



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**ESTABILIDAD DE LOS AGREGADOS DEL SUELO DEL  
SISTEMA LACUSTRE ATILLO, PARROQUIA CEBADAS,  
PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

**Trabajo de titulación:**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTOR:**

**JUAN BENJAMIN TOAQUIZA LLUILEMA**

Riobamba – Ecuador

2021



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**ESTABILIDAD DE LOS AGREGADOS DEL SUELO DEL  
SISTEMA LACUSTRE ATILLO, PARROQUIA CEBADAS,  
PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

**Trabajo de titulación:**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTOR: JUAN BENJAMIN TOAQUIZA LLUILEMA**

**DIRCTOR: Ing. CARLOS ROLANDO ROSERO ERAZO**

Riobamba – Ecuador

2021

**©2021, Juan Benjamín Toaquiza LLuilema**

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

Yo, Juan Benjamín Toaquiza LLuilema declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Riobamba, 16 de abril de 2021

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Juan Benjamín Toaquiza LLuilema', with a stylized, cursive script.

**Juan Benjamín Toaquiza LLuilema**

**0604440933**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA DE BIOTECNOLOGIA AMBIENTAL**

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: Proyecto de Investigación “**ESTABILIDAD DE LOS AGREGADOS DEL SUELO DEL SISTEMA LACUSTRE ATILLO, PARROQUIA CEBADAS, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**”, realizado por el señor Juan Benjamín Toaquiza LLuilema, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Cristina Gabriela Calderón Tapia <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>CRISTINA GABRIELA CALDERON TAPIA</b>	2021-04-16
Ing. Carlos Rolando Rosero Erazo <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>CARLOS ROLANDO ROSERO ERAZO</b>	2021-04-16
Ing. Andrés Agustín Beltrán Dávalos <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>ANDRES AGUSTIN BELTRAN DAVALOS</b>	2021-04-16

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico a mis padres Segundo y Rosario quienes han sido el pilar fundamental en mi formación universitaria, por su labor y sacrificio.

A mis hermanas, Carmen, Rosy, Andrea, Mary y Manuela, quienes han sabido brindar su apoyo incondicional sea en situaciones difíciles, y motivarme para seguir adelante.

Benjamín

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecimiento enorme a Dios, por permitirme caminar un largo trayecto sin ninguna complicación y darme protección para culminar una de mis metas había propuesto.

A toda mi familia por su apoyo incondicional, por inculcar valores y principios, los cuales me han permitido terminar satisfactoriamente mi carrera.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias y a todos los tutores por compartir conocimientos y valores durante mi formación universitaria

Benjamín

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY .....	xv
INTRODUCCIÓN .....	1

## CAPÍTULO I

<b>1. MARCO REFERENCIAL .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1. Antecedentes de investigación.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2. Páramo .....</b>	<b>6</b>
<i>1.2.1. Los suelos de páramos.....</i>	<i>6</i>
<i>1.2.1.1. Importancia de suelos de paramos.....</i>	<i>6</i>
<i>1.2.1.2. Tipo de suelos de páramos. ....</i>	<i>6</i>
<i>1.2.2. Impacto en el cambio de uso de suelo .....</i>	<i>7</i>
<i>1.2.3. Principales factores que degradan los suelos.....</i>	<i>7</i>
<b>1.3. Carbono orgánico del suelo (COS).....</b>	<b>7</b>
<i>1.3.1. Ciclo del carbono.....</i>	<i>7</i>
<i>1.3.1.1. El papel de suelos en ciclo de carbono. ....</i>	<i>8</i>
<i>1.3.2. Captación de carbono en suelos. ....</i>	<i>8</i>
<i>1.3.2.1. Fuente y sumidero de carbono (C).....</i>	<i>8</i>
<i>1.3.2.2. Secuestro (captura y almacenamiento) de carbono (C).....</i>	<i>8</i>
<b>1.4. Agregados del suelo.....</b>	<b>9</b>
<i>1.4.1. Estabilidad de los agregados.....</i>	<i>9</i>

## CAPÍTULO II

<b>2.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1.</b>	<b>Característica de la zona de estudio. ....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.</b>	<b>Identificación del área de estudio. ....</b>	<b>10</b>
<b>2.3.</b>	<b>Muestreo. ....</b>	<b>10</b>
<b>2.4.</b>	<b>Propiedades físico-químicas. ....</b>	<b>11</b>
<b>2.4.1.</b>	<i>Determinación de color por método Munsell.....</i>	<i>11</i>
<b>2.4.2.</b>	<i>Determinación de pH. ....</i>	<i>12</i>
<b>2.4.3.</b>	<i>Determinación de conductividad eléctrica (CE). ....</i>	<i>12</i>
<b>2.4.4.</b>	<i>Determinación de textura por tacto. ....</i>	<i>13</i>
<b>2.4.5.</b>	<i>Determinación de la densidad aparente ....</i>	<i>14</i>
<b>2.4.6.</b>	<i>Determinación humedad por método gravimétrico. ....</i>	<i>15</i>
<b>2.4.7.</b>	<i>Determinación de materia orgánica por método LOI.....</i>	<i>16</i>
<b>2.4.8.</b>	<i>Determinación de estabilidad de los agregados del suelo.....</i>	<i>17</i>
<b>2.4.8.1.</b>	<i>Tratamiento en húmedo.....</i>	<i>17</i>
<b>2.5.</b>	<b>Comparación de resultados.....</b>	<b>18</b>

## CAPÍTULO III

<b>3.</b>	<b>RESULTADO Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1.</b>	<b>Identificación del área del estudio .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1.1.</b>	<i>Ubicación de los puntos de muestro en el sistema lacustre Atillo.....</i>	<i>19</i>
<b>3.1.2.</b>	<i>Localización de parcelas de muestreo .....</i>	<i>20</i>
<b>3.2.</b>	<b>Descripción de parámetros físicos-químicos.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.1.</b>	<i>Color .....</i>	<i>20</i>
<b>3.2.2.</b>	<i>pH.....</i>	<i>21</i>
<b>3.2.3.</b>	<i>Conductividad eléctrica.....</i>	<i>21</i>
<b>3.2.4.</b>	<i>Textura.....</i>	<i>22</i>

3.2.5.	<i>Densidad aparente</i> .....	23
3.2.6.	<i>Humedad</i> .....	23
3.2.7.	<i>Determinación de materia orgánica</i> .....	24
3.2.8.	<i>Determinación de carbono orgánico</i> .....	26
3.2.9.	<i>Determinación de carbono orgánico del suelo (COS)</i> .....	27
3.2.10.	<i>Determinación de la estabilidad de agregados</i> .....	28
3.2.10.1.	<i>Distribución de agregados</i> .....	28
3.2.10.2.	<i>Macroagregados</i> .....	29
3.2.10.3.	<i>Macroagregados pequeños 2 mm - 0.250 mm</i> .....	30
3.2.10.4.	<i>Microagregados 0.250 mm - 0.053 mm</i> .....	30
3.2.10.5.	<i>Estabilidad de agregados</i> .....	31
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>33</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>34</b>
	<b>GLOSARIO</b>	
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Escala de pH de los suelos.....	12
<b>Tabla 2-2:</b>	Escala de CE de los suelos. ....	13
<b>Tabla 3-2:</b>	Diámetro ponderado de los tamices.....	17
<b>Tabla 4-2:</b>	Índice de estabilidad de los agregados. ....	18
<b>Tabla 1-3:</b>	Puntos de muestreos y las coordenadas. ....	19
<b>Tabla 2-3:</b>	Análisis de varianza del porcentaje de materia orgánica.....	25
<b>Tabla 3-3:</b>	Prueba de Tukey del porcentaje de materia orgánica. ....	25
<b>Tabla 4-3:</b>	Análisis de varianza del porcentaje de carbono orgánico.....	26
<b>Tabla 5-3:</b>	Prueba de Tukey para porcentaje del contenido de carbono orgánico. ....	27
<b>Tabla 6-3:</b>	Análisis de varianza del contenido de COS.....	28
<b>Tabla 7-3:</b>	Prueba de Tukey para contenido de COS.....	28
<b>Tabla 8-3:</b>	Análisis de varianza de las fracciones de macroagregados grandes > 2 mm. ....	29
<b>Tabla 9-3:</b>	Prueba de Tukey de las fracciones de macroagregados grandes > 2 mm.....	30
<b>Tabla 10-3:</b>	Análisis de varianza de las fracciones macroagregados pequeños 2 mm - 0.250 mm. ....	30
<b>Tabla 11-3:</b>	Prueba de Tukey de las fracciones macroagregados pequeños 2 mm - 0.250 mm. ....	30
<b>Tabla 12-3:</b>	Análisis de varianza de las fracciones de los microagregados 0.250 mm - 0.053 mm. ....	31
<b>Tabla 13-3:</b>	Prueba de Tukey de las fracciones de los microagregados 0.250 mm - 0.053 mm. ....	31

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b> Localización de puntos de muestreo en una parcela .....	11
<b>Figura 2-2:</b> Guía para determinar la textura del suelo por tacto. ....	14
<b>Figura 1-3:</b> Puntos de muestreo en el sistema lacustre Atillo. ....	20

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b>	Estadístico descriptivo de pH de los suelos.....	21
<b>Gráfico 2-3:</b>	Estadístico descriptivo de la conductividad eléctrica del suelo.....	22
<b>Gráfico 3-3:</b>	Estadístico descriptivo de tipo de textura del suelo.....	22
<b>Gráfico 4-3:</b>	Estadístico descriptivo densidad aparente del suelo.....	23
<b>Gráfico 5-3:</b>	Estadístico descriptivo del porcentaje de la humedad del suelo.....	24
<b>Gráfico 6-3:</b>	Estadístico descriptivo del porcentaje de la materia orgánica del suelo.....	25
<b>Gráfico 7-3:</b>	Estadístico descriptivo del portaje de carbono orgánico. ....	26
<b>Gráfico 8-3:</b>	Estadístico descriptivo del contenido de COS.....	27
<b>Gráfico 9-3:</b>	Estadístico descriptivo del porcentaje de distribución de agregados del suelo ..	29
<b>Gráfico 10-3:</b>	Estadístico descriptivo de la estabilidad de agregados del suelo.....	32

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-2:</b>	Densidad aparente.....	15
<b>Ecuación 2-2:</b>	Humedad gravimétrica.....	15
<b>Ecuación 3-2:</b>	Porcentaje de materia orgánica.....	16
<b>Ecuación 4-2:</b>	Porcentaje de carbono orgánico.....	16
<b>Ecuación 5-2:</b>	Carbono Orgánico del Suelo.....	17
<b>Ecuación 6-2:</b>	Diámetro Medio Ponderado.....	18

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN ZONA DE ESTUDIO Y  
LABORATORIO

**ANEXO B:** MAPA DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

**ANEXO C:** REPORTE DE DATOS

## RESUMEN

El objetivo es evaluar la estabilidad de los agregados del suelo en el sistema lacustre Atillo, buscando recopilar datos del estado actual del recurso suelo. Se aplicó un muestreo aleatorio-estratificado, en cada punto de muestreo una parcela de 20m x20m con una profundidad de 15 y 30 cm, extrayendo una muestra compuesta por cada profundidad. El análisis de pH y conductividad eléctrica se empleó multiparámetro, gravimetría para densidad y humedad, el color por tablas Munsell, la textura por tacto, materia orgánica por ignición y estabilidad de agregados por tamizado en húmedo. En análisis de los parámetros físicos-químicos: El color de los suelos predomina negros y cafés muy oscuros, el pH (Páramo:5.91; Humedal: 5.98) de suelos ligeramente ácidos. En la conductividad eléctrica (Páramo:27.93 uS/cm; Humedal: 27.31 uS/cm) como suelos no salinos, la textura es de tipo areno franco y franco arenoso, en densidad aparente (Páramo: 0.64 g/cm<sup>3</sup>; Humedal: 0.29 g/cm<sup>3</sup>) son suelos con densidad media y baja respectivamente, en la humedad (Páramo: 29.27 ; Humedal: 64.15%), la materia orgánica (Páramo: 29.27%; Humedal: 29.27%) con alto contenido para ambos ecosistemas, el Carbono Orgánico del Suelo (Páramo: 99.93 Mg-C/ha; Humedal: 171.9Mg-C/ha), la distribución de agregados (Páramo: 66,46% macroagregados, 26.89% macroagregados pequeños,8.1% microagregados; Humedales: 58.76macroagregados, 16.24% macroagregados pequeños,5.65 % microagregados), la estabilidad de los agregados (Páramo: 26.5% estables, 35.3 % moderadamente estables, 2.9% ligeramente estables; Humedales: 23.5% estables, 11.8% moderadamente estables). Los resultados fueron analizados por ANOVA y pruebas de Tukey, por lo tanto, se concluye que los ecosistemas de humedales almacenan mayor cantidad de carbono que los de páramos mientras en la estabilidad de agregados los páramos son más estables y presenta elevada agregación. Es importante la recopilación de información y se recomienda desarrollar investigaciones complementarias desde punto de vista de los habitantes del sector y buscar alternativas de desarrollo sostenible.

**Palabra clave:** <SISTEMAS LACUSTRES>, <PÁRAMO>, <HUMEDAL>, <CARBONO ORGÁNICO>, <ESTABILIDAD AGREGADOS>



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

1100-DBRA-UPT-2021

2021-05-05

## SUMMARY

The objective is to evaluate the stability of soil aggregates in the Atillo lake system, seeking to collect data on the current state of the soil resource. A random-stratified sampling was applied each sampling point a 20m x 20m plot with a depth of 15 and 30 cm, extracting a composite sample of each depth. The analysis of pH and electrical conductivity was used multiparameter, gravimetry for density and moisture, color with Munsell tables, texture by feel, organic matter by ignition and aggregate stability by wet sieving. The analysis of the physical-chemical parameters: the color of the soils is predominantly black and very dark brown, the pH (Paramo: 5.91; Wetland: 5.98) is slightly acid soils, the electrical conductivity (Paramo: 27.93 uS/cm; Wetland: 27.31 uS/cm) as non-saline soils, the texture is sandy loam type, the apparent density (Paramo: 0.64 g/cm<sup>3</sup>; Wetland: 0.29 g/cm<sup>3</sup>) are soils with medium and low density respectively, the moisture (Paramo: 29.27 ; Wetland: 64.15%), organic matter (Paramo: 29.27%; Wetland: 29.27%) with high content for both ecosystems, Soil Organic Carbon (Paramo: 99.93 Mg-C/ha; Wetland: 171.9 Mg-C/ha), aggregate distribution (Paramo: 66.46% macroaggregates, 26.89% small macroaggregates, 8.1% microaggregates; Wetland: 58.76 macroaggregates, 16.24% small macroaggregates, 5.65% microaggregates), the stability of the aggregates (Paramo: 26.5% stable, 35.3% moderately stable, 2.9% slightly stable; Wetlands: 23.5% stable, 11.8% moderately stable). The results analyzed with ANOVA and Tukey tests, therefore, it is concluded that wetland ecosystems store more carbon than moorland ecosystems, while in terms of aggregate stability, moorland ecosystems are more stable and present high aggregation. It is important to collect information and it is recommended to develop complementary research from the point of view of the habitants of the sector and to look for sustainable development alternatives.

**Keywords:** <LACUSTRAL SYSTEMS>, <PARAMO>, <WETLANDS>, <ORGANIC CARBON>, <AGGREGATE STABILITY>.

## INTRODUCCIÓN

### Planteamiento del problema

Los suelos son importantes para el desarrollo de la vida. El crecimiento poblacional y las diferentes actividades cotidianas del hombre sobre el suelo está llegando a agotar este recurso valioso, situándose en niveles críticos (FAO y GTIS, 2015, p.1). En Latinoamérica las principales amenazas para el suelo son: erosión, cambio de carbono orgánico (deforestación, cultivo intensivos de pastizales y monocultivo), salinización y sodificación (cambio de uso de suelo, métodos inadecuados de riego y calidad del agua), desequilibrio de nutrientes (sobre-explotación, sobre-fertilización), pérdida de biodiversidad (deforestación y sobreexplotación), compactación (sobrepastoreo y tráfico agrícola), anegamiento (irrigación excesiva y deforestación), acidificación (excesivo uso de fertilizantes de nitrógeno), sellado del suelo (urbanización sobre suelos fértiles), además presenta alta sensibilidad frente al cambio climático (FAO y GTIS, 2015, pp.2-4). La importancia de este recurso suelo radica por su gran capacidad de almacenamiento, reserva y secuestro de carbono, supera a la atmósfera y a la vegetación en conjunto, y su papel fundamental es regular las emisiones de dióxido de carbono ( $CO_2$ ), óxido nitroso ( $N_2O$ ) y metano ( $CH_4$ ) (FAO, 2017, p.5).

En Ecuador predominan tres grandes tipos de suelos, con alto potencial para el uso agrícola o ganadero. Se estiman que el 47,9% de la superficie del país, son vulnerables a la erosión debido a su estructura, composición, características geomorfológicas y un alto nivel de intervención antrópica. Hay mayor sensibilidad en los Andes ecuatorianos por propiedades como las pendientes que van del 50 al 70% y que han sido modificadas de su condición natural, es decir, remoción y eliminación de la cobertura vegetal nativa, ya que altera las condiciones naturales y desencadena una degradación sistemática de los mismos (Fontaine et al., 2008, 74-78).

La superficie agrícola es de 45,7% (12,35 millones de ha) del país, mientras los pastizales ocupan un 18,8%, este dato proyecta una atención al incremento de la frontera agrícola a futuro. El impacto sobre el recurso suelo está influenciado por combinación de factores que incluyen la variación climática, la disminución de la cobertura vegetal y el incremento de actividades antrópicas. Las áreas protegidas, presentan aproximadamente el 18,2% (4,8 millones de ha) de la superficie total del país. La foresta natural, en un 42,4% (11,47 millones de ha) de la superficie del territorio nacional. De ésta el 40,9% (4,69 millones de ha) son bosques que están dentro del Sistema

nacional de áreas protegidas. Los páramos se estima en un 5,5% (1,3 millones de ha) de la superficie total del país, y tienen vital importancia por su relación con el almacenamiento y producción de agua (INEC, 2012). Considerando la capacidad de los suelos, los páramos son ecosistemas neo tropicales, cumplen un papel fundamental en el secuestro de carbono, disminuido en gran parte lo cambios bruscos de temperatura (Hofstede et al., 2014, pp.24-29).

La gestión adecuada este recurso puede incrementar el abastecimiento de alimentos, y proveer de una recurso valioso para la regulación del clima y un vía para mantener el equilibrio en los servicios ecosistémicos (FAO y GTIS, 2015, pp.76-78).

Hay pocas investigaciones y publicaciones de alcance nacional con respecto a la problemática de los suelos, excepto aquellos estudios de caso que tratan de áreas específicamente localizadas. Hay una necesidad de realizar nuevas investigaciones a nivel nacional, con metodologías y criterios unificados para conocer la situación actual de este recurso. En todo caso, la problemática de la degradación de los suelos va en incremento, por falta de base científica no ha podido dar respuestas a los problemas que se presentan. En este sentido, el objetivo del presente estudio es evaluar la estabilidad de los agregados del suelo y la relación con el carbono orgánico del suelo debido a los cambios de uso de la tierra de páramo a cultivo o pasto.

## **Justificación**

En el Ecuador ha existido un inadecuado manejo de los sistemas lacustres debido principalmente a los cambios de uso de suelos sea para pastizales o siembra, consecuentemente la quema de extensas áreas de pajonales. Esto conlleva a una degradación de los recursos, disminución de la biodiversidad de la zona y principalmente la pérdida de la capacidad de retención hídrica en el páramo y los humedales, por lo que proyecta a futuro un desequilibrio en mantener flujo constante de agua, los sistemas lacustres, así como la vegetación y fauna endémica. Esto se suma a la falta de interés de las autoridades de turno por implementar políticas y gestiones sustentables de los recursos naturales. La autoridad ambiental competente ha hecho esfuerzos insuficientes, es así se viene generando problemas para la conservación de los sistemas lacustres y hay el descontento de la población de la zona al no contar con incentivos y proyectos sustentables para su desarrollo.

El sistema lacustre de Atillo situado dentro del Parque Nacional Sangay unos de los ecosistemas de mayor importancia además de proporcionar y dotar de recurso hídrico para la población de Chimborazo, necesita de un manejo adecuado, por tal razón es importante determinar las condiciones y el estado actual de este sistema, dicha información permitirá sentar bases para la conservación del sistema lacustre Atillo y sus recursos disponibles, creando conciencia en la comunidad y permitiendo desarrollar alternativas para mejorar la calidad de vida de forma sostenible.

El presente trabajo de investigación permite obtener información de la situación actual del recurso suelo. El interés de estudiar este recurso es que se espera encontrar información que pueda ser útil para desarrollar y aplicar políticas de gestión adecuada de suelos del sistema lacustre, de esta forma a mediano y largo plazo se incentivará un uso responsable de este recurso que fomente un equilibrio socioeconómico, ambiental y cultural.

## **Objetivos**

### ***General***

- Evaluar la estabilidad de los agregados del suelo en el sistema lacustre Atillo, parroquia Cebadas, provincia de Chimborazo.

### ***Específicos***

- Delimitar la zona de estudio dentro del sistema lacustre Atillo.
- Cuantificar el carbono en los agregados del suelo en el sistema lacustre Atillo.
- Determinar la estabilidad de los agregados del suelo en el sistema lacustre Atillo.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO REFERENCIAL

#### 1.1. Antecedentes de investigación

Los ecosistemas de páramos brindan diversidad de servicios ecosistémicos como sumideros de grandes cantidades de carbono en el suelo por la lenta descomposición de la materia orgánica (MO). La acumulación de la materia orgánica es elevada en los páramos y humedales, estos suelos confiere gran capacidad de almacenamiento de carbono (Ayala et al., 2014, p.46). Una de las características de los suelos del páramo es que son de origen volcánico, estos conjuntamente con materia orgánica forman complejos fuertes propiciando un estado lento en su descomposición, a esto se atribuye las tasas bajas de temperatura, debido a su altitud los páramos presentan elevada nubosidad estas condiciones mantienen húmedos al suelo. El agua y la materia orgánica presenta una estrecha relación, la primera evita la descomposición de MO y la segunda por su capacidad de retener el agua (Buytaert et al., 2014). Además de brindar estos servicios ecosistémicos principales regula el clima, brindan equilibrio en flujo hídrico del país y permite el desarrollo agrícola y ganadera (Hofstede et al., 2014, pp.30-33).

Al encontrarse en el callejo interandino hay diversidad climática y variedad de páramos (herbáceos y de almohadilla). Los desarrollos de las actividades humanas han transformado los suelos de los páramos para la implementación agrícola y ganadera. El herbazal de páramo y pajonales como alimentación ganadera (Crespo et al., 2014, p.291).

En ecosistemas de páramo podemos encontrar plantaciones forestales que pueden almacenar grandes cantidades de carbono, el costo de aquello es la pérdida de biodiversidad, la alteración del ecosistema y degradación de suelos y servicios ecosistémicos que brindan este recurso (Cargua et al., 2014, p.83).

El desarrollo industrial y tecnológico presentan avances muy acelerados consecuentemente los residuos de producción y las fuentes de emisión de gases también incrementaron desde la revolución industrial. El incremento de gases de efecto invernadero (GEI) ( $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ ) en la atmósfera, evita que la energía filtrada se refleje hacia el exterior consecuentemente aumentando la temperatura del planeta. Este desequilibrio afecta todos los ecosistemas y propiedades de los recursos. En este caso los suelos de los páramos pierden la capacidad de almacenar el stock de carbono orgánico (Chiluiza, 2019, p.5).

## **1.2. Páramo**

Los páramos son ecosistemas neotropicales de alta montaña muy sensibles a cambio y perturbaciones. Se encuentran a una elevación promedio de 3300 m.s.n.m. y ocupa el 7% del territorio nacional, brindando servicios ecosistémicos: almacenamiento y descarga de recurso hídrico de alta calidad, y secuestro de carbono como su papel fundamental (Chuncho y Chuncho, 2019, pp.71-72).

### ***1.2.1. Los suelos de páramos***

Los suelos de páramos se dan con la meteorización de la roca madre en gran parte de origen glacial y volcánico, a finales de la última era glacial (Pleistoceno), por encontrarse a gran altitud y por su baja temperatura, la formación de suelos es muy lento, por tanto, los suelos de los páramos se consideran jóvenes (Hofstede et al., 2014, pp.24-25).

Sus propiedades y características son muy variables, en su mayoría se compone de materia orgánica (microorganismos y materia de origen vegetal y animal), materia inorgánica (minerales), agua y aire (Llambí et al., 2012, pp.174-183). En general, los páramos altos se caracterizan por poseer suelos rocosos de poca profundidad con alto contenido de arena, bajo porcentaje de MO, infértiles y baja capacidad de retención del agua. En la mitad, los suelos presentan gran cantidad de humedad, gran capacidad para almacenar y retener el agua, de color negro o café y de pH ácidos. Para los páramos bajos, los suelos son muy oscuros, gran cantidad de agua, potasio(K), nitrógeno(N) y bajo en contenido en calcio (Ca) (Llambí et al., 2012, pp.20-21).

#### ***1.2.1.1. Importancia de suelos de paramos***

Base fundamental para el desarrollo de los ecosistemas terrestres (Porta et al., 2008, p.20). Las funciones principales son la participación vital en los ciclos biogeoquímico, la producción de alimentos y biomasa, el almacenamiento y secuestro de carbono, el almacenamiento y filtración de agua, fuentes de materias primas y reserva de biodiversidad (Burbano, 2016, pp. 83-86).

#### ***1.2.1.2. Tipo de suelos de páramos***

Los suelos más comunes del páramo que podemos encontrar son suelos negros - andinos y de acuerdo a la clasificación internacional tenemos: Andosoles (Grupo de suelos) según la Base Referencial Mundial por sus siglas en inglés (WRB) - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y Andisoles (Orden de suelos) según la Departamento de Agricultura de los Estados Unidos por siglas en inglés (USDA) (Llambí et al., 2012, p.230).

### ***1.2.2. Impacto por el cambio de uso de los suelos***

Las actividades desarrolladas en los suelos sean para agricultura o ganadería u otros, dependiendo donde se encuentren localizados. Su uso también depende en gran parte de los suelos en formación (FAO, 2009, p.13). Actualmente la actividad principal es la ganadería extensiva y cultivos, plantaciones forestales y minería en menor escala. Las actividades antropogénicas han ido transformando a los páramos, que al principio estaban cubiertos de vegetación, pajonales, bosques y humedales, en la actualidad podemos observar los pajonales quemados, pasturas, extensiones de cultivo, plantaciones forestales (pino, eucalipto) convirtiéndose en ecosistemas muy frágiles y vulnerables (Hofstede et al., 2014, pp.53-59). Estas actividades en los últimos años se han intensificado volviéndose difícil su conservación. La presencia del hombre en los páramos tiene un impacto directo sobre el ciclo del agua (escorrentía, infiltración, almacenamiento, regulación) y propiedades del suelo (estabilidad de agregados, estructura). Por otra parte, hay un impacto indirecto causado a nivel global por el cambio climático (Buytaert et al., 2014, pp.14-19).

### ***1.2.3. Principales factores que degradan los suelos***

Las amenazas para el normal funcionamiento de los suelos son: la erosión que es producto de la acción de los fenómenos naturales (agua, viento) y la intervención del hombre (labranza, ganadería), la adición excesiva de químicos al suelo (fertilización) disminuye la calidad, el aumento de la densidad (compactación) del suelo interviene en procesos de intercambio gaseoso y circulación del agua, y la conversión del carbono orgánico del suelo que está almacenados a dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) o metano ( $\text{CH}_4$ ) esto se debe por la ausencia de cobertura vegetal (FAO y GTIS, 2015, pp.10-15).

## **1.3. Carbono orgánico del suelo (COS)**

El COS es el principal componente del ciclo del carbono (C), con más del 50% del C orgánico de la biosfera, actuando también como fuente o sumidero. Los suelos tienen mayor porcentaje de C que vegetación y atmósfera sumados juntos. El COS se halla como residuos orgánicos (vegetales, animales microorganismo) por integración y transformación de materia orgánica (Martínez et al., 2008, pp.69-71).

### ***1.3.1. Ciclo del carbono***

La incorporación de la materia orgánica al suelo ocurre en gran parte por el aporte de material de origen vegetal. El carbono del suelo sale en forma de  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$  hacia a la atmósfera, la cantidad de  $\text{CO}_2$  es mucho mayor que de la atmósfera y presenta similitud entre el aire del suelo y la atmósfera (Healy et al., 1996, pp.740-742).

El ciclo del carbono implica la interacción entre el suelo, la vegetación, la atmósfera y el océano. El  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$  principales gases que componen de carbono son incorporados al suelo mediante síntesis y transformación de  $\text{CO}_2$  a materia orgánica, el proceso ocurre cuando las plantas capturan  $\text{CO}_2$ , el agua y energía solar para realizar la fotosíntesis (FAO, 2017, p.1). Por otro lado los animales, digieren las plantas y ocurre el proceso de respiración, una parte del  $\text{CO}_2$  se devuelve a la atmósfera, cuando plantas y animales mueren ocurre el proceso denominado descomposición intermediado por los microorganismos del suelo es así el  $\text{CO}_2$  retorna a la atmósfera nuevamente (FAO, 2015).

#### *1.3.1.1. El papel de suelos en ciclo de carbono*

El cambio climático se hace más evidente y es necesario mitigar, en este caso el suelo cumple un papel fundamental. Los suelos tienen gran capacidad de almacenamiento de C y por tanto ayuda a disminuir cambios de este fenómeno. La dinámica del suelo está siendo alterada por el desequilibrio en la generación, fijación y captura de gases del efecto invernadero cuyas concentraciones en los últimos años han ido aumentándose, así modificando las condiciones climáticas (Burbano, 2018, pp.118-120).

#### *1.3.2. Captación de carbono en suelos*

##### *1.3.2.1. Fuente y sumidero de carbono (C)*

El rol principal de los suelos es mantener los balances equilibrados de carbono. El desarrollo de las actividades antropogénicas en el suelo habilita las funciones de sumidero o fuente de gases de efecto invernadero (GEI) principalmente  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ . Los GEI emitidos por los suelos quedan absorben radiación solar que aumenta el efecto invernadero, observándose cambios notables en régimen de temperatura mundial. El balance equilibrado de emisión de GEI del suelo es primordial para ciclos geoquímicos (FAO, 2017, p.5). Un ecosistema equilibrado funciona de sumidero cuando los balances de C se mantienen casi constantes (Keenan y Williams, 2018, p.220).

Los humedales son ecosistemas combinados de tierra y agua, para ser humedal debe cumplir las características de estar saturados de agua y poseer biodiversidad en ella. En la actualidad se han perdido la mitad de los humedales del planeta, quedando superficies de 9% a nivel mundial. De ser porcentaje menor, es la que más contribuye a la biodiversidad, purificación hídrica, secuestro y almacenamiento de carbono además de brindar servicios ecosistémicos, provee de recursos como la turba (Zedler y Kercher, 2005, pp.39-40).

##### *1.3.2.2. Secuestro (captura y almacenamiento) de carbono (C)*

El secuestro de carbono del suelo comprende tres etapas: 1) captación del CO<sub>2</sub> atmosférico para el proceso de la fotosíntesis de la vegetación; 2) incorporación del CO<sub>2</sub> a la biomasa y 3) transferencia de biomasa vegetal al suelo para almacenamiento en forma de COS. La descomposición acelerada de residuos orgánicos provoca la emisión de CO<sub>2</sub> nuevamente a la atmósfera, ocurre por la desestabilidad de agregados del suelo y hace accesible a los microorganismos del suelo, esto se debe en gran parte al cambio climático y alteraciones antropogénicas (FAO, 2017, pp.7-8).

#### **1.4. Agregados del suelo**

Los agregados del suelo se forman mediante la adhesión de partículas primarias como arena, limo y arcilla, dando una estructura más grande denominado agregados, debido a las interacciones que ocurre en ella por la actividad microbiana, exudado de raíces y fuerzas naturales (cohesión) (Gabioud et al., 2011, p.130).

##### ***1.4.1. Estabilidad de los agregados***

La estabilidad de agregados es un indicador del buen estado del suelo, su probabilidad y el grado de degradación o recuperación de los ecosistemas (Nadal et al., 2009, pp.49-50). La estimación de la estabilidad permite valorar la capacidad del suelo para mantener su estructura sólida, cuando actúan las fuerzas naturales o perturbaciones antropogénicas (Gabioud et al., 2011, p.135).

La agregación ocurre por unión de unidades pequeñas (partículas minerales, microagregados) formando macroagregados grandes. Para evaluar la estabilidad se utiliza algunas metodologías una de ellas es el Diámetro Medio Ponderado (DMP) (Bonifás y Yupa, 2019, p.22). La agregación ocurre en dos etapas floculación de partículas y estabilización por agentes cementantes, la formación define las estructuras del suelo (Taboada y Taboada, 2003, p.132).

La distribución de agregados es macroagregados grandes (>2mm) y pequeños (2-0.25 mm), microagregados (0.25-0.053mm) y fracción mineral (< 0.053mm). El estado de agregación de los suelos es indicador de su calidad y buena estructura, los cambios en su uso influyen directamente a otras propiedades asociados a la agregación como son el contenido de materia orgánica (Roldan et al., 2014, p.248).

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Característica de la zona de estudio

El sistema lacustre Atillo se encuentra ubicado dentro Parque Nacional Sangay en la provincia de Chimborazo, cantón Guamote, parroquia Cebadas a 90 Km de la ciudad de Riobamba, conformado por alrededor de 18 lagunas; las más relevantes Colay o Magdalena, Kuyuy, Talalag Chico, Pucacocha y laguna Negra. Comprende áreas que son paramo, humedales y lagunas. Se localiza a una altitud aproximada de 3450 msnm con temperaturas que oscilan de 6 a 12 °C y una precipitación promedio de 681 mm (GADMCG, 2014).

Por la zona del sistema lacustre presenta dos estaciones climáticas, épocas de lluvias (mayo-septiembre) y épocas secas (octubre-abril). Con pendientes pronunciada de 40 a 70 %, con la vegetación característica de este clima es de pajonal, matorral de páramo, bosques altimontanos y altoandinos. El color de los suelos negros oscuros y cafés favorables para la agricultura (GADMCG, 2014).

Se puede encontrar la fauna silvestre como cabras, conejos, cuyes de monte, venados, oso de anteojos, perdiz, patos, gaviotas andinas y la trucha en ríos (GADMCG, 2014).

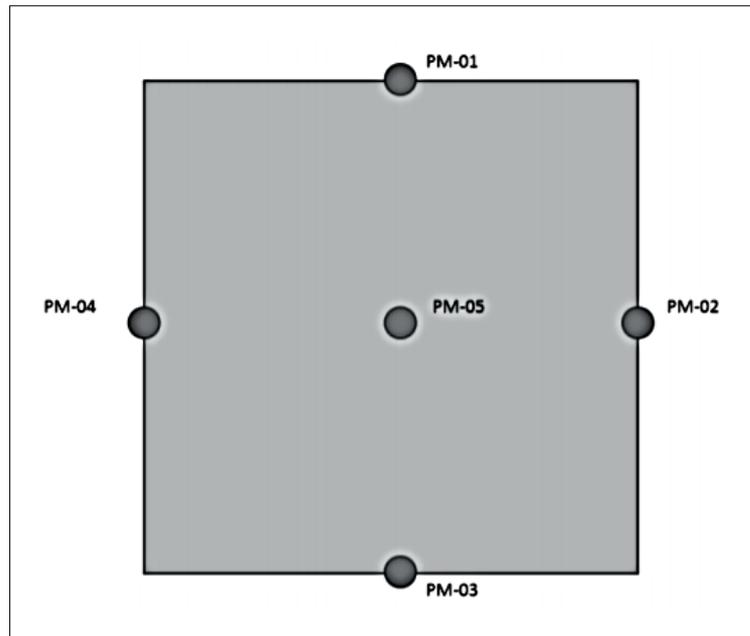
#### 2.2. Identificación del área de estudio

Para dar cumplimiento a los objetivos de la investigación se realizó las etapas de reconocimiento, observación e identificación de los puntos de muestreo en la zona de estudio. La asignación de los 17 puntos de muestreo es aleatoria, mediante uso de archivos (raster y shapefile) e imágenes satelitales. Los puntos a muestreados están dentro de un buffer de 250 m al contorno de la laguna Magdalena, laguna Negra y Kuyuy (Cargua et al., 2014, pp.84-86).

#### 2.3. Muestreo

Se aplicó el muestreo aleatorio, cada punto de muestreo consta de una parcela de 20m x20m con patrón de muestreo rectangular (Cargua et al., 2014, p.86). La muestra es extraída una por cada cara de la parcela y una del centro de la parcela (ver figura). Las extracciones de la muestras se colocan en un recipiente y se mezclan, se toma 1Kg de suelo aproximadamente, el proceso se repite en los 17 puntos de muestreo, las muestras son tomadas dependiendo del uso de suelo, para el caso

suelos agrícolas y parques nacionales que se toman a una profundidad de 15 y 30 cm (MINAM, 2014, pp.14-19); (Mendoza y Espinoza, 2017, p.18).



**Figura 1-2:** Localización de puntos de muestreo en una parcela  
Fuente: (MINAM, 2014).

## 2.4. Propiedades físico-químicas

### 2.4.1. Determinación de color por método Munsell

El color de los suelos del sistema lacustres se registró en condiciones secas, realizando comparaciones de patrones en tabla Munsell. La tabla compuesta de matiz(hue), claridad (value) y pureza (chroma) (Gómez, 2013, p.32).

Matiz: Corresponde a una longitud de onda dominante específica en la radiación reflejada, así tenemos colores primarios correspondientes (R, P, B, G, Y) y complementarios (RP, PB, BG, GY, YR); Cromo: expresa a la pureza del color del matiz o su desviación al gris; Intensidad o brillo indica el grado de claridad u oscuridad (Moreno et al., 2008, p.5).

#### **Procedimiento:**

Tomar una porción de muestra de suelo y colocar sobre una hoja, pasar la tabla Munsell sobre la muestra de suelo hasta encontrar patrones similares. Una vez encontrado anotamos el matiz, croma y valor e identificamos en la hoja anterior a que grupo pertenece (Moreno et al., 2008).

#### 2.4.2. *Determinación de pH*

Al determinar el pH de los suelos verificamos la acidez o alcalinidad del medio, es un indicador de la disponibilidad (solubles o insolubles) de nutrientes para las plantas en el suelo, controla reacciones químicas y desarrollo actividades de flora y fauna (PortalFruticola, 2017).

##### **Procedimiento:**

- Pesar 20 gramos de suelo seco y colocar la muestra de suelo en un vaso de precipitación.
- Agregar 40 ml de agua destilada al vaso de precipitación la muestra (preparación de solución 1:2).
- Agitar un minuto y dejar reposar la solución.
- Encender el pH-metro y verificar que este calibrado. Introducir el electrodo y anotar los resultados.
- Después de cada ensayo enjuagar el electrodo con agua destilada (Gómez, 2013, p.28).

##### **Interpretación:**

**Tabla 1-2:** Escala de pH de los suelos.

<b>Rango</b>	<b>Denominación</b>
$\leq 5.5$	Ácido
5.5-6.5	Ligeramente ácido
6.5-7.5	Neutro
7.5-8.0	Ligeramente alcalino
$\geq 8.0$	Alcalino

**Fuente:** (Chiluiza, 2019, p.22).

**Realizado por:** Toaquiza Juan,2021

#### 2.4.3. *Determinación de conductividad eléctrica (CE)*

Este ensayo permite determinar la concentración de sales presentes en el medio mediante la CE. La CE es la capacidad de un cuerpo de transmitir la corriente eléctrica, un alto valor de CE significa mayor facilidad de conducción de corriente eléctrica por el medio y una elevada concentración de sales. Un valor bajo de CE favorece en los procesos de fertilización de suelos y cultivos (Barbaro et al., 2014, p.7). Una elevada concentración de sales dificulta el crecimiento de plantas, evita la infiltración de agua en el suelo y aumenta la compactación del suelo (USDA, 2000).

### Procedimiento:

- Pesar 10 gramos de suelo seco y colocar la muestra de suelo en un vaso de precipitación.
- Agregar 50 ml de agua destilada al vaso de precipitación la muestra (preparación de solución 1:5).
- Agitar un minuto y dejar reposar la solución.
- Encender el conductímetro y verificar que este calibrado. Introducir en el electrodo y anotar los resultados.
- Después de cada ensayo enjuagar el pH metro con agua destilada (Gómez, 2013, p.28).

### Interpretación:

**Tabla 2-2:** Escala de CE de los suelos.

<b>Rango(dS/m)</b>	<b>Denominación</b>
< 2.0	No salino
2.0-3.0	Ligeramente salino.
3.1-4.0	Salino
4.1-8.0	Muy salino

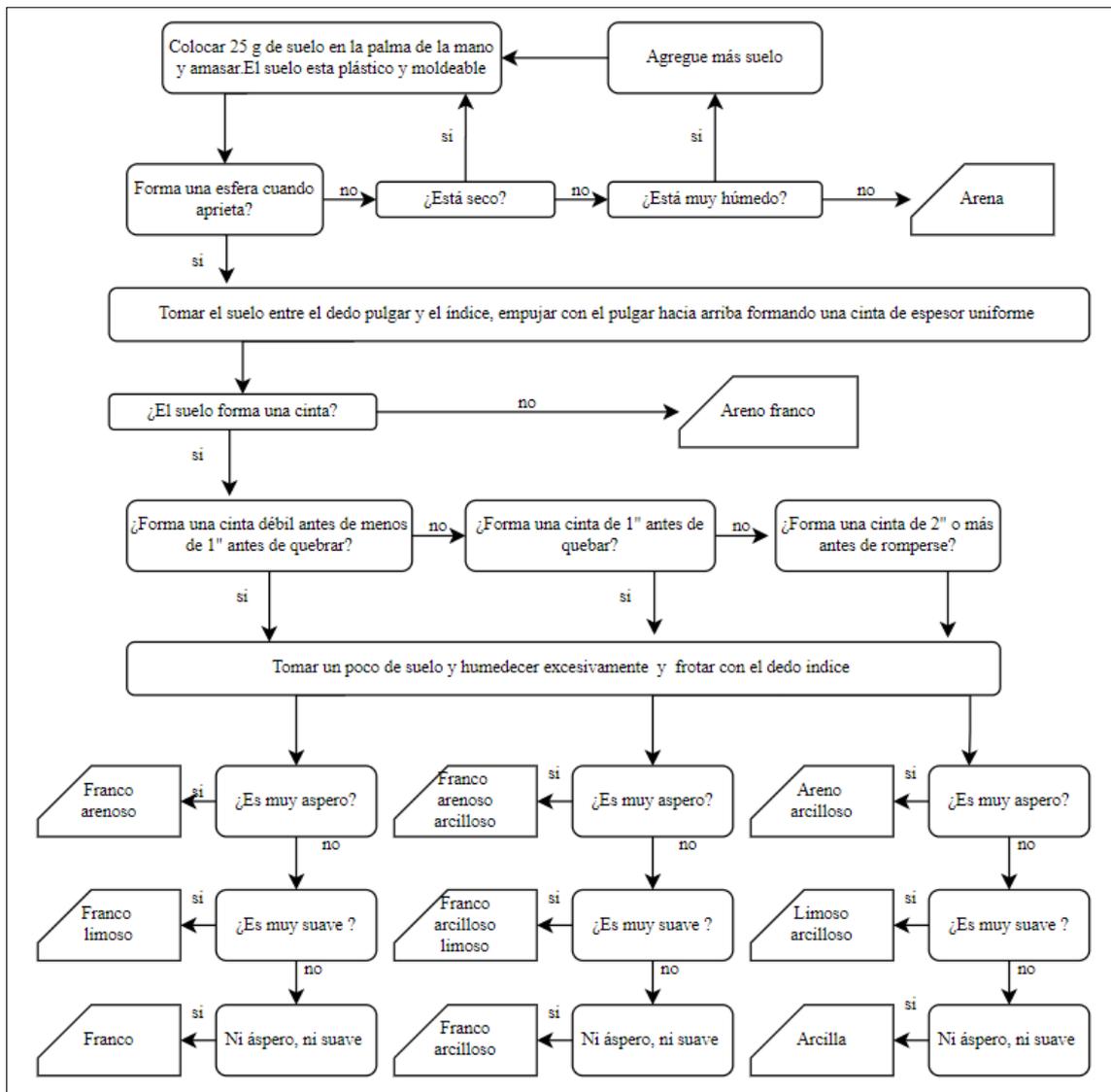
**Fuente:** (Chiluiza, 2019, p.23).

**Realizado por:** Toaquiza Juan,2021

#### **2.4.4. Determinación de textura por tacto**

La composición de suelos es por partículas de tamaños diferentes, las más gruesas (arenas), medianos (limos) y pequeñas(arcillas). Las composiciones de estas partículas tienen la capacidad de retener la humedad y materia orgánica de los suelos (Ciancaglioni, 2009, p.1).

**Procedimiento:**



**Figura 2-2:** Guía para determinar la textura del suelo por tacto.

Fuente: (Ritchey et al., 2015).

**2.4.5. Determinación de la densidad aparente**

La densidad aparente por definición es el peso seco del suelo por volumen de un suelo sin perturbación. La determinación de la densidad aparente permite evaluar los estados de los suelos, principalmente la estructura y la resistencia. Los cambios que ocurren en los suelos tienen una estrecha relación entre densidad y la porosidad, para este caso usando el método de cilindro (Rubio, 2010, p.24).

**Procedimiento:**

- En campo, tomar el cilindro de volumen conocido e introducir en el suelo, etiquetar y cubrir con cinta.

- En laboratorio, en una bandeja previamente tarada vaciar el suelo y registrar el peso húmedo.
- Secar el suelo en una estufa a 105°C por 24 horas.
- Registrar el peso seco del suelo y calcular la densidad aparente (peso seco del suelo por volumen del cilindro) (Gómez, 2013, p.36).

$$D_a = \frac{M_{ss}}{V_c}$$

**Ec: 1-2**

**Donde:**

Da: Densidad aparente( $g/cm^3$ )

Mss: Peso seco del suelo (g)

Vc: Volumen del cilindro ( $cm^3$ )

**2.4.6. Determinación humedad por método gravimétrico**

La humedad del suelo es la cantidad de agua saturado masa del suelo, dependerá del porcentaje de agua para clasificación de los suelos. El porcentaje de humedad se calcula por método gravímetro (masa de agua con respecto a masa de suelo seco) o y volumétrico (relación al volumen) (Llambí et al., 2012, p.214).

**Procedimiento:**

- Previamente tarado una bandeja de aluminio, vaciar la muestra de suelo proveniente del cilindro metálico (utilizado para la densidad) y registrar el peso en húmedo.
- Secar en una estufa a 105°C por 24 horas para eliminar.
- Sacar las bandejas y enfriar dentro de un desecador y luego registrar el peso en seco.
- Realizar cálculos correspondientes.

$$\theta_m = \frac{M_{sh} - M_{ss}}{M_{ss}} * 100$$

**Ec: 2-2**

**Donde:**

$\theta_m$ : Contenido gravímetro de agua en el suelo (%)

Msh: Masa de suelo húmedo (g)

Mss: Masa de suelo seco (g) (Llambí et al., 2012, p.214).

#### **2.4.7. Determinación de materia orgánica por método LOI (Loss On Ignition)**

Lavar los crisoles y secar en la estufa. Una vez secos introducir en una mufla que está a una temperatura de 400°C aproximadamente y dejar que alcance una temperatura de hasta 800°C, una vez alcanzado esa temperatura dejar programado por dos horas. Culminado las dos horas abrir la mufla y dejar que baje a una temperatura de 600 °C, luego pasar los crisoles al desecador para que se enfríe.

Etiquetar con lápiz en la base del crisol y registrar el peso del crisol. Tarar la balanza con el crisol pesado e inmediatamente pesar 5 gramos de suelo (suelo seco y tamizado de fracción 250 um) y anotar el peso correspondiente y dejarlo en el desecador.

Traspasar los crisoles del desecador a la estufa a 105°C por dos horas. Finalizado las dos horas pasar al desecador, una vez enfriado ir registrando los pesos de los crisoles con las muestras. Una vez pesado devolverlos al desecador.

Con la mufla precalentada a 360°C introducir los crisoles con las muestras por dos horas. Finalizado las dos horas pasar al desecador y una vez enfriado registrar los pesos de muestras calcinadas. Y realizar cálculos correspondientes (Amaguaya, 2015, p.29).

$$\% \text{ MO} = \frac{M_{SS_{105^{\circ}\text{C}}} - M_{CS_{360^{\circ}\text{C}}}}{P_{SS_{105^{\circ}\text{C}}}} * 100$$

**Ec: 3-2**

#### **Donde:**

MO: Contenido de materia orgánica (%)

M<sub>SS<sub>105°C</sub></sub>: Masa seco del suelo a 105°C(g)

M<sub>CS<sub>360°C</sub></sub>: Masa calcinado del suelo a 360°C(g)

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

**Ec: 4-2**

#### **Donde:**

CO: Carbono orgánico (%)

1.724: Factor de Van Bemmelen (58% de la MO está compuesta de CO)

$$COS = Da * CO * h$$

**Ec: 5-2**

**Donde:**

COS: Carbono orgánico del suelo (Mg C/ha)

Da: Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)

CO: Carbono orgánico (%)

h: Profundidad de muestreo (cm)

**2.4.8. Determinación de estabilidad de los agregados del suelo**

*2.4.8.1. Tratamiento en húmedo*

Pesar y etiquetar las bandejas aluminio. Tomar una muestra 100g de suelo seco y colocar en un tamiz de 2 mm dentro de un recipiente circular; llenar con agua hasta cubrir toda la muestra de suelo seco. Distribuir la muestra del suelo uniformemente y dejar remojando 1 hora aproximadamente. Mientras se remoja retirar los residuos flotantes.

Tamizar la muestra de suelo durante dos minutos moviendo el tamiz hacia arriba y abajo con un ángulo de inclinación pequeña. Los restos que quedan en el tamiz, lavar con cuidado sobre la bandeja de aluminio debidamente etiquetado para esa fracción.

Colocar otro recipiente circular y sobre ella el tamiz de 250 um. El agua resultante del tamizado anterior pasarlo por el tamiz de 250 cm y tamizar durante 1 minuto. La fracción que queda en tamiz de 250 um lavar y pasar a una bandeja de aluminio. El mismo proceso con el tamiz de 53 um y el agua resultante del tamizado de 53 um tomar una su muestra de agua de 100 mL y colocar en una bandeja, cuantificar el volumen de agua y botar. Las fracciones de muestras tamizadas y la muestra de agua que contiene fracciones menores a 53 um colocarlos en la estufa a 105°C durante 24 horas. Una vez secos enfriar en el desecador y registrar los pesos de las bandejas (CIMMYT, 2013).

**Tabla 3-2:** Diámetro ponderado de los tamices.

<b>Diámetro tamices(mm)</b>	<b>Diámetro Medio Ponderado</b>
2	5
0.250	1.125
0.053	0.1515
0	0.0265

Fuente: (CIMMYT, 2013)

Realizado por: Toaquiza Juan,2021

$$MWD = \sum_{i=1}^n d_i w_i$$

**Ec: 6-2**

**Donde:**

MWD: Diámetro medio ponderado (mm).

d: Diámetro medio de cada fracción de tamaño i(mm). Es la media entre el diámetro máximo y diámetro mínimo ejemplo el suelo retenido en tamiz 0.250 mm y el tamiz anterior 2 mm entonces la media ponderada para este tamiz de 0.250 es  $(2.00+0.250) /2=1.125$ mm.

w: relación del peso total de la muestra tamizada(g) con respecto al peso contenido en cada uno de los tamices i.

n: Número de fracciones

**Tabla 4-2: Índice de estabilidad de los agregados.**

<b>DMP (mm)</b>	<b>Estabilidad estructural</b>
< 0.5	Inestable
0.5 – 1.5	Ligeramente estable
1.5 – 3.0	Moderadamente estable
3.0 – 5.0	Estable
> 5	Muy estable

Fuente: (Gómez, 2013, p.54).

Realizado por: Toaquiza Juan,2021

## 2.5. Comparación de resultados

Para los parámetros de pH, conductividad, densidad, humedad entre dos ecosistemas P (herbazal de páramo) y H (humedal) se utilizó un DCA (Diseño Completamente al Azar).

Para materia orgánica, carbono orgánico, carbono orgánico del suelo, macroagregados grandes > 2 mm, macroagregados pequeños 2 mm - 0.250 mm, microagregados 0.250 mm - 0.053 mm se utilizó un diseño factorial de dos variables: ecosistemas y profundidad. Los datos generados se analizaron a partir de un ANOVA y la separación de medias se realizó con la Prueba de Tukey y las hipótesis:

- **Ho:** El (parámetro físico-químico) en el suelo no varía entre los dos ecosistemas;  $p > 0.05$
- **Hi:** El (parámetro físico-químico) en el suelo varía entre los dos ecosistemas  $p \leq 0.05$

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADO Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Identificación del área del estudio

Para la identificación de puntos de muestreo se ha utilizado el método-punto para la georreferenciación, el cual consiste en asignación de puntos de muestreo sobre la localidad de estudio que está representado en un archivo (mapa digital) o formato raster y shapefile, utilizando como herramienta a ArGIS, bajo este criterio tenemos (Cargua et al., 2014, pp.84-86).

##### 3.1.1. Ubicación de los puntos de muestreo en el sistema lacustre

**Tabla 1-3:** Puntos de muestreos y las coordenadas.

Puntos	Coordenadas (UTM)		Descripción
	X	Y	
PSL-P1	776230	9758096	Humedal
PSL-P2	776293	9757852	Humedal
PSL-P3	776042	9757733	Herbazal de páramo
PSL-P4	776961	9758915	Herbazal de páramo
PSL-P5	777465	9758965	Herbazal de páramo
PSL-P6	776521	9758567	Herbazal de páramo
PSL-P7	776230	9758734	Herbazal de páramo
PSL-P8	775749	9757934	Herbazal de páramo
PSL-P9	776979	9757862	Herbazal de páramo
PSL-P10	776600	9757216	Humedal
PSL-P11	775646	9756821	Humedal
PSL-P12	774913	9756009	Herbazal de páramo
PSL-P13	774414	9756465	Humedal
PSL-P14	774242	9756978	Herbazal de páramo
PSL-P15	775181	9757562	Humedal
PSL-P16	774443	9759751	Humedal
PSL-P17	772923	9758282	Herbazal de páramo

Realizado por: Toaquiza Juan, 2021

### 3.1.2. Localización de parcelas de muestreo

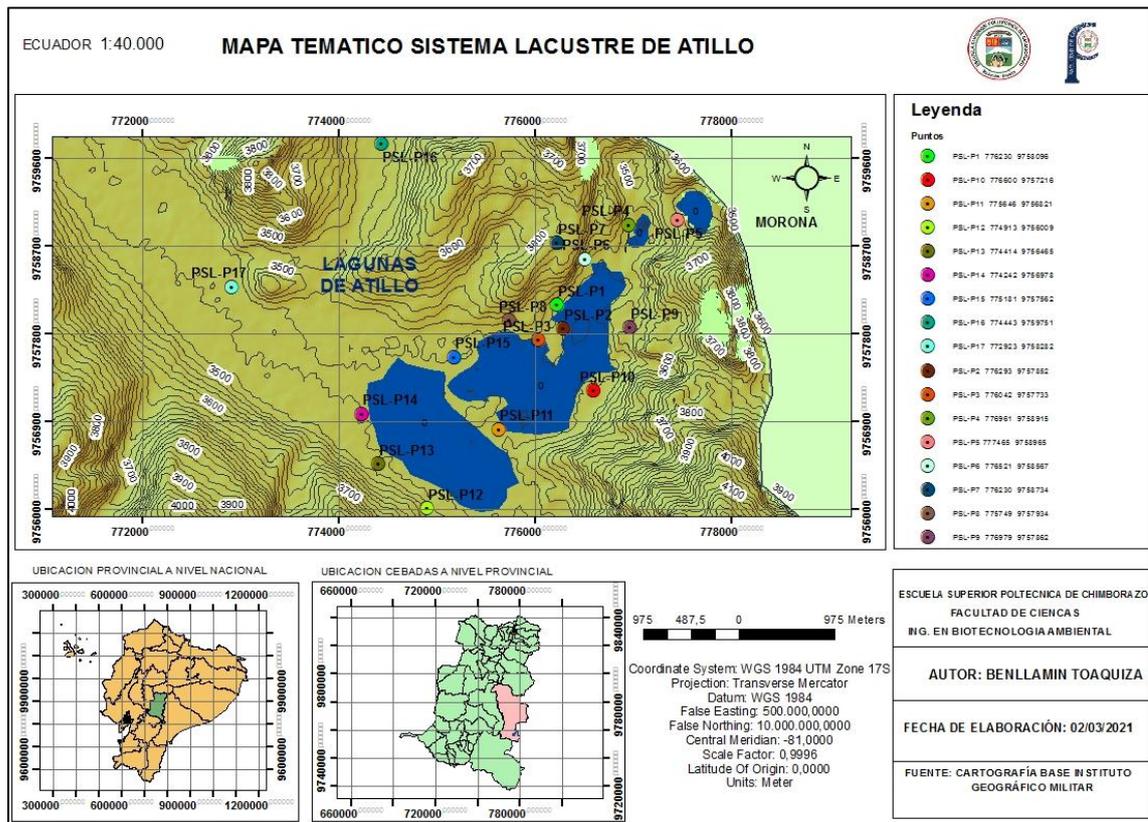


Figura 1-3: Puntos de muestreo en el sistema lacustre Atillo.  
Realizado por: Toaquiz Juan, 2021.

## 3.2. Descripción de parámetros físicos-químicos

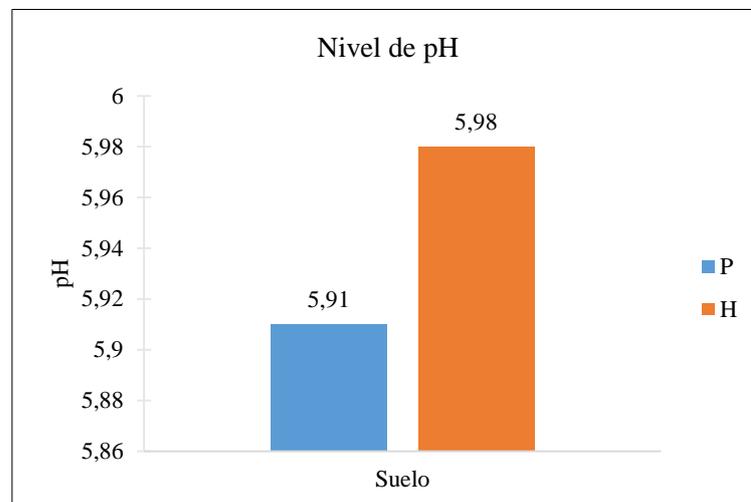
### 3.2.1. Color

Los horizontes superficiales son muy oscuros debido a la acumulación de materia orgánica y los horizontes más profundos de colores más claros. Los colores de los suelos de páramos tienden a colores muy oscuros (negros y cafés). El color negro oscuro principalmente corresponde por la presencia de materia humificada y los colores cafés oscuros presencia d hierro y sus procesos de oxidación (Llambí et al., 2012, pp.205-206).

En el análisis del color de los suelos en el sistema lacustre se encuentran dentro del matiz de 10 YR (4/4,4/3,4/2,4/1, 3/2,3/1,2/2,2/1) 7.5 YR (5/5/2,5/1, 4/3,4/2,2.7/1,2.5/2,2.5/1) con una claridad en capas superficiales negros oscuros tendiéndose en capas inferiores a cafés muy oscuros, dentro del área de estudio el color del suelo dominante es el color negro.

### 3.2.2. pH

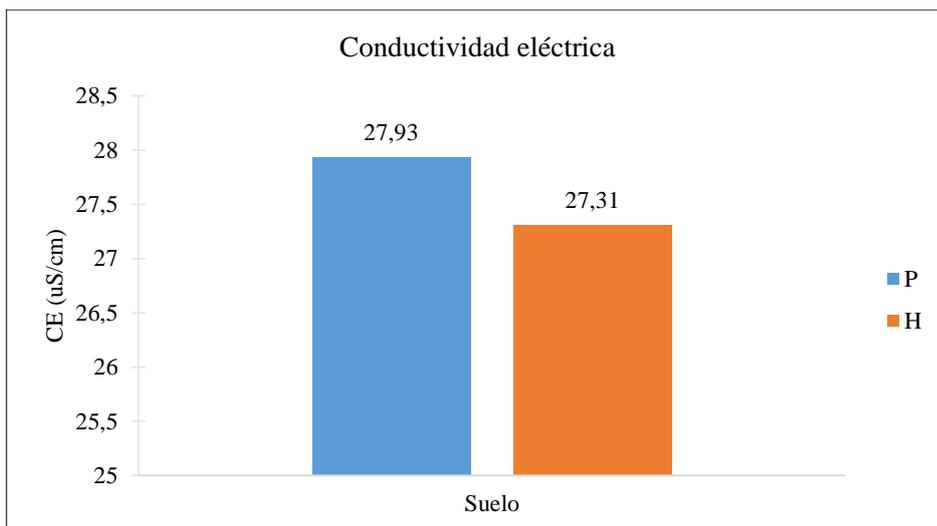
El pH de los suelos generalmente va desde las capas superiores siendo ligeramente acidas hasta las capas inferiores donde el suelo tiene a ser básico por la presencia de cationes, es inversamente proporcional con el contenido de materia orgánica (Mora et al., 2016). Se han recopilado valores de pH de suelos de páramos que van de 5 a 7 pero pueden hallarse a valores inferiores, para suelos al sur del Ecuador de pH que varía de 3.9-5.8 y en los páramos de la provincia de Chimborazo que oscila entre 5.3-6.3 (Llambí et al., 2012, pp.220-222). Una vez realizado los ensayos de pH obtenemos valores promedios de 5.91 para herbazal de páramo y 5.98 para humedales (ver gráfico). Dentro del índice de pH (Tabla1-2) se encuentra en la escala de suelos ligeramente ácidos.



**Gráfico 1-3:** Estadístico descriptivo de pH de los suelos.  
Realizado por: Toaquiiza Juan,2021

### 3.2.3. Conductividad eléctrica

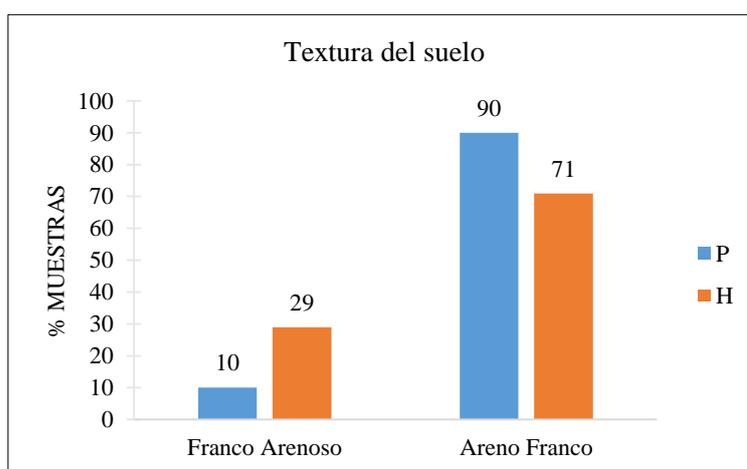
Como se observa en el Grafico2-2 la conductividad eléctrica, los valores promedios varia de 24.25 a 30.36 uS/cm, los suelos del ecosistema de herbazal de páramo y humedal de acuerdo al índice de CE (Tabla 2-2) son correspondientes a suelos no salinos.



**Gráfico 2-3:** Estadístico descriptivo de la conductividad eléctrica del suelo.  
Realizado por: Toaquizza Juan,2021

### 3.2.4. Textura

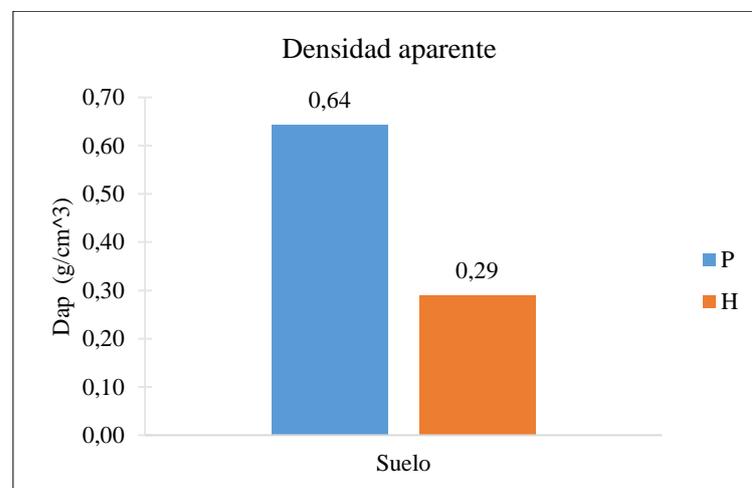
La textura es una de las propiedades relevantes e influyentes en los procesos físicos-químicos y biológicos en los suelos, como su gran capacidad de almacenamiento de agua (Llambí et al., 2012). Los suelos de los páramos sin intervención suelen ser de tipo arenoso francos y francos arenosos (Cárdenas, 2015, pp.57-58). Según los resultados obtenidos tenemos dos tipos estructurales para ecosistemas de páramo 90% es areno-franco y 10% franco-arenoso, mientras para humedales 71% areno-franco y 29% franco-arenoso. De acuerdo a la (USDA, 2000) son considerados de tipos texturales gruesas, este tipo de suelos presenta una excelente aireación por la presencia de partícula de gran tamaño(Gisbert et al., 2010, p.7).



**Gráfico 3-3:** Estadístico descriptivo de tipo de textura del suelo.  
Realizado por: Toaquizza Juan,2021.

### 3.2.5. Densidad aparente

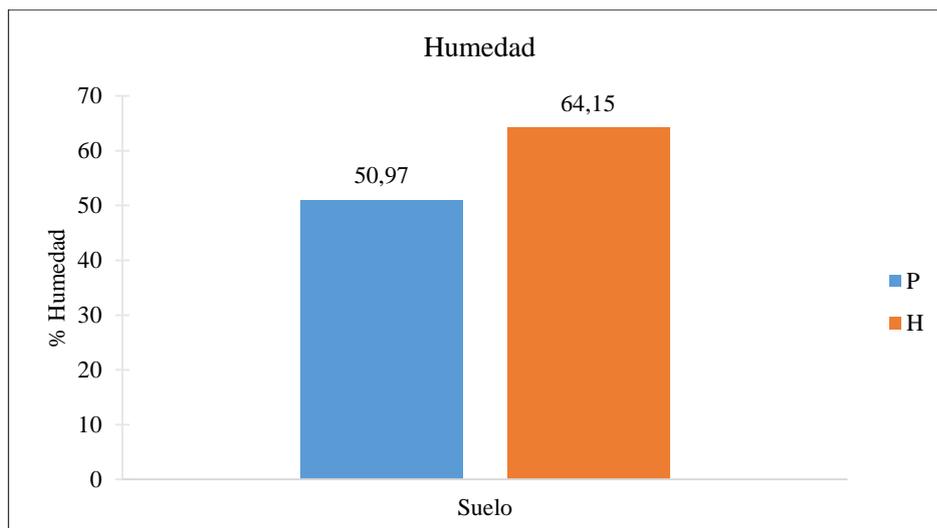
La densidad aparente de los suelos de páramo varía de 0.4 a 0.8 g/cm<sup>3</sup>, aunque es posible hallar valores inferiores a 0.2 g/cm<sup>3</sup>, para humedales. Para el caso de los humedales los valores varían de 0.1 a 0.4 g/cm<sup>3</sup>. En los suelos del sur del Ecuador los valores promedio de densidad es 0.48 g/cm<sup>3</sup> (Llambí et al., 2012, pp.210-211). Como se observa en la gráfica de resultados en el ecosistema de páramos (herbazal) presenta una media de 0.64 g/cm<sup>3</sup> y en el humedal una media de 0,29 g/cm<sup>3</sup>. Para ecosistemas de páramos densidad aparente mayor a 0.9 g/cm<sup>3</sup>, puede evidenciar la compactación de suelos provocada por la presencia de ganado o cambio de uso de suelo (Cárdenas, 2015, p.28).



**Gráfico 4-3:** Estadístico descriptivo densidad aparente del suelo.  
Realizado por: Toaquiza Juan, 2021.

### 3.2.6. Humedad

La humedad en los páramos del Ecuador normalmente se mantiene de 65 a 80 % aunque depende de las condiciones climáticas. Los suelos con humedad elevada permiten la ralentización en los procesos de descomposición de materia orgánica (Llambí et al., 2012, pp.209-215). En un estudio dentro del Parque Nacional Sangay la humedad varía desde los 45% (Chiluiza, 2019, p.37). Los resultados recopilados de los ensayos como se observa en el gráfico tenemos una media de 50.97 % para ecosistemas de páramo (herbazal) y 64.15% para humedales. El suelo del sistema lacustre presenta elevado porcentaje de humedad, confiriendo excelentes propiedades al suelo.

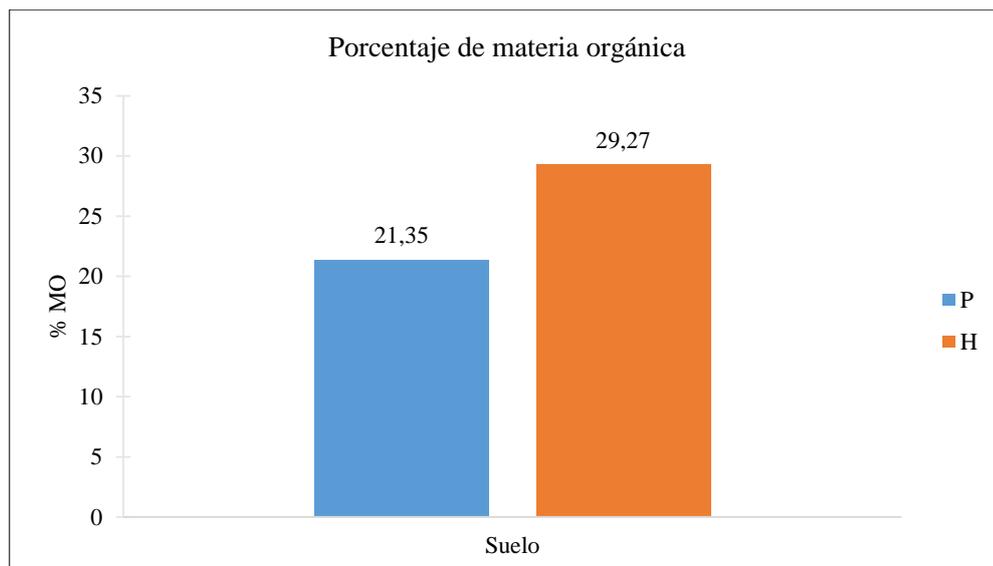


**Gráfico 5-3:** Estadístico descriptivo del porcentaje de la humedad del suelo.  
**Realizado por:** Toaquiza Juan,2021.

### 3.2.7. *Determinación de materia orgánica*

En los ecosistemas de páramo la materia orgánica varía de 5.6, 13.4 y 52.72 % para páramos en seco, páramos semi-húmedos y histosol respectivamente, a nivel Ecuador el promedio de materia orgánica está en un rango de 17.4 a 52.7 % (Llambí et al., 2012, pp.228-230). En un estudio de humedales la materia orgánica se reportó de 12 a 14 % dentro del parque nacional Sangay (Chiluiza, 2019, p.33). El contenido de materia orgánica en los páramos semi-húmedo y muy húmedo son muy altos.

Los ecosistemas de humedales a pesar de ser superficies pequeñas contienen elevado porcentaje de materia orgánica frente a los ecosistemas de páramos. Los humedales presentan mayor contenido de materia orgánica esto se debe al proceso constante de aporte de biomasa, saturación y poco movimiento del agua, las bajas temperaturas las cuales confieren condiciones anaeróbicas y por tanto la ralentización en los procesos de degradación de la materia orgánica (Marulanda, 2016, p.5). Como se observa en el gráfico los ecosistemas el porcentaje promedio de materia orgánica 29.27 % y 21.35% para ecosistemas humedal y páramos respectivamente.



**Gráfico 6-3:** Estadístico descriptivo del porcentaje de la materia orgánica del suelo.  
Realizado por: Toaquiza Juan, 2021

En el análisis de varianza se utilizaron los porcentajes de materia orgánica en las muestras de suelo de los dos ecosistemas en estudio a distintas profundidades. Se obtuvo un p-valor de  $< 0.0001$ , este valor indicó que existen diferencias significativas entre los porcentajes (Tabla).

**Tabla 2-3:** Análisis de varianza del porcentaje de materia orgánica

F. V	SC	gl	CM	F	p-Valor
<b>Modelo</b>	418,52	3	139,51	125,79	$< 0,0001$
<b>Ecosistema</b>	313,71	1	313,71	282,87	$< 0,0001$
<b>Profundidad</b>	95,44	1	95,44	86,06	$< 0,0001$
<b>Error</b>	17,74	16	1,11		
<b>Total</b>	436,27	19			

Realizado por: Toaquiza Juan, 2021

La prueba de Tukey indicó que las medias de los porcentajes de materia orgánica en el suelo de cada ecosistema presentan diferencias significativas entre sí, presentadas en dos categorías: A y B, estas letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ). Siendo el humedal el ecosistema con alto porcentaje de materia orgánica.

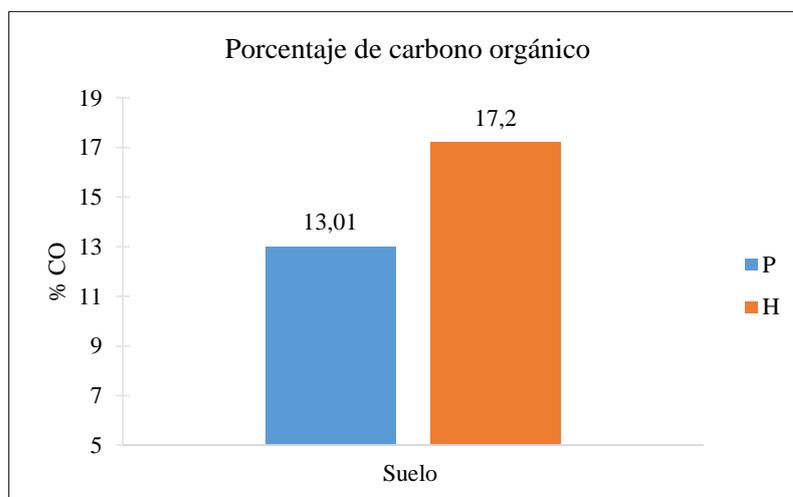
**Tabla 3-3:** Prueba de Tukey del porcentaje de materia orgánica.

Ecosistema	Medias	n	E. E	Categoría
<b>P</b>	21,35	10	0,33	A
<b>H</b>	29,27	10	0,33	B

Realizado por: Toaquiza Juan, 2021

### 3.2.8. Determinación de carbono orgánico

En zonas húmedas el contenido de carbono orgánico puede hallarse hasta un 40%, en páramos secos un 7% aproximadamente. Por general en zona sur del país el contenido de materia orgánica para una profundidad de hasta 30 cm alcanza un promedio de 17.4% (Llambí et al., 2012, p.228). Mientras en estudios en los sectores de Atillo y Yasipan el carbono orgánico promedio es del 12% y 2.5% respectivamente, el porcentaje de carbono mayor a 2.5 se considera elevado (Duche y Llugsa, 2020,p.62). Se puede observar en el grafico los dos ecosistemas presenta contenido alto de carbono orgánico, siendo humedal con alto contenido de CO.



**Gráfico 7-3:** Estadístico descriptivo del porcentaje de carbono orgánico.  
Realizado por: Toaquiza Juan,2021

Mediantes análisis de varianza se utilizaron contenido de carbono orgánico registrados en las muestras de suelo de los dos ecosistemas en estudio a distintas profundidades. Se obtuvo un p-valor de  $< 0.0001$ , este valor indicó que existe una diferencia significativa entre los porcentajes (Tabla).

**Tabla 4-3:** Análisis de varianza del contenido de carbono orgánico.

F. V	SC	gl	CM	F	p-Valor
<b>Modelo</b>	338,12	3	112,71	106,32	$< 0.0001$
<b>Ecosistema</b>	87,91	1	87,91	82,92	$< 0.0001$
<b>Profundidad</b>	202,44	1	202,44	190,97	$< 0.0001$
<b>Error</b>	16,96	16	1,06		
<b>Total</b>	355,08	19			

Realizado por: Toaquiza Juan,2021

La prueba de Tukey indicó que las medias de los porcentajes de carbono orgánico en el suelo de cada ecosistema presentan diferencias significativas entre sí, ya que estas se categorizaron en dos categorías: A y B. Siendo el humedal el que presentó un mayor porcentaje de carbono orgánico.

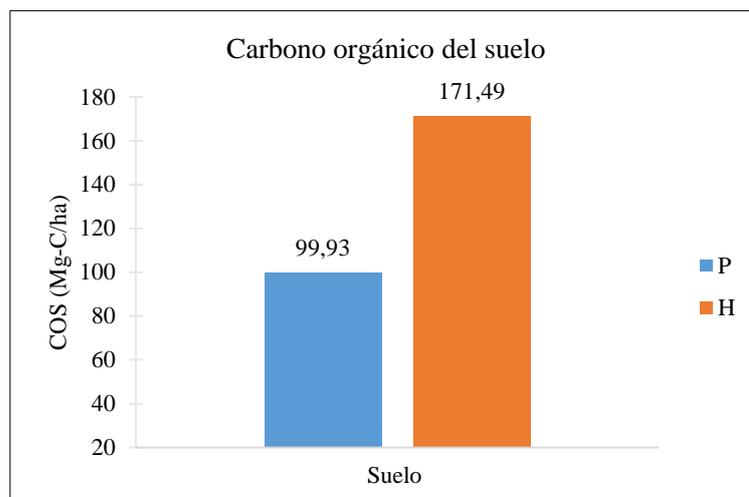
**Tabla 5-3:** Prueba de Tukey para porcentaje del contenido de carbono orgánico.

Ecosistema	Medias	N	E. E	Categoría	
P	13,01	10	0,33	A	
H	17,2	10	0,33		B

Realizado por: Toaquiza Juan, 2021

### 3.2.9. Determinación de Carbono Orgánico del Suelo

El valor superior a 150 Mg-C/ha el contenido de carbono es muy alto, de 100 a 150 Mg-C/ha es áreas con contenido de carbono alto, de 50 a 100 Mg-C/ha áreas con contenido de carbono medio y menores a 50Mg/ha áreas con contenido de carbono bajos (Vela et al., 2012, pp.23-24). Como se observa en el gráfico los valores promedios de COS es de 99.93 Mg-C/ha y 171.49 Mg-C/ha para ecosistemas de páramos y humedales respectivamente. Situándose los páramos como áreas con contenido alto de carbono y los humedales como áreas con muy alto contenido de carbono.



**Gráfico 8-3:** Estadístico descriptivo del contenido de COS

Realizado por: Toaquiza Juan, 2021

Los resultados de los análisis de varianza que se utilizaron el contenido de carbono orgánico en el suelo registrados en las muestras de suelo de los dos ecosistemas en estudio a distintas profundidades. Se obtuvo un p-valor de  $< 0.0001$ , este valor indicó que existe una diferencia significativa entre los porcentajes entre los ecosistemas (Tabla).

**Tabla 6-3:** Análisis de varianza del contenido de COS.

<b>F. V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-Valor</b>
<b>Modelo</b>	110181,94	3	36727,31	11987,86	< 0,0001
<b>Ecosistema</b>	25605,6	1	25605,6	8357,71	< 0,0001
<b>Profundidad</b>	72471,17	1	72471,17	23654,71	< 0,0001
<b>Error</b>	49,02	16	3,06		
<b>Total</b>	110230,95	19			

Realizado por: Toaquiza Juan,2021

La prueba de Tukey indicó que las medias de los porcentajes de carbónico orgánico en el suelo de cada ecosistema presentan diferencias significativas entre sí, representados en categorías: A y B. Siendo el humedal el que presentó un mayor porcentaje de carbono orgánico en el suelo.

**Tabla 7-3:** Prueba de Tukey para contenido de COS.

<b>Ecosistema</b>	<b>Medias</b>	<b>N</b>	<b>E. E</b>	<b>Categoría</b>	
<b>P</b>	99,93	10	0,55	A	
<b>H</b>	171,49	10	0,55		B

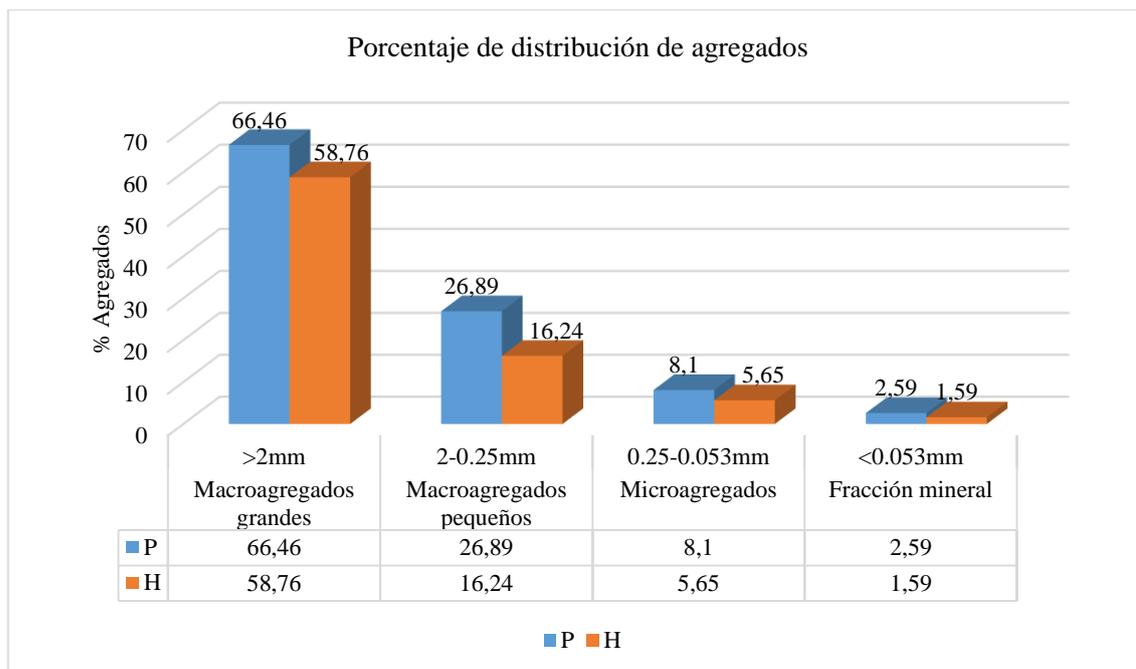
Realizado por: Toaquiza Juan,2021

### 3.2.10. Determinación de la estabilidad de los agregados del suelo

#### 3.2.10.1. Distribución de agregados

Mientras los macroagregados G y macroagregados P estén con porcentaje elevado que microagregados y fracción mineral se puede considerar suelos estables. Los macro agregados grandes(>2mm) se encuentren a 45% la estabilidad del suelo se mantiene (Bonifás y Yupa, 2019, p.23-29).

Los macroagregados grandes (>2mm) representan un promedio de 66.46% para ecosistemas de páramo, este valor es más alto que en los suelos de los humedales los cuales representan el 58.76%. Los macroagregados pequeños (2-0.250 mm) representan un promedio de 26.89 para ecosistemas de páramo, este valor es más alto que en suelos de los humedales con valores promedios de 16.24%. Los microagregados (0.25-0.053mm) representan un promedio de 8.1 % para ecosistemas de páramo, y 5.65 % para los suelos de los humedales que es significativamente menor al del páramo.



**Gráfico 9-3:** Estadístico descriptivo del porcentaje de distribución de agregados del suelo  
**Realizado por:** Toaquiza Juan,2021

### 3.2.10.2. Macroagregados grandes > 2 mm

En el análisis de varianza se utilizaron los porcentajes de macro agregados grandes en el suelo registrados en las muestras de suelo de los dos ecosistemas en estudio a distintas profundidades. Se obtuvo un p-valor de < 0.0001, este valor indicó que existe una diferencia significativa entre los porcentajes (Tabla).

**Tabla 8-3:** Análisis de varianza de las fracciones de macroagregados grandes > 2 mm.

F. V	SC	gl	CM	F	p-Valor
<b>Modelo</b>	959,57	3	319,86	142,1	< 0,0001
<b>Ecosistema</b>	296,53	1	296,53	131,74	< 0,0001
<b>Profundidad</b>	652,2	1	652,2	289,75	< 0,0001
<b>Ecosistema * Profundidad</b>	10,85	1	10,85	4,82	0,0432
<b>Error</b>	36,01	16	2,25		
<b>Total</b>	995,59	19			

**Realizado por:** Toaquiza Juan,2021

La prueba de Tukey indicó que las medias de los porcentajes macro agregados grandes en el suelo de cada ecosistema presentan diferencias significativas entre sí, representados en dos categorías: A y B. Siendo el herbazal de páramo el que presentó un mayor porcentaje de macro agregados grandes.

**Tabla 9-3:** Prueba de Tukey de las fracciones de macroagregados grandes > 2 mm.

Ecosistema	Medias	N	E. E	Categoría	
H	58,76	10	0,47	A	
P	66,46	10	0,47		B

Realizado por: Toaquiza Juan, 2021

*3.2.10.3. Macroagregados pequeños 2 mm - 0.250 mm*

En el análisis de varianza se utilizaron los porcentajes de macro agregados pequeños en el suelo registrados en las muestras de suelo de los dos ecosistemas en estudio a distintas profundidades. Se obtuvo un p-valor de < 0.0001, este valor indicó que existe una diferencia significativa entre los porcentajes (Tabla).

**Tabla 10-3:** Análisis de varianza de las fracciones macroagregados pequeños 2 mm - 0.250 mm.

F. V	SC	gl	CM	F	p-Valor
Modelo	909,43	3	303,14	719,25	< 0.0001
Ecosistema	567,01	1	567,01	1345,31	< 0.0001
Profundidad	296,07	1	296,07	702,46	< 0.0001
Ecosistema * Profundidad	46,36	1	46,36	110	< 0.0001
Error	6,74	16	0,42		
Total	916,17	19			

Realizado por: Toaquiza LLuilema, Juan, 2021

La prueba de Tukey indicó que las medias de los porcentajes de macro agregados pequeños en el suelo de cada ecosistema presentan diferencias significativas entre sí, ya que estas se categorizaron en dos categorías: A y B. Siendo el herbazal de páramo el que presentó un mayor porcentaje de macro agregados pequeños en el suelo.

**Tabla 11-3:** Prueba de Tukey de las fracciones macroagregados pequeños 2 mm - 0.250 mm.

Ecosistema	Medias	N	E. E	Categoría	
H	16,24	10	0,21	A	
P	26,89	10	0,21		B

Realizado por: Toaquiza LLuilema, Juan, 2021

*3.2.10.4. Microagregados 0.250 mm - 0.053 mm*

En el análisis de varianza se utilizaron los porcentajes de micro agregados en el suelo registrados en las muestras de suelo de los dos ecosistemas en estudio a distintas profundidades. Se obtuvo un p-valor de < 0.0001, este valor indicó que existe una diferencia significativa entre los porcentajes (Tabla).

**Tabla 12-3:** Análisis de varianza de las fracciones de los microagregados 0.250 mm - 0.053 mm.

<b>F. V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-Valor</b>
<b>Modelo</b>	199,29	3	66,43	300,87	< 0,0001
<b>Ecosistema</b>	29,94	1	29,94	135,6	< 0,0001
<b>Profundidad</b>	167,33	1	167,33	757,87	< 0,0001
<b>Ecosistema * Profundidad</b>	2,02	1	2,02	9,13	0,0081
<b>Error</b>	3,53	16	0,22		
<b>Total</b>	202,82	19			

Realizado por: Toaquiza Juan, 2021

La prueba de Tukey indicó que las medias de los porcentajes de micro agregados en el suelo de cada ecosistema presentan diferencias significativas entre sí, ya que estas se categorizaron en dos categorías: A y B. Siendo el herbazal de páramo el que presentó un mayor porcentaje de micro agregados en el suelo.

**Tabla 13-3:** Prueba de Tukey de las fracciones de los microagregados 0.250 mm - 0.053 mm.

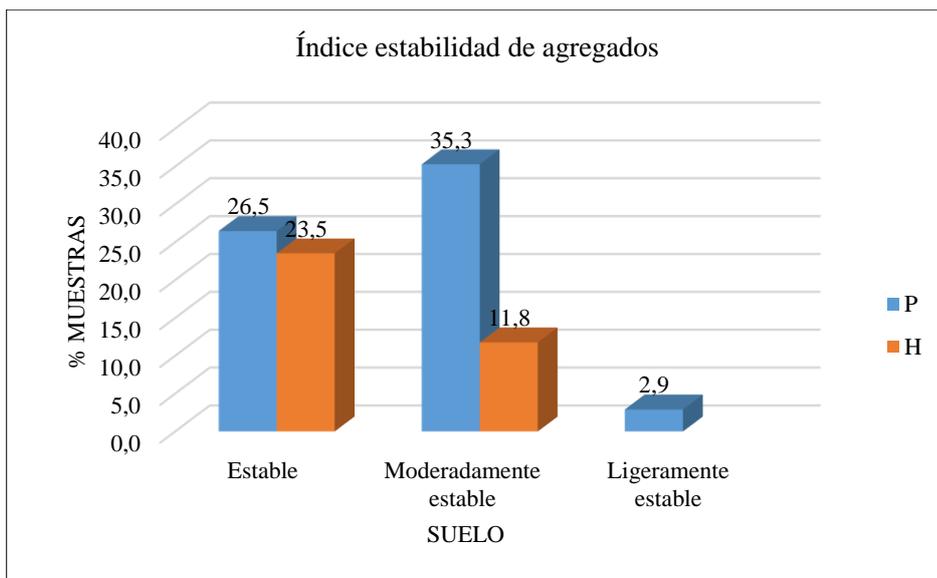
<b>Ecosistema</b>	<b>Medias</b>	<b>N</b>	<b>E. E</b>	<b>Categoría</b>
<b>H</b>	5,65	10	0,15	A
<b>P</b>	8,1	10	0,15	B

Realizado por: Toaquiza Juan, 2021

### 3.2.10.5. Estabilidad de agregados

Un alto estado de agregación y elevada estabilidad de agregados confiere al suelo excelentes propiedades a las estructuras y consecuentemente indica la buena calidad de los suelos. La agregación estable de las partículas primarias entre si evita la dispersión en agua. Las capas superficiales están expuestas a modificaciones, producidas por las precipitaciones, las actividades antropogénicas como pastoreo y laboreo. En los páramos las modificaciones son principalmente por actividad de pastoreo (Taboada y Taboada, 2003, p.132).

La estabilidad de agregados del suelo se evaluó mediante el diámetro medio ponderado y el índice de estabilidad de agregado de acuerdo a la Tabla 4-2. Como podemos observar en el gráfico para ecosistemas de humedales corresponden 23.5 % estables y 11.8% moderadamente estables. Para ecosistemas de los páramos 26.5% de las muestras de suelo son estables, el 35.3% moderadamente estables y 2.9% ligeramente estables. A nivel general en la zona de estudio el 50 % de muestras analizadas son suelos estables, el 47% suelos moderadamente estables y 3% suelos ligeramente estables.



**Gráfico 10-3:** Estadístico descriptivo de la estabilidad de los agregados del suelo.  
**Realizado por:** Toaquiza Juan,2021

## CONCLUSIONES

- Se evaluó la estabilidad de los agregados de los suelos del sistema lacustre Atillo entre dos ecosistemas (páramo y humedal) aplicando la distribución de agregados y el índice de estabilidad de agregados (DMP) esto permitió recopilar información sobre el estado de agregación de este recurso. En el rango del índice de estabilidad de agregados, los suelos del sistema lacustre se encuentran en estables y moderadamente estables.
- Se delimitó la zona de estudio mediante un recorrido por el contorno del sistema lacustre Atillo, la identificación y asignación de puntos de muestreo se ha utilizado la georreferenciación empleando método de muestreo aleatorio-estratificado (en ecosistemas de páramos y humedales).
- Se cuantificó el contenido de COS para ecosistemas de páramos con 99.93 Mg-C/ha y 171.49 Mg-C/ha para humedales. Dentro del índice de contenido de COS los suelos de los páramos corresponden a suelos con contenido alto de carbono mientras los suelos de los humedales corresponden a contenido muy alto de carbono. Los humedales de ser superficies pequeñas almacenan mayor cantidad de carbono.
- Se determinó la estabilidad de agregados del suelo mediante la distribución de agregados (Páramo: macroagregados grandes 66.46%, macroagregados pequeños 26.89%, microagregados 8.1%; Humedal: macroagregados grandes 58.76%, macroagregados pequeños 16.24 %, microagregados 5.65%) y el índice de estabilidad de agregados (Páramo: 26.5% estables, 35.3 % moderadamente estables, 2.9% ligeramente estables; Humedales: 23.5% estables, 11.8% moderadamente estables). Los ecosistemas de páramos presentan una mayor agregación que los humedales.

## **RECOMENDACIONES**

- Compartir y socializar la información recopilado del sistema lacustre Atillo para crear conciencia y promover la conservación de este recurso. Los habitantes del sector intervienen los páramos por el desconocimiento de los servicios ecosistémicos que brinda o por la falta de apoyo y gestión de las autoridades competentes.
- Desarrollar investigaciones complementarias desde punto de vista de los habitantes del sector y buscar alternativas de desarrollo sostenible.

## **GLOSARIO**

**Agregados:** Combinación de partículas primarias, materia orgánica y otros componentes minerales (Infoagro, 2019).

**Anegamiento:** Exceso de agua en suelo que dificulta el intercambio gaseoso (Romero et al., 2016).

**ANOVA:** Análisis de Varianza

**CE:** Conductividad eléctrica.

**CH<sub>4</sub>:** Metano.

**CO:** Carbono orgánico.

**CO<sub>2</sub>:** Dióxido de carbono.

**COS:** Carbono Orgánico del Suelo.

**Da:** Densidad aparente.

**DMP:** Diámetro Medio Ponderado.

**FAO:** Organizaciones de Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura.

**GEI:** Gases de Efecto Invernadero.

**Georreferenciación:** Ubicación geográfica dentro de mapas digitales (Geobis, 2017).

**Humedales:** Superficies de transición entre ecosistemas terrestres y acuáticos (Hernández, 2010).

**N<sub>2</sub>O:** Óxido nitroso

**Servicios ecosistémicos:** Beneficios que se obtiene de la naturaleza (Unión Europea, 2010).

**USDA:** Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

**WRB:** Base de Referencia Mundial

## BIBLIOGRAFÍA

- AMAGUAYA LLAMUCA, José Luis.** Determinación de carbono en el suelo de bosque nativo de ceja andina en el sector Guangra, parroquia Achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo [en línea]. (Trabajo de titulación (Grado)). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,. Riobamba-Ecuador: 2015. [Consulta: 3 abril 2021]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/3883>.
- AYALA, Leonardo.; et al.** "Cuantificación del carbono en los páramos del parque nacional Yacuri, provincias de Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador". *CEDAMAZ* [en línea], 2014, vol. 4, no 1, pp. 45-52., [Consulta: 3 abril 2021]. Disponible en: <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/237>.
- BARBARO, Lorena A.; et al.** Importancia *del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas* [en línea]. 2014. S.l.: Instituto de Floricultura,. [Consulta: 3 abril 2021]. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_-\\_importancia\\_del\\_ph\\_y\\_la\\_conductividad\\_elctrica.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_elctrica.pdf).
- BONIFÁS TOAPANTA, Ibeth del Pilar.; & YUPA CHIMBORAZO, Marco Vinicio.** Dinámica del carbono orgánico asociado a los agregados del suelo del páramo y cultivo en la Parroquia Achupallas [en línea]. (Trabajo de titulación (Grado)). Universidad Nacional de Chimborazo,. Riobamba-Ecuador: 2019. [Consulta: 3 abril 2021]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/5798>.
- BURBANO ORJUELA, Hernán.** "El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático". *Revista de Ciencias Agrícolas* [en línea], 2018, vol. 35, no 1, pp. 82-96., ISSN 2256-2273. DOI 10.22267/rcia.183501.85. Disponible en: <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/3925>.
- BURBANO-ORJUELA, Hernán.** "El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria". *Revista de Ciencias Agrícolas* [en línea], 2016, vol. 33, no 2, pp. 117-124., ISSN 2256-2273. DOI 10.22267/rcia.163302.58. Disponible en: <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/3106>.
- BUYTAERT, Wouter.; et al.** "HIDROLOGÍA DEL PÁRAMO ANDINO: PROPIEDADES, IMPORTANCIA Y VULNERABILIDAD". *Portal sobre: Conservación y equidad social* [en línea], 2014, pp. 1-26., Disponible en: <https://www.portalces.org/paramos/directorio/referencias-bibliograficas/articulos-revistas/hidrologia-del-paramo-andino>.

**CÁRDENAS FONSECA, Myriam Stephanie.**, Evaluación de la calidad de los suelos de páramo intervenidos y no intervenidos en la comuna Monjas Bajo, parroquia Juan Montalvo, cantón Cayambe [en línea]. (Trabajo de titulación (Grado)). Universidad Politécnica Salesiana,. Quito-Ecuador: 2015. [Consulta: 3 abril 2021]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/9368>.

**CARGUA, Franklin E.; et al.** "Quantification of Carbon in a Forest Plantation of Pine Insigne (*Pinus radiata*) and Moor Stratum of Low Ozogoché, Sangay National Park, Ecuador". *Información tecnológica* [en línea], 2014, vol. 25, no 3, pp. 83-92., [Consulta: 3 abril 2021]. ISSN 0718-0764. DOI 10.4067/S0718-07642014000300011. Disponible en: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0718-07642014000300011&lng=en&nrm=iso&tlng=en](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-07642014000300011&lng=en&nrm=iso&tlng=en).

**CHILUIZA DÁVILA, Brayan Alberto.** Evaluación de los humedales del sistema lacustre en la laguna la Magdalena-Atillo del Parque Nacional Sangay como sumidero de Carbon. [en línea]. (Trabajo de titulación (Grado)). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador: 2019. [Consulta: 3 abril 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13800>.

**CHUNCHO MOROCHO, Carlos.; & CHUNCHO, Guillermo.** "Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión". *Bosques Latitud Cero* [en línea], 2019, vol. 9, no 2, pp. 71-83., [Consulta: 3 abril 2021]. ISSN 2528-7818. Disponible en: <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/686>.

**CIANCAGLINI, Nicolás. R- 001-** *Guía para la determinación de textura de suelos por método* [en línea]. 2009. S.l.: INTA EEA,. [Consulta: 3 abril 2021]. Disponible en: [http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20\\_R001\\_Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organo%20%C3%A9ptico.pdf](http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20_R001_Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organo%20%C3%A9ptico.pdf).

**CIMMYT.** *ESTABILIDAD DE LOS AGREGADOS DEL SUELO TAMIZANDO EN HUMEDO* *Guía útil para comparar las prácticas de manejo de cultivo* [en línea]. 2013. S.l.: Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo,. [Consulta: 3 abril 2021]. Disponible en: <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/4033/98832.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

**CRESPO, Patricio.; et al.** "Impactos del cambio de uso de la tierra sobre la hidrología de los páramos húmedos andinos". *Avances En Investigación Para La Conservación de Los Páramos* [en línea], 2014, pp. 287-304., Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/264416399\\_Impactos\\_del\\_cambio\\_de\\_uso\\_de\\_la\\_tierra\\_sobre\\_la\\_hidrologia\\_de\\_los\\_paramos\\_humedos\\_andinos](https://www.researchgate.net/publication/264416399_Impactos_del_cambio_de_uso_de_la_tierra_sobre_la_hidrologia_de_los_paramos_humedos_andinos).

**DUCHE GUAMÁN, Vanessa Brighth.; & LLUGSA PAREDES, Mayra Elizabeth.**

Estimación de carbono orgánico total en el suelo y biomasa del páramo andino de Yasipan y Atillo. [en línea]. (Trabajo de titulación (Grado)). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador: 2020. [Consulta: 4 abril 2021]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/13956>.

**FAO.** Guía para la descripción de suelos [en línea]. 4ta. Roma - Italia: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, 2009. [Consulta: 3 abril 2021]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>.

**FAO.** "Los suelos ayudan a combatir y adaptarse al cambio climático". *La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura* [en línea]. 2015. [Consulta: 3 abril 2021]. Disponible en: <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/es/c/340785/>.

**FAO.** CARBONO ORGANICO DEL SUELO: el potencial oculto. [en línea]. Roma - Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura,. 2017. ISBN 978-92-5-309681-7. Disponible en: <http://www.fao.org/3/I6937Es/i6937es.pdf>.

**FAO.; & GTIS.** Estado Mundial del Recurso Suelo [en línea]. Roma - Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, 2015. ISBN 978-92-5-308960-4. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/308054513\\_Estado\\_Mundial\\_del\\_Recurso\\_Suelo\\_-\\_Resumen\\_Tecnico-](https://www.researchgate.net/publication/308054513_Estado_Mundial_del_Recurso_Suelo_-_Resumen_Tecnico-).

**FONTAINE, Guillaume.; et al.** Geo Ecuador 2008: Informe sobre el estado del medio ambiente [en línea]. Quito-Ecuador: FLACSO,. 2008. ISBN 978-9978-67-189-4. Disponible en: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/41444.pdf>.

**GABIOUD, Emmanuel.; et al.** "Análisis de la estabilidad de agregados por el método de Le Bissonnais en tres órdenes de suelos". *Ciencia del suelo* [en línea], 2011, vol. 29, no 2, pp. 129-139., ISSN 1850-2067. Disponible en: <https://doaj.org/article/e41b9bfe89a84d17ad2bc7aec51bfcdb>.

**GADMCG.** Plan Estratégico Institucional del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Guamote [en línea]. 2014. S.l.: s.n. Disponible en:

<https://www.gadguamote.gob.ec/index.php/gadmc-g/plan-de-desarrollo1/2188-pei-gadmcg-2016/file>.

**GEOBIS.** "Geobis International - Mapas Digitales y Herramientas de Mercadeo". *Geobis International* [en línea]. [Consulta: 6 abril 2021]. Disponible en: <http://www.geobis.com/es/>.

**GISBERT BLANQUER, Juan Manuel.; et al.** "La textura del suelo". *Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos* [en línea], 2010, pp. 8., Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/50839531\\_La\\_textura\\_del\\_suelo](https://www.researchgate.net/publication/50839531_La_textura_del_suelo).

**GÓMEZ GIRALDO, Juan Carlos.** Manual de Prácticas de Campo y del Laboratorio de Suelos [en línea]. Tolima-Colombia: CENTRO AGROPECUARIO "LA GRANJA",. 2013. Disponible en: [https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/2785/practicas\\_campo\\_laboratorio\\_suelos.pdf;jsessionid=E489A4C07B6060BEDEE041EF1DEFB7C2?sequence=1](https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/2785/practicas_campo_laboratorio_suelos.pdf;jsessionid=E489A4C07B6060BEDEE041EF1DEFB7C2?sequence=1).

**HEALY, Richard W.; et al.** "Numerical Evaluation of Static-Chamber Measurements of Soil—Atmosphere Gas Exchange: Identification of Physical Processes". *Soil Science Society of America Journal* [en línea], 1996, vol. 60, no 3, pp. 740-747., DOI <https://doi.org/10.2136/sssaj1996.03615995006000030009x>. Disponible en: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1996.03615995006000030009x>.

**HERNÁNDEZ, María Elizabeth.** "Suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano". *Terra Latinoamericana* [en línea], 2010, vol. 28, no 2, pp. 139-147., [Consulta: 6 abril 2021]. ISSN 0187-5779. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0187-57792010000200005&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-57792010000200005&lng=es&nrm=iso&tlng=es).

**HOFSTEDE, Robert.; et al.,** *Los paramos andinos que sabemos.pdf* [en línea]. Quito-Ecuador: UICN,. 2014. ISBN 978-9978-9932-9-3. Disponible en: [https://www.academia.edu/12036282/Los\\_p%C3%A1ramos\\_andinos\\_que\\_sabemos](https://www.academia.edu/12036282/Los_p%C3%A1ramos_andinos_que_sabemos).

**INEC.** "Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ". *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC* [en línea]. 2012, Quito-Ecuador. [Consulta: 2 abril 2021]. Disponible en: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac\\_2012/InformeEjecutivo.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2012/InformeEjecutivo.pdf).

**INFOAGRO.** "¿Qué son los agregados del suelo?". *InfoAgro Toda la Agricultura en Internet* [en línea]. [Consulta: 6 abril 2021]. Disponible en: [https://www.infoagro.com/noticias/2019/\\_que\\_son\\_los\\_agregados\\_del\\_suelo\\_.asp](https://www.infoagro.com/noticias/2019/_que_son_los_agregados_del_suelo_.asp).

**KEENAN, T.F.; & WILLIAMS, C.A.** "The Terrestrial Carbon Sink". *Annual Review of Environment and Resources* [en línea], 2018, vol. 43, no 1, pp. 219-243., DOI 10.1146/annurev-environ-102017-030204. Disponible en: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102017-030204>.

**LLAMBÍ, Luis.; et al.** *Ecología, Hidrología y Suelos del Páramo* [en línea]. Cuenca-Ecuador: Monsalve Moreno,. 2012. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/263280481\\_Ecologia\\_Hidrologia\\_y\\_Suelos\\_d\\_el\\_Paramo](https://www.researchgate.net/publication/263280481_Ecologia_Hidrologia_y_Suelos_d_el_Paramo).

**MARTÍNEZ H, Eduardo.; et al.** "Soil organic carbon and soil properties". *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal* [en línea], 2008, vol. 8, no 1, pp. 68-96., [Consulta: 3 abril 2021]. ISSN 0718-2791. DOI 10.4067/S0718-27912008000100006. Disponible en: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0718-27912008000100006&lng=en&nrm=iso&tlng=en](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-27912008000100006&lng=en&nrm=iso&tlng=en).

**MARULANDA ARANGO, Juliana Marcela.** Variación de la densidad aparente y la concentración de carbono en el suelo a lo largo de un gradiente de niveles de agua en un humedal de alta montaña [en línea]. (Trabajo de titulación (Grado)). Corporación Universitaria Lasallista,. Antioquia-Colombia: 2016. Disponible en: [http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/2007/1/Variacion\\_densidad\\_a\\_parente\\_carbono\\_suelo\\_humedal.pdf](http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/2007/1/Variacion_densidad_a_parente_carbono_suelo_humedal.pdf).

**MENDOZA, Reynaldo B.; & ESPINOZA, Ariel.** *Guía Muestreo de Suelos* [en línea]. 1ra. Managua-Nicaragua: Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services (CRS),. 2017. Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>.

**MINAM.** GUÍA PARA EL MUESTREO DE SUELOS [en línea]. 1ra. Lima – Perú: MAVET IMPRESIONES E.I.R.L.,. 2014. [Consulta: 3 abril 2021]. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf>.

**MORA ROSAS, Juan Luis.; et al.** "COMPORTAMIENTO DE MATERIA ORGÁNICA Y pH CON LA PROFUNDIDAD DEL SUELO". *XIII encuentro* [en línea]. León-México:

Centro de Investigaciones en optica, A.C., pp. 1. Disponible en: [http://congresos.cio.mx/13\\_enc\\_mujer/cd/cd\\_congreso\\_mujer\\_XIII/archivos/resumenes/S5/S5-BYQ09.pdf](http://congresos.cio.mx/13_enc_mujer/cd/cd_congreso_mujer_XIII/archivos/resumenes/S5/S5-BYQ09.pdf).

**MORENO RAMÓN, Héctor.; et al.** "EL COLOR DEL SUELO". *Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos* [en línea], 2008, pp. 7., Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8008/Color%20del%20suelo.pdf>.

**NADAL-ROMERO, Estela.; et al.** "La estabilidad de los agregados del suelo en ambientes forestales y acarcavados del pirineo central". *Revista C&G* [en línea], 2009, vol. 23, no 1-2, pp. 49-64., ISSN 0214-1744. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/45337159\\_La\\_estabilidad\\_de\\_los\\_agregados\\_del\\_suelo\\_en\\_ambientes\\_forestales\\_y\\_acarcavados\\_del\\_pirineo\\_central](https://www.researchgate.net/publication/45337159_La_estabilidad_de_los_agregados_del_suelo_en_ambientes_forestales_y_acarcavados_del_pirineo_central).

**PORTA CASANELLAS, Jaime.; et al.** Introducción a la Edafología: uso y protección del suelo [en línea]. Madrid-España: Mundi-Prensa,. 2008. ISBN 978-84-8476-342-0. Disponible en: <http://biblioteca.esPOCH.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=32139.631.41>

**PORTALFRUTICOLA.** "Agrotecnia: Cómo determinar el pH de los suelos usando un pH-Metro. Rangos óptimos por especies -". *PortalFruticola.com* [en línea].2017. [Consulta: 3 abril 2021]. Disponible en: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2017/07/10/como-determinar-el-ph-de-los-suelos-usando-un-ph-metro-rango-optimos-por-especies/>.

**RITCHEY, Edwin.; et al.** "Determining Soil Texture by Feel". *Agriculture and Natural Resources Publications* [en línea], 2015, vol. 139, pp. 1-3., Disponible en: [https://uknowledge.uky.edu/anr\\_reports/139](https://uknowledge.uky.edu/anr_reports/139).

**ROLDAN, María Florencia.; et al.** "Distribución De Tamaño y Estabilidad De Agregados En Molisoles Bajo Labranzas Contrastantes". *Ciencia del suelo* [en línea], 2014, vol. 32, no 2, pp. 247-257., ISSN 0326-3169. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/317535350\\_Distribucion\\_De\\_Tamano\\_y\\_Estabilidad\\_De\\_Agregados\\_En\\_Molisoles\\_Bajo\\_Labranzas\\_Contrastantes](https://www.researchgate.net/publication/317535350_Distribucion_De_Tamano_y_Estabilidad_De_Agregados_En_Molisoles_Bajo_Labranzas_Contrastantes).

**ROMERO, R.; et al.** "Anegamiento y su efecto sobre la fisiología, crecimiento y rendimiento de trigo en zonas mediterráneas manejadas en cero labranza". *Agro Sur* [en línea], 2016, vol. 44, no 1, pp. 47-57., [Consulta: 6 abril 2021]. ISSN 03048802. DOI

10.4206/agrosur.2016.v44n1-05. Disponible en:  
<http://revistas.uach.cl/pdf/agrosur/v44n1/art05.pdf>.

**RUBIO GUTIÉRREZ, Ana María.**, LA DENSIDAD APARENTE EN SUELOS FORESTALES DEL PARQUE NATURAL LOS ALCORNOCALES [en línea]. (Trabajo de titulación (Grado)). Universidad de Sevilla,. Sevilla-España: 2010. [Consulta: 3 abril 2021]. Disponible en: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/57951/1/La%20densidad%20aparente%20en%20suelos%20forestales%20.pdf>.

**TABOADA CASTRO, M.M.; & TABOADA CASTRO, M.T.** "ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DE HORIZONTES SUPERFICIA- LES DE SUELOS DE PRADO Y CULTIVO DE LA PROVINCIA DE A CORUÑA (NO, ESPAÑA)". *EDAFOLOGÍA* [en línea], 2003, vol. 10, no 3, pp. 131-137., Disponible en: <http://www.edafologia.net/revista/tomo10c/articulo131.pdf>.

**UNIÓN EUROPEA.** *Bienes y servicios ecosistémicos* [en línea]. 2010. S.l.: Comisión Europea,. [Consulta: 6 abril 2021]. Disponible en: [https://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/Eco-systems%20goods%20and%20Services/Ecosystem\\_ES.pdf](https://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/Eco-systems%20goods%20and%20Services/Ecosystem_ES.pdf).

**USDA.** Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo [en línea]. Argentina: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica,. 2000. [Consulta: 3 abril 2021]. Disponible en: [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf).

**VELA CORREA, Gilberto.; et al.** "Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, centro de México". *Investigaciones geográficas* [en línea], 2012, no 77, pp. 18-30., [Consulta: 4 abril 2021]. ISSN 0188-4611. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0188-46112012000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-46112012000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es).

**ZEDLER, Joy B.; & KERCHER, Suzanne.** "WETLAND RESOURCES: Status, Trends, Ecosystem Services, and Restorability". *Annual Review of Environment and Resources* [en línea], 2005, vol. 30, no 1, pp. 39-74., DOI 10.1146/annurev.energy.30.050504.144248. Disponible en: <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144248>.

## ANEXOS

### ANEXO A: ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN ZONA DE ESTUDIO Y LABORATORIO.



Localización de zona de estudio



Ubicación de puntos de estudio



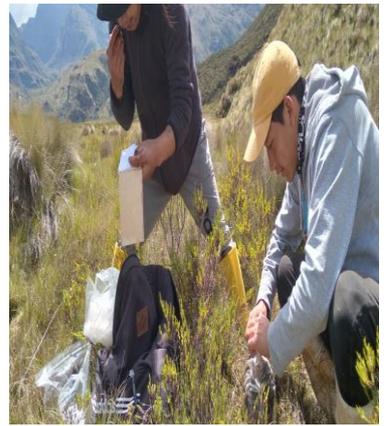
Limpieza del suelo



Extracción de muestra



Muestreo



Etiquetado de muestras



Secado de muestras



Triturado de muestras



Tamizaje de muestras



Almacenamiento de muestras



Tamizado en húmedo



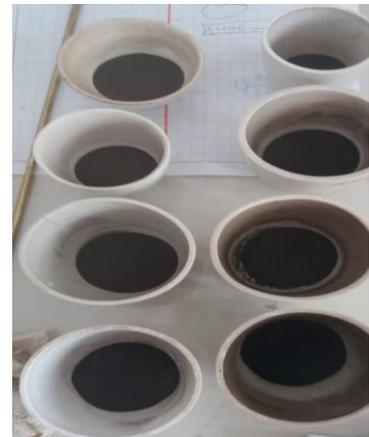
Muestras tamizadas



Pesajes de muestras



Equipo para calcinación muestras



Calcinación de muestras



Ensayo de color



Ensayo de textura



Almacenamiento de muestras



Preparación de muestras



Calibración de equipos



Determinación de pH en campo



Determinación de pH en lab.



Determinación de CE



Toma de muestras para densidad



Ensayo de densidad



Determinación humedad



Registro de datos



**ANEXO C: REPORTE DE DATOS.**

Puntos	Coordenadas		Descripción	Profundidad	pH	Conductividad eléctrica	Textura
ID	UTM			cm		uS/cm	
	x	y					
PSL-P1	776230	9758096	Humedal	15	5,54	61,20	Franco arenoso
				30	5,65	29,99	Franco arenoso
PSL-P2	776293	9757852	Humedal	15	6,31	26,92	Franco arenoso
				30	6,18	35,30	Franco arenoso
PSL-P3	776042	9757733	Herbazal páramo	15	5,68	34,50	Areno franco
				30	5,72	21,86	Areno franco
PSL-P4	776961	9758915	Herbazal páramo	15	6,02	31,80	Areno franco
				30	5,74	27,02	Areno franco
PSL-P5	777465	9758965	Herbazal páramo	15	6,31	26,44	Franco arenoso
				30	5,68	28,31	Franco arenoso
PSL-P6	776521	9758567	Herbazal páramo	15	6,69	26,55	Areno franco
				30	5,66	25,21	Areno franco
PSL-P7	776230	9758734	Herbazal páramo	15	6,52	27,21	Areno franco
				30	6,4	28,09	Areno franco
PSL-P8	775749	9757934	Herbazal páramo	15	6,24	31,60	Areno franco
				30	5,9	30,20	Areno franco
PSL-P9	776979	9757862	Herbazal páramo	15	5,88	12,74	Areno franco
				30	5,92	13,73	Areno franco
PSL-P10	776600	9757216	Humedal	15	5,71	12,06	Areno franco
				30	5,6	14,4	Areno franco
PSL-P11	775646	9756821	Humedal	15	5,24	16,25	Areno franco
				30	6,25	18,41	Areno franco
PSL-P12	774913	9756009	Herbazal páramo	15	5,51	24,88	Areno franco
				30	5,32	27,24	Areno franco
PSL-P13	774414	9756465	Humedal	15	6,51	26,49	Areno franco
				30	6,53	18,65	Areno franco
PSL-P14	774242	9756978	Herbazal páramo	15	5,35	29,56	Areno franco
				30	5,71	45,5	Areno franco
PSL-P15	775181	9757562	Humedal	15	6,25	30,5	Areno franco
				30	6,05	19,18	Areno franco
PSL-P16	774443	9759751	Humedal	15	6,05	35,8	Areno franco
				30	6,7	39,8	Areno franco
PSL-P17	772923	9758282	Herbazal páramo	15	5,79	24,65	Areno franco
				30	6,09	32,7	Areno franco

Puntos	Profundidad	Color		Densidad aparente	Humedad	Porosidad
ID	cm	ID	Nombre			
				g/cm <sup>3</sup>	%	%
PSL-P1	15	5YR 4/1	Dark gray			
	30	10YR-4/4	Dark yellowish brown	0,439	64,69	83,444
PSL-P2	15	10YR-4/2	Dark grayish brown			
	30	10YR-3/2	Very dark grayish brown	0,198	81,63	92,514
PSL-P3	15	10YR-3/1	Very dark gray			
	30	10YR-3/1	Very dark gray	0,646	52,94	75,617
PSL-P4	15	10YR-2/1	Black			
	30	10YR-2/1	Black	0,553	57,01	79,147
PSL-P5	15	10YR-2/1	Black			
	30	10YR-2/1	Black	0,706	52,47	73,364
PSL-P6	15	7.5YR-2.7/1	Black			
	30	10YR-2/1	Black	0,499	59,23	81,176
PSL-P7	15	7.5YR-2.5/1	Black			
	30	10YR-2/2	very dark brown	0,601	54,86	77,320
PSL-P8	15	10YR-2/1	Black			
	30	10YR-2/2	very dark brown	0,686	51,04	74,101
PSL-P9	15	10YR 3/1	very dark gray			
	30	10YR 2/1	Black	0,570	56,90	78,480
PSL-P10	15	7.5 YR 2.5/1	Black			
	30	7.5 YR 2.5/2	Black	0,522	56,27	80,284
PSL-P11	15	10YR 4/4	Dark yellowish brown			
	30	10YR 4/1	Dark gray	0,268	77,29	89,884
PSL-P12	15	7.5YR 4/3	Brow			
	30	7.5YR 4/2	Brow	0,340	70,54	87,156
PSL-P13	15	7.5YR 5/3	Brow			
	30	7.5YR 5/2	Brow	0,238	79,71	91,025
PSL-P14	15	10YR 4/4	Dark yellowish brown			
	30	10YR 4/1	Dark gray	0,462	60,26	82,548
PSL-P15	15	10YR 4/2	Dark grayish brown			
	30	10YR 4/1	Dark gray	0,307	74,78	88,401
PSL-P16	15	10YR 4/1	Dark gray			
	30	10YR 3/1	Very dark gray	0,640	49,69	75,860
PSL-P17	15	10YR 2/2	Very dark brown			
	30	10YR 2/1	Black	0,574	49,13	78,321

Puntos	Profundidad	Materia Orgánica		Carbono Orgánico		Carbono Orgánico del Suelo
ID	cm	MO		CO		COS
		g	%	g	%	Mg-C/ha
<b>PSL-P1</b>	<b>15</b>	1,2055	30,06	0,6992	17,44	114,76
	<b>30</b>	1,3817	28,57	0,8015	16,57	218,15
<b>PSL-P2</b>	<b>15</b>	1,6478	36,05	0,9558	20,91	62,23
	<b>30</b>	1,3688	28,67	0,7940	16,63	98,95
<b>PSL-P3</b>	<b>15</b>	0,7839	16,21	0,4547	9,41	91,16
	<b>30</b>	0,8479	17,39	0,4918	10,09	195,50
<b>PSL-P4</b>	<b>15</b>	0,8548	18,43	0,4958	10,69	88,60
	<b>30</b>	1,3083	26,84	0,7589	15,57	258,13
<b>PSL-P5</b>	<b>15</b>	0,887	18,73	0,5145	10,87	115,05
	<b>30</b>	0,8376	16,54	0,4858	9,59	203,14
<b>PSL-P6</b>	<b>15</b>	0,8493	18,24	0,4926	10,58	79,15
	<b>30</b>	1,1791	23,93	0,6839	13,88	207,70
<b>PSL-P7</b>	<b>15</b>	0,6679	15,75	0,3874	9,14	94,08
	<b>30</b>	1,276	25,91	0,7401	15,03	309,40
<b>PSL-P8</b>	<b>15</b>	1,1976	23,61	0,6947	13,70	123,48
	<b>30</b>	1,1858	23,65	0,6878	13,72	247,30
<b>PSL-P9</b>	<b>15</b>	0,6247	13,10	0,3624	7,60	65,02
	<b>30</b>	1,0469	20,28	0,6073	11,76	201,23
<b>PSL-P10</b>	<b>15</b>	0,6813	14,45	0,3952	8,38	65,67
	<b>30</b>	0,6574	14,74	0,3813	8,55	134,05
<b>PSL-P11</b>	<b>15</b>	2,4153	53,87	1,4010	31,25	125,64
	<b>30</b>	0,9983	20,96	0,5791	12,16	97,79
<b>PSL-P12</b>	<b>15</b>	1,0477	23,04	0,6077	13,37	68,24
	<b>30</b>	1,5604	35,01	0,9051	20,31	207,33
<b>PSL-P13</b>	<b>15</b>	1,4188	39,00	0,8230	22,62	80,70
	<b>30</b>	1,9952	44,14	1,1573	25,60	182,69
<b>PSL-P14</b>	<b>15</b>	1,5307	36,83	0,8879	21,36	148,20
	<b>30</b>	0,598	12,15	0,3469	7,05	97,78
<b>PSL-P15</b>	<b>15</b>	0,4061	8,38	0,2356	4,86	22,41
	<b>30</b>	0,281	5,72	0,1630	3,32	30,62
<b>PSL-P16</b>	<b>15</b>	0,5841	12,29	0,3388	7,13	68,38
	<b>30</b>	0,5264	11,09	0,3053	6,43	123,43
<b>PSL-P17</b>	<b>15</b>	0,7639	16,57	0,4431	9,61	82,84
	<b>30</b>	0,7527	17,50	0,4366	10,15	174,94

Puntos	Profundidad	Agregados					DMP	índice de estabilidad
		> 2 mm	2,0-0,250mm	0,250-0,053mm	< 53 um			
ID	cm	%	%	%	%	mm		
PSL-P1	15	78,03	14,43	6,61	0,94	4,07	Estable	
	30	74,25	14,58	8,85	2,31	3,89	Estable	
PSL-P2	15	80,75	10,26	6,32	2,66	4,16	Estable	
	30	54,43	17,80	22,15	5,62	2,96	Moderadamente est.	
PSL-P3	15	38,73	43,43	15,07	2,77	2,45	Moderadamente est.	
	30	51,48	40,71	6,29	1,51	3,04	Estable	
PSL-P4	15	60,05	29,31	8,79	1,84	3,35	Estable	
	30	72,66	21,68	3,72	1,93	3,88	Estable	
PSL-P5	15	50,57	30,00	17,07	2,36	2,89	Moderadamente est.	
	30	65,39	21,58	10,94	2,10	3,53	Estable	
PSL-P6	15	48,64	38,95	10,23	2,18	2,89	Moderadamente est.	
	30	73,69	21,93	2,72	1,66	3,94	Estable	
PSL-P7	15	59,19	31,21	7,84	1,76	3,32	Estable	
	30	47,45	33,69	13,77	5,10	2,77	Moderadamente est.	
PSL-P8	15	63,88	26,41	8,18	1,53	3,50	Estable	
	30	65,43	29,92	4,64	2,14	3,62	Estable	
PSL-P9	15	26,46	52,13	17,78	3,63	1,94	Moderadamente est.	
	30	40,33	43,47	13,69	2,51	2,53	Moderadamente est.	
PSL-P10	15	44,57	43,13	10,11	2,19	2,73	Moderadamente est.	
	30	54,39	31,78	6,22	7,61	3,09	Estable	
PSL-P11	15	63,16	28,82	5,37	2,65	3,49	Estable	
	30	67,84	19,50	9,66	3,01	3,63	Estable	
PSL-P12	15	46,78	35,39	14,31	3,52	2,76	Moderadamente est.	
	30	47,39	44,42	6,23	1,96	2,88	Moderadamente est.	
PSL-P13	15	80,08	14,46	2,96	2,51	4,17	Estable	
	30	58,52	26,41	10,90	4,17	3,24	Estable	
PSL-P14	15	60,55	31,74	5,12	2,60	3,39	Estable	
	30	15,12	25,81	53,09	5,99	1,13	Ligeramente est.	
PSL-P15	15	27,83	36,79	30,62	4,76	1,85	Moderadamente est.	
	30	28,04	40,71	26,81	4,45	1,90	Moderadamente est.	
PSL-P16	15	27,77	48,55	19,52	4,15	1,97	Moderadamente est.	
	30	12,63	56,09	24,56	6,72	1,30	Moderadamente est.	
PSL-P17	15	34,53	46,01	15,66	3,80	2,27	Moderadamente est.	
	30	29,10	52,54	15,21	3,15	2,07	Moderadamente est.	