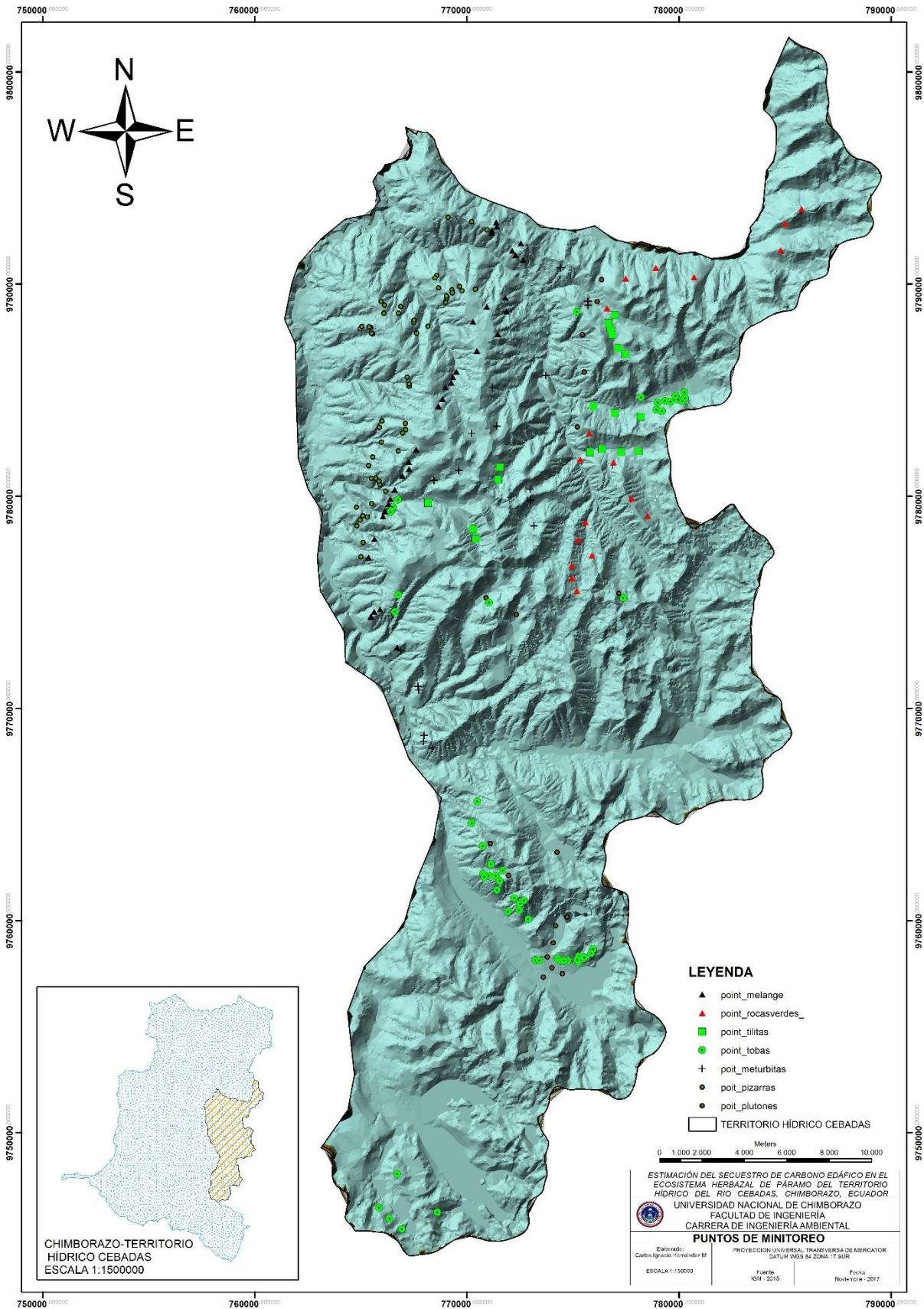


Figura 2. Puntos de monitoreo del THRC
Elaborado por: El autor

3. Tamaño de la muestra

La ubicación de los sitios de muestreo se determinó a partir de un muestreo estratificado aleatorizado, en total se seleccionaron 18 puntos de muestreo por unidad (ecuación 1).

De ahí que el número de muestras a recolectar dependió del área de estudio, error de muestreo y nivel de confianza. La fórmula empleada en el presente análisis es la siguiente:

$$N = \frac{z^2 (p.q)}{e^2} \quad (1)$$
$$N = \frac{((1.96^2) * 0.95 * (0.05))}{0.1^2}$$
$$N = 18$$

Donde:

N = tamaño de la población.

q = Error máximo permisible (probabilidad de fracaso 0.5)

Z = Valor obtenido mediante niveles de confianza. Es un valor constante que, si no se tiene su valor, se lo toma en relación al 95% de confianza equivale a 1,96 (como más usual) o en relación al 99% de confianza equivale 2,58, valor que queda a criterio del investigador.

e = Límite aceptable de error muestral que generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor que varía entre el 1% (0,01) y 9% (0,09).

4. Recolección de muestras de suelo

La recolección de muestras se llevó a efecto a través del método de barrenación, el cual consistió en recorrer el área e insertar el barreno en el suelo para obtener el porcentaje de muestra requerida. El número de muestras recolectadas es de 18 por unidad geológica y taxonómica de monitoreo y a dos profundidades 0-30 y 30-60 cm (Anexo 2).

5. Manejo y envío de muestras al laboratorio

Luego de haber finalizado con el proceso de recolección, se procedió a trasladar las muestras al laboratorio previamente rotuladas y claramente diferenciadas, con sus respectivos códigos. Todas las muestras fueron previamente secadas al aire y pasadas por

el tamiz de (2mm). Para la determinación de carbono orgánico fueron pasadas por el tamiz de 0.05 mm (Anexo 3).

6. Descripción morfológica del suelo del área de estudio

Para la descripción morfológica del suelo del área de estudio se siguió lo detallado en la “Guía para la descripción de suelos” de la (FAO, 2009), la cual se basa en parámetros de clasificación aceptados internacionalmente. De ahí que para complementar la información morfológica del suelo fue necesario, determinar parámetros físico-químicos como: color, textura, pH y densidad aparente.

6.1. Densidad aparente

La determinación de la densidad aparente (D_a) se obtuvo en base al método del terrón con parafina, el cual consistió en tomar un terrón de suelo disturbado con la humedad de campo y secado en la estufa a 105°C por 24 horas. Transcurrido este tiempo se pesó para luego sumergirlo, por unos segundos, en el recipiente que contenía parafina líquida, hasta que se impermeabilice. El agregado parafinado fue colocado en una probeta graduada que contenía agua, donde se midió el volumen desplazado al introducir el terrón. El cálculo de la D_a se lo realizó mediante la siguiente ecuación.

$$D_a: \frac{(\text{peso del terron sujetado con hilo y sumergido en la parafina})}{\text{Volumen de agua que fue desplazado en la probeta}} \quad (2)$$

Nota: para la obtención de la densidad aparente de cada una de las muestras se realizaron tres réplicas, es decir que por cada muestra de suelo se analizaron tres terrones y se obtuvieron tres valores, los mismos que fueron promediados para así obtener un valor más representativo de la D_a de cada muestra.

6.2. Cuantificación de materia orgánica por LOI (calcineración)

Para la determinación de la materia orgánica (MO) se pesaron 5 g de suelo en crisoles de 50 ml, y colocados en la estufa a 105°C durante 24 h. Transcurrido este tiempo las muestras fueron enfriadas en un desecador y pesadas. Luego se colocaron en una mufla a 360°C durante 2 h. Posteriormente se colocaron en un desecador para enfriarles y registrar su peso nuevamente (Eyherabide, Saínz Rozas, Barbieri, & Echeverría, 2014).

El cálculo de MO se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\% MO = ((\text{peso } 105^{\circ}\text{C} - \text{peso } 360^{\circ}\text{C}) * 100) / \text{peso } 105^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

6.3. Cálculo del porcentaje de carbono orgánico (%CO)

Para la determinación del % CO se utilizó el factor Van Bemmelen de (1.724), siendo este uno de los métodos más utilizados para este tipo de cálculo, el cual hace referencia a que el 58% de la MO está compuesta por C orgánico. Es así que se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% CO = \frac{\%MO}{1.724} \quad (4)$$

6.4. Análisis estadístico

Se realizarán pruebas de normalidad para verificar los supuestos del análisis ANOVA agrupando los datos por unidades geológicas, taxonómicas y por profundidad. Se realizó un ANOVA de una sola vía, ($p < 0,05$), para detectar diferencias estadísticas entre tratamientos se realizó la prueba de medias de Tukey. Para el análisis estadístico se usó el software MINITAB V17 (Minitab, 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para dar cumplimiento a los objetivos se procedió: i) caracterizar los rasgos físicos de la superficie utilizando para ello pendiente, altitud y capacidad de uso de los suelos, ii) caracterizar el ambiente morfológico, físico y químico de los suelos localizados en cada una de las unidades geológicas y taxonómicas localizadas bajo herbazal de páramo y que están sujetas a la cuantificación del carbono orgánico en el suelo.

1. Topografía (Relieve) y Altitud

Para determinar este parámetro se usó el grado de la pendiente. La medición se realizó en 7 unidades geológicas de monitoreo, estableciendo seis rangos de variación (Tabla 1), donde predomina los relieves escarpado (E), montañoso (M), colinado (C).

Tabla 1. *Relieve del territorio hídrico del río Cebadas*

Pendiente	JAp	JAm	JGc	MTq	G	JAa	dg	Total	Área
%	ha							ha	%
M > 70	154	1618	550	<u>2571</u>	695	2042	189	7818	31,3
E 70 – 50	456	998	178	<u>5922</u>	323	2074	195	10146	40,6
C 50 – 25	410	177	495	<u>961</u>	24	174	315	2556	10,2
Mo 25 -12	<u>408</u>	29	328	133	1	4	6	908	3,6
Slo 12 – 5	134	0	69	<u>513</u>	168	25	0	910	3,6
P 5 – 0	0	0	0	<u>242</u>	208	0	0	450	1,8
s/n	9	86	0	1519	53	536	1	2204	8,8

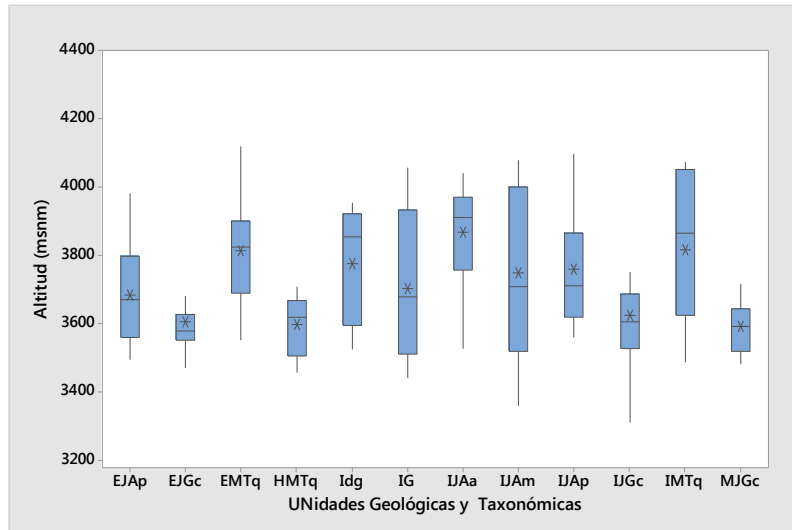
M montañoso, E escarpado, C colinado, Mo moderadamente ondulado, Slo suave a ligeramente ondulado, P plano. JAp Unidad Peltetec, JAm Unidad Maguazo, JGc Unidad Cebadas, MTq Formación Tarqui, G Rocas intrusivas, JAa Unidad Alao, dg Depósito Glacial.

Subrayado: máximo

Elaborado por: El autor

Como se observa en la (Tabla 1), el relieve plano a casi plano (P) de pendiente 0-5 % está presentes en las unidades geológicas MTq y G, con una superficie de 450 ha, que representa el 1.8 % del área de estudio siendo esta la de menor superficie; por otra parte encontramos el relieve escarpado (E) con una pendiente de 50-70 %, que abarca la mayor superficie, con una extensión de 10146 ha, representando el 40,6 % del área de estudio, siendo la unidad geológica MTq las más representativa con 5922 ha, es decir nuestra área se caracteriza por ser una zona muy accidentado, con varias depresiones o elevaciones considerables del terreno y áspero al que es difícil su accesibilidad. En la Figura 3, se observa la relación que hay entre las unidades geológicas y taxonómicas de suelo y la altura en msnm. La mayoría de las unidades geológicas se encuentran desde los 3500 hasta los 4000 msnm, a excepción de las unidades EJGc, HMTq, IJGc y la MJGc que se

encuentran en un rango más limitado desde los 3500 hasta aproximadamente los 3700 msnm.



JAp Unidad Peltetec, JAm Unidad Maguazo, JGc Unidad Cebadas, MTq Formación Tarqui, G Rocas intrusivas, JAa Unidad Alao, dg Depósito Glacial. E entisol, I Inceptisol, M molisol, H histosol.

Figura 3. Variaciones de la altitud en las diferentes Unidades Geológicas y Taxonómicas en el territorio hídrico del río Cebadas

Elaborado por: El autor

2. Aptitud del suelo

En el área de estudio se determinaron 7 clases de aptitud del suelo, las mismas que indican diferentes condiciones; debido a sus características propias, que determinan sus cualidades y fortalezas para las distintas actividades ya sean estas agrícolas, de protección o conservación, información necesaria para su debida utilización de acuerdo a su potencialidad, el mismo que se estableció a partir del análisis de las características de cada uno de sus parámetros como: condición del suelo, pendiente, textura, pH, altitud, (Tabla 2). Se determinó que la (clase I), tierras sin limitaciones es la de menor proporción, puesto que ocupa una superficie de 1 ha y se encuentra localizada en la unidad geológica JGc, que representa el 0,003 % del área de estudio. También se pudo establecer que la (clase VIII), denominadas tierras aptas para conservación de vida silvestre, es la que abarca la mayor superficie del área de estudio siendo esta de 10534 ha, que abarca el 48,935 %, esta clase se encuentra localizada en la unidad geológica MTq las más representativa con 3882 ha, lo que indica que no es apta para actividades agrologicas, sino para la conservación, protección de su fauna y flora nativa, concepto que va de acuerdo con (López, 2015), pues manifiesta que este tipo de superficies deben

ser protegidos por vegetación arbustiva y arbórea para su conservación, ya que de acuerdo con sus características como la pendiente, pedregosidad entre otros, son condiciones no son favorables para la actividad agrícola.

Tabla 2. *Aptitud de suelo del territorio hídrico del río Cebadas*

Clase	JAp	JAm	JGc	MTq	G	JAA	dg	Total	Área
	ha								%
I	0	0	1	0	0	0	0	1	0,003
II	14	0	64	108	<u>191</u>	116	151	644	2,990
III	<u>141</u>	0	0	54	11	10	10	225	1,047
IV	109	127	327	<u>638</u>	74	261	95	1631	7,577
V	369	347	409	<u>1225</u>	148	712	207	3416	15,869
VII	386	665	205	<u>1793</u>	213	543	53	3858	17,922
VIII	552	1770	613	<u>3882</u>	644	2884	189	10534	48,935
-	0	0	0	800	191	227	0	1218	5,657

JAp Unidad Peltetec, JAm Unidad Maguazo, JGc Unidad Cebadas, MTq Unidad Tarqui, G Rocas intrusivas, JAA Unidad Alao, dg Depósito Glacial. Subrayado: máximo

Elaborado por: El autor

3. Determinación de las unidades de monitoreo

La estratificación se realizó en función a las formaciones geológicas y taxonómicas de suelos, se determinaron 11 unidades geológicas, mientras que para la taxonomía de los suelos se lograron identificar 4 unidades, delimitadas mediante el uso de la herramienta ArcGIS 10.2, estableciendo una superficie de 24991 ha (Tabla 3).

Tabla 3. *Unidades Geológicas y Taxonómicas del territorio hídrico del río Cebadas bajo el Ecosistema herbazal de Páramo.*

Geología	Taxonomía	Área (ha)	Total	Unidad (%)	Total
Formación Tarqui (Mtg)	Entisol	135		1	47
	Histosol	192	11861	2	
	Inceptisol	11535		97	
Deposito Glacial (dg)	Histosol	12	705,10	2	3
	Inceptisol	693		98	
Unidad Alao (JAA)	Inceptisol	4803		99	19
	Mollisol	46		1	
Rocas Intrusivas (G)	Entisol	19	1473,32	1	6
	Histosol	38		3	
	Inceptisol	1417		96	
Unidad Cebadas (JGc)	Entisol	607	1618,28	38	6
	Inceptisol	901		56	
	Mollisol	111		7	
Unidad Maguazo (JAm)	Entisol	79	2908,49	3	12
	Inceptisol	2730		94	
	Mollisol	99		3	
Unidad Peltetec (JAp)	Entisol	185	1570,12	12	6
	Inceptisol	1365		87	

Elaborado por: El autor

Para establecer el número de unidades de monitoreo se tomaron en consideración además de las variables geológicas y taxonómicas aspectos relacionados con la accesibilidad

(distancia), otro criterio importante era que la unidad a ser muestreada tenía una superficie mínima de 100 ha.

Concluido el proceso de estratificación de las unidades de monitoreo se determinó que la unidad geológica Tarqui, posee tres clases de suelo como: Inceptisol, Entisol e Histosol, que abarca la mayor cantidad de superficie 11861 ha, que representa el 47 % del área de estudio, por otra parte la unidad geológica Deposito Glacial, posee 2 clases de suelos: Inceptisol e Histosol que es la menos representativa con 705 ha, que abarca el 3 % del área de estudio, por otra parte se excluyeron las siguientes unidades geológicas: piroclasto y lavas, gravas y arenas sueltas, deslizamientos de masa y cuarcitas, por ocupar una superficie menor a 100 ha y por estar localizadas en áreas inaccesibles (Tabla 3).

4. Propiedades físico-químicas de los suelos.

4.1. Textura

La textura del suelo es una propiedad física que hace referencia a la distribución del tamaño de las partículas (arena, limo y arcilla). En el área de estudio se identificaron tres clases texturales distribuidas en las siete formaciones geológicas. En la (Tabla 4) se puede observar que las clases texturales que predominan son la Franco (F), Franco arenoso (Fa) y Franco limosa (FL). Correspondiendo así para el grupo (a), la clase Fa localizada en las unidades geológicas; MTq, G; para el grupo (b) de clase F- Fa localizada en las unidades geológicas; Idg, JAa, JAm; y para el grupo (c) la clase F-FL localizada en las unidades geológicas; JAp, JGc.

Una vez descritas las clases texturales presentes en el área de estudio mediante las pruebas organolépticas, se determinó que la clase textural suelen asociarse en tres grupos principales que corresponden a las texturas: franco arenoso 45 %; franca 37 % y franco limoso 18 %. De acuerdo al tipo de textura su contenido de fracciones gruesas y finas, favorecerán a varias propiedades del suelo como; permeabilidad, capacidad de retención de agua, aireación, retención de nutrientes entre otras, presentando mejores condiciones para el crecimiento de la mayoría de las plantas, claro esto dependiendo del tipo de vegetación y sus requerimientos, características que se asemejan a la de los franco arenosos, ya que debido a su mayor presencia de arenas estos son más ligeros, aireados, permeables que los F, pero al contrario los suelos Fa debido a que este tipo de suelos son más sueltos no poseen una buena retención de nutrientes, lo que concuerda con lo manifestado por (Pérez, 2016) en su trabajo de investigación.

Tabla 4. *Relación entre la geología, rocas predominantes y la textura del suelo*

Formación geológica	Rocas predominantes	Textura del Suelo	Color	
			Seco	Húmedo
Deposito Glacial	Tilitas brechosas (Idg)	F * Fa **	10YR 3/1	10YR 2/1
Rocas Intrusivas	Plutones Calcoalcalinos de tonalitas y granodioritas de hornblenda y biotita (G)	Fa*	10YR 2/2	10YR 2/1
Unidad Alao	Rocas verdes, Meta-Basálticas y Meta-Andesitas (JAa)	F * Fa **	10YR 3/1	10YR 2/1
Unidad Maguazo	Metaturbiditas, Meta-Andesitas (JAm)	F * Fa **	10YR 3/2	10YR 2/1
Unidad Peltetec	Melagne Tectónico con sedimentos oceánicos, basaltos y gabros (JAp)	F * FL **	10YR 4/1	10YR 2/1
Unidad Cebadas	Pizarras negras y Menormente Cuarcitas (JGc)	F * FL **	10YR 4/1	10YR 2/1
Formación Tarqui	Tobas Acidas (MTq)	Fa *	10YR 2/2	10YR 2/1

*: nivel 1 (predominante)

Elaborado por: El autor

** : nivel 2

4.2. Color

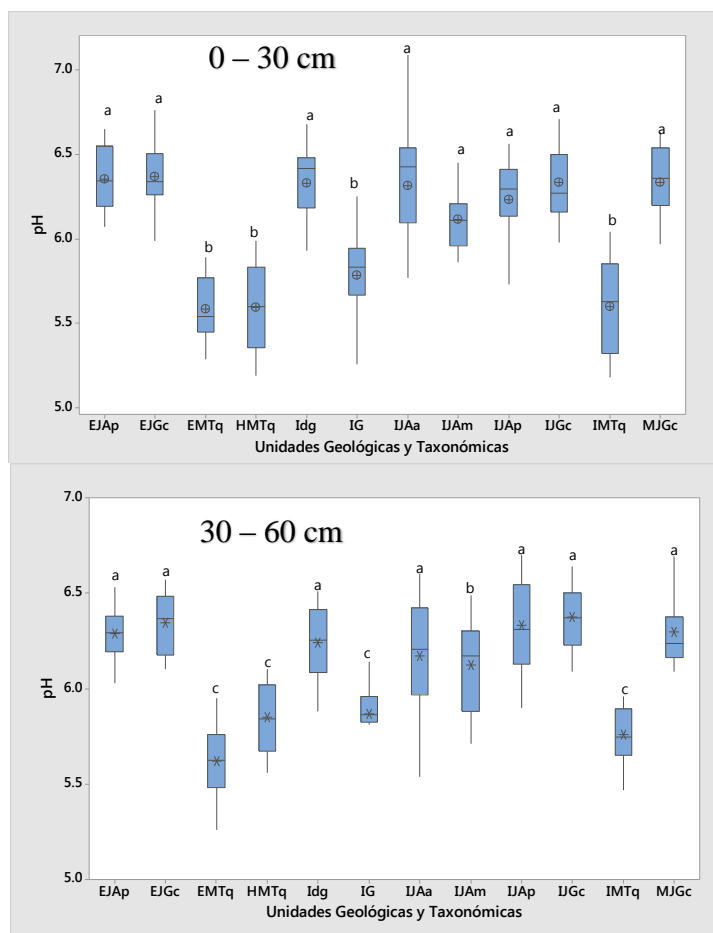
En la Tabla 4, se observa los distintos colores que se determinaron en el suelo del THRC, a partir de la utilización de la tabla Münsell (Münsell Color, 1975), el cual es un sistema basado en parámetros, que nos permiten obtener una gama de colores que pueden variar de color de acuerdo a los contenidos de materia orgánica, hierro, calcio, para la obtención de esta variación de colores se determinó en dos estados húmedo y seco, de cada una de las muestras recolectadas a dos profundidades (0-30 y 30-60 cm), obteniendo en seco rangos muy variables como: 10YR 3/1 – 10YR 4/1 - 10YR 5/1 y 10YR 2/2 – 10YR 3/2 - 10YR 4/2, por otra parte en húmedo se obtuvieron rangos más uniformes como: 10YR 2/1 – 10YR 3/1 y 10YR 2/2 – 10YR 3/2. En el campo se observó que predominan tonalidades oscuras en la profundidad (0-30cm), mientras que para la profundidad (30-60cm) estos van disminuyendo su tonalidad, tomando un color más claro, lo cual coincide con lo reportado por (Giraldo, 2013) en su trabajo de investigación.

Al relacionar el color de los suelos con las unidades geológicas podemos concluir que los suelos localizados en la formación Tarqui y Rocas Intrusivas presentaron los colores de suelo con una luminosidad (value) igual a 2 tanto en seco como en húmedo, mientras que los suelos localizados en las unidades geológicas Peltetec y algunos localizados en la unidad Cebadas presentaron los colores más claros con un value igual a 4. Estos valores de luminosidad bajo presentes en la unidad Tarqui y Rocas Intrusivas indica colores

oscuros, resultando en altos contenidos de carbono orgánico, mientras que los valores altos presentes en Pelpetec y Cebadas indica suelos con colores más claros, es decir que indica suelos con menor carbono orgánico. Valores similares fueron reportados por (Harden, Harsting, Farley y Bremer, 2013; Buytaert, Deckers y Wyseur, 2007) estudiando suelos bajo páramo localizados en la Cuenca del río Paute, Cantón Cuenca en el Ecuador.

4.3. pH

Las Figuras 4, muestran la variación del pH en función de las unidades geológicas y taxonómicas para las dos profundidades muestreadas. En la profundidad (0-30 cm), se observa claramente tres grupos el primer grupo que tiene un pH que varía entre 6,17 – 6,37 donde se encuentran los suelos localizados en las unidades IJGc, EJGc, MJGc, IJAp, EJAp, Idg, IJAa, las cuales son significativamente diferentes a la unidad IJAm, la cual presenta un valor medio de PH 6,12, siendo estos diferentes significativamente de las unidades EMTq, HMTq, IMTq, IG las cuales presentan los valores de pH más bajos que varían entre 5,8 – 5,6.



JAp Unidad Peltetec, JAm Unidad Maguazo, JGc Unidad Cebadas, MTq Unidad Tarqui, G Rocas intrusivas, JAa Unidad Alao, dg Depósito Glacial.
 E Entisol, H histosol, I Inceptisol, M molisol
 Letras (a, b, c): indican diferencias significativas mediante el test de Tukey ($p < 0.05$)

Figura 4. Valores de pH (0 -30 y 30 – 60 cm) de los suelos del THRC

Elaborado por: El autor

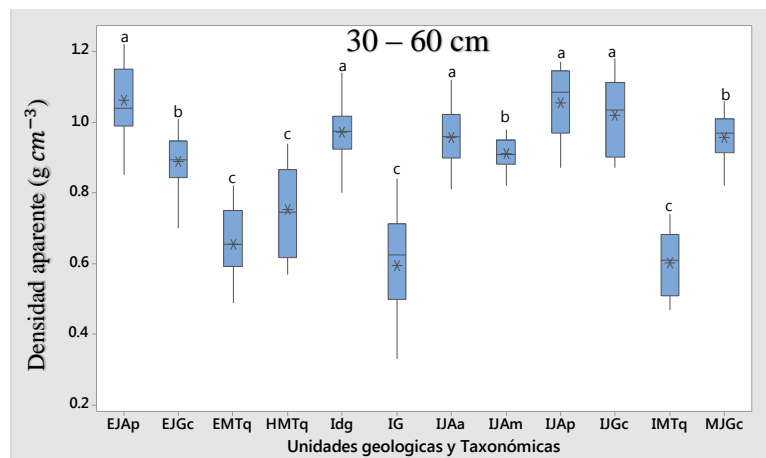
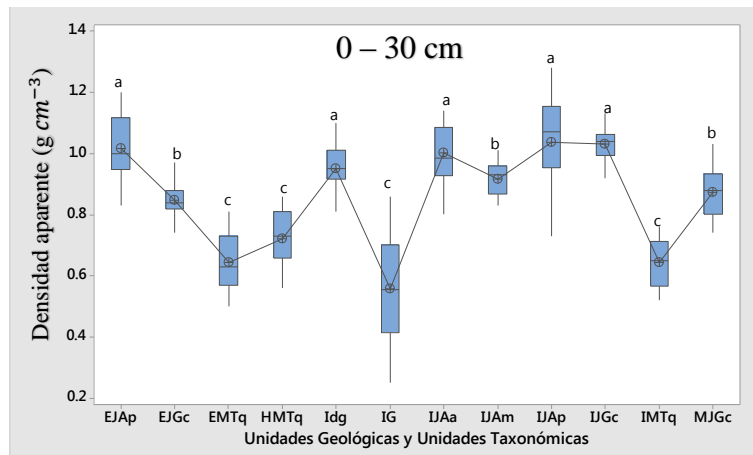
La Figura 4, muestra la variación del PH a la profundidad de 30 – 60 cm en relación con las unidades geológicas y taxonómicas, en general el comportamiento es similar a los primeros 30 cm, la única diferencia es que estos presentan mayor variabilidad dentro de las unidades, a consecuencia se presentan claramente dos grupos, el primero constituidos por todas las unidades de origen más básico (IJGc, EJGc, MJGc, IJAp, EJAp, Idg, IJAa, IJAp) y el segundo constituidos por los suelos localizados en la formación tarqui (EMTq, HMTq, IMTq) y la rocas intrusivas (IG) las cuales provienen de rocas más ácidas tales como tobas ácidas y granodiorita.

Los valores de pH del primer grupo están relacionados con la presencia de materiales parental ricos en rocas basálticas, pizarras negras. Estas rocas de carácter básico se caracterizan por presentar minerales tales como anortita que es un feldespato que

contiene cálcico, piroxenos que están constituidas de Ca, Mg, Fe, Al y Si, olivino que contiene Mg y Si. Estos minerales al alterarse a través de procesos de transformación dan origen a suelos con pH neutro los cuales a través de procesos de lavado que ocurren a través del tiempo se van haciendo ligeramente ácidos. Los suelos localizados en la Unidad IJAm provienen de rocas metamórficas tales como filitas negras a grises, micaesquistos y pizarra, las cuales son producto del metamorfismo de rocas volcánicas por lo tanto los suelos van a tener un pH muy similar al grupo anterior pero ligeramente más ácido, pues a diferencias de las anteriores no tienen tanto minerales ricos en calcio. El grupo que presenta un pH moderadamente ácido está constituido por rocas de la unidad Tarqui donde predominan los materiales como tobas ácidas y materiales provenientes de granodioritas con hornblenda, biotita y cuarzo, las cuales liberan menos Ca y Mg.

4.4. Densidad aparente (Da)

La figura 5, muestra los datos obtenidos de la densidad aparente para las dos profundidades estudiadas. Los valores encontrados de densidad aparente resultaron ligeramente más altos que los reportados en la literatura (Hribljan, Suárez, Heckman, Lilleskov, & Chimner, 2016; Tonneijck, Jansen, Nierop, Verstraten, Sevink, & De Lange, 2010) para suelos bajo páramo en el Ecuador, una razón de esto es que el método que se usó para determinar la densidad aparente fue el método del terrón parafinado y los otros estudios usaron el cilindro. En nuestro caso limitaciones en el laboratorio y en la cantidad de cilindros disponible, no permitió el uso de este método ya que en nuestro caso muestreamos 432 muestras. Sin embargo, estudios realizados por (Matus, Osorio, Acevedo, Ortega y Cazanga, 2002) reportan que el método del terrón parafinado sobrestima los valores en un 24% por lo cual recomienda realizar una corrección a los datos. Utilizando este factor se le aplicó la corrección a los datos medidos de densidad aparente los cuales son reportados en el Anexo 8.



IJAp Unidad Peltetec, JAm Unidad Maguazo, JGc Unidad Cebadas, MTq Unidad Tarqui, G Rocas intrusivas, JAa Unidad Alao, dg Depósito Glacial.
E Entisol, H histosol, I Inceptisol, M molisol

Letras (a, b, c): indican diferencias significativas mediante el test de Tukey ($p < 0.05$)

Figura 5. Densidad aparente (0-30 y 30 – 60 cm) de los suelos del THRC

Elaborado por: El autor

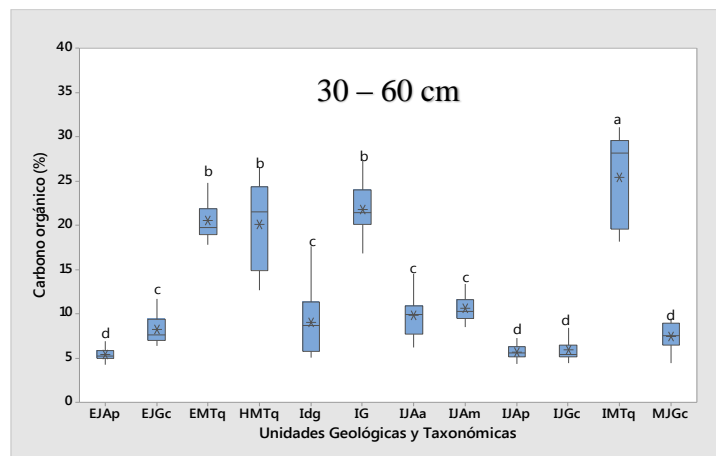
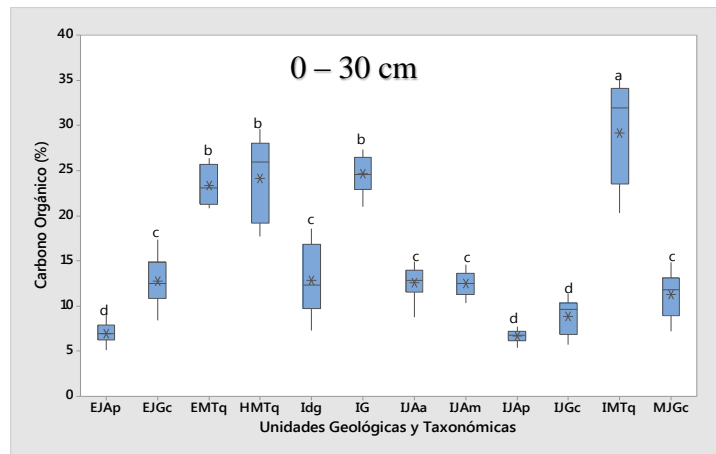
El análisis se realizó en 12 unidades de monitoreo, para la profundidad (0-30 y 30 – 60 cm), el análisis de TUKEY al 5%; estableció tres grupos de medias en rangos determinados de la siguiente manera grupo (a) cuyos valores de densidad aparente perteneces las unidades (EJAp, IJAp, IJGc) que presentan los valores de densidad aparente con un valor medio de (1.01 – 1.06 g cm^{-3}). A el grupo (b) pertenecen EJGc, IJAm, MJGc, IJAa, Idg los cuales presentan densidades dentro de le rango (0.88 – 0.97 g cm^{-3}) y el grupo (c) pertenece a las unidades geológica y taxonómicas EMTq, HMTq, IMTq, IG que presenta las densidades más bajas (0.59 – 0.75 g cm^{-3}). Un factor que pueden alterar o variar el valor de la Da, es la materia orgánica (MO) y la porosidad, puesto que al aumentar la MO y el espacio poroso como resultado decrece la Da esto lo manifiesta (Salamanca & Sadeghian, 2006) en su trabajo de investigación.

5. Contenido de Carbono orgánico

La Figura 6, muestra los valores de carbono orgánico a la profundidad de 0 -30 y 30 - 60 cm. Los valores de carbono de 0 – 30 cm muestran claramente cuatro grupos de medias que mostraron ser significativamente diferentes. El grupo (a) está constituido por la unidad geomorfológica Tarqui dentro de los suelos inceptisoles IMTq con un valor promedio de carbono orgánico de 29,17%, el grupo (b) constituido por las unidades HMTq, EMTq, IG dentro de los suelos histosol, inceptisol y entisol, con un valor medio de carbono orgánico 23,0 – 24,7 %, el grupo (c) constituido por las unidades Idg, EJGc, IJAa, IJAm, MJGc dentro de los suelos inceptisoles, entisoles y molisoles, con un valor medio de carbono orgánico 11.26 – 12.9%, el grupo (d) constituido por IJGc, EJAp, IJAp con un valor medio de 8.8 – 6.8 %.

Los valores de carbono orgánico para la profundidad 30 – 60 mostraron claramente cuatro grupos con algunas ligeras diferencias. El grupo (a) está constituido por la unidad IMTq pero su valor medio disminuyó en aproximadamente en un 4% siendo el valor medio 25.36%. El segundo grupo constituido por HMTq, EMTq, IG presentó una disminución entre un 3 y 4% siendo los valores medios 20.1 – 21.8%. El grupo (c) presentó una disminución entre un 2 – 3% siendo los valores medios 9.7 – 10.6%. La unidad MJGc pasó a formar del grupo (d) ya que los valores disminuyeron en un 4%, mientras que las unidades IJGc, EJAp, IJAp disminuyeron en un 1 – 2% resultando en un valor medio de 5.3 – 7.4%.

Aunque en la literatura se han reportado valores similares de carbono orgánico (Tabla 5) en diferentes regiones del Ecuador y en suelos bajo páramo, estos no se pueden comparar directamente con nuestros resultados debido a que solo se han estudiado suelos del orden Andosol y no se hace referencia al material parental.



JAp Unidad Peltetec, JAm Unidad Maguazo, JGc Unidad Cebadas, MTq Unidad Tarqui, G Rocas intrusivas, JAa Unidad Alao, dg Depósito Glacial.
 E Entisol, H histosol, I Inceptisol, M molisol
 Letras (a, b, c): indican diferencias significativas mediante el test de Tukey ($p < 0.05$)

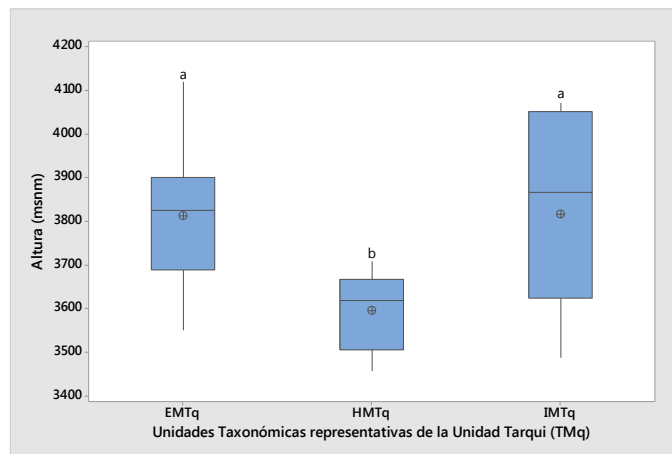
Figura 6. Carbono orgánico (0 -30 y 30 – 60 cm) de los suelos del THRC
 Elaborado por: El autor

Tabla 5. Valores de carbono orgánico, en diferentes sitios del Ecuador en suelos bajo Páramo.

Autores	Lugar	Tipo de Suelo	% Carbono
Buytaert <i>et al</i> , 2005	Huagrauma (western)	Andosol	14 – 44
	Ningar (central)	Histosol	4 – 27
Poulenard, <i>et al</i> , 2004	Chiles		8,6
	Pichicha	Andosol	12,5
	Cuenca	Andosol	21,2 – 23,2
	Azoges	Andosol	18,0
Tonnejck, <i>et al</i> , 2010	Guandera	Andosol	15,0
			22 – 20

5.1. Variación de la altura dentro de las diferentes unidades taxonómicas en la Unidad Geológica Tarqui.

Dentro de la Unidad geológica Tarqui se encontraron tres diferentes tipos de suelos desde el punto de vista taxonómico, Entisoles, Inceptisoles y Histosoles. En la Figura 7, se observa que los Entisoles se localizan en un amplio rango de altitudes desde los 3551 m.s.n.m hasta los 4120 m.s.n.m, los Histosoles desde los 3457 m.s.n.m hasta los 3894 m.s.n.m y los Inceptisoles desde los 3440 m.s.n.m hasta los 4056 m.s.n.m. Los valores de altitud mostraron diferencias significativas entre los Histosoles con respecto a los Entisoles e Inceptisoles.



Entisol, Histosol, Inceptisol localizados en la Unidad Geológica Tarqui
Letras (a, b, c): indican diferencias significativas mediante el test de Tukey ($p < 0.05$)

Figura 7. Unidades Taxonómicas de la unidad Tarqui en relación a la altura.

Elaborado por: El autor

5.2. Variación del carbono orgánico dentro de las unidades taxonómicas en la Unidad Geológica Tarqui.

En la Figura 8, se observa la variación del carbono orgánico versus la altura en la Unidad Tarqui. En las tres unidades IMTq, HMTq y EMTq se observa un patrón de distribución del carbono similar se pueden diferenciar dos grupos de suelos, uno menor de 25% y otro grupo mayor de 25%.

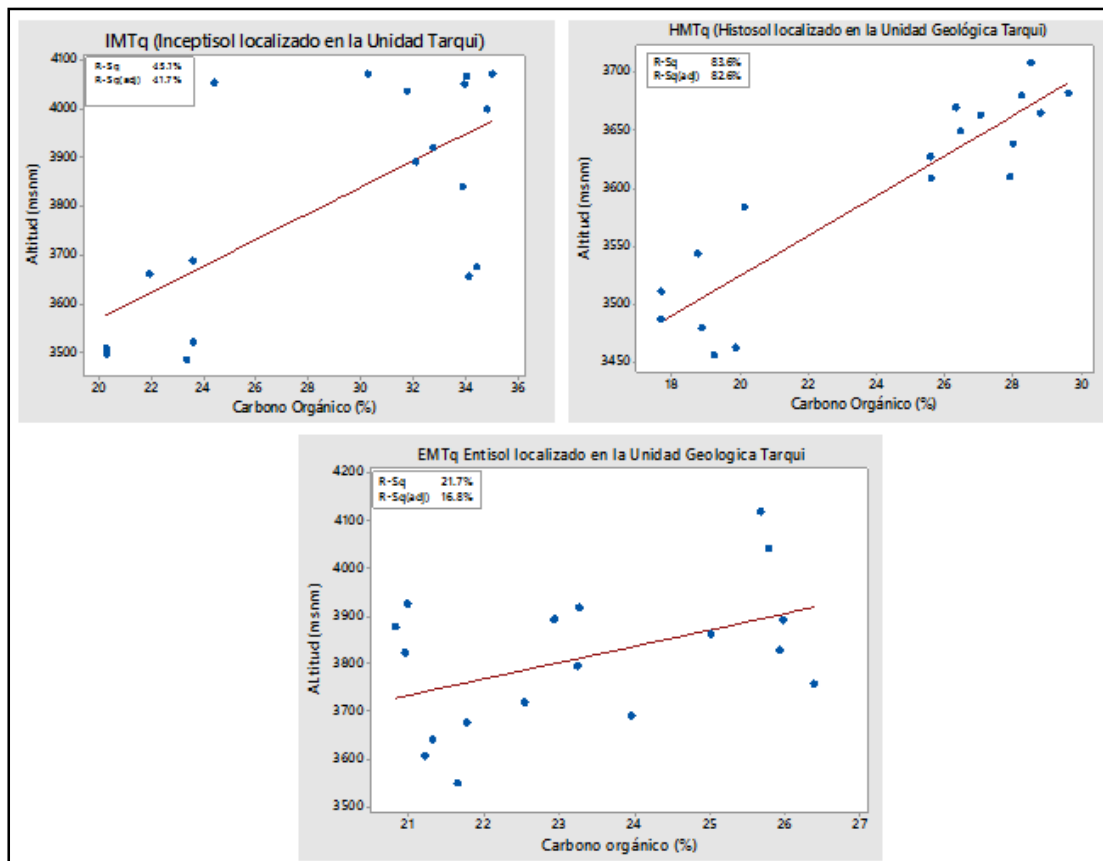


Figura 8. Carbono Orgánico en las diferentes Unidades Taxonómicas en la Unidad Tarqui
Elaborado por: El autor

En el caso del IMTq se observa que existen dos tipos diferentes de suelos Inceptisoles con un contenido de carbono orgánico menor al 25% y otro grupo de suelos que parecen tener un contenido muy alto para ser Inceptisoles y parecen corresponder al orden Histosol, esta combinación de suelos en la misma unidad podría ser llamada una asociación de suelos (Inceptisoles – Histosoles). Este comportamiento se repite en los Histosoles en este caso tenemos dos grupos (Histosoles – Inceptisoles). En la Unidad taxonómica de los Entisoles no se observa tan definida esta división, pero si hay un grupo de suelos que tiene muy altos contenidos de carbono para ser Entisoles y parecen Histosol, en este caso tendríamos una asociación de (Entisoles – Histosoles). La presencia de Histosoles en estas regiones geográficas, está relacionada con la posición más baja del paisaje en las cuales se acumula agua originando drenajes lentos, que traen consigo la acumulación de materia orgánica ya que la falta de oxígeno limita la actividad microbiana y por ende la descomposición de la materia orgánica. De este gráfico podemos concluir que las unidades geológicas están constituidas de suelos que pertenecen a más de un orden taxonómico de suelos.

5.3. Distribución espacial del contenido de carbono en THRC

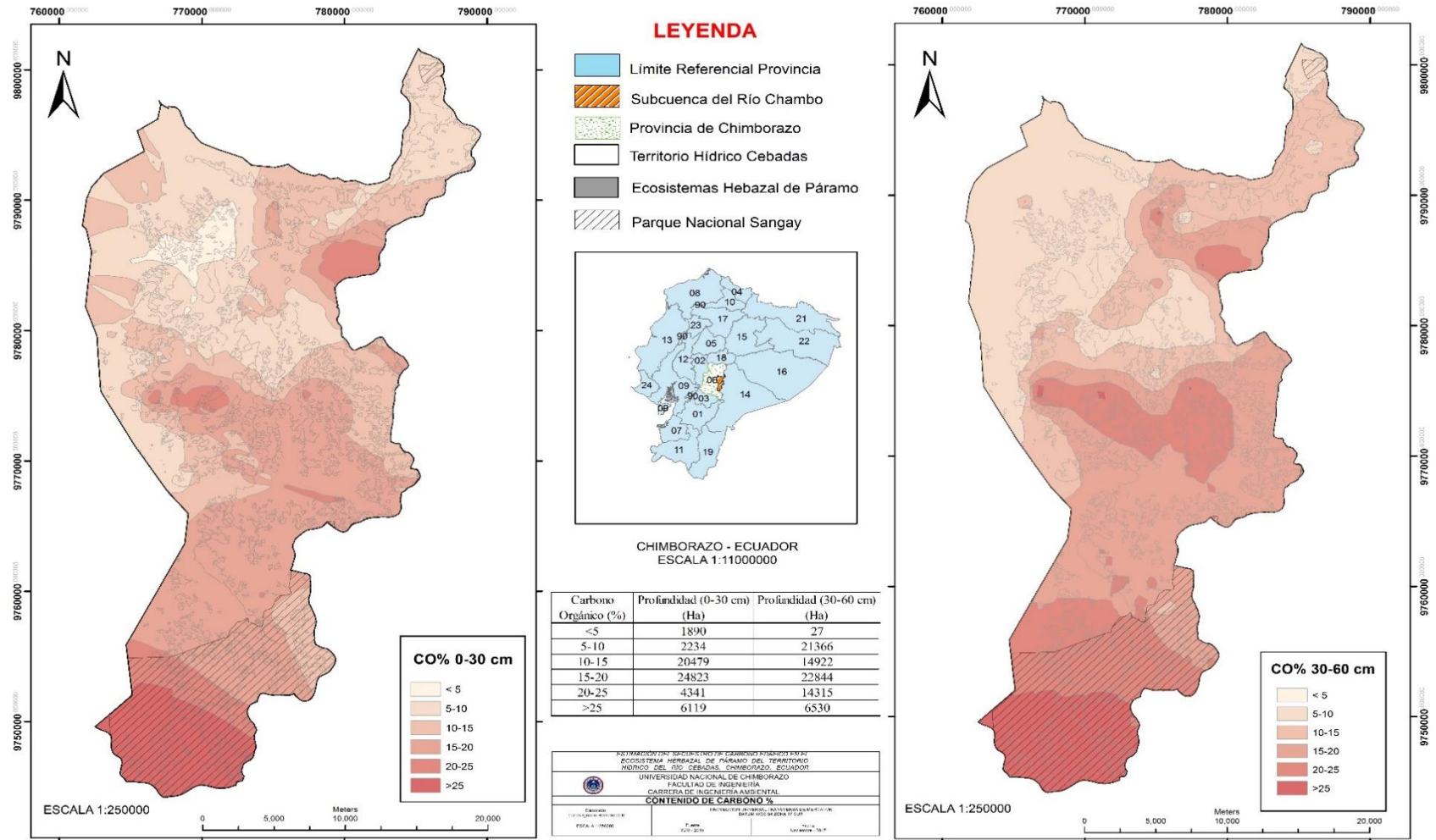


Figura 9. Distribución espacial del contenido de carbono en THRC
Elaborado por: El autor

Para inferir la distribución espacial del contenido de carbono, se utilizó el método Kenn, mediante el uso de imágenes de satélite e información de campo (Cisneros, Moncayo, Veas, Lima, & Carrión, 2014).

La figura 9, muestra la distribución espacial del COS en el THRC; donde los suelos con mayor contenido de carbono orgánico (>25 %); en la profundidad 0-30 cm ocupa una superficie de 6119 ha, localizada en suelos del orden Inceptisol dentro la unidad geológica Tarqui (IMTq), para la profundidad 30-60 cm ocupa una superficie de 6530 ha, localizada en los mismos tipos de suelos Inceptisoles en la unidad Tarqui (IMTq). Estos suelos se encuentran ubicados en la parte sur dentro de la zona del Parque Nacional Sangay, esto permite que estos suelos conserven el carbono almacenado en este ecosistema, puesto que la normativa que rige este tipo de áreas protegidas no permite el uso de estos suelos para otro tipo de actividad que no sea la de conservación.

Mientras que los suelos localizados en la parte norte presentan los valores más bajos de contenido de carbono orgánico (<10 %), en donde para la primera profundidad 0-30 cm ocupa una superficie de 24230 ha, predominando suelos del orden Inceptisol pero localizadas en las unidades IJGc, EJAp, IJAp; mientras que para la segunda profundidad 30-60 cm, ocupa una superficie de 21393 ha, localizadas en suelos de los órdenes Inceptisol, Molisol y Entisol en las unidades MJGc, IJGc, EJAp, IJAp, debido a que estas áreas tendrían una alta susceptibilidad a ser influenciadas por actividades antrópicas dado a su cercanía a vías rurales, centros poblados y por ser áreas no protegidas, se recomienda que debería generarse normativas que limitaran el uso de esos suelos para otras actividades, de tal manera poder conservar el carbono almacenado en estos suelos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Conclusiones

- El área de estudio fue caracterizada como una zona muy accidentada, con varias depresiones o elevaciones considerables del terreno, por estar ubicada en pendientes muy pronunciadas, las que abarcan el 71.3% de superficie del THRC.
- La aptitud del suelo que predomina es la clase VIII ocupando el 49% la cual se clasifica para usos conservacionistas y 18% es de clase VII, idónea para fines forestales, lo que indica que la zona de estudio no es apta para actividades agrológicas, sino para la conservación, protección de su fauna y flora nativa.
- Los valores de pH registrados en el THRC son de tipo moderadamente a ligeramente ácido, el mismo que se relaciona con el material parental que posee cada unidad geológica y la presencia en mayor o menor proporción de Ca y Mg.
- Se concluye que los valores de carbono orgánico están influenciados por la formación geológica y la taxonomía: El grupo (a) está constituido por los suelos localizados en la formación geológica Tarqui (IMTq) con un valor promedio de carbono orgánico de **29,17%**, el grupo (b) constituido por los suelos localizados en la formación geológica Tarqui (HMTq, EMTq) y las rocas Ígneas Intrusivas (IG) con un valor medio de carbono orgánico **23,0 – 24,7 %**, el grupo (c) constituido por los suelos localizados en las formaciones (Idg, IJAa, IJAm, EJGc, MJGc) con un valor medio de carbono orgánico **11.26 – 12.9%**, el grupo (d) constituido por suelos localizados en la formación (IJGc, IJAp, EJAp) con un valor medio de **6.8 – 8.8%**.

2. Recomendaciones

- Difundir los resultados del trabajo de investigación en la academia y los pobladores de estas áreas, para que conozcan los servicios ecosistémicos que genera el herbazal de páramo, con la finalidad de crear conciencia ambiental y una cultura de conservación de ecosistemas frágiles.
- Contar con equipos que estén calibrados para poder tener resultados confiables.
- Continuar con el monitoreo del carbono de los suelos en las mismas coordenadas de tal forma poder cuantificar la tasa de cambio de carbono almacenado en el suelo por año.

- En futuras investigaciones debe tomarse en cuenta la determinación de la densidad aparente por el método del cilindro, para lo cual sería importante equipar los laboratorios con los equipos necesarios.

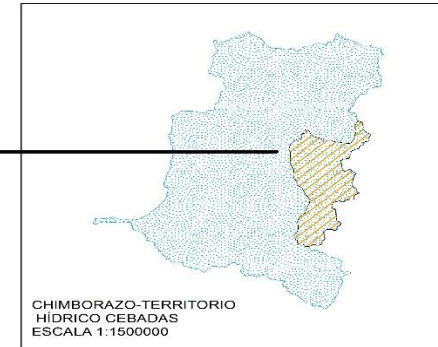
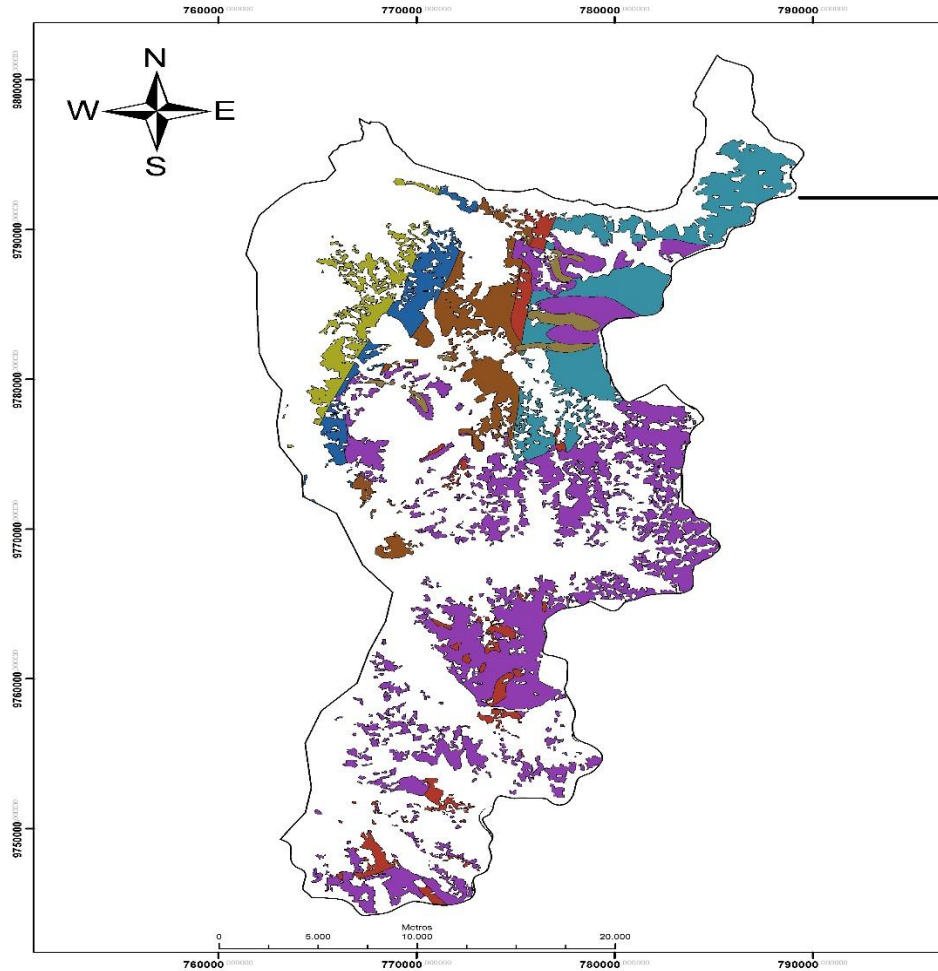
3. Bibliografía

- Alvarado, A., & Forsythe, W. (2005). Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 29(1), 85–94.
- Camacho, M. (2013). Los Páramos Ecuatorianos : Caracterización Y Consideraciones Para Su Conservación Y Aprovechamiento sostenible. *ANALES de La Universidad Central Del Ecuador*, 77–92.
- Caranqui, J., Lozano, P., & Reyes, J. (2016). Composición y diversidad florística de los páramos en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo, Ecuador. *Enfoque UTE*, 7(1), pp--33.
- Cisneros César, Moncayo, P., Veas, N., Lima, P., & Carrión, J. (2014). Protocolo para el procesamiento del mapa de densidades de carbono para estratos boscosos del Ecuador continental con imágenes modis y landsat.
- Coronel, A. (2016). Determinación de carbono en el suelo y biomasa del páramo de la comunidad Chocaví de la parroquia San Isidro. *Escuela superior politécnica de chimborazo*.
- Domínguez Soto, J. M., Gutiérrez, R., Delia, A., Prieto García, F., & Acevedo Sandoval, O. (2012). Sistema de Notación Munsell y CIELab como herramienta para evaluación de color en suelos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3, 141–155.
- Eyherabide, M., & Barbieri, P. (2014). Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo, 32(7620), 13–19.
- Eyherabide, M., Saíenz Rozas, H., Barbieri, P., & Echeverría, H. E. (2014). Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo. *Ciencia Del Suelo*, 32(1), 13–19.
- FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos*.
- Giraldo, J. C. G. (2013). *Manual de Prácticas de Campo y del Laboratorio de Suelos*. Tolima.
- Harden, C., Farley, K., Bremer, L., & Hartsig, J. (2011). Servicios ambientales ecosistémicos y cambio en el uso de suelo en el páramo.
- Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco, R., Torres, F., & Ulloa, J., & Cerra, M. (2014). Los páramos Andinos ¿Qué Sabemos? Los Páramos Andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo. UICN, Quito, Ecuador.
- Llambí, L. D., & Soto, A. (2012). Páramos Andinos Ecología , hidrología y suelos de páramos.
- LLAMUCA, J. L. A. (2015). Determinación de carbono en el suelo de Bosquenativo de ceja andina en el sector de Guangra, parroquia Achupallas, cantón Alausi, provincia de Chimborazo.
- Loayza De la Torre, V. (2012). Fraccionamiento químico del Carbono Orgánico en los suelos no carbonatados de la Alpujarra Granadina. *Universidad de Granada*.
- López, J. L. R. (2015). Alternativas de manejo sustentable de la subcuenca del río Pitura, provincia de Imbabura, Ecuador.
- MAE. (2014). Evaluación nacional forestal resultados. Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) y el Proyecto “Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático (MFSCC)” de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Quito.
- Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de La Ciencia Del Suelo Y Nutrición Vegetal*, 8, 68–96. <https://doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>
- Maycotte Morales, C. C. (2011). *Edafología 1 (Primera Ed)*.
- Minitab. (2016). *Getting Started with Minitab 17*. Minitab Inc.

- Naranjo, L. (2013). Caracterización hidrogeológica de la subcuenca del río Chambo. Universidad Central del Ecuador-Facultad de Ingeniería en geología, minas, petróleo y ambiental. Tesis de Pregrado.
- Pérez-Ramírez, S., Isabel, M., Jaramillo-López, F. P., & Bautista, F. (2013). Contenido de carbono orgánico en el suelo bajo diferentes condiciones forestales: reserva de la biosfera mariposa monarca, México. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, 19(1), 157–173. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.06.042>
- Pérez, M. A. L. (2016). Determinación de la confiabilidad de los métodos de ollas isobáricas y centrífuga para la determinación de capacidad de campo y punto de marchitez permanente.
- Rugel, C. G. C., & Córdor, C. P. I. (2012). Cuantificación de carbono total almacenado en suelos de páramos en las comunidades Shobol-Chimborazo, San Juan Chimborazo.
- Salamanca, A., & Sadeghian, S. (2006). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana, 56(4), 381–397.
- Sánchez, A. (2016). Estimación del carbono orgánico sobre el suelo, a partir de imágenes satelitales LANDSAT 7 ETM+, en el bosque de ceja andina de la comunidad indígena Huangras, Achupallas, Chimborazo. Retrieved from [http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4996/1/tesis-Fernanda Sánchez.pdf](http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4996/1/tesis-Fernanda%20S%C3%A1nchez.pdf)
- Santiana, J., Báez, S., & Guevara, J. (2012). Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental. Ministerio del Ambiente del Ecuador. Quito. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

ANEXOS

Anexo 1. Unidades de monitoreo



SÍMBOLO	LEYENDA	FORMACIÓN	PERIODO	EDAD	Área (ha)
Tiltas Brechosas		Pizarra Clásica	CUATERNARIO	Pleistoceno	782,1
Cl	Plutones Calcocalcinos de Tonalitas y Granodioritas con Hornblenda y Biotita	Rocas Intrusivas	TERCIARIO	Cenozoico	1701,09
Fla	Rocas Verdes Meta-Basálticas y Meta-Andesíticas	Unidad Alta	MESÓZOICO	Jurásico	5268,07
Jam	Micaschistitas, Meta-sabiasas, Chert y Mármoles	Unidad Mesoque	MESÓZOICO	Jurásico	3068,49
Jmg	Melange Tectónico con Sedimentos Oceanicos Chertosos, Basaltos, Sepentinitas y Gabros	Unidad Peléica	MESÓZOICO	Jurásico	1570,12
Ka	Pizarras Negras y Menormente Cuarzitas	Unidad Clásica	MESÓZOICO	Jurásico	1018,78
MTq	Tobas Acidas, Blancas a Rojas	Formación Tanqui	TERCIARIO	Eoceno Medio-Tarso a Mioceno	13686,01

LEYENDA

UNIDADES GEOLÓGICAS

- Melange Tectónico con Sedimentos Oceánicos Chertosos, Basaltos, Sepentinitas y Gabros
- Metaturbiditas, Meta-andesitas, Chert y Mármoles
- Pizarras Negras y Menormente Cuarzitas
- Plutones Calcocalcinos de Tonalitas y Granodioritas con Hornblenda y Biotita
- Rocas Verdes Meta-Basálticas y Meta-Andesíticas
- Tiltas Brechosas
- Tobas Acidas, Blancas a Rojas
- TERRITORIO HÍDRICO CEBADAS

ESTIMACIÓN DEL SECUESTRO DE CARBONO EDÁFICO EN EL ECOSISTEMA HERBAZAL DE PARAMO DEL TERRITORIO HÍDRICO DEL RIO CEBADAS, CHIMBORAZO, ECUADOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL
UNIDADES GEOLÓGICAS

PROYECCION UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERIDATOR
LALUM WGS 84-ZONA 17 SUR

Elaborado: Cecilia Igancio Pacheco M	Fecha: 10M/2010	Fecha: Noviembre 2017
ESCALA 1:220000		

Elaborado por: El autor

Anexo 2. Recolección de muestras por el método de barrenación



Elaborado por: El autor

Anexo 3. Etiquetado y codificación de las muestras

Provincia	Chimborazo	Muestra	1HMTq
Cantón	Guamote	Tipo de muestra	Suelo
Parroquia	Cebadas	CUTs	20
Sector		Método de muestreo	Barreno
Responsable	Equipo Técnico UNACH	Prof. de la muestra	0 - 30 cm
Fecha de muestreo:			
Observaciones			



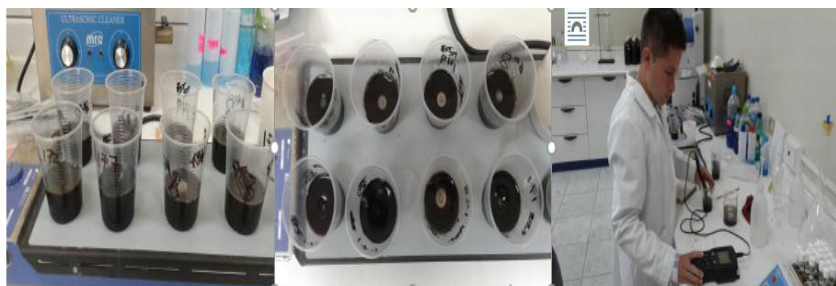
Elaborado por: El autor

Anexo 4. Determinación del color del suelo



Elaborado por: El autor

Anexo 5. Determinación de pH



Elaborado por: El autor

Anexo 6. Clase textural del suelo del (THRC)

PROFUNDIDAD (cm)	UNIDAD GEOLÓGICA	TEXTURA	ÁREA TOTAL (%)
(0-30) - (30-60)	HMTq	Franco arenoso (Fa)	
(0-30) - (30-60)	EMTq	Franco arenoso (Fa)	47,10
(0-30) - (30-60)	IMTq	Franco (F) - Franco arenoso (Fa)	
(0-30) - (30-60)	IJAp	Franco (F)- Franco limoso (FL)	
(0-30) - (30-60)	EJAp	Franco (F) - Franco limoso (FL)	6,23
(0-30) - (30-60)	IJAm	Franco (F) - Franco arenoso (Fa)	11,55
(0-30) - (30-60)	MJGc	Franco (F) - Franco arenoso (Fa)	
(0-30) - (30-60)	EJGc	Franco (F) - Franco arenoso (Fa)	6,43
(0-30) - (30-60)	IJGc	Franco (F) - Franco limoso (FL)	
(0-30) - (30-60)	IG	Franco arenoso (Fa)	5,85
(0-30) - (30-60)	IJAa	Franco (F) - Franco arenoso (Fa)	19,28
(0-30) - (30-60)	Idg	Franco (F) - Franco limoso (FL)/arenoso (Fa)	2,80

Elaborado por: El autor

Anexo 7. Color de suelo del THRC

PROFUNDIDAD	UNIDAD GEOLÓGICA	SECO	HUMEDO
(0-30) - (30-60)	HMTq	10YR 3-4-5 /1 Y 2-3/2	10YR 2/1
(0-30) - (30-60)	EMTq	10YR 3/1 Y 2-3/2	10YR 2/1
(0-30) - (30-60)	IMTq	10YR 3/1 Y 2-3/2	10YR 2/1
(0-30) - (30-60)	IJAp	10YR 3-4-5/1 Y 3-4/2	10YR 2-3/1 Y 2-3/2
(0-30) - (30-60)	EJAp	10YR 3-4-5/1	10YR 2-3/1 Y 2-4/2
(0-30) - (30-60)	IJAm	10YR 3-4/1 Y 2-3/2	10YR 2/1
(0-30) - (30-60)	MJGc	10YR 3-4/1 Y 2-3-4/2	10YR 2/1 Y 2/2
(0-30) - (30-60)	EJGc	10YR 3-4/1 Y 2-3/2	10YR 2/1 Y 2/2
(0-30) - (30-60)	IJGc	10YR 3-5/1 Y 3/2	10YR 2-3/1 Y 2-3/2
(0-30) - (30-60)	IG	10YR 3/1 Y 2-3/2	10YR 2/1
(0-30) - (30-60)	IJAa	10YR 3/1 Y 2-3-4/2	10YR 2-3/1 Y 2/2
(0-30) - (30-60)	Idg	10YR 3-4/1 Y 2-3/2	10YR 2-3/1 Y 2-3/2

Elaborado por: El autor

Anexo 8. Base de datos de las variables estudiadas

Altitud (msnm)	pH (0 - 30 cm)	pH (30- 60cm)	Da (g cm ⁻³) (0 - 30 cm)	Da (g cm ⁻³) (30 - 60 cm)	Da (g cm ⁻³) (0 - 30 cm)	Da (g cm ⁻³) (30 - 60 cm)	%CO (0 - 30 cm)	%CO (30 -60 cm)	Formación Geológica/ taxonómica
3682.00	5.97	5.77	0.96	1.00	0.72	0.76	29.62	24.80	HMTq
3512.00	5.76	5.36	1.09	1.06	0.85	0.82	17.68	13.96	HMTq
3665.00	6.10	5.87	1.00	1.05	0.76	0.81	28.79	24.22	HMTq
3463.00	5.62	5.58	1.12	1.05	0.88	0.81	19.87	16.21	HMTq
3708.00	6.04	5.90	0.96	0.81	0.72	0.57	28.52	23.25	HMTq
3480.00	5.65	5.19	1.18	1.10	0.94	0.86	18.87	12.65	HMTq
3457.00	5.56	5.34	1.13	0.91	0.89	0.67	19.23	18.63	HMTq
3584.00	5.64	5.56	1.09	1.07	0.85	0.83	20.12	21.10	HMTq
3638.00	5.78	5.99	0.92	0.89	0.68	0.65	27.98	22.28	HMTq
3663.00	6.10	5.78	0.82	0.87	0.58	0.63	27.03	20.29	HMTq
3610.00	5.94	5.82	0.83	0.80	0.59	0.56	27.89	24.50	HMTq
3680.00	6.01	5.62	0.99	0.96	0.75	0.72	28.25	26.43	HMTq
3627.00	6.08	5.87	0.86	0.99	0.62	0.75	25.57	23.02	HMTq
3488.00	5.68	5.20	1.10	0.94	0.86	0.7	17.67	14.24	HMTq
3544.00	5.90	5.28	1.17	0.92	0.93	0.68	18.76	14.40	HMTq
3609.00	5.72	5.42	0.98	0.99	0.74	0.75	25.60	14.97	HMTq
3649.00	5.76	5.55	0.81	0.90	0.57	0.66	26.46	25.14	HMTq
3670.00	5.97	5.63	0.85	0.98	0.61	0.74	26.32	21.82	HMTq
3692.00	5.75	5.82	1.06	0.81	0.82	0.57	23.96	17.80	EMTq
3678.00	5.46	5.62	0.99	1.02	0.75	0.78	21.77	19.00	EMTq
3642.00	5.91	5.75	0.89	0.83	0.65	0.59	21.32	21.22	EMTq
3720.00	5.73	5.29	0.90	0.90	0.66	0.66	22.55	19.61	EMTq
3823.00	5.46	5.30	0.98	0.97	0.74	0.73	20.95	19.37	EMTq
3926.00	5.26	5.41	0.99	1.02	0.75	0.78	20.98	19.34	EMTq
3796.00	5.26	5.46	0.81	1.05	0.57	0.81	23.24	21.18	EMTq
3919.00	5.52	5.52	0.99	0.87	0.75	0.63	23.27	20.37	EMTq
4043.00	5.78	5.40	0.92	0.93	0.68	0.69	25.78	22.73	EMTq
3863.00	5.69	5.56	0.78	0.74	0.54	0.5	25.01	24.38	EMTq
4120.00	5.64	5.52	0.85	0.78	0.61	0.54	25.67	24.78	EMTq
3879.00	5.61	5.52	0.80	0.86	0.56	0.62	20.83	18.31	EMTq
3607.00	5.54	5.63	0.84	0.89	0.6	0.65	21.21	18.70	EMTq
3828.00	5.54	5.47	0.85	0.87	0.61	0.63	25.93	17.75	EMTq
3894.00	5.89	5.85	0.90	0.82	0.66	0.58	22.94	21.52	EMTq
3551.00	5.71	5.65	1.00	0.81	0.76	0.57	21.65	19.33	EMTq
3759.00	5.49	5.89	0.85	0.97	0.61	0.73	26.39	24.71	EMTq
3893.00	5.95	5.88	0.73	0.77	0.49	0.53	25.97	19.86	EMTq
3522.00	5.86	5.61	0.93	0.93	0.69	0.69	23.62	19.03	IMTq
3892.00	5.60	5.20	0.83	0.87	0.59	0.63	32.12	29.22	IMTq
4051.00	5.72	5.18	0.75	0.78	0.51	0.54	33.98	30.37	IMTq
3689.00	5.94	5.83	0.92	0.91	0.68	0.67	23.61	19.98	IMTq
3663.00	5.86	5.84	0.94	0.97	0.70	0.73	21.96	18.11	IMTq
4054.00	5.67	5.92	0.94	0.95	0.70	0.71	24.43	19.34	IMTq

3920.00	5.94	5.42	0.83	0.78	0.59	0.54	32.78	27.64	IMTq
3509.00	5.87	6.04	0.87	1.00	0.63	0.76	20.30	19.67	IMTq
4037.00	5.75	5.77	0.87	0.87	0.63	0.63	31.78	28.39	IMTq
4072.00	5.73	5.55	0.75	0.76	0.51	0.52	30.28	27.83	IMTq
4066.00	5.94	5.35	0.71	0.84	0.47	0.6	34.05	28.47	IMTq
3487.00	5.74	5.68	0.98	0.99	0.74	0.75	23.35	19.84	IMTq
4072.00	5.52	5.18	0.87	0.91	0.63	0.67	35.06	29.22	IMTq
4000.00	5.47	5.23	0.73	0.84	0.49	0.6	34.84	29.93	IMTq
3657.00	5.96	5.48	0.71	0.81	0.47	0.57	34.15	30.61	IMTq
3629.00	6.48	6.19	1.41	1.50	1.17	1.26	5.53	5.38	IJAp
3746.00	6.03	6.37	1.40	0.97	1.16	0.73	6.12	5.93	IJAp
3558.00	6.07	6.45	1.29	1.24	1.05	1	7.25	6.34	IJAp
3577.00	6.21	5.73	1.38	1.17	1.14	0.93	7.03	6.30	IJAp
3578.00	6.33	5.86	1.11	1.32	0.87	1.08	7.12	5.77	IJAp
3680.00	6.18	6.40	1.40	1.25	1.16	1.01	7.24	6.84	IJAp
3673.00	6.29	6.24	1.37	1.39	1.13	1.15	5.43	5.16	IJAp
3711.00	6.54	6.33	1.33	1.36	1.09	1.12	6.72	5.14	IJAp
4080.00	6.56	6.47	1.23	1.41	0.99	1.17	6.72	5.87	IJAp
3926.00	5.90	6.17	1.34	1.48	1.1	1.24	6.22	5.28	IJAp
4096.00	6.15	6.50	1.21	1.33	0.97	1.09	7.68	5.16	IJAp
3709.00	6.53	6.29	1.40	0.83	1.16	0.59	7.21	7.03	IJAp
3624.00	6.40	6.36	1.17	1.20	0.93	0.96	6.87	4.34	IJAp
3801.00	6.29	6.30	1.15	1.30	0.91	1.06	7.32	5.30	IJAp
3844.00	6.68	5.63	1.32	1.34	1.08	1.1	7.22	7.28	IJAp
3998.00	6.60	6.02	1.35	1.52	1.11	1.28	6.75	4.91	IJAp
3846.00	6.70	6.56	1.24	1.28	1	1.04	6.41	5.79	IJAp
3606.00	6.06	6.29	1.21	1.09	0.97	0.85	5.42	4.64	IJAp
3584.00	6.49	6.31	1.20	1.38	0.96	1.14	7.96	4.25	EJAp
3516.00	6.53	6.45	1.32	1.42	1.08	1.18	7.43	5.09	EJAp
3640.00	6.20	6.08	1.46	1.18	1.22	0.94	6.43	4.40	EJAp
3699.00	6.31	6.54	1.26	1.25	1.02	1.01	6.97	5.23	EJAp
3495.00	6.21	6.40	1.45	1.21	1.21	0.97	6.95	5.15	EJAp
3561.00	6.05	6.65	1.28	1.23	1.04	0.99	7.23	5.14	EJAp
3540.00	6.35	6.17	1.32	1.21	1.08	0.97	6.45	5.56	EJAp
3566.00	6.35	6.10	1.36	1.34	1.12	1.1	5.74	5.65	EJAp
3954.00	6.14	6.07	1.09	1.19	0.85	0.95	7.83	6.87	EJAp
3852.00	6.22	6.27	1.24	1.20	1	0.96	7.56	6.23	EJAp
3729.00	6.47	6.34	1.20	1.07	0.96	0.83	6.10	5.77	EJAp
3791.00	6.28	6.58	1.26	1.10	1.02	0.86	8.29	5.35	EJAp
3981.00	6.48	6.38	1.20	1.11	0.96	0.87	8.24	6.23	EJAp
3812.00	6.03	6.59	1.25	1.35	1.01	1.11	9.01	6.75	EJAp
3749.00	6.17	6.35	1.37	1.26	1.13	1.02	6.51	5.08	EJAp
3550.00	6.23	6.22	1.28	1.32	1.04	1.08	6.34	5.30	EJAp
3603.00	6.32	6.20	1.45	1.44	1.21	1.2	5.47	4.36	EJAp
3703.00	6.33	6.65	1.45	1.38	1.21	1.14	5.11	4.73	EJAp
3520.00	6.10	5.93	1.12	1.19	0.88	0.95	14.55	13.04	IJAm

3541.00	6.49	5.86	1.15	1.20	0.91	0.96	11.28	10.65	IJAm
3518.00	6.02	6.41	1.20	1.21	0.96	0.97	14.06	11.08	IJAm
3513.00	5.71	6.11	1.21	1.21	0.97	0.97	11.22	8.54	IJAm
3501.00	5.73	5.98	1.22	1.14	0.98	0.9	11.69	9.71	IJAm
3523.00	6.30	5.91	1.14	1.08	0.9	0.84	14.13	13.38	IJAm
3953.00	5.80	6.16	1.12	1.20	0.88	0.96	12.83	12.50	IJAm
4077.00	6.47	6.11	1.13	1.07	0.89	0.83	11.77	9.52	IJAm
3921.00	6.31	6.08	1.17	1.11	0.93	0.87	13.78	12.73	IJAm
4012.00	6.17	5.97	1.19	1.10	0.95	0.86	13.05	10.23	IJAm
4034.00	6.22	6.18	1.16	1.12	0.92	0.88	12.42	10.15	IJAm
3728.00	6.10	6.45	1.19	1.17	0.95	0.93	13.41	11.29	IJAm
3687.00	5.85	6.17	1.12	1.09	0.88	0.85	13.60	10.95	IJAm
3600.00	6.19	6.01	1.10	1.25	0.86	1.01	10.34	8.97	IJAm
4000.00	5.89	6.15	1.06	1.13	0.82	0.89	12.62	10.23	IJAm
3962.00	6.17	5.89	1.09	1.20	0.85	0.96	12.36	9.98	IJAm
4000.00	6.25	6.45	1.15	1.17	0.91	0.93	11.14	9.38	IJAm
3360.00	6.43	6.29	1.19	1.19	0.95	0.95	10.87	9.12	IJAm
3504.00	6.28	6.38	1.20	1.25	0.96	1.01	7.24	4.39	MJGc
3544.00	6.69	6.16	1.25	1.27	1.01	1.03	8.20	6.91	MJGc
3600.00	6.10	5.99	1.25	1.18	1.01	0.94	9.02	5.66	MJGc
3480.00	6.17	6.54	1.30	1.12	1.06	0.88	8.20	7.89	MJGc
3642.00	6.20	6.54	1.20	1.10	0.96	0.86	12.10	9.46	MJGc
3641.00	6.09	6.15	1.23	1.20	0.99	0.96	8.75	7.52	MJGc
3680.00	6.11	6.54	1.24	1.10	1	0.86	12.68	9.33	MJGc
3520.00	6.22	6.35	1.20	1.12	0.96	0.88	12.33	9.00	MJGc
3585.00	6.21	6.25	1.08	1.12	0.84	0.88	14.44	7.45	MJGc
3609.00	6.74	6.34	1.28	0.99	1.04	0.75	11.54	6.58	MJGc
3586.00	6.29	6.37	1.20	1.17	0.96	0.93	10.78	7.13	MJGc
3567.00	6.33	6.63	1.22	1.04	0.98	0.8	12.20	8.08	MJGc
3716.00	6.17	5.97	1.07	1.12	0.83	0.88	14.32	8.93	MJGc
3641.00	6.14	6.30	1.18	1.13	0.94	0.89	12.27	7.01	MJGc
3659.00	6.25	6.38	1.07	1.03	0.83	0.79	14.85	7.92	MJGc
3646.00	6.30	6.37	1.06	1.04	0.82	0.8	14.36	8.89	MJGc
3506.00	6.51	6.21	1.23	0.98	0.99	0.74	10.21	5.72	MJGc
3514.00	6.52	6.54	1.27	1.06	1.03	0.82	9.20	6.10	MJGc
3640.00	6.44	6.44	1.16	1.08	0.92	0.84	12.68	7.17	EJGc
3560.00	6.52	6.73	1.18	1.12	0.94	0.88	12.21	6.35	EJGc
3602.00	6.10	6.06	1.11	1.08	0.87	0.84	12.18	7.24	EJGc
3470.00	6.17	6.22	1.13	1.13	0.89	0.89	13.74	8.87	EJGc
3529.00	6.55	6.31	1.00	1.10	0.76	0.86	16.10	7.50	EJGc
3565.00	6.39	6.28	1.15	0.99	0.91	0.75	14.44	7.71	EJGc
3606.00	6.17	6.35	1.03	1.03	0.79	0.79	11.44	8.81	EJGc
3622.00	6.14	6.50	0.94	1.10	0.7	0.86	16.62	9.46	EJGc
3825.00	6.18	6.27	1.09	1.08	0.85	0.84	15.98	11.63	EJGc
3880.00	6.47	6.36	1.06	0.98	0.82	0.74	17.34	11.68	EJGc
3587.00	6.34	6.33	1.10	1.08	0.86	0.84	12.45	6.75	EJGc

3595.00	6.30	6.52	1.21	1.10	0.97	0.86	9.22	7.03	EJGc
3566.00	6.44	6.76	1.17	1.21	0.93	0.97	8.41	6.82	EJGc
3520.00	6.20	6.30	1.25	1.08	1.01	0.84	12.56	8.34	EJGc
3680.00	6.57	6.58	1.25	1.22	1.01	0.98	9.44	7.41	EJGc
3568.00	6.52	6.40	1.13	0.98	0.89	0.74	10.46	6.55	EJGc
3560.00	6.30	5.99	1.23	1.12	0.99	0.88	10.99	9.31	EJGc
3527.00	6.44	6.24	1.14	1.07	0.9	0.83	14.08	9.69	EJGc
3572.00	6.27	6.34	1.35	1.42	1.11	1.18	10.24	5.24	IJGc
3619.00	6.30	5.98	1.20	1.37	0.96	1.13	9.68	4.76	IJGc
3680.00	6.47	6.59	1.33	1.25	1.09	1.01	9.64	5.57	IJGc
3311.00	6.22	6.10	1.27	1.29	1.03	1.05	6.35	5.34	IJGc
3480.00	6.44	6.18	1.12	1.16	0.88	0.92	9.89	5.45	IJGc
3533.00	6.23	6.09	1.28	1.16	1.04	0.92	8.23	4.38	IJGc
3566.00	6.25	6.69	1.38	1.29	1.14	1.05	9.55	7.22	IJGc
3548.00	6.45	6.45	1.28	1.26	1.04	1.02	10.97	4.59	IJGc
3976.00	6.48	6.24	1.23	1.31	0.99	1.07	11.12	8.12	IJGc
3609.00	6.64	6.27	1.24	1.21	1	0.97	9.93	5.06	IJGc
3975.00	6.20	6.18	1.30	1.20	1.06	0.96	10.45	8.84	IJGc
3709.00	6.15	6.04	1.15	1.30	0.91	1.06	5.74	5.72	IJGc
3752.00	6.45	6.44	1.41	1.33	1.17	1.09	7.02	5.29	IJGc
3670.00	6.61	6.27	1.11	1.28	0.87	1.04	5.94	5.36	IJGc
3496.00	6.60	6.71	1.36	1.26	1.12	1.02	7.38	6.22	IJGc
3600.00	6.09	6.26	1.12	1.28	0.88	1.04	5.86	5.16	IJGc
3619.00	6.57	6.67	1.42	1.28	1.18	1.04	9.74	8.41	IJGc
3506.00	6.30	6.47	1.12	1.24	0.88	1	11.36	5.65	IJGc
3447.00	5.86	5.94	0.86	0.66	0.62	0.42	24.43	23.50	IG
3440.00	6.10	5.97	0.96	0.78	0.72	0.54	23.94	20.88	IG
3456.00	5.93	5.86	0.85	0.63	0.61	0.39	26.78	25.54	IG
3480.00	6.14	6.02	0.74	0.64	0.5	0.4	25.90	23.40	IG
3520.00	5.86	5.95	0.78	0.73	0.54	0.49	22.67	21.89	IG
3520.00	5.84	5.26	0.61	0.70	0.37	0.46	23.67	17.94	IG
3623.00	5.95	5.81	0.60	0.77	0.36	0.53	22.90	22.57	IG
3994.00	5.81	5.28	0.57	0.90	0.33	0.66	21.64	17.78	IG
4056.00	5.83	5.79	0.74	0.49	0.5	0.25	22.85	20.02	IG
3680.00	5.96	5.46	0.78	0.52	0.54	0.28	21.03	16.79	IG
3634.00	5.58	5.65	0.87	0.94	0.63	0.7	26.39	21.82	IG
3751.00	5.87	5.87	0.90	1.02	0.66	0.78	24.73	20.47	IG
3692.00	5.49	6.25	0.98	0.98	0.74	0.74	27.32	27.27	IG
3766.00	5.86	5.85	1.03	0.95	0.79	0.71	27.22	20.15	IG
3679.00	5.96	5.75	0.95	0.83	0.71	0.59	23.77	21.10	IG
3975.00	6.12	5.67	0.87	1.10	0.63	0.86	25.89	20.37	IG
4019.00	5.52	5.82	1.08	0.81	0.84	0.57	26.22	25.58	IG
3917.00	5.92	5.92	0.87	0.89	0.63	0.65	26.88	25.39	IG
3968.00	6.21	6.87	1.22	1.38	0.98	1.14	13.05	11.32	IJAa
3973.00	6.22	7.09	1.15	1.31	0.91	1.07	10.39	7.48	IJAa
4018.00	6.20	6.41	1.36	1.37	1.12	1.13	12.11	9.72	IJAa

3969.00	5.54	5.82	1.26	1.30	1.02	1.06	10.37	10.18	IJAa
3957.00	5.99	6.18	1.32	1.32	1.08	1.08	11.98	10.61	IJAa
3752.00	6.40	6.54	1.27	1.34	1.03	1.1	11.90	9.33	IJAa
3895.00	6.56	6.51	1.05	1.22	0.81	0.98	14.19	6.19	IJAa
3985.00	6.05	6.44	1.23	1.17	0.99	0.93	9.81	9.06	IJAa
3528.00	6.50	6.48	1.16	1.38	0.92	1.14	13.66	6.64	IJAa
3799.00	5.97	6.54	1.16	1.04	0.92	0.8	12.67	10.07	IJAa
3717.00	5.95	6.20	1.16	1.20	0.92	0.96	12.22	7.54	IJAa
3886.00	6.60	5.85	1.25	1.20	1.01	0.96	13.54	13.12	IJAa
3690.00	5.69	5.27	1.09	1.23	0.85	0.99	14.16	8.94	IJAa
3958.00	5.96	6.20	1.11	1.17	0.87	0.93	13.86	10.68	IJAa
3794.00	6.08	6.66	1.18	1.16	0.94	0.92	14.94	14.52	IJAa
4040.00	6.26	6.47	1.30	1.32	1.06	1.08	8.79	7.70	IJAa
3926.00	6.40	6.35	1.23	1.13	0.99	0.89	14.87	12.71	IJAa
3760.00	6.53	5.77	1.06	1.10	0.82	0.86	13.77	10.56	IJAa
3640.00	5.97	6.43	1.22	1.05	0.98	0.81	17.92	11.21	Idg
3640.00	6.12	5.93	1.28	1.29	1.04	1.05	7.28	5.03	Idg
3606.00	6.16	6.07	1.23	1.20	0.99	0.96	16.95	11.73	Idg
3560.00	6.35	6.22	1.23	1.21	0.99	0.97	7.33	6.18	Idg
3552.00	6.43	6.61	1.23	1.06	0.99	0.82	11.23	9.09	Idg
3524.00	6.44	6.50	1.25	1.25	1.01	1.01	8.59	5.82	Idg
3925.00	6.39	6.47	1.12	1.17	0.88	0.93	11.14	5.35	Idg
3920.00	6.06	6.04	1.04	1.34	0.8	1.1	12.00	7.54	Idg
3782.00	6.48	6.22	1.30	1.20	1.06	0.96	9.77	8.31	Idg
3955.00	6.20	6.28	1.29	1.17	1.05	0.93	12.34	9.92	Idg
3921.00	6.41	6.41	1.17	1.23	0.93	0.99	16.76	11.85	Idg
3949.00	6.00	5.96	1.15	1.18	0.91	0.94	18.61	17.58	Idg
3920.00	5.88	6.42	1.20	1.18	0.96	0.94	18.08	16.63	Idg
3908.00	6.51	6.47	1.19	1.25	0.95	1.01	13.90	9.15	Idg
3918.00	6.24	6.26	1.19	1.05	0.95	0.81	12.37	10.50	Idg
3874.00	6.09	6.68	1.21	1.18	0.97	0.94	12.71	5.30	Idg
3832.00	6.35	6.45	1.15	1.12	0.91	0.88	9.48	5.66	Idg
3541.00	6.27	6.51	1.38	1.29	1.14	1.05	14.85	5.86	Idg

JAp Unidad Peltetec, JAm Unidad Maguazo, JGc Unidad Cebadas, MTq Formación Tarqui, G Rocas intrusivas, JAa Unidad Alao, dg Depósito Glacial.
E Entisol, H histosol, I Inceptisol, M molisol