



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**FACULTAD CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“ESTIMACIÓN DEL CARBONO DERIVADO DE LA MATERIA  
ORGÁNICA EN EL PÁRAMO DE LA COMUNIDAD CUMBIJÍN,  
DEL CANTÓN SALCEDO, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO  
ABRIL - AGOSTO 2019”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniera en Medio  
Ambiente

Autor:

Jiménez Rea Leticia Elizabeth

Tutor:

M.Sc. Espinosa Soto Juan Miguel

Latacunga - Ecuador

2019

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

Yo Jiménez Rea Leticia Elizabeth, declaro ser autor (a) del presente proyecto de investigación: “ESTIMACIÓN DEL CARBONO DERIVADO DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL PÁRAMO DE LA COMUNIDAD CUMBIJÍN, DEL CANTÓN SALCEDO, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO ABRIL - AGOSTO 2019”, siendo M.Sc. Espinosa Soto Juan Miguel, tutor (a) del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 22 de julio del 2019

---

Jiménez Rea Leticia Elizabeth

172346715-3

## **CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR**

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte Jiménez Rea Leticia Elizabeth, identificada/o con C.C. N° 172346715-3, de estado civil solteray con domicilio en Quito, a quien en lo sucesivo se denominará **LA/EL CEDENTE**; y, de otra parte, el Ing. MBA. Cristian Tinajero Jiménez, en calidad de Rector y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez Barrio El Ejido Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.- LA/EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “ESTIMACIÓN DEL CARBONO DERIVADO DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL PÁRAMO DE LA COMUNIDAD CUMBIJÍN, DEL CANTÓN SALCEDO, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO ABRIL - AGOSTO 2019” el cual se encuentra elaborado según los requerimientos académicos propios de la Facultad según las características que a continuación se detallan:

**Historial académico.-** Octubre 2014 - Agosto 2019

**Aprobación HCD.-** 04 de abril de 2019

**Tutor.-** M.Sc. Espinosa Soto Juan Miguel

**Tema:** “ESTIMACIÓN DEL CARBONO DERIVADO DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL PÁRAMO DE LA COMUNIDAD CUMBIJÍN, DEL CANTÓN SALCEDO, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO ABRIL - AGOSTO 2019”

**CLÁUSULA SEGUNDA.- LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.-** Por el presente contrato, **LA/EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA.- OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA/EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar

o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- f) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**CLÁUSULA QUINTA.-** El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA/EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.-** El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA.- CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.-** Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA/EL CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA.- LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS.- LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA/EL CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.-** El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en las cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.-** En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.-** Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así

como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare. En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 22 días del mes de julio del 2019.

---

Jiménez Rea Leticia Elizabeth

**EL CEDENTE**

---

Ing. MBA. Cristian Tinajero Jiménez

**EL CESIONARIO**

## **AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“ESTIMACIÓN DEL CARBONO DERIVADO DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL PÁRAMO DE LA COMUNIDAD CUMBIJÍN, DEL CANTÓN SALCEDO, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO ABRIL - AGOSTO 2019”, de Jiménez Rea Leticia Elizabeth, de la carrera de Ingeniería de Medio Ambiente, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 22 de julio del 2019

El Tutor

---

M.Sc. Espinosa Soto Juan Miguel

CI: 171347432-6

## **AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Lectores del Proyecto de Investigación con el título:

“ESTIMACIÓN DEL CARBONO DERIVADO DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL PÁRAMO DE LA COMUNIDAD CUMBIJÍN, DEL CANTÓN SALCEDO, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO ABRIL - AGOSTO 2019”, de Jiménez Rea Leticia Elizabeth, de la carrera de Ingeniería de Medio Ambiente, consideramos que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 22 de julio del 2019

Para constancia firman:

---

**Lector 1 (Presidente)**

Ph.D. Vicente Cordova

CI: 180163492-2

---

**Lector 2**

Mg. Jaime Lema

CI: 1713755993-2

---

**Lector 3**

Mg. Polivio Moreno

CI: 050104764-1

## **AGRADECIMIENTO**

La vida nos lleva por caminos diferentes, pero en el camino encontramos personas maravillosas que con su presencia nos ayudan a ser mejores. He contado con la dicha de encontrarme con muchas de ellas y es necesario mostrarles mi gratitud. Gracias M.Sc. Juan Espinosa, por apoyarme en la investigación, compartir sus conocimientos y la paciencia que siempre presento. Como olvidar a mis amigos que con cada locura, buenos consejos permanecieron siempre ahí. Gracias Lore, Santy, Marce, Vicky Gaby.



## **DEDICATORIA**

El presente trabajo esta dedicado a mis padres que gracias a su esfuerzo, trabajo y dedicación siempre están ahí apoyándome en cada decisión. A mis tres hermanos que con su compañía y amor han sido el complemento perfecto para mi vida. El esfuerzo de todos como familia es lo que hoy en día me ayuda a dar un pasito mas en mi carrera, viviere eternamente agradecida por la familia que me toco. Los amo con vida, porque cada derrota a sido suya, al igual que mis logros.

**Eli**

## RESUMEN

### ESTIMACIÓN DEL CARBONO DERIVADO DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL PÁRAMO DE LA COMUNIDAD CUMBIJÍN, DEL CANTÓN SALCEDO, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO ABRIL - AGOSTO 2019

Jiménez Rea Leticia Elizabeth<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica de Cotopaxi. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.

Ingeniería Ambiental.

leticia.jimenez3@utc.edu.ec

El contenido de carbono derivado de materia orgánica en el suelo es un importante indicador del balance captura – emisiones de  $CO_2$  a nivel global. En el presente estudio se estimó el contenido de carbono orgánico en el suelo del páramo de la comunidad de Cumbijín (40.7 km<sup>2</sup>). El estudio constó de tres etapas, las cuales fueron el muestreo de campo, el análisis de laboratorio y el análisis geoestadístico. El contenido de carbono en el suelo del páramo, se obtuvo a partir de 20 muestras, las cuales fueron sometidas al método de calcinación propuesto por Walkley & Black (1934), para obtener el porcentaje de materia orgánica (MO) y la relación que existe con el porcentaje carbono orgánico, utilizando el factor de conversión de Van Bemmelen (1,72). Estos datos fueron interpolados a partir del método de KRIGIN. La investigación dio como resultados rangos de porcentaje de 4,39- hasta 20.88 del CO respecto al total del peso del suelo, con un promedio de 12,33 %. Finalmente a partir del cálculo de la densidad aparente se obtuvo un promedio de 2,47 ton/ha a 30cm de profundidad, estos datos reflejan que existen concentraciones relativamente altas en relación a otros tipos de suelos.

**Palabras clave:** Carbono Orgánico, Calcinación, análisis geoestadístico, concentración, captura, emisiones

## ABSTRACT

### ESTIMATION OF CARBON CONTENT, DERIVED FROM ORGANIC MATTER, IN THE PARAMO OF THE CUMBIJIN COMMUNITY, COTOPAXI PROVINCE. APRIL - AUGUST 2019 PERIOD

Jiménez Rea Leticia Elizabeth<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technical University of Cotopaxi. Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources.

Environmental Engineering.

leticia.jimenez3@utc.edu.ec

The carbon content derived from organic matter in the soil is an important indicator of the capture balance - CO<sub>2</sub> emissions globally. In the present study, the organic carbon content in the soil of the moor of the community of Cumbijín (40.7 km<sup>2</sup>) was estimated. The study consisted of three stages, which were field sampling, laboratory analysis, and geostatistical analysis. The carbon content in the soil of the moor, was obtained from 20 samples, which were subjected to the calcination method proposed by Walkley & Black (1934), to obtain the percentage of organic matter (MO) and the ratio that exists with the percentage organic carbon, using the Van Bemmelen conversion factor (1.72). These data were interpolated from the KRIGIN method. The investigation resulted in percentage ranges of 4.39- up to 20.88 % of the CO with respect to the total soil weight, with an average of 12.33 % percent. Finally, from the calculation of the apparent density, an average of 2.47 ton / ha at 30cm depth was obtained, these data reflect that there are relatively high concentrations in relation to other types of soils.

**Keywords:** Organic Carbon, Calcination, geostatistical analysis, concentration, capture, emission.

# CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>BENEFICIARIOS DEL PROYECTO</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS</b>	<b>6</b>
<b>7</b>	<b>FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA</b>	<b>9</b>
7.1	Páramo. . . . .	9
7.1.1	Clasificación de los páramos.....	10
7.1.2	Servicios ecosistémicos del páramo.....	11
7.1.3	Degradación de los ecosistemas de páramo.....	11
7.1.4	Condiciones climatológicas de los páramos.....	12
7.1.5	Ecosistema de Páramo.....	13
7.1.6	Páramos en la provincia de Cotopaxi.....	13
7.2	El suelo.....	13
7.2.1	Clasificación de los suelos.....	14
7.3	El Carbono.....	19
7.3.1	Ciclo de carbono.....	19
7.4	Carbono orgánico.....	20
7.4.1	Fijación de carbono en suelos.....	21
7.4.2	Pérdida de carbono orgánico del suelo.....	21
7.4.3	Almacenamiento de carbono en los páramos.....	21
7.5	Gases efecto invernadero.....	22
7.6	Geoestadística.....	22
7.6.1	Estadística espacial.....	22
7.6.2	Método de interpolación Kriging.....	23
7.7	Concentración de CO en suelos del Ecuador.....	23

7.7.1	Por Provincias .....	23
7.7.2	Por estado de Conservación .....	24
7.7.3	Suelos con características similares .....	24
7.8	Marco legal .....	24
<b>8</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>27</b>
8.1	Área de estudio. ....	28
8.1.1	Ubicación. ....	28
8.1.2	Características Climáticas del Área de Estudio. ....	29
8.2	Modelo de muestreo. ....	29
8.2.1	Criterios para la selección de la técnica de muestreo. ....	29
8.2.2	Tamaño del área y número de muestras. ....	30
8.2.3	Uso del suelo. ....	30
8.2.4	Criterios a considerar para la toma de muestras. ....	31
8.3	Determinación de Carbono Orgánico. ....	32
8.3.1	Procedimiento. ....	32
8.3.2	Análisis de datos. ....	33
8.3.3	Estadística descriptiva. ....	33
8.3.4	Geoestadística. ....	34
8.3.5	Kriging. ....	37
<b>9</b>	<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>40</b>
9.1	Modelo de muestreo.....	40
9.1.1	Tipo de Muestreo.....	40
9.1.2	Número de Muestras .....	43
9.1.3	Puntos de Muestreo .....	44
9.2	Determinación de Carbono Orgánico .....	44
9.2.1	Contenido de Materia Orgánica .....	44
9.2.2	Contenido de Carbono Orgánico.....	45
9.2.3	Contenido de Carbono Orgánico.....	47
9.2.4	Histograma .....	49
9.2.5	QQplot.....	50
9.2.6	Boxplot.....	50
9.3	Análisis geoestadístico.....	51

9.3.1	Predicción.....	51
9.3.2	Mapas .....	51
9.3.3	Porcentaje de carbono orgánico .....	52
9.4	Discusión de Resultados .....	54
9.4.1	Por estado de Conservación .....	54
9.4.2	Suelos con características similares .....	55
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>56</b>
<b>11</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>57</b>
<b>12</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>58</b>
<b>13</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>61</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

1	Clasificación de los Páramos .....	10
2	Condiciones climatológicas de los páramos .....	12
3	Suelo Alfisol .....	14
4	Suelo Andosol.....	15
5	Suelo Aridisol .....	15
6	Suelo Entisol.....	16
7	Suelo Histosol.....	16
8	Suelo Inceptisol.....	17
9	Suelo Molisol.....	17
10	Suelo Oxisol.....	18
11	Suelo Vertisol .....	18
12	Suelo Utilisol .....	19
13	Ciclo de carbono .....	20
14	Esquema Metodológico .....	27
15	Criterios a considerar para la toma de muestras .....	31
16	Histograma.....	35
17	Normal QQplot .....	35
18	Trend analysis .....	36
19	Semivariograma.....	36
20	Kriging.....	37
21	Semivariograma covariance modeling .....	38
22	Searching neighborhood .....	38
23	Cross validation .....	39
24	Área de estudio .....	40
25	Taxonomía del suelo del páramo de Cumbijín.....	41
26	Área Protegida del páramo de Cumbijín.....	42
27	Puntos de muestreo de suelo.....	43
28	Área Protegida del páramo de Cumbijín.....	47
29	Histograma % CO .....	50

30	QQplot % CO.....	50
31	Boxplot % CO.....	51
32	Porcentaje de Materia orgánica.....	52
33	Porcentaje de carbono orgánico.....	53
34	Grupo de Trabajo.....	64
35	Socialización del proyecto de investigación.....	64
36	Área de estudio.....	64
37	Remoción de cobertura vegetal.....	65
38	Extracción de la muestra.....	65
39	Zona de alta retención hídrica.....	66
40	Humedal.....	66
41	Estandarización de la muestra.....	67
42	Secado 105°C.....	67
43	Muestra horno.....	68
44	Enfriamiento de la muestra.....	68
45	Medición del peso del crisol con muestra.....	69
46	Calibración de la temperatura para calcinación.....	69
47	Muestras de suelo en la mufla.....	70



## ÍNDICE DE TABLAS

1	Beneficiarios del Proyecto. . . . .	3
2	Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados. . . . .	6
2	Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados. . . . .	7
2	Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados. . . . .	8
3	Superficie de los Páramos en Cotopaxi por cantones .....	13
4	Contenido de CO en % por provincias del Ecuador.....	23
5	Contenido de CO en % por estado se conservación.....	24
6	Suelos con características similares.....	24
7	División Política .....	28
8	Límites Administrativos .....	28
10	Puntos de Muestreo.....	44
11	Resultados del proceso de calcinación, Contenido de materia orgánica.....	45
12	Porcentaje Materia Orgánica .....	46
13	Porcentaje Carbono Orgánico.....	46
14	Carbono orgánico ton/ha.....	48
15	Estadísticos descriptivos.....	49

## 1 INTRODUCCIÓN

Uno de los principales indicadores de calidad en los suelos es el carbono orgánico (CO). Tiene una fuerte relación con los flujos de carbono global y con el cambio climático. Los flujos de carbono orgánico en el suelo (COS) son positivos bajo la forma de captura o negativos como emisiones de CO<sub>2</sub>. Es importante estimar la cantidad contenida en un área determinada y disponer valores con el fin de establecer la relación que existe con los gases de efecto invernadero en los páramos. El método de combustión seca propuesto por Walkley & Black (1934), cuantifica de forma directa el contenido de materia orgánica (MO) posterior a un proceso de calcinación, que consiste en someter a las muestras a elevadas temperaturas (650°C). Para la determinación de COS se empleó el factor de Van Bemmelen (1,72) que asume la MO está compuesta un 58 por ciento de CO. Se realizó en tres etapas, durante la primera etapa se delimitó el área de estudio, estableciendo los puntos de muestreos a realizar y la obtención de muestras de los mismos. El proceso se basó en el protocolo de muestreo, establecido por la “Guía técnica para muestreo de suelo” elaborado por la Universidad Nacional Agraria y el Programa de Agricultura, Suelo y Agua de Nicaragua. En la segunda etapa se realizó un análisis de laboratorio, con los datos obtenidos posterior a la calcinación. Este método evalúa el contenido de CO en turbas, lodos orgánicos y suelos que contengan material vegetal que no se encuentre en descomposición total o parcial (materias de plantas frescas como raíces, pastos, madera entre otros). El método proporciona un valor cuantitativo del contenido de la materia orgánica presente en la muestra de análisis. Para establecer el contenido de CO se emplea el factor de Van Belmelent ( $f= 1,72$ ). Se establece que el carbono es el principal elemento en la materia orgánica con un 48-58 por ciento del peso total, se tiene como supuesto que la materia orgánica contiene 58 por ciento de carbono orgánico. Los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente para determinar su distribución y determinar datos atípicos en el estudio. Para el proceso de estimación del CO, el análisis espacial es fundamental, utilizando y de forma más específica la interpolación por el método de Kriging. Esto genera una superficie estimada a partir de los valores  $z$  que representa el comportamiento espacial del fenómeno.

## **2JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

La presente investigación se realizó, para generar información del contenido de carbono orgánico, que existe en el páramo de la comunidad de Cumbijín. El COS se relaciona con la sostenibilidad de los sistemas superficiales de la corteza terrestre, específicamente con el balance carbono orgánico e inorgánico, fluctuaciones, almacenamiento y descompensaciones. Se suele considerar que el cambio climático es un fenómeno que solo ocurre en la atmósfera, sin embargo por efectos de la fotosíntesis, el carbono es absorbido por las plantas, llegando una proporción del mismo a los suelos almacenándose en forma de CO, por esta razón los suelos son considerados como el segundo sumidero de carbono a nivel mundial. Los páramos, debido a sus características, hacen que la descomposición de materia orgánica sea de forma más lenta, haciendo que gran parte de la MO y CO se concentre en el suelo y dada su sensibilidad a cambios climáticos es uno de los ecosistemas que presenta mayor fragilidad. Existen grandes lagunas de información en relación al comportamiento de este fenómeno en este ecosistema, por lo que no se conoce la relación y dinámica entre las fluctuaciones de carbono en la atmósfera y en el suelo. El suelo de páramo constituye un indicador importante para evaluar este fenómeno, sin embargo, no existen muy pocos estudios, y no se puede establecer una línea base de precisión. En este sentido se evaluó el contenido de CO derivado de MO en el páramo de Cumbijín, mismo pertenece al Parque Nacional Llanganates. Tomando en cuenta estas consideraciones, el presente estudio proporciona información valiosa de la respuesta que este ecosistema presenta en relación a los des balances existentes en los sistemas globales producto del cambio climático y constituye una herramienta valiosa para gestores, técnicos y público en general con el fin de tomar medidas de gestión que contribuyan a la mitigación del cambio climático y la conservación de ecosistemas frágiles.

### 3 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

**Tabla 1:** Beneficiarios del Proyecto

BENEFICIARIOS		MUJERES	HOMBRES	TOTAL
DIRECTOS	Cumbijín	356	504	860
INDIRECTOS	San Miguel Salcedo	16.265	15.050	31.315
TOTAL		32.175 Habitantes		

**Elaborado por:** Jiménez L. (2019)

#### **4PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

El déficit de información de estudios de carbono orgánico contenido en los suelos de los páramos es un importante problema, ya que no se conoce valores de COS y ubicaciones que poseen mayor concentración del mismo. Las causas del problema son la falta de investigaciones en ese sentido, lo que provoca un déficit de herramientas que fundamenten la gestión en temas relacionados al cambio climático y dificultan la toma de medidas sustentadas para la mitigación de este fenómeno. La causa del problema se manifiesta en todos los ámbitos, en el campo legal existe ausencia de un marco jurídico relacionado con la conservación, uso y aprovechamiento sostenible del páramo en el Ecuador, esto ha limitado las estrategias, planes y propuestas destinados a evitar su desaparición, y por ende la pérdida de sus recursos naturales y biodiversidad asociados. Estas dificultades se presentan con mayor intensidad en ecosistema de páramo ya que por sus condiciones naturales, es uno de los más frágiles y susceptibles a cambios. Dada su sensibilidad, puede presentar disminución en el contenido de carbono orgánico con variaciones climáticas a nivel global. Por lo general se considera que el cambio climático solo se relaciona con las fluctuaciones atmosféricas, sin embargo no se toma en cuenta la influencia de otros factores como el suelo, el agua, la vegetación, etc., factores que están estrechamente relacionados con el ciclo del carbono, de ahí la importancia de evaluar las variaciones de concentraciones de COS. Existen ciertos indicios científicos que indican que el contenido de carbono y humedad en el suelo se han visto afectados por el incremento de la temperatura a nivel global y los cambios en los regímenes de precipitaciones. Además, estos cambios contribuyen también a que los microorganismos presentes en los suelos descompongan de forma más rápida la materia orgánica en CO<sub>2</sub>, liberando más gases de efecto invernadero (GEI) al ambiente.

## **5OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Estimar el carbono derivado de materia orgánica contenido en el suelo del páramo de comunidad de Cumbijín, Cantón Salcedo, Provincia de Cotopaxi en el periodo Agosto 2019.

### **Objetivos Específicos**

- 1.Establecer un modelo de muestreo para el suelo del páramo de Cumbijín.
- 2.Determinar el Contenido de CO mediante método de calcinación de Walkley & Black
- 3.Analizar geoestadísticamente, el contenido de carbono orgánico almacenado en el páramo de Cumbijín.

## 6ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

**Tabla 2:** Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados

<b>Objetivo específico</b>	<b>Actividad</b>	<b>Detalle de la actividad</b>	<b>Medios de verificación</b>
Objetivo 1.- Establecer un modelo de muestreo, para la obtención de analitos del suelo del páramo de Cumbijín	Delimitación del área de estudio	La delimitación del área de estudio se realizó mediante la utilización del trabajo elaborado por el trabajo realizado por Grupo de Investigación de Calidad de Agua y Recursos Hídricos	Mapas
	Determinación de los sitios de muestreo	Los sitios de muestreo se determinaron mediante un recorrido de campo, que permitió identificar las zonas que presenten mayor accesibilidad para la toma de muestras	Registro fotográfico
	Extracción de las muestras de suelo	La extracción de la muestra, se realizo a una profundidad de 30cm, ya que ahí se concentra la mayor cantidad de carbono orgánico	Registro fotográfico

**Tabla 2:** Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados

<b>Objetivo específico</b>	<b>Actividad</b>	<b>Detalle de la actividad</b>	<b>Medios de verificación</b>
	Manejo y transporte	El manejo y transporte de las muestras se realizó en fundas herméticas debidamente etiquetadas	Registro fotográfico
Objetivo 2.- Determinar el Contenido de CO mediante método de calcinación de Walkley & Black	Estandarizar la muestra	Para la estandarización de la muestra se consideró el siguiente criterio, Si la muestra es tomada en época lluviosa, con una humedad superior a la capacidad de campo, y las posibilidades de transportarlas al laboratorio son mayores a 24 horas, es recomendable secar al aire libre.	Registro fotográfico Hoja de cálculo
	Proceso de preparatorio de la muestra	Secado de la muestra, tamizaje para la eliminación de raíces presentes en la muestra.	Registro fotográfico
	Proceso de calcinación	Para el proceso de calcinación se realizaron pesajes de la muestra antes y después de la calcinación, para conocer la variación de peso que existente.	Registro fotográfico Hoja de cálculo
	Obtención de datos	El procesamiento de los datos obtenidos se realizaron mediante la aplicación de formulas que permitieron calcular el porcentaje de MO y posteriormente el porcentaje de CO en cada una de las muestras.	Registro fotografico Hoja de cálculo



**Tabla 2:** Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados

<b>Objetivo específico</b>	<b>Actividad</b>	<b>Detalle de la actividad</b>	<b>Medios de verificación</b>
Objetivo 3.-Analizar geo estadísticamente, el contenido de carbonoorgánico almacenado en el páramo de Cumbijin	Construcción de una base de datos.	Una vez obtenida la hoja de calculo con los datos de MO y CO, se realizó un análisis estadístico, para conocer la existencia de datos atípicos en el estudio.	Análisis estadístico programa R  Análisis ArcGIS
	Análisis espacial de la distribución de datos	Los datos obtenidos, se analizaron mediante los variogramas	Análisis ArcGIS
	Interpolación	Interpolación se realizó mediante el método Kriging	Análisis ArcGIS
	Elaboración del mapa	Elaboración de mapas de concentración de MO y CO.	Análisis ArcGIS

**Elaborado por:** Jiménez L. (2019)

## **7 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA**

### **7.1 Páramo**

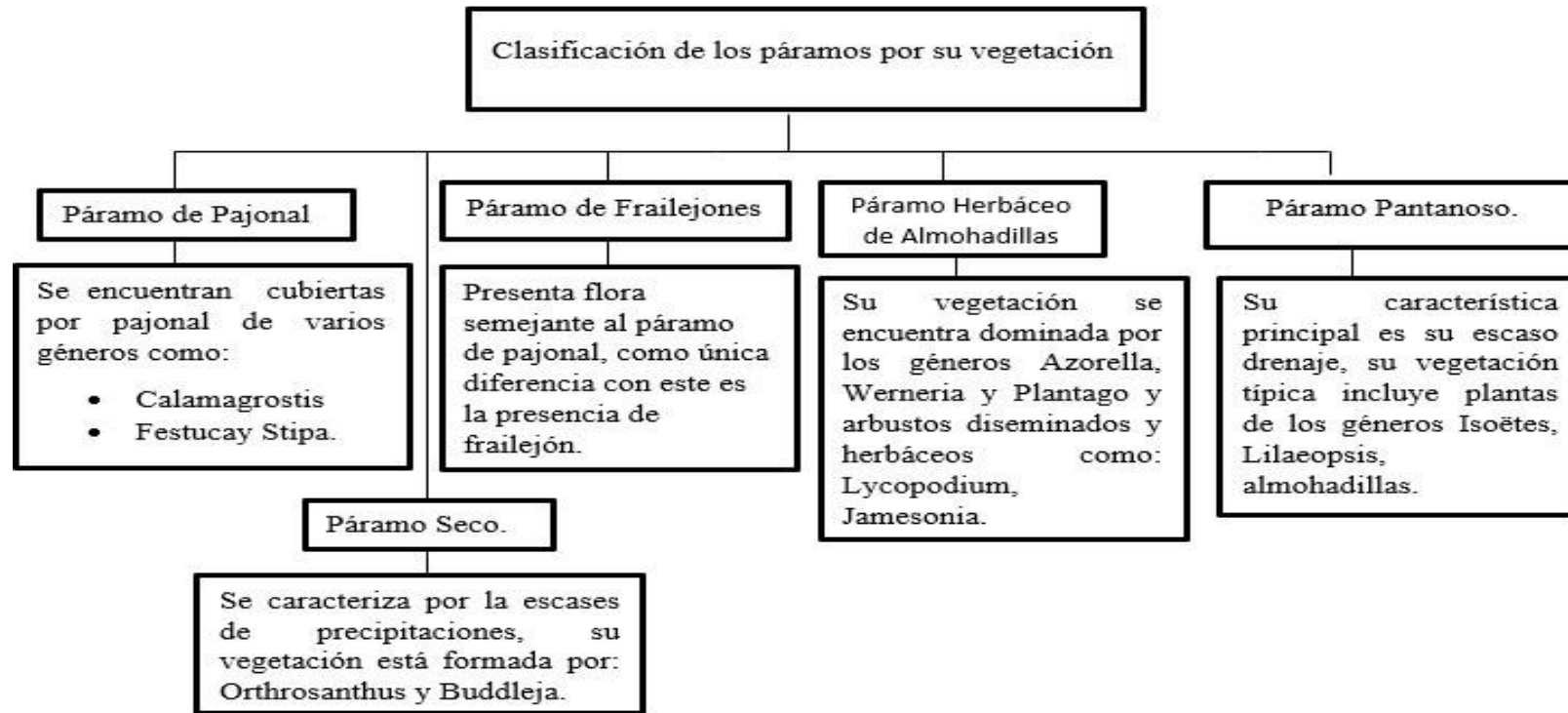
Según la Ley de Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad del Ecuador se define Páramo como:

*“Ecosistema tropical alto andino que se extiende en los Andes septentrionales, entre el actual o potencial límite superior de bosque andino cerrado y la línea de nieve perpetua, caracterizado por una vegetación dominante no arbórea, alta irradiación ultravioleta, bajas temperaturas y alta humedad.”*

El páramo al ser un ecosistema natural, se encuentra dominado por pajonales, rosetales, arbustales, humedales y pequeños bosquetes (Hofstede Robert,2001). Se encuentran principalmente en las partes altas de los Andes Ecuatorianos, entre aproximadamente los 3.500 metros hasta la altitud en la que las condiciones climáticas y edáficas permitan la existencia de vida, es un ecosistema el cual se caracteriza por su clima frío y es muy frágil a los cambios en el uso de la tierra. (Ayala, Villa & Mendoza,2017) por otra parte Hofstede Robert (2001) manifiesta que las altitudes entre las que se encuentra este ecosistema varían bastante, pero, en términos generales, se encuentra sobre la línea de bosques continuos o los bosques andinos. En el Ecuador el páramo cubre alrededor de 1.250.000 ha, es decir aproximadamente un 6 por ciento del territorio nacional En términos relativos, el Ecuador es el país que más páramos tiene con respecto a su extensión total. (Vásconez & Robert Hofstede,2006).

### 7.1.1 Clasificación de los páramos

Existen diferentes formas de clasificar a los páramos, según su altura y temperatura y el tipo de vegetación que presentan.



**Figura 1:** Clasificación de los Páramos  
**Elaborado por:** Jiménez L. (2019).  
**Fuente:** Vásconez y Robert Hofstede (2006)

### **7.1.2 Servicios ecosistémicos del páramo**

Degradación de los ecosistemas de páramo El ecosistema de páramo proporciona diversos servicios como: la provisión y regulación hídrica, conservación de la biodiversidad, captura de carbono, regulación climática y provisión de hábitats, es decir, producen cuatro funciones ecosistémicas: Regulación, capacidad para regular procesos ecológicos esenciales y los sistemas de soporte de vida; Habitación: proporcionan el espacio vital indispensable para diferentes tipos de flora y fauna, provisión de recursos naturales; Información: proporcionan una función de referencia y contribuyen a la salud humana. (Rojas,2011). Pese a que los páramos, humedales y bosques alto andinos son las fuentes de agua más importantes de la región, la dinámica de las cuencas hidrográficas, es deficitaria su valoración, y es por ello que es difícil alcanzar una gestión integrada del manejo del recurso hídrico y un aprovechamiento sostenible del mismo García (2013).

### **7.1.3 Degradación de los ecosistemas de páramo**

Existen diferentes factores antropogénicos que alteran o degradan al ecosistema de páramo, dada la sensibilidad que presentan. Se pueden resaltar problemas como la fragmentación de hábitad, la destrucción de cobertura vegetal, la introducción de especies, el pastoreo, la quema de pajonales, la desecación de humedales, el turismo sin control, entre otros (Hofstede Robert,2001). Estas acciones al realizarlas de forma continua, generan la pérdida progresiva de cobertura vegetal y la pérdida de la capacidad de almacenamiento e infiltración del recurso hídrico, y la degradación de suelo Morales-Betancourt y Estévez-Varón (2006).

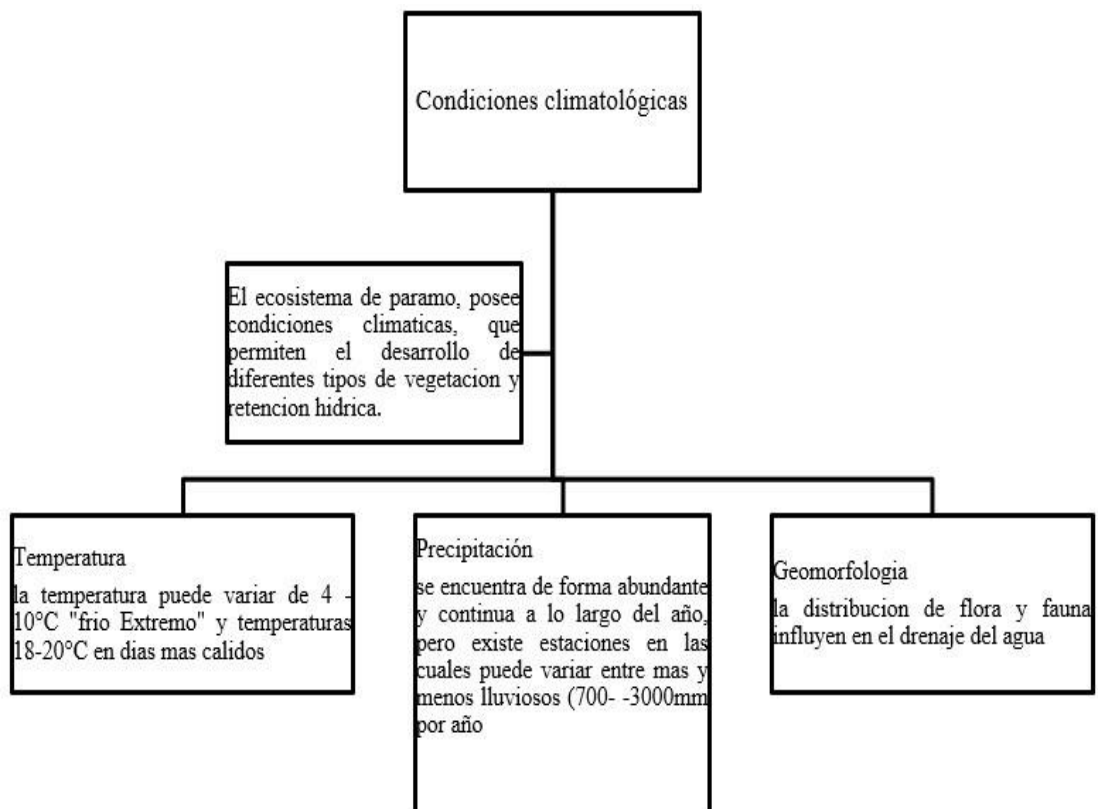
#### **7.1.3.1 Principales factores que afectan a los páramos**

El cambio climático, es uno de los principales factores que afectan al ecosistema de páramo, ya que es un ecosistema que presenta alta fragilidad, debido a sus condiciones climáticas, es decir presentan cambio como aumento de temperatura, diferentes regímenes de precipitaciones y nubosidad, mismos que al estar ubicados en alta montaña, no tienen pisos térmicos más fríos a los cuales desplazarse. Otro de los factores que afectan al páramo es la deforestación o reforestación, ya que al introducir especies exóticas son también una amenaza, así como la

falta de conocimiento sobre su importancia y características. (Ceballos,1960). El suelo es un cuerpo natural, el cual no se encuentra consolidado, su estructura está compuesta por líquidos, gases y solidos como material mineral y orgánicos, los cuales se pueden identificar en cada uno de sus horizontes o capas diferenciales, las cuales son el resultado de la interacción presente en adiciones, pérdidas, transferencias, transformaciones de energía y materia que se dan a través del tiempo, y cuyo espesor puede ir desde la superficie terrestre hasta varios metros de profundidad (Jackson, 2000).

#### 7.1.4 Condiciones climatológicas de los páramos

La Fig.2 muestra las condiciones climatológicas de los ecosistemas de páramo como temperatura y precipitación.



**Figura 2:** Condiciones climatológicas de los páramos

**Fuente:** Aguilar (1996). **Elaborado por:** Jiménez L. (2019).

### 7.1.5 Ecosistema de Páramo

El páramo es característico por pajonales, rosetales, arbustales, humedales y pequeños bosquetes. Es un ecosistema de clima frío, (Hofstede Robert,2001). El páramo se sitúa en Los Andes en altitudes comprendidas entre los 3000 y los 4500 msnm. Es un ecosistema de alta montaña el cual se extiende entre Perú Colombia, Venezuela y Ecuador, es uno de los ecosistemas menos conocidos pese a su importancia por la biodiversidad de alta montaña Izco, Pulgar, Aguirre y Santin (2007).

### 7.1.6 Páramos en la provincia de Cotopaxi

Los páramos de Cotopaxi ocupan una extensión de 105.000 hectáreas, es decir el 17 % de la superficie de la provincia y el 8 % del total de páramo existente en el Ecuador

**Tabla 3:** Superficie de los Páramos en Cotopaxi por cantones

<b>Cantón</b>	<b>%</b>	<b>Has.</b>
Latacunga	41.90	44.04
Pujilí	38.80	40.20
Salcedo	14.10	14.84
Sigchos	3.80	3.94
Pangua	1.50	1.60
Saquisilí	0.40	433.00
<b>Total</b>	<b>100.00</b>	<b>105.05</b>

**Fuente:** Proyecto Páramo

### 7.2El suelo

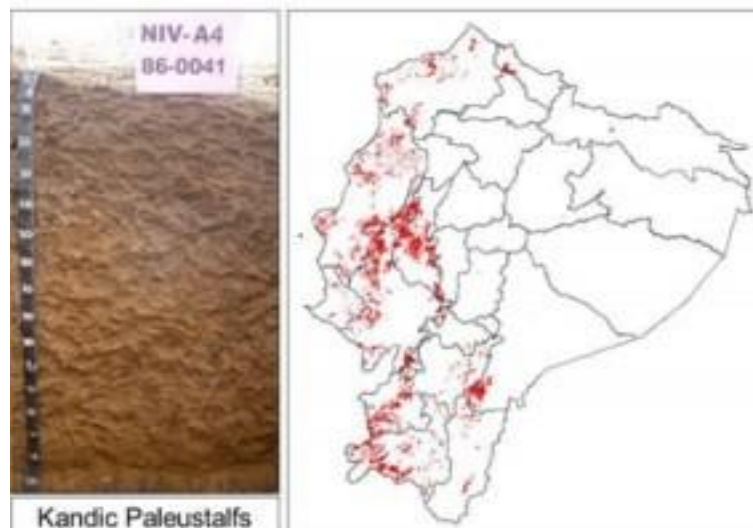
El suelo es un cuerpo natural, el cual no se encuentra consolidado, su estructura está compuesta por líquidos, gases y sólidos como material mineral y orgánicos, los cuales se pueden identificar en cada uno de sus horizontes o capas diferenciales, las cuales son el resultado de la interacción presente en adiciones, pérdidas, transferencias, transformaciones de energía y materia que se dan a través del tiempo, y cuyo espesor puede ir desde la superficie terrestre hasta varios metros de profundidad (Jackson, 2000).

## 7.2.1 Clasificación de los suelos

### 7.2.1.1 Alfisoles

Suelo mineral, tienen un horizonte superficial claro (epipedón ócrico) sobre un horizonte enriquecido con arcilla (horizonte argílico o nátrico o kándico) producto de la translocación de arcilla del horizonte superficial. se desarrollan sobre relieves muy antiguos o en paisajes jóvenes pero que han permanecido estables.

Área: 1 044 782 ha.

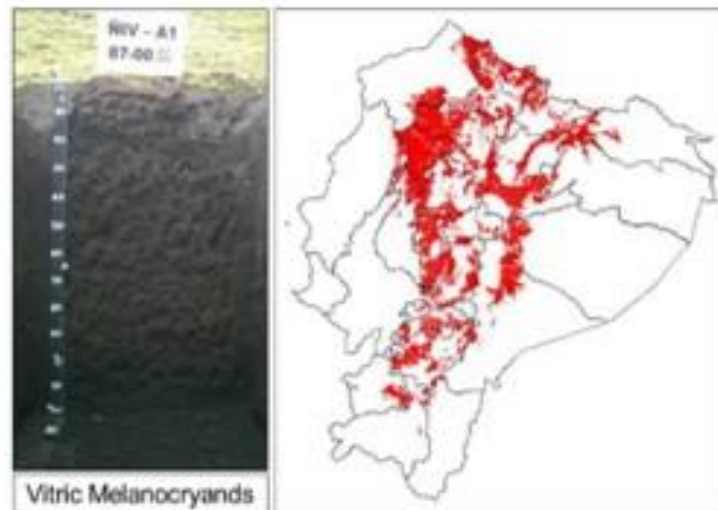


**Figura 3:** Suelo Alfisol

**Fuente:** Ministerio de Agricultura - SIGTIERRAS (2017)

### 7.2.1.2 Andosoles

Suelos generalmente de color negro, son suelos que presentan un buen drenaje y con buena retención de humedad por la estructura que poseen Área: 3 819 796 ha.



**Figura 4:** Suelo Andosol

**Fuente:** Ministerio de Agricultura - SIGTIERRAS (2017)

### 7.2.1.3 Aridisoles

Suelos que presentan minerales jóvenes y poco evolucionados que se encuentran en áreas secas, muy secas y cálidas, poseen un régimen de humedad arídico o tórrico,

Área: 167 273 ha



**Figura 5:** Suelo Aridisol

**Fuente:** Ministerio de Agricultura - SIGTIERRAS (2017)



#### 7.2.1.4 Entisoles

Suelos caracterizados por ser los de más baja evolución, con muy poca o ninguna evidencia de formación de horizontes edafogénicos Área: 1 324 302 ha.

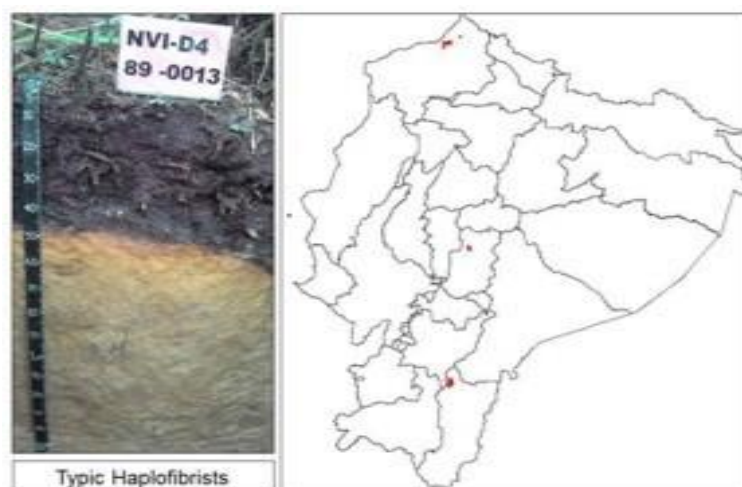


**Figura 6:** Suelo Entisol

**Fuente:** Ministerio de Agricultura - SIGTIERRAS (2017)

#### 7.2.1.5 Histosoles

Se encuentran limitados por cuencas pobremente drenadas, depresiones, pantanos y tierras pantanosas con nivel freático somero y áreas de tierras altas con una elevada relación de precipitación/evapotranspiración. Área: 3 085 ha.



**Figura 7:** Suelo Histosol

**Fuente:** Ministerio de Agricultura - SIGTIERRAS (2017)

### 7.2.1.6 Inceptisoles

Son suelos ligeramente más desarrollados que los Entisoles, aparecen suelos con uno o más horizontes de diagnóstico cuya génesis es de rápida formación, con procesos de translocación de materiales. Área: 8 571 823 ha.



**Figura 8:** Suelo Inceptisol

**Fuente:** Ministerio de Agricultura - SIGTIERRAS (2017)

### 7.2.1.7 Molisoles

En su gran mayoría son de color negro, ricos con bases de cambio, muy comunes de las áreas originalmente de praderas, con abundantes materiales orgánicos y de consistencia y estructura favorables al desarrollo radicular. Área: 1 872 652 ha.

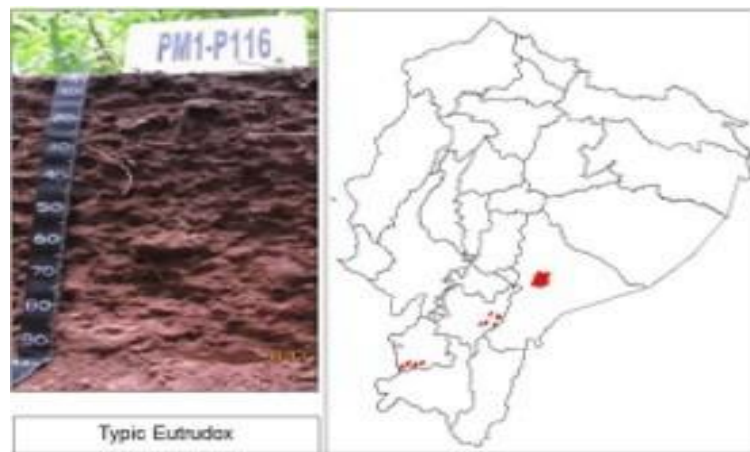


**Figura 9:** Suelo Molisol

**Fuente:** Ministerio de Agricultura - SIGTIERRAS (2017)

### 7.2.1.8 Oxisoles

Suelos minerales con baja fertilidad natural de las zonas tropicales cálidas y húmedas que han sufrido intensos y prolongados procesos de meteorización y lavado, lo que posibilita la formación de éstos suelos maduros. Área: 18 642 ha.

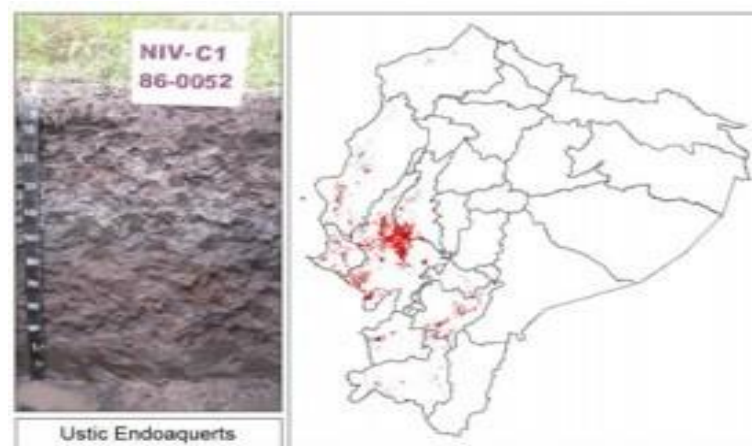


**Figura 10:** Suelo Oxisol

**Fuente:** Ministerio de Agricultura - SIGTIERRAS (2017)

### 7.2.1.9 Vertisoles

Son suelos arcillosos que presentan como característica principal grietas anchas y profundas en alguna época del año. Por lo general tienen poca materia orgánica, alta saturación con bases y predominio de montmorillonita en su composición mineralógica. Área: 405 823 ha.

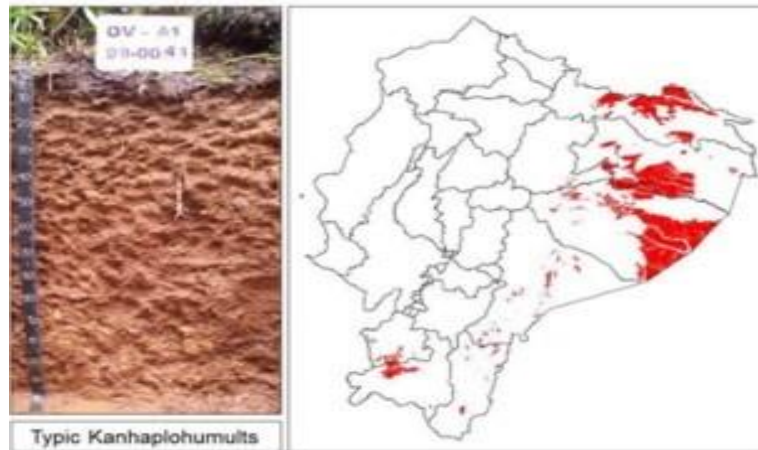


**Figura 11:** Suelo Vertisol

**Fuente:** Ministerio de Agricultura - SIGTIERRAS (2017)

### 7.2.1.10 Utilisoles

Son suelos ácidos debido a su baja saturación con bases, ocasionando que no todos los cultivos puedan desarrollarse sobre éstos. No obstante, si se “regeneran” estos suelos mediante técnicas para reducir su acidez, pueden emplearse para el cultivo de ciertas especies. Área: 1 746 296 ha.



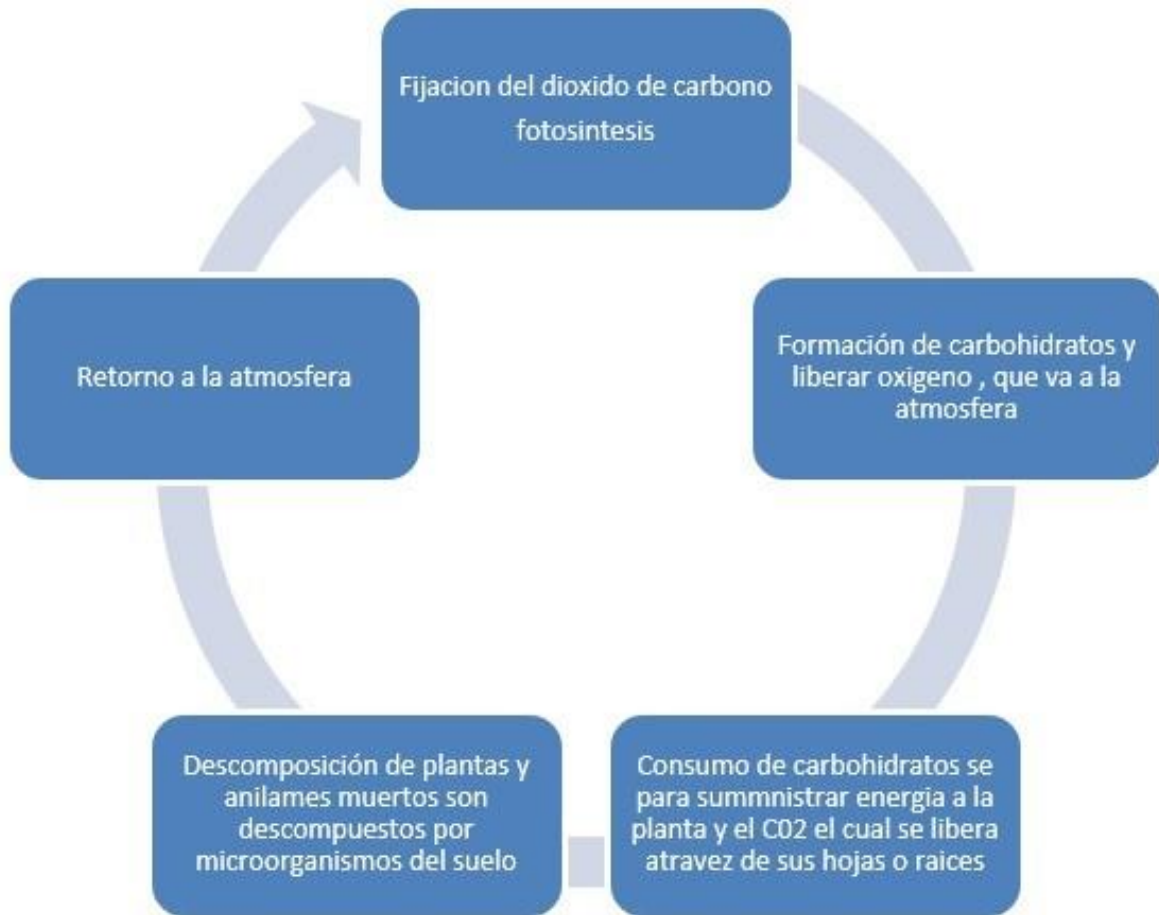
**Figura 12:** Suelo Utilisol

**Fuente:** Ministerio de Agricultura - SIGTIERRAS (2017)

## 7.3 El Carbono

### 7.3.1 Ciclo de carbono

El ciclo de carbono incluye procesos a diferentes escalas, como la fotosíntesis y la descomposición. El carbono es uno de los principales elementos químicos dentro de los compuestos de la naturaleza orgánica, la atmósfera el suelo y el subsuelo, en los cuales conforman depósitos de carbono, el paso entre el depósito ocurre mediante el intercambio de carbono entre el depósito terrestre y atmosférico, el cual resulta de la fotosíntesis y la respiración, así como la emisión de gases de origen antrópico Orejuela (2018).



**Figura 13:** Condiciones Ciclo de carbono

**Elaborado por:** Jiménez L. (2019).

**Fuente:** Orejuela (2018)

#### 7.4 Carbono orgánico

El COS es un componente principal en el ciclo del carbono, ya que ocupa un 68 % de CO de la biosfera (FAO,2017a), la existencia de carbono en el suelo representa la relación dinámica entre la absorción del material vegetal muerto y la pérdida por descomposición, se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al carbono elemental (Martínez H, Fuentes E & Acevedo H,2008). El carbono orgánico del suelo resulta del balance entre la incorporación al suelo del material orgánico fresco y la salida de Carbono del suelo en forma de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. El dióxido de carbono emitido desde el suelo a la atmósfera no solo se

produce por la mineralización de la MOS, donde participa la fauna edáfica como los organismos detritívoros y los microorganismos del suelo, sino también se genera por el metabolismo de las raíces de las plantas.(Castañeda-Martín & Montes-Pulido,2017)

#### **7.4.1 Fijación de carbono en suelos**

La fijación de carbono en el suelo, se origina por la interacción del elemento con aquellos factores que pueden influir en la modificación de las características del suelo, a través del tiempo, como las condiciones ambientales del lugar y los componentes que conforman su estructura o que están íntimamente ligados a ella, la mayor retención de carbono en el suelo aumenta la capacidad de los suelos para mantener la humedad, resistir la erosión y enriquecer la biodiversidad de los ecosistemas, lo que ayuda a los sistemas agrícolas a soportar mejor sequías e inundaciones (Ayala y col.,2017).

#### **7.4.2 Pérdida de carbono orgánico del suelo**

La pérdida de carbono orgánico del suelo, afecta negativamente no solo la salud del suelo y la producción de alimentos, sino que también agrava el cambio climático. Cuando se descompone la materia orgánica, se emiten gases de carbono de efecto invernadero a la atmósfera. Si esto ocurre a tasas demasiado altas, los suelos pueden contribuir al calentamiento global. Por otro lado, muchos suelos tienen el potencial de aumentar sus reservas de COS, mitigando así el cambio climático al reducir la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (FAO,2017b).

#### **7.4.3 Almacenamiento de carbono en los páramos**

El suelo es uno de los sumideros de carbono a nivel global, permitiendo así que el páramo sea uno de los ecosistema que ayude a su mayor retención, en relación a la biomasa, la concentración de carbono varía entre 13,21 y 183 t/ha, los parámetros ambientales como la disponibilidad de nutrientes, propiedades del suelo, exposición a la luz, velocidad del viento , son importantes para la concentración de carbono en la biomasa, mientras que en el suelo se estima que el 54 % se acumula dentro del primer metro en regiones tropicales se estima que el carbono almacenado varía entre el 0 y 1 metro de profundidad, el ecosistema de páramo el

carbono almacenado se encuentra entre los 0 y 40cm, el cual puede variar entre 119 y 397 t/ha bajo vegetación natural (Castañeda-Martín & Montes-Pulido,2017).

## **7.5 Gases efecto invernadero**

El proceso de combustión de combustibles fósiles y biomasa genera la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, la fluctuación en la temperatura permite mientras que los reservorios de C anuales en la atmósfera van desde 720 x 10<sup>15</sup> g/año. La concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> ha sufrido incrementos importantes comparando con la última glaciación del último período interglaciario, esto es en los últimos 160 mil años(Xavier,2019)

## **7.6 Geoestadística**

La geoestadística permite el estudio de variables numéricas distribuidas en el espacio, siendo la aplicación de la teoría, de funciones aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales Julio y H (2006). Para el proceso de predicción la geoestadística opera básicamente en dos etapas:

La primera fase análisis estructural: se describe la correlación entre puntos en el espacio.

En la segunda fase se hace predicción en sitios de la región no muestreados por medio de la técnica kriging(Ramon,2002)

### **7.6.1 Estadística espacial**

Es la reunión de un conjunto de metodologías apropiadas, para el análisis de datos que corresponden a la medición de variables aleatorias en diversos sitios de un área de estudio (Rosero,2015)

## 7.6.2 Método de interpolación Kriging

La interpolación Kriging es un método de análisis geoestadístico, describiendo la correlación tanto espacial, como temporal entre valores. Se utiliza el concepto de variable regional, que describe fenómenos con una distribución geográfica y con continuidad espacial (Damian,2014). Este método de interpolación, cuantifica la estructura espacial de los datos obtenidos, mediante el uso de variogramas. Uno de los criterios a considerar, es que se asume que los datos más cercanos a un punto conocido tienen un mayor peso, mientras que en los puntos mas alejados disminuye, conforme se aleja del punto de análisis. (Webster & Oliver,1992).

### 7.6.2.1 Kriging ordinario

Establece una condición adicional al sistema de ecuaciones del kriging simple, para filtrar el valor desconocido de la media, asignado un valor a la variable que puede predecirse como una combinación lineal, para las variables aleatorias en el área de estudio (Rosero,2015).

## 7.7 Concentración de CO en suelos del Ecuador

### 7.7.1 Por Provincias

Existen pocos estudios que estimen el contenido de COS en los páramos Ecuador realizado. Un estudio realizado por Mena y M. (2000), hace una relación entre provincias (Carchi, Cañar, Azuay, Chimborazo, Pichincha y Loja), y adicionalmente se realiza un análisis de variabilidad por profundidad (0-20cm, 20-50cm,50-70cm) (Tab.4).

**Tabla 4:** Contenido de CO en % por provincias del Ecuador

Prof. (cm)	Carchi	Cañar	Azuay	Chimborazo	Pichincha	Loja
0-20	20.4	19.7	18	8.6	6.1	12
20-50	8.3	18.5	13.6	5.9	4.4	8.2
50-70+	15	5.4	8.7	7.2	2.7	0.75

Elaborado por: Jiménez L. (2019)

Fuente: Mena y M. (2000)



### 7.7.2 Por estado de Conservación

El trabajo realizado por (Mena & M.,2000) (Tab.5) establece el contenido de CO en suelo tipo de suelo Andonsol.

**Tabla 5:** Contenido de CO en % por estado se conservación

Estado de Conservación	% CO
No Degradado	10.9
Degradado	7.9
Muy Degradado	4.5

**Elaborado por:** Jiménez L. (2019)

**Fuente:** Mena y M. (2000)

### 7.7.3 Suelos con características similares

La comparación realizada en suelos con características similares, propuesta por Muñoz (2018) en un estudio realizado en la provincia de Chimborazo donde clasifica el contenido de CO en cuatro grupos, según su concentración (alto, medio-alto, medio-bajo y bajo), en suelos de tipo inceptisol (Tab.6), las concentraciones altas pertenecen a un promedio de 29,17 % de CO.

**Tabla 6:** Suelos con características similares

Clasificación	% CO
Grupo a (alto)	29.17
Grupo b (medio-alto)	23 a 24.7
Grupo c (medio-bajo)	11.26 a 12.9
Grupo d (bajo)	6.8 a 8.8

**Elaborado por:** Jiménez L. (2019)

**Fuente:** Muñoz (2018)

## 7.8 Marco legal

### Constitución Política de la República del Ecuador, 2008

#### Título II derechos - Derechos del Buen Vivir

**Art. 14.-** Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay. Se declara de interés

público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

### **Capítulo Séptimo - Derechos de la Naturaleza**

**Art. 71.-** La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

**Art. 72.-** La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de Indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados.

**Art. 73.-** El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales.

**Art. 74.-** Las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir. Los servicios ambientales no serán susceptibles de apropiación; su producción, prestación, uso y aprovechamiento serán regulados por el Estado.

## **Título VII**

### **Régimen del Buen Vivir**

#### **Capítulo Segundo, Biodiversidad y Recursos Naturales**

**Art. 395.-** La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.

**Art. 397.-** En caso de daños ambientales el estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las

obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca.

**Art. 399.-** El ejercicio integral de la tutela estatal sobre el ambiente y la corresponsabilidad de la ciudadanía en su preservación, se articulará a través de un sistema nacional descentralizado de gestión ambiental, que tendrá a su cargo la defensoría del ambiente y la naturaleza.

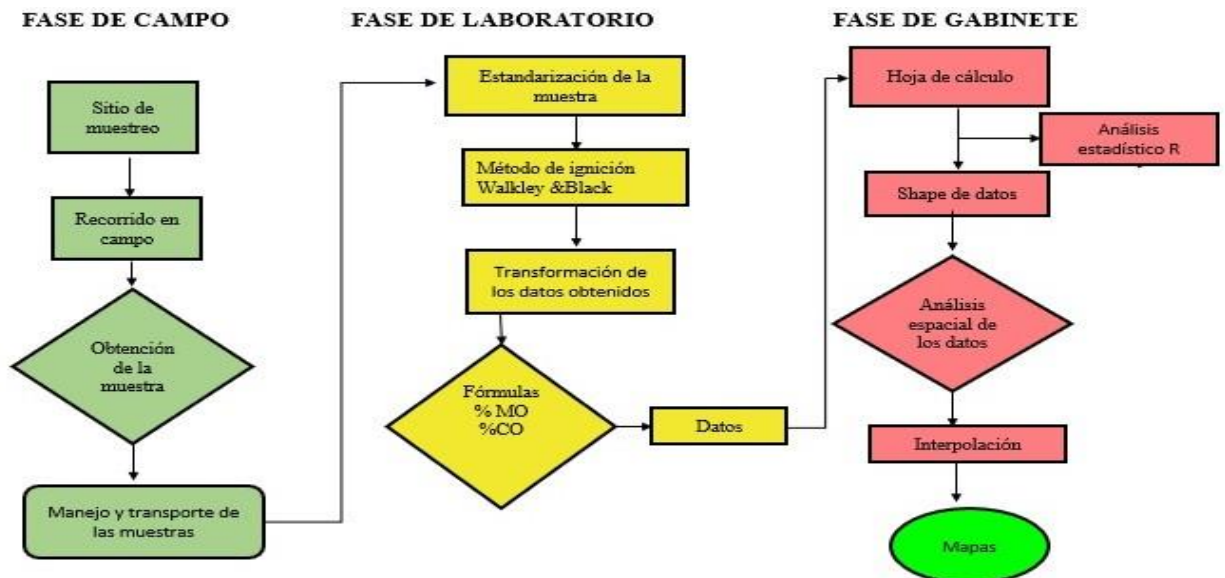
**Art. 409.-** Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión. En áreas afectadas por procesos de degradación y desertificación, el Estado desarrollará y estimulará proyectos de forestación, reforestación y revegetación que eviten el monocultivo y utilicen, de manera preferente, especies nativas y adaptadas a la zona.

## 8METODOLOGÍA

La estimación de carbono derivado de materia orgánica en páramo de Cmbijín se realizó en tres etapas:

1. Obtención de 20 muestras suelo, las cuales fueron extraídas de forma al azar debidamente distribuidas dentro del área de estudio.
2. Análisis de laboratorio mediante el método de calcinación propuesta por Walkley & Black el contenido de carbono orgánico.
3. Evaluar los datos obtenidos e interpolarlos mediante la herramienta Kriging, para generar un mapa del estimado de carbono que se encuentra en el área de estudio.

Se procedió a través del siguiente esquema metodológico:



**Figura 14:** Esquema Metodológico  
Elaborado por: Jiménez L. (2019)

## 8.1 Área de estudio

### 8.1.1 Ubicación

El páramo de Cumbijín se encuentra ubicado en el cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi, se encuentra entre los 2.800 y 3.600 msnm, El 60 % de sus suelos son negros, profundos, sueltos y fértiles. En su territorio se encuentran varias vertientes de agua y un promedio de 2.000 mm de precipitación anual (Salcedo,2019).

#### 8.1.1.1 División Política

La comunidad de Cumbijín, pertenecen al cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi.

**Tabla 7:** División Política

Provincia	Cotopaxi
Cantón	Salcedo
Sector	Comunidad Cumbijín

**Elaborado por:** Jiménez L. (2019)

**Fuente:** Salcedo (2019)

#### 8.1.1.2 Límites

El páramo de Cumbijín, cantón Salcedo se limita al norte con Latacunga al sur con Tungurahua y al este con la Amazonía del Ecuador.

**Tabla 8:** Límites Administrativos

Norte:	Latacunga
Sur :	Provincia de Tungurahua
Este:	Estribaciones orientales de la Amazonía

**Elaborado por:** Jiménez L. (2019)

**Fuente:** Salcedo (2019)

### **8.1.2 Características Climáticas del Área de Estudio**

En todo el cantón hay una temporada un tanto fría y ventosa entre los meses de junio, julio y agosto, sin embargo en los meses de febrero, marzo son días calurosos. La temperatura promedio oscila de 12 a 18 grados pero la variación puede ser con días muy calientes y noches muy frías, pero los turistas consideran que es un clima de eterna primavera. A partir de los 3.000 metros de altura en el páramo presenta un clima frío con vientos helados propio de estas regiones.

### **8.2 Modelo de muestreo**

Objetivo 1.- Establecer un modelo de muestreo representativo en el páramo de Cumbijín

Delimitación del área de estudio Para la delimitación del área de estudio se empleó el trabajo realizado por Grupo de Investigación de Calidad de Agua y Recursos Hídricos (2019).

1. Selección de la comunidad de Cumbijín de la cartografía digital del INEC.
2. Establecimiento de pisos altitudinales con base al Modelo Digital de Elevación (>3500 msnm).
3. Intersección de las zonas con índice de vegetación correspondientes al páramo con el piso altitudinal mayor a 3500 msnm.

Para la obtención de muestras de suelo se la realizo mediante la “Guía Técnica para muestreo de suelo” propuesta por la Universidad Nacional Agraria de Nicaragua y el Programa de agricultura, suelo y agua (Mendoza Reynaldo & Espinoza Ariel, 2017).

#### **8.2.1 Criterios para la selección de la técnica de muestreo**

Para la selección del muestreo se consideraron las siguientes condiciones:

- ☐ El tipo de uso de suelo
- ☐ Tipo de suelo.

- La profundidad a la que se va a tomar la muestra.
- La accesibilidad al punto de muestreo.
- Tamaño del área de muestreo.

### **8.2.2 Tamaño del área y número de muestras**

Para conocer el tipo de suelo del páramo, se empleó el programa ArcGis, de forma más específica se elaboró un archivo shp con la con el tipo de suelo del páramo, utilizando la información proporcionada por el Ministerio de Agricultura y Ganadería- portal SIGTIERRAS, en el cual clasifica al tipo de suelo, como un suelo Inceptisol en su área total (Fig.25).

### **8.2.3 Uso del suelo**

#### **8.2.3.1 Área protegida**

El páramo de Cumbijín forma gran parte del Parque Nacional Llanganates, el cual fue seleccionado como un área prioritaria para la investigación debido a que no existía información básica sobre su diversidad biológica ni sobre las condiciones socioeconómicas de las comunidades que viven dentro o alrededor del área protegida.

#### **8.2.3.2 Tipo de muestra**

**Muestra simple:** Muestra colectada en un tiempo y en un lugar particular es llamada muestra simple (Mendoza Reynaldo & Espinoza Ariel,2017), esta representa las condiciones puntuales de una muestra de la población en el tiempo que fue colectada.

#### **8.2.3.3 Materiales**

- Fundas herméticas
- Etiquetas

- ☐ GPS
- ☐ Libreta de campo
- ☐ Barreno
- ☐ Palin
- ☐ Cinta métrica
- ☐ Balde
- ☐ Machete

#### 8.2.4 Criterios a considerar para la toma de muestras

Tomar una muestra individual clavando el barreno de forma verticalmente en el suelo hasta que quede cubierta completamente (30cm) (Fig.15).



**Figura 15:** Criterios a considerar para la toma de muestras

**Fuente:** superior de investigaciones científicas (2000)

- ☐ Se identificó el punto de muestro y coordenadas geográficas del lugar donde se extrajo la muestra.
- ☐ Se limpió la superficie del terreno para así remover la cobertura vegetal presente, se realizó la perforación a 30cm de profundidad.



- La muestra obtenida se depositó en un balde limpio, y se eliminó la presencia de raíces o piedras que puedan existir
- La muestra de suelo se colocó en una funda hermética debidamente etiquetada y colocada en un recipiente aislante térmico para su transporte.
- Las muestras obtenidas se dejaron secar al aire libre en un lugar estéril.

### **8.3 Determinación de Carbono Orgánico**

Objetivo 2.- Determinar el contenido de CO mediante el método de calcinación de Walkley Black

Método de calcinación Walkley Black (1934). El método empleado para la estimación de carbono orgánico. Este método determina el contenido total de materia orgánica que posee el suelo, completo o en alguna de sus fracciones. Debe tenerse presente que con este método se obtienen valores más altos en el contenido de materia orgánica del suelo y que al ser expuesto a altas temperaturas se volatilizan todas las formas de carbono orgánico. Eyherabide, Rozas, Barbieri y Echeverría (2014).

#### **8.3.1 Procedimiento**

Los contenidos de carbono se calcularán de la siguiente manera:

Se pesa una muestra de 6 o 7 g de suelo seco al aire y tamizado a 2 mm (o en la fracción requerida) y se coloca en crisoles de porcelana.

Se seca el conjunto (la muestra y el crisol) en horno a 105° C hasta peso constante (aproximadamente entre 24 y 48 horas), se retira del horno y se deja enfriar en desecador, luego se pesa.

Se calcina la muestra en una mufla a 650 o 700° C, durante 3 o 4 horas.

Se retira de la mufla el conjunto, se deja enfriar en desecador y se pesa nuevamente. Se calcula la diferencia de peso entre las medidas antes y después de calcinar; esta diferencia de peso equivale a la cantidad de materia orgánica que se perdió de la muestra por efecto de la calcinación.

Se expresa la diferencia de peso en porcentaje ( %), con respecto al peso inicial de la muestra y ese es el porcentaje de materia orgánica que tenía aquella.

Se calcula el contenido de carbono orgánico con la siguiente ecuación

$$MO = (A - B)/B100 \quad (1)$$

Donde A: peso de la muestra B: peso de la muestra calcinada (650°C)

Para establecer la relación entre la materia orgánica y el carbono orgánico se entiende que el carbono orgánico representa una parte de la materia orgánica, representada por el factor empírico de Van Benmelen.

$$CO = MO/(1,724) \quad (2)$$

### **8.3.2 Análisis de datos**

La presente investigación no necesita un diseño experimental como tal, ya que se manejarán los datos numéricos con estadística descriptiva.

### **8.3.3 Estadística descriptiva**

Se realizó un análisis estadístico descriptivo para determinar la calidad de los datos y establecer criterios para la fase geoestadística, para esto se utilizó el software R.

Esta técnica matemática se utilizará en la descripción, organización y presentación del conjuntos de datos del contenido de carbono del suelo que se obtendrán en la investigación, los valores serán visualizados mediante tablas o gráficas, para la interpretación del comportamiento del carbono en el suelo en el páramo de Cumbijín.

#### **8.3.3.1 La media**

Con los datos cualitativos del contenido de carbono del suelo, se sumaran 20 resultados del contenido de carbono a 30 cm y se dividen para el numero de resultados sumados, con ello se determinará el promedio de carbono en la profundidad mencionada, este procedimiento se

realizará para tener la media de los datos, identificando la existencia del contenido de carbono total en el suelo.

### **8.3.3.2 La varianza**

Ayudará a representar la variabilidad que tendrán los datos del contenido de carbono del suelo entre los diferentes puntos muestreados, tomando en cuenta la media de los datos del contenido de carbono total.

Con la media de los datos del contenido de carbono, se calculará el cuadrado de la distancia a la media para cada dato, se sumarán los valores que resultan del cuadrado para dividir al número de datos, como resultado tendremos la variabilidad que tendrá el contenido de carbono del suelo.

### **8.3.3.3 La desviación estándar**

Es una medida que permitió cuantificar la variación o dispersión del conjunto de datos del contenido de carbono en el suelo, para indicar como están dispersos los datos con respecto a la media.

Con la media de los datos del contenido de carbono, se calculará el cuadrado de la distancia a la media para cada dato, se sumarán los valores que resultan del cuadrado para dividir al número de datos y al final se sacará la raíz cuadrada de la división como resultados tendremos la desviación estándar del contenido de carbono del suelo.

### **8.3.4 Geoestadística**

Objetivo 3.- Analizar geoestadísticamente, el contenido de carbono orgánico, almacenado en el páramo de Cumbijín.

### 8.3.4.1 Análisis Histograma

Para el proceso de interpolación se realizó un análisis de la distribución y comportamiento de los datos, en el cual podemos observar que los datos presentan una distribución normal, con una media de 12,33 y mediana de 12,39.

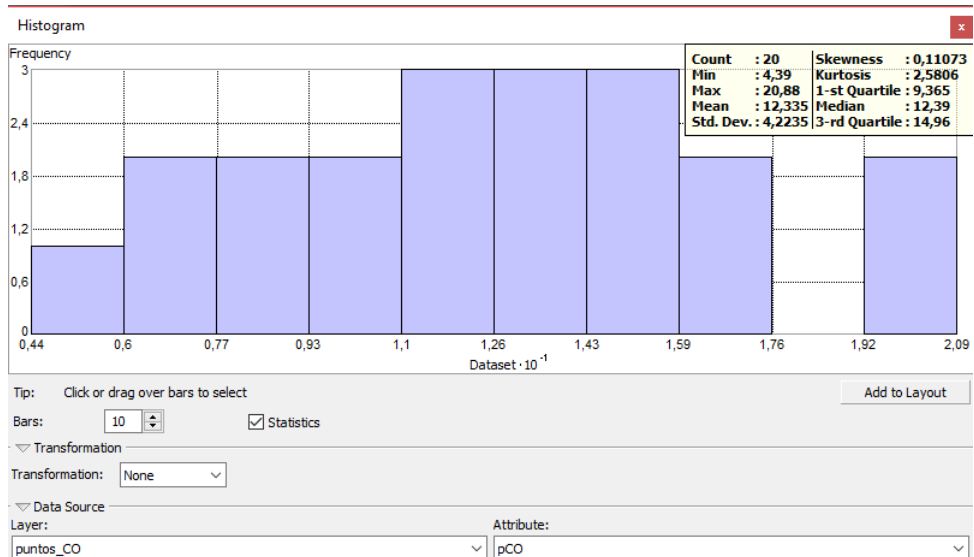


Figura 16: Histograma

### 8.3.4.2 Normal QQplot

El análisis QQplot, realizó la comparación de la alineación de los datos, los cuales se alinean y se distribuyen normalmente. Todos sus puntos caen en la línea de 45° y siguen una línea recta.

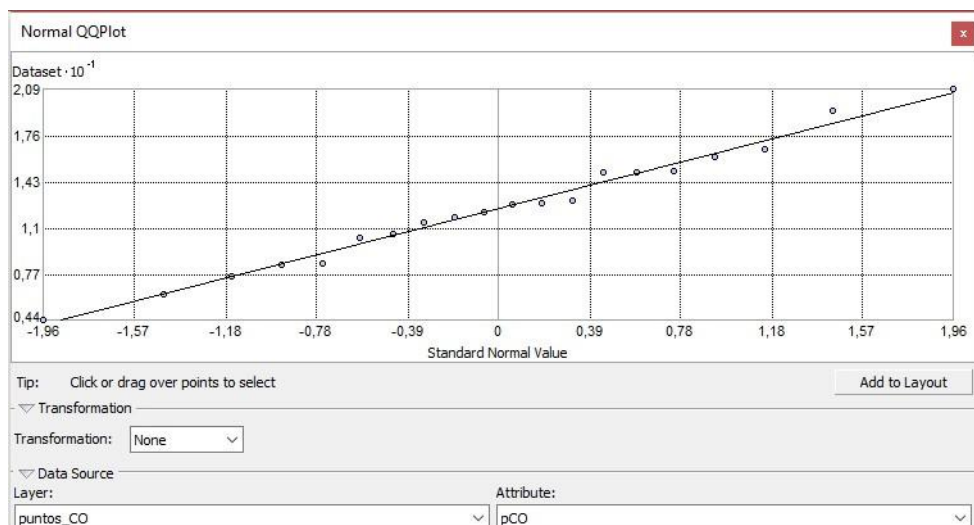
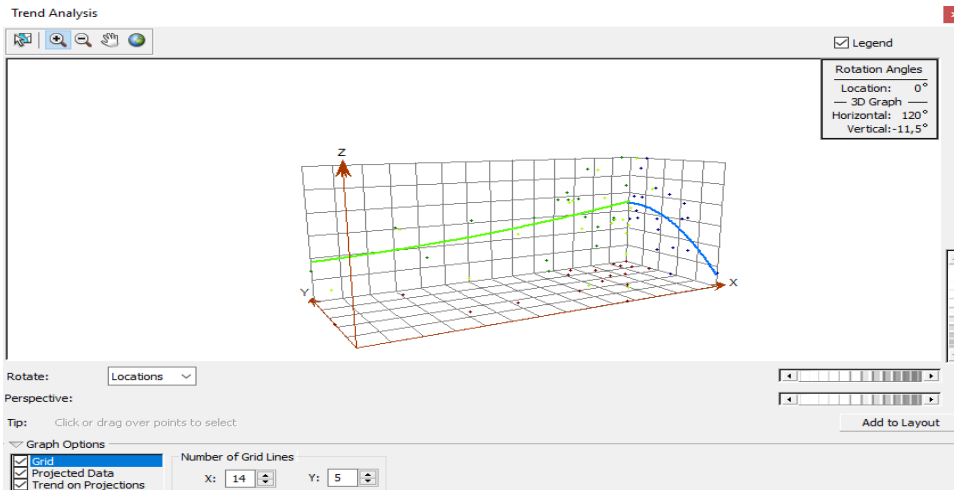


Figura 17: Normal QQplot

### 8.3.4.3 Trend analysis

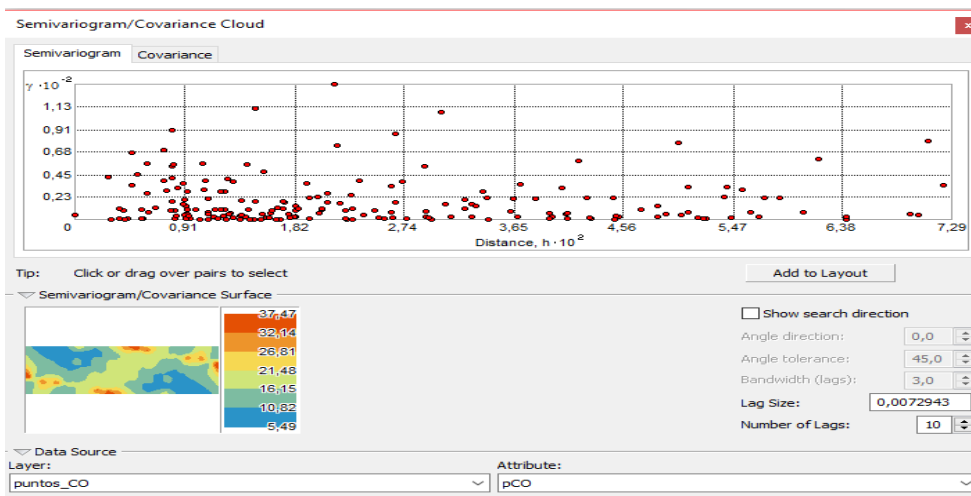
Mediante Trend analysis se analizó las tendencias y los cambios sistemáticos en los datos el área de estudio. La línea verde muestra la tendencia en la dirección este-oeste, y la línea azul representa la tendencia en la dirección norte-sur. Se observó que el gráfico presenta una ecuación de segundo grado en la distribución de sus datos.



**Figura 18:** Trend analysis

### 8.3.4.4 Semivariograma

El semivariograma analiza la tasa media de cambio de una propiedad con la distancia, el modelo acotado asegura que la covarianza de los incrementos sea finita.



**Figura 19:** Semevariograma

### 8.3.5 Kriging

Después de explorar todos los datos con los criterios anteriores, se realizó la interpolación de los datos con el método Kriging.

#### 8.3.5.1 Paso 1

Se seleccionó el método kriging para la interpolación de los datos, de forma más específica se utilizó Kriging Ordinario, ya que utiliza una transformación de puntuación normal, para la distribución normal estándar de los datos que se van a interpolar.

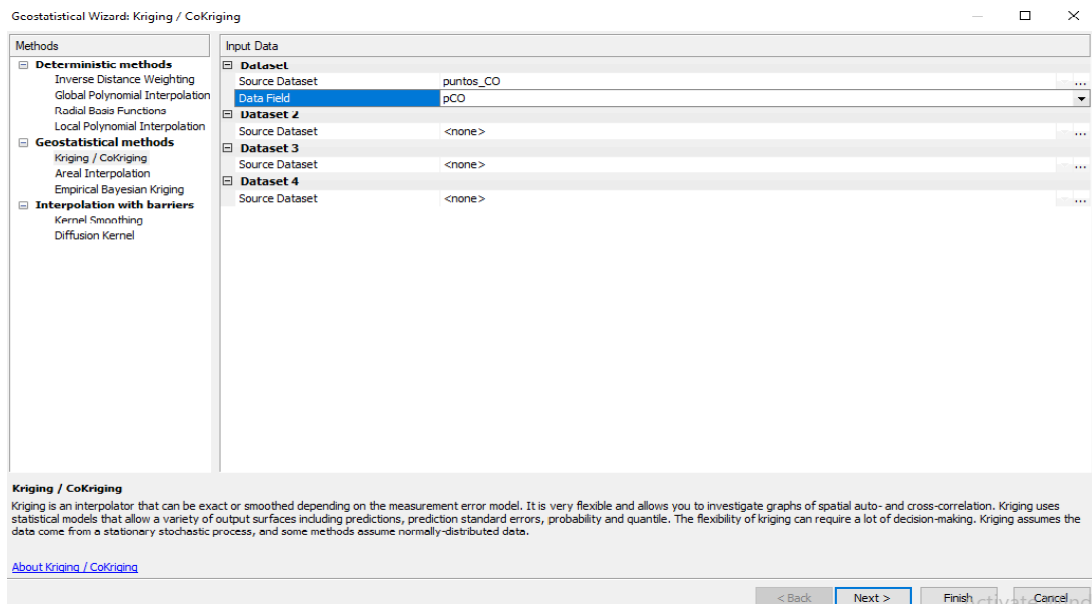
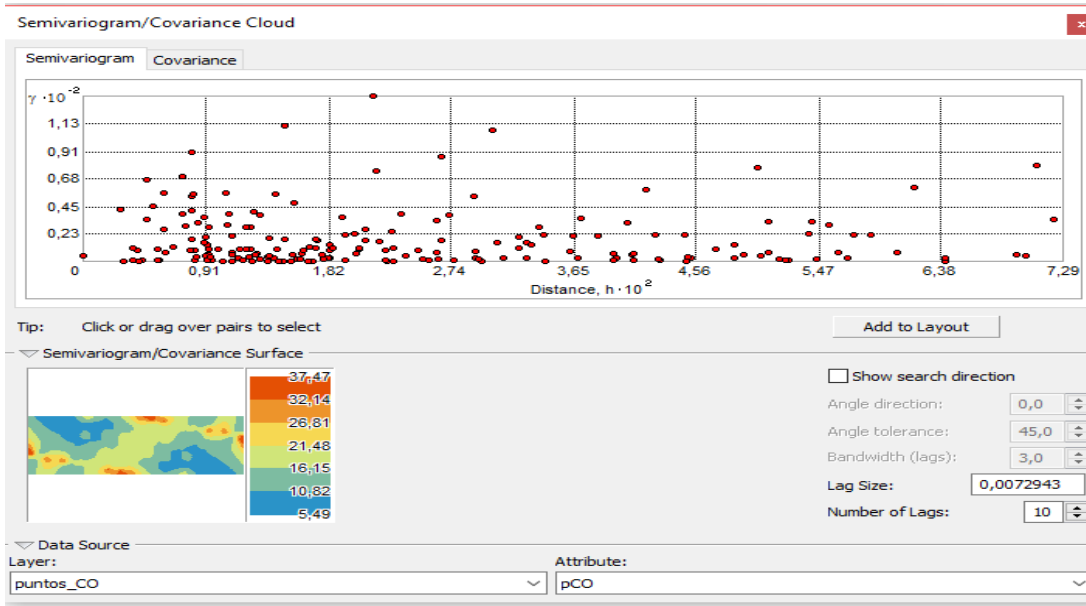


Figura 20: Kriging

#### 8.3.5.2 Paso 2

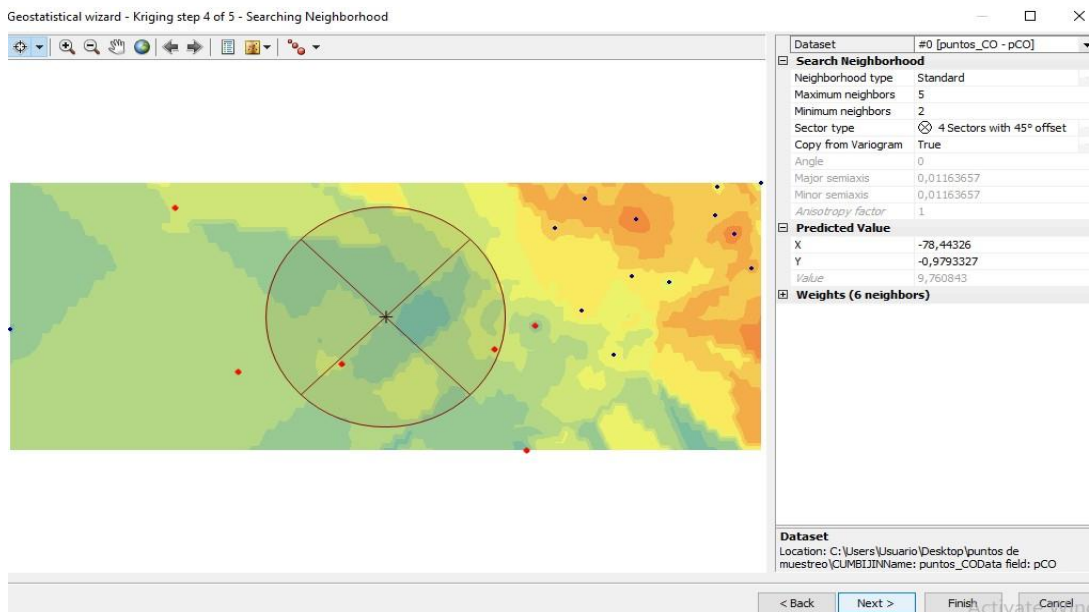
Con el modelo con un semivariograma, se muestra la variación media de cada par de puntos.



**Figura 21:** Semivariogram covariance modeling

### 8.3.5.3 Paso 3

En este paso se realizó la predicción de las respuestas en cada lugar usando, un promedio ponderado con los vecinos más cercanos.



**Figura 22:** Searching neighborhood

### 8.3.5.4 Paso 4

En este paso se realizó la predicción para el resto del área de estudio, los cuales son valores desconocidos que se basan en el patrón espacial propuesto. Con esta predicción el kriging generó una medida de error o incertidumbre, para estimar la confianza en la superficie de la predicción.

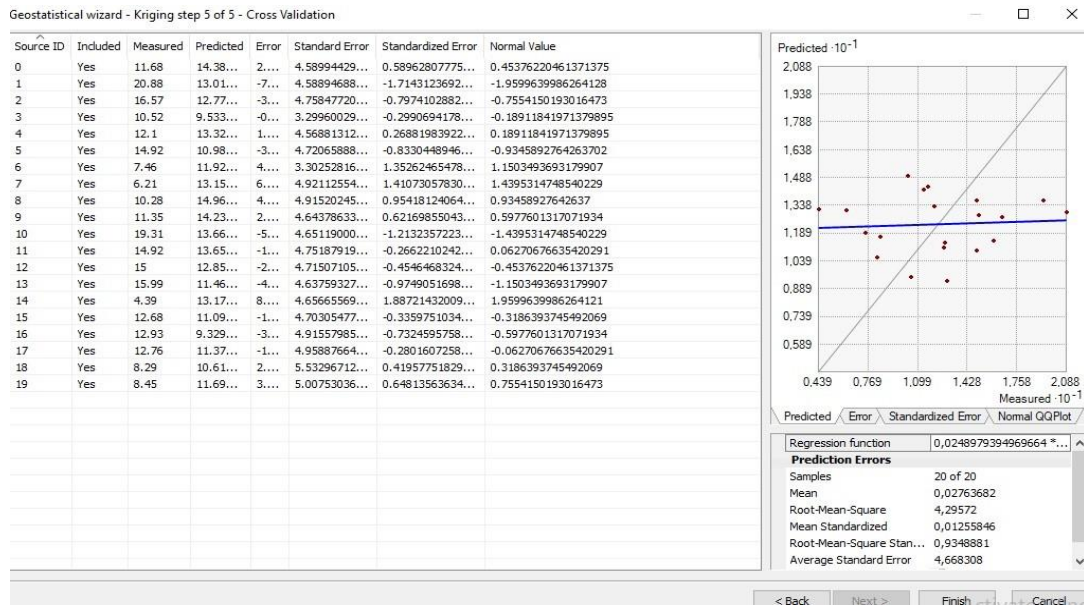


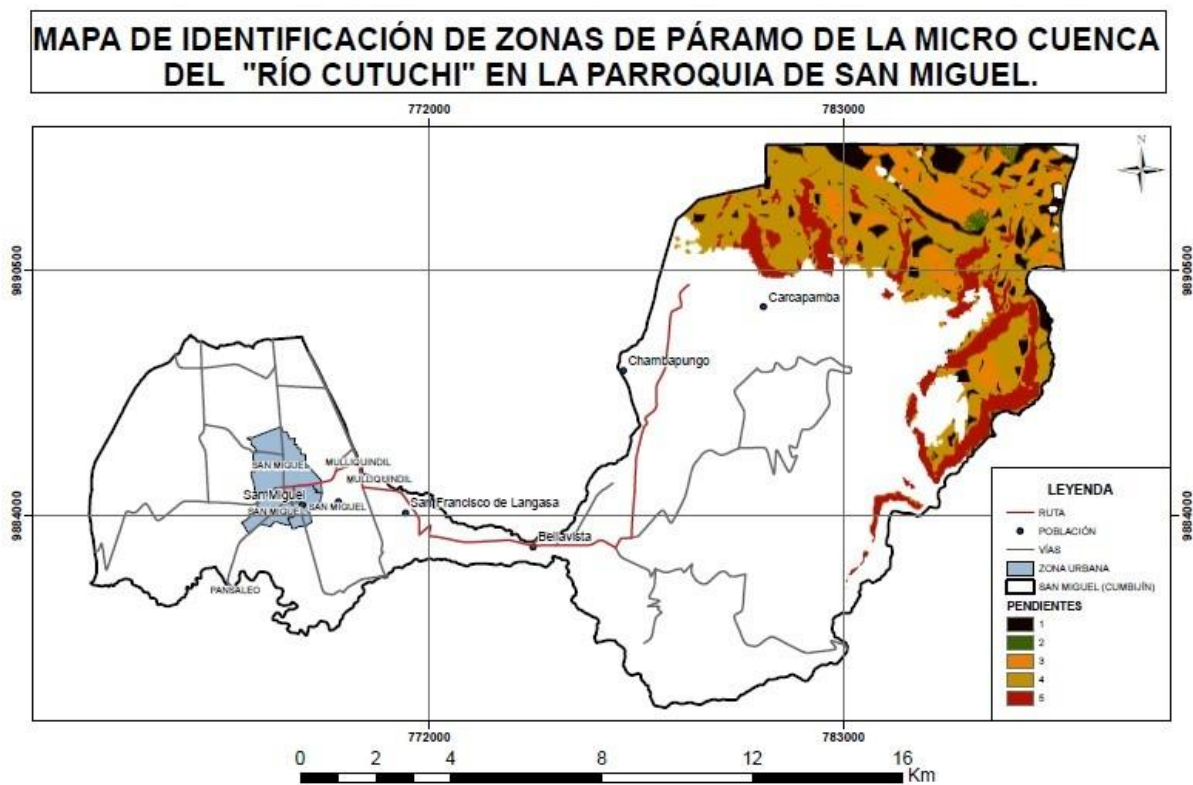
Figura 23: Cross validation



## 9 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 9.1 Modelo de muestreo

Para el modelo de muestreo se delimitó el área de estudio, que corresponde a una superficie de 40,66 km<sup>2</sup>.



**Figura 24:** Área de estudio

**Fuente:** Grupo de Investigación de Calidad de Agua y Recursos Hídricos (2019)

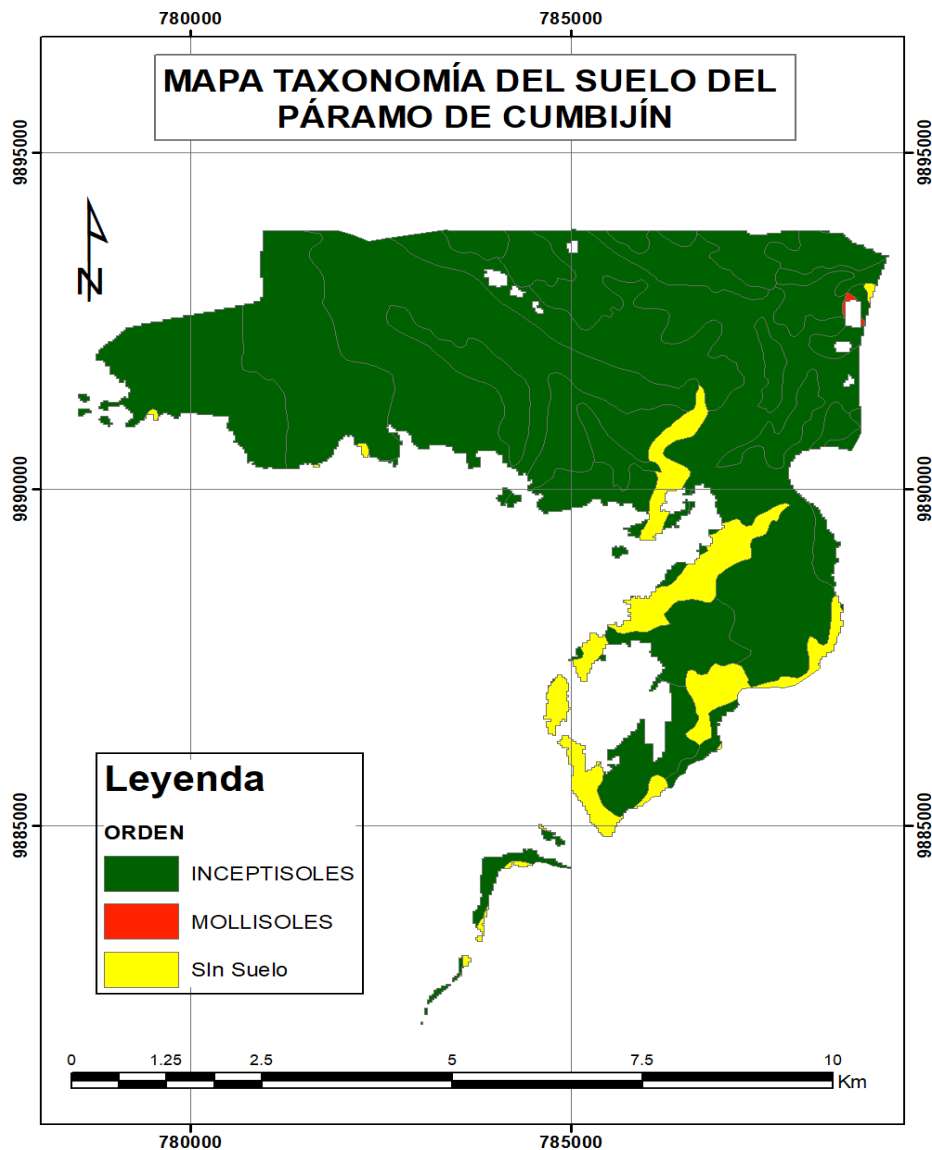
#### 9.1.1 Tipo de Muestreo

El método empleado para la obtención de muestras, consistió en un recorrido libre, obteniendo así muestra al azar dentro del área de estudio. El tipo de muestra es simple ya que se realiza basándose en la homogeneidad que presenta el suelo. El criterio tomado para considerar

homogeneidad es la taxonomía y el uso de suelo.

### 9.1.1.1 Taxonomía

Con respecto al páramo de Cumbijín correspondiente prácticamente en su totalidad al tipo inceptisol, con una pequeña proporción sin suelo al sur de la zona de estudio y una mínima parte de mollisoles, de acuerdo con la información obtenida del portal SIGTIERRAS.

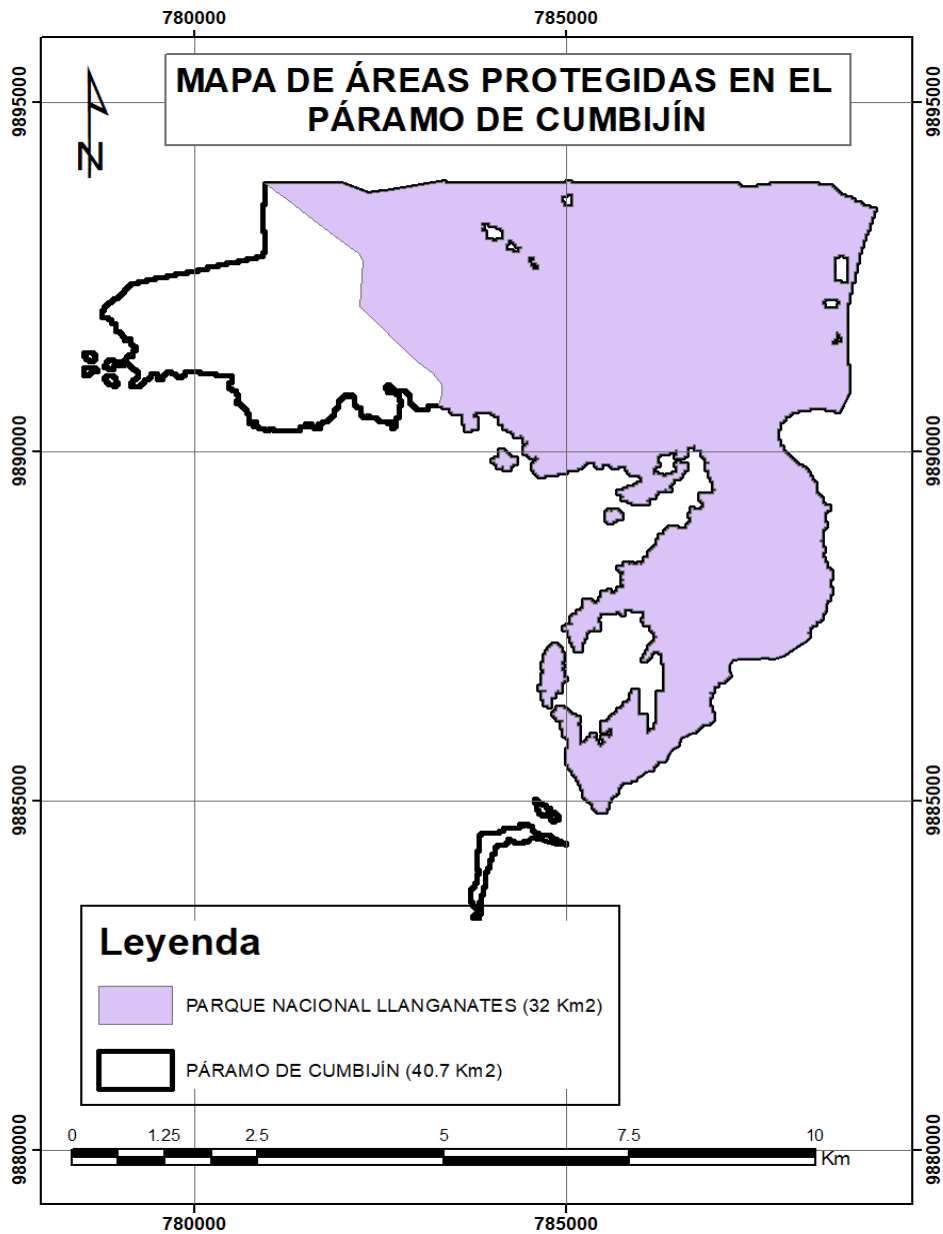


**Figura 25:** Taxonomía del suelo del páramo de Cumbijín

**Elaborado por:** Jiménez L. (2019). **Fuente:** Ministerio de Agricultura - SIGTIERRAS (2017)

### 9.1.1.2 Uso de Suelo

El uso del suelo se encuentra en un estado de conservación, ya que gran parte del área de análisis corresponde a un área protegida según la información proporcionada por el SNAP.

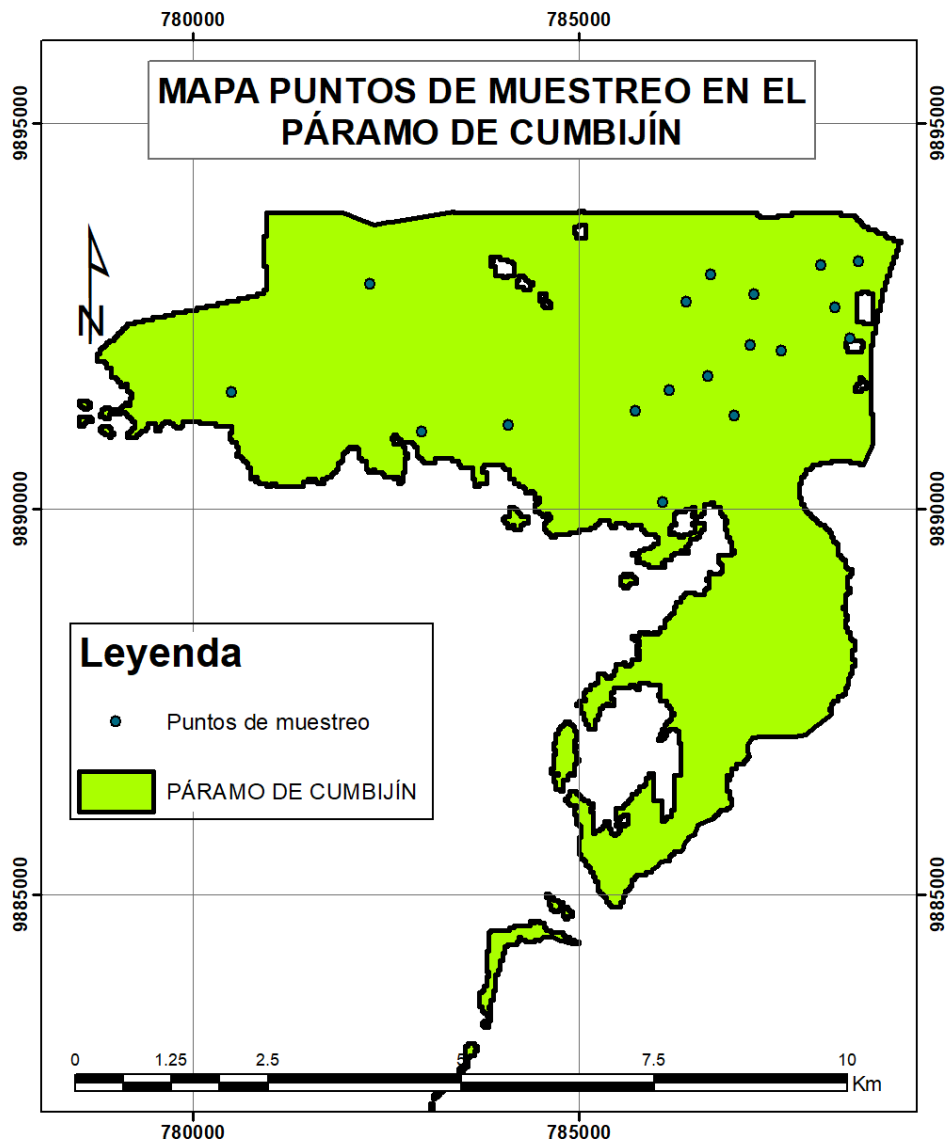


**Figura 26:** Área Protegida del páramo de Cumbijín

Fuente: MAE. Elaborado por: Jiménez L. (2019)

### 9.1.2 Número de Muestras

El número de muestra obtenidas en el área de estudio correspondieron a 20 puntos, debido a que gran parte de su área presenta es pantanosa y presenta gran cantidad de humedales, los cuales limitan la extracción de muestras.



**Figura 27:** Puntos de muestreo de suelo en el páramo de Cumbijín. Elaborado por: Jiménez L. (2019)

**Tabla 10:** Puntos de Muestreo

Nombre	Longitud (m)	Latitud (m)	Elevación (msnm)	Observación
Cum-01	787619	9892052	3296	Pantanosos
Cum-02	788318	9892615	3848	Punto Alto
Cum-03	788506	9892206	3410	Cerca de la laguna
Cum-04	787618	9892051	3297	Cerca de la laguna, mayor altitud
Cum-05	787215	9892117	3723	Mayor Elevación, más seco
Cum-06	786823	9891456	3468	Cercano Arroyo
Cum-07	787619	9892052	3296	Altiplano
Cum-08	786081	9890082	4053	Cerca de ganado bravo
Cum-09	788618	9893205	3927	Cerca mirador lagunas
Cum-10	788134	9893161	4017	Alto, plano, humedales
Cum-11	787265	9892784	4029	Cerca de una estructura Hidráulica
Cum-12	786701	9893031	4047	Parte alta
Cum-13	786384	9892688	4112	Parte alta
Cum-14	786671	9891713	4018	Cercano al río - Alta humedad
Cum-15	786171	9891537	4016	cerca a las vías de acceso
Cum-16	785984	9891325	4047	Presencia de ganado bravo - mayor altitud
Cum-17	769369	9865516	3173	Presencia de ganado bravo
Cum-18	783713	9888862	3878	Parte baja limite páramo -oriente
Cum-19	783713	9888862	3878	Parte baja limite páramo – centro
Cum-20	783713	9888862	3878	Parte baja limite páramo -occidente

Elaborado por: Jiménez L. (2019)

### 9.1.3 Puntos de Muestreo

## 9.2 Determinación de Carbono Orgánico

### 9.2.0.1 Método de pérdida por calcinación

De cada una de las muestras analizadas se obtuvieron diferentes pesos, antes y después del proceso de calcinación de la muestra los resultados fueron los expuestos en en la Tab.11.

### 9.2.1 Contenido de Materia Orgánica

Se trabajó con 7 gramos de suelo previamente secado para las 20 muestras, las cuales luego de ser calcinadas en la mufla muestran disminuciones significativas en su peso con rangos que van desde los 0.53 (Cum-15) hasta los 2.52 g (Cum-02). Se determinó la materia orgánica con base a los cambios presentados antes y después del procesos de calcinación en cada una de las

**Tabla 11:** Resultados del proceso de calcinación

Código	Peso crisol (g)	Peso de la muestra (g)	Peso inicial Muestra	Peso final muestra (g) (calcinación)	Peso final Suelo (g)	Pérdida MO (g)
Cum-01	36,34	7	43,34	41,93	5,59	1,41
Cum-02	44,55	7	51,55	49,03	4,48	2,52
Cum-03	40,21	7	47,21	45,21	5,00	2,00
Cum-04	25,86	7	32,86	31,59	5,73	1,27
Cum-05	40,23	7	47,23	45,77	5,54	1,46
Cum-06	44,57	7	51,57	49,77	5,2	1,8
Cum-07	38,83	7	45,83	44,93	6,1	0,9
Cum-08	44,58	7	51,58	50,83	6,25	0,75
Cum-09	44,33	7	51,33	50,09	5,76	1,24
Cum-10	36,31	7	43,31	41,94	5,63	1,37
Cum-11	40,2	7	47,2	44,87	4,67	2,33
Cum-12	44,3	7	51,3	49,5	5,2	1,8
Cum-13	46,27	7	53,27	51,46	5,19	1,81
Cum-14	25,83	7	32,83	30,9	5,07	1,93
Cum-15	44,3	7	51,3	50,77	6,47	0,53
Cum-16	38,37	7	45,37	43,84	5,47	1,53
Cum-17	38,86	7	45,86	44,3	5,44	1,56
Cum-18	36,38	7	43,38	41,84	5,46	1,54
Cum-19	25,84	7	32,84	31,84	6,00	1,00
Cum-20	40,2	7	47,2	46,2	5,98	1,02

Elaborado por: Jiménez L. (2019)

muestras obtenidas.

Las fórmulas empleadas para la transformación de los datos obtenidos fue:

$$MO = (A - B)/B100 \quad (2)$$

Estos datos transformados a porcentaje son los siguientes:

### 9.2.2 Contenido de Carbono Orgánico

Se determino el % de CO a partir de MO mediante la ecuación de Van Bemmelen, la fórmula empleada fue:

$$\%CO = MO/(1,724) \quad (3)$$

**Tabla 12:** Porcentaje Materia Orgánica

Código	% Materia orgánica	Código	% Materia Orgánica
Cum-01	20,14	Cum-11	33,29
Cum-02	36,00	Cum-12	25,71
Cum-03	28,57	Cum-13	25,86
Cum-04	18,14	Cum-14	27,57
Cum-05	20,86	Cum-15	7,57
Cum-06	25,71	Cum-16	21,86
Cum-07	12,86	Cum-17	22,29
Cum-08	10,71	Cum-18	22,00
Cum-09	17,71	Cum-19	14,29
Cum-10	19,57	Cum-20	14,57

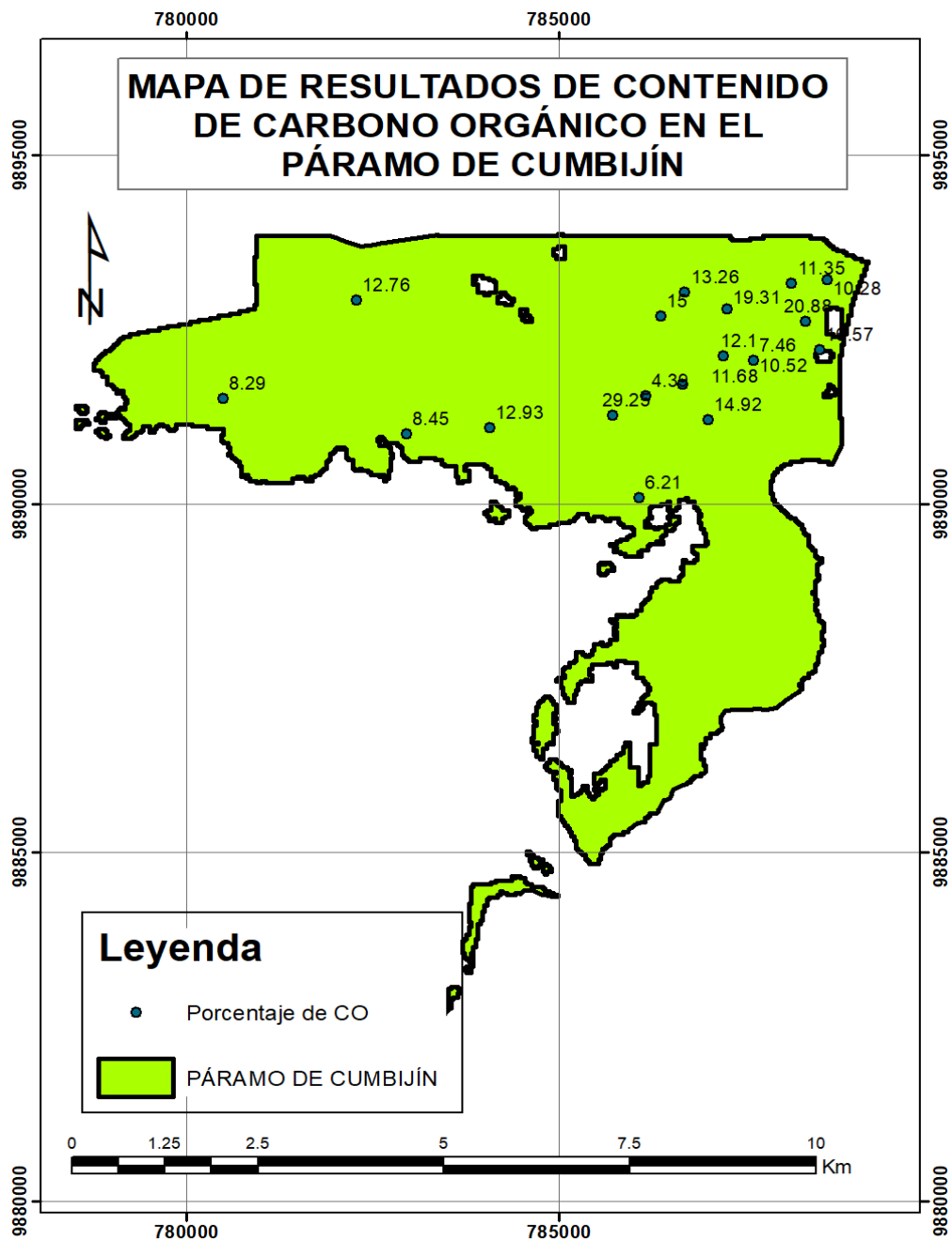
**Elaborado por:** Jiménez L. (2019)

**Tabla 13:** Porcentaje Carbono Orgánico

Código	% Carbono Orgánico	Código	% Carbono Orgánico
Cum-01	11,68	Cum-11	19,31
Cum-02	20,88	Cum-12	14,92
Cum-03	16,57	Cum-13	15,00
Cum-04	10,52	Cum-14	15,99
Cum-05	12,10	Cum-15	4,39
Cum-06	14,92	Cum-16	12,68
Cum-07	7,46	Cum-17	12,93
Cum-08	6,21	Cum-18	12,76
Cum-09	10,28	Cum-19	8,29
Cum-10	11,35	Cum-20	8,45

**Elaborado por:** Jiménez L. (2019)

Para carbono orgánico, se encontraron porcentajes desde 4.39 (Cum-15) hasta un 20.88 % (Cum-02), con un promedio general de 12.33 %.



**Figura 28:** Área Protegida del páramo de Cumbijín

Elaborado por: Jiménez L. (2019)

### 9.2.3 Contenido de Carbono Orgánico

La Tab.15, muestra el contenido de carbono en % en los 20 puntos muestreados en el páramo de Cumbijín.

El contenido de carbono orgánico en suelos se calculó con base en la ecuación propuesta por



**Tabla 14:** Carbono orgánico ton/ha

Código	Carbono orgánico (ton/ha)	Código	Carbono orgánico (ton/ha)
Cum-01	2,34	Cum-11	3,87
Cum-02	4,18	Cum-12	2,99
Cum-03	3,32	Cum-13	3,01
Cum-04	2,11	Cum-14	3,20
Cum-05	2,42	Cum-15	0,88
Cum-06	2,99	Cum-16	2,54
Cum-07	1,49	Cum-17	2,59
Cum-08	1,25	Cum-18	2,56
Cum-09	2,06	Cum-19	1,66
Cum-10	2,28	Cum-20	1,69

Elaborado por: Jiménez L. (2019)

(González et. al. 2008).

$$COS = \%CO(Da)Ps \quad (4)$$

COS=Carbono orgánico total en suelo por superficie (Ton /ha)

CO= Carbono orgánico total ( %)

Da= Densidad aparente (g/cm)

Ps= Profundidad del suelo (m)

Análisis Estadístico Descriptivo El análisis estadístico descriptivo para CO indica valores desde 4.39 hasta 20.88 % con un rango de 16.49. La media y la mediana difieren por decimales (12.39 y 12.33 respectivamente). El error estándar de la media es bajo (0.94) así como su intervalo de confianza, esto determina una alta probabilidad de acierto en los el promedio. La varianza y la desviación estándar son relativamente bajas esto indica la concentración de la mayor parte de las mediciones agrupadas en torno a la media, finalmente el coeficiente de variación es de 0.34, si bien este valor es relativamente alto, es indicador de una pequeña diferencia entre el tamaño de la media y la variabilidad del CO.

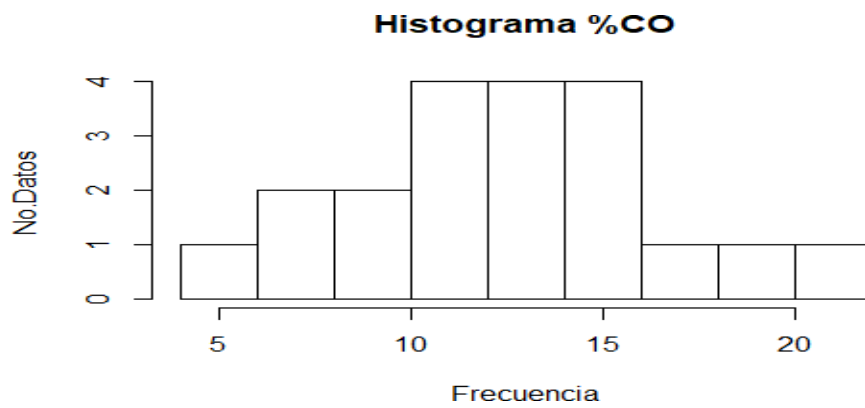
**Tabla 15:** Estadísticos descriptivos de los resultados del páramo de Cumbijín

Parámetro	Materia orgánico %	Carbono orgánico %	Carbono orgánico Ton/Ha
Mínimo	7,57	4,39	0,88
Máximo	36,0	20,88	4,18
Rango	23,43	16,49	3,3
Suma	425,28	246,69	49,43
Mediana	21,36	12,39	2,48
Media	21,26	12,33	2,47
Error estándar de la media	1,62	0,944	0,189
Intervalo de confianza de la media 0.95 %	3,41	1,97	0,396
Varianza	53,01	1,78	0,715
Desviación Estándar	7,28	4,22	0,846
Coefficiente de variación	0,342	0,342	0,342

Elaborado por: Jiménez L. (2019)

#### 9.2.4 Histograma

Permitió realizar un análisis visual, en el cual se muestra la distribución y el comportamiento de los datos obtenidos, en el cual se puede observar que los datos obtenidos se encuentra de forma casi simétricas, salvo la existencia de valores bajos. Evidenciándose una aparente disminución en los contenidos máximos y un pequeño detrimento de las capacidades de almacenamiento de CO.

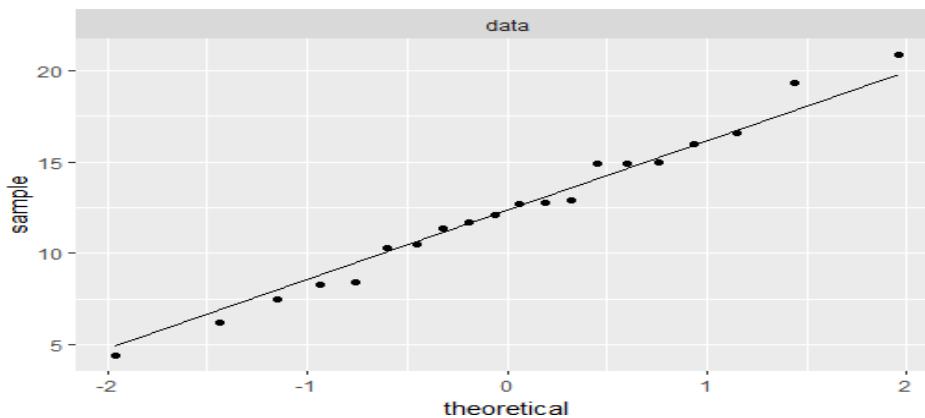


**Figura 29:** Histograma % CO

Elaborado por: Jiménez L. (2019)

### 9.2.5 QQplot

El gráfico QQplot o gráfico de probabilidad permite verificar la distribución gaussiana normal, se puede observar que los datos de CO están muy cerca de esta distribución.

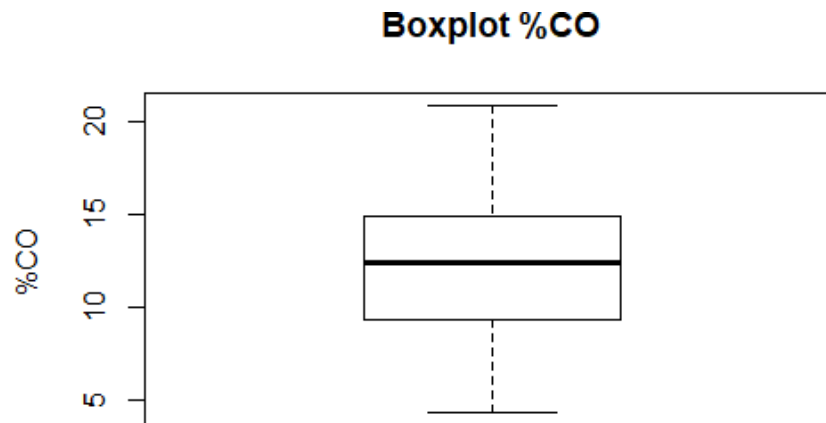


**Figura 30:** QQplot % CO

Elaborado por: Jiménez L. (2019)

### 9.2.6 Boxplot

El boxplot evidencia la inexistencia de valores atípicos, y la cercanía de los valores de la media y la mediana los cuales difieren por decimales (12.39 y 12.33 respectivamente).



**Figura 31:** Boxplot % CO Elaborado por: Jiménez L. (2019)

### 9.3 Analisis geoestadístico

Para el análisis estadístico se empleó el programa ARGIS, mediante el cual se interpolaron los datos obtenidos en el área de estudio, para el resto del páramo, con la finalidad de establecer los lugares donde existe mayor concentración de carbono orgánico obteniendo como resultados de la interpolación los siguientes:

#### 9.3.1 Predicción

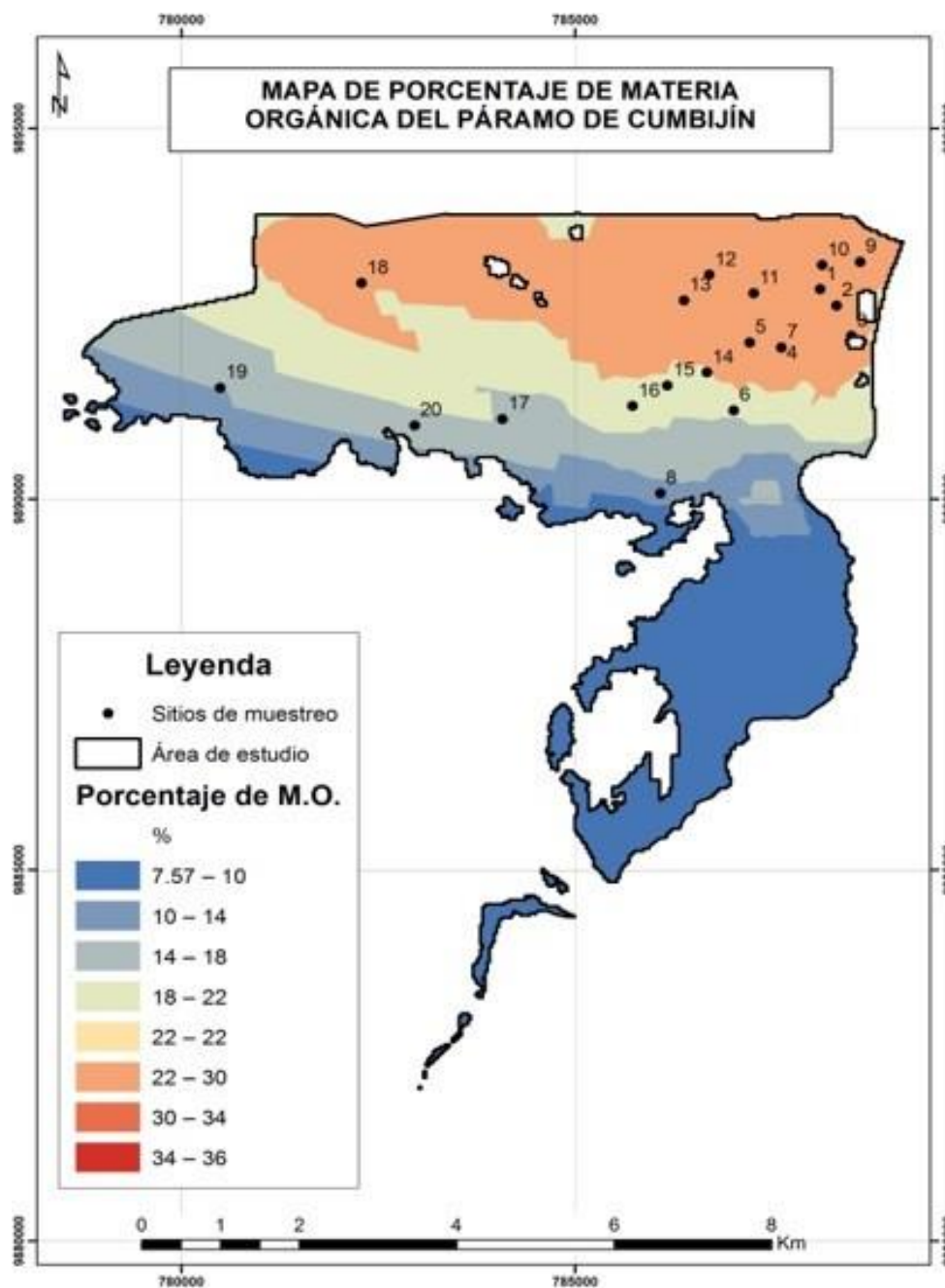
Una vez establecido la dependencia o autocorrelación de los datos, se realizó una predicción, para lo cual Kriging forma ponderaciones a partir de los valores medidos circundantes para prever ubicaciones sin mediciones,

#### 9.3.2 Mapas

Los datos obtenidos después de la interpolación, reflejan que existen mayor concentración de CO y MO en la parte alta del área de estudio.

### 9.3.3 Porcentaje de carbono orgánico

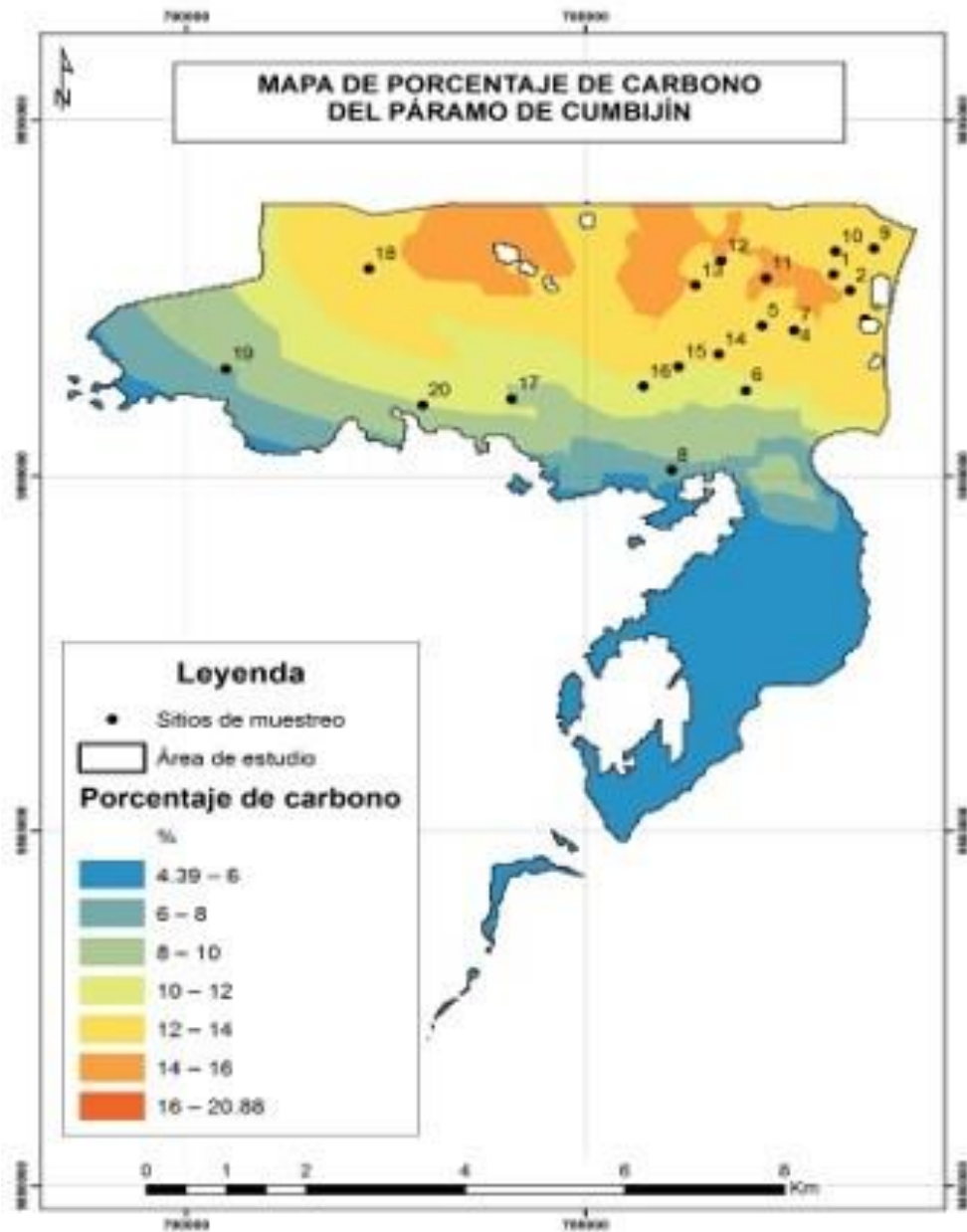
Los datos obtenidos después de la interpolación, reflejan que existen mayor concentración de CO en la parte alta, en la zona norte del área de estudio, con valores de concentración de 16-20,88 mayor concentración, una concentración media de 10 a 12 y una concentración baja con valores de 4,39 a 6 respectivamente.



**Figura 32:** Porcentaje de Materia orgánica

Elaborado por: Jiménez L. (2019)

Porcentaje de Materia orgánica Las concentraciones de materia orgánica en el área de estudio corresponde a valores de concentración alta 34 a 36 % , una concentración media 18 a 22 % mientras que las concentraciones bajas se encuentran en 7,57 a 10 %.



**Figura 33:** Porcentaje de carbono orgánico

Elaborado por: Jiménez L. (2019)

## **9.4 Discusión de Resultados**

Se analizaron tres criterios de comparación, los cuales son: por provincias, características de suelo, protocolo de análisis de muestreo y estado de conservación. Se realizó la comparación con un estudio realizado por Mena y M. (2000), en el cual se hace una relación entre provincias de Carchi, Cañar, Azuay, Chimborazo, Pichincha y Loja, y adicionalmente se realiza un análisis de variabilidad por profundidad (0-20cm, 20-50cm, 50-70cm).4). Se estable que los suelos de las provincias que pertenecen a la zona sur de la Región Sierra del país (Cañar y Azuay) cuentan con valores superiores de concentración de CO en el rango 20 - 50 cm de profundidad, como se mostrará posteriormente. Mientras tanto en las provincias de Carchi y Loja (extremos norte y sur del país respectivamente) la concentración de CO se encuentra en el rango de 20 - 50 cm de profundidad es ligeramente menor, aunque para Carchi se presenta mayor en los primeros 20 cm. Por otra parte en la zona centro del país (Pichincha, Chimborazo) las concentraciones de CO son inferiores en todas las profundidades analizadas en relación al páramo de Cumbijín, evidenciando una variación espacial en la cordillera de los Andes, mayor concentración en la zona sur, concentraciones promedio en la zona céntrica, donde resaltan los resultados del presente estudio, siendo superiores a sus dos vecinos más cercanos. Respecto a los valores, se establece, de mayor a menor, la concentración de CO en las provincias de la Sierra Ecuatoriana: Cañar: 18.5 %, Azuay: 13,6 %, Carchi 8,3 %, Loja 8,2 %, Chimborazo: 5,9 %, Pichincha 4,4 %. Con estos valores se puede comparar los resultados obtenidos en este estudio (12,33 %) sin llegar a establecer que los mismos corresponden a valores de porcentaje de carbono orgánico en toda la provincia. Con los valores de porcentaje de CO previamente mencionados se puede decir que la zona de estudio se encuentra en tercer lugar, y resalta en la zona centro del país, aunque sigue siendo inferior a las provincias del sur. No obstante se evidencia que el comportamiento del CO presenta una alta variabilidad espacial.

### **9.4.1 Por estado de Conservación**

Considerando criterios de calidad de concentración de COS establecidos por Mena y M. (2000), se determina que trece de los veinte puntos muestreados en Cumbijín, es decir la mayoría, superan el 10,9 % de COS, lo que es equivalente a un suelo no degradado, mientras que seis puntos muestreados corresponden a porcentajes inferiores al 7.9 %, indicando una

correspondencia con suelo degradado. Mientras que en uno de los puntos con 4.39 % de COS sería el punto con menor concentración de CO en el suelo.

#### **9.4.2 Suelos con características similares**

La comparación realizada en suelos con características similares, propuesta por Muñoz (2018) en un estudio realizado en la provincia de Chimborazo donde clasifica el contenido de CO en cuatro grupos, según su concentración (alto, medio-alto, medio-bajo y bajo), en suelos de tipo inceptisol (Tab.6), las concentraciones altas pertenecen a un promedio de 29,17 % de CO. Los resultados obtenidos en el área de estudio se presentan relativamente bajos, pero uno de los criterios para justificar este comportamiento, es que, como lo establecido en la primera comparación, se presenta mayor concentración de CO en la zona sur del país, es decir, en la provincia de Chimborazo (lugar donde se realizó el estudio de Muñoz). En relación a ello, el páramo de Cumbijín tendría concentraciones de CO que corresponderían a los valores promedio entre la zona norte y sur, considerando la influencia espacial que presenta en la cordillera de Los Andes en relación a la concentración de carbono orgánico. Además se evidencia la alta variabilidad espacial que presenta el comportamiento de la concentración de CO en suelo.



## 10 CONCLUSIONES

Se determinó un área de estudio de 40,66 km<sup>2</sup> de donde se recolectaron 20 muestras de suelos de las cuales en su totalidad son inceptisoles, distribuidas de formas dispersa y uniforme, a 30 cm de profundidad, las muestras recolectadas fueron extraídas de lugares de mayor accesibilidad y representatividad, ya que gran parte del páramo posee humedales, presencia de ganado bravo, se evidenciaron pendientes bajas los cuales dificultaron la recolección, las muestras fueron transportadas y recolectadas mediante la guía técnica para muestreo de suelos

Los análisis de laboratorio se realizaron a través del método de calcinación seca Walkley y Black, utilizando muestras previamente secadas al aire libre, tamizadas y secadas a 105°C por 24H para eliminar la humedad en su totalidad, para el proceso de calcinación se utilizaron 7g de muestras las cuales se sometieron a 650°C en la mufla, se realizó la relación que existe entre el peso inicial y el peso final de cada una de las muestras, determinándose en porcentaje de CO en cada una de las muestras, utilizando el factor de Van Belmet, 1,724, adicionalmente se calculó la DA a partir del peso y volumen de las muestras

Los resultados obtenidos, muestran concentraciones altas de CO en cada una de sus muestras, los rangos de CO varían desde 4,39 a 20,88 % de CO en peso relativo al total de la muestra, con una desviación estándar de 4,23 observando que no existe variación muy alta en los datos obtenidos y un promedio de 12,33 con un intervalo de confianza al 95 % de 1,97 y un coeficiente de variación de 0,34 no observándose datos atípicos en el estudio y además en CO es de un promedio de 2,48 Ton/Ha.

Los datos obtenidos en la interpolación reflejan mayores concentraciones de CO con un valor de 16 a 20,88 y MO 34 a 36 % las cuales corresponderían a la parte alta del área de estudio, una concentración media de CO 10 a 12 Y MO 18 a 22 %, que corresponderían a la zona media alta del área de estudio y concentraciones bajas de CO 4,39 a 6 y MO 7,57 a 10 % que corresponde a los límites del páramo con la frontera agrícola.

## **11 RECOMENDACIONES**

Para las ubicaciones con difícil accesibilidad a causa de presencia de pendientes, ganado bravo, se recomienda obtener mayor cantidad de muestras con mayor homogeneidad.

Es importante estandarizar los procesos de muestreo y laboratorio para medir CO, ya que no se establecen protocolos específicos dentro del contexto de parámos ecuatorianos.

Comparar el análisis con otras metodologías de estimación de CO (colorimétricos, volumétricos) para establecer la eficiencia de cada uno de los métodos analizados, y agilizar los procesos de medición.

Realizar un estudio que permita abordar la proporción y relación exacta o precisa carbono orgánico - materia orgánica y la influencia con variables atmosféricas en el suelo de páramo, analizar parámetros químicos, para establecer relaciones.

Establecer políticas de prevención y mitigación del cambio climático basado en resultados de estudios como el presente, donde se identifica el potencial de almacenamiento de CO por los parámos, así como su sensibilidad, de manera que se tomen decisiones fundamentadas para contribuir en ayuda de este problema global.

## 12 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, O., M. & Rangel. (1996). *Clima de los páramos*. Recuperado desde <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56325.pdf>
- Ayala, L., Villa, M. & Mendoza, Z. A. (2017). Cuantificación del carbono en los páramos del parque nacional Yacuri, provincias de Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador. *CEDAMAZ*, 4(1). Recuperado el 17 de mayo de 2019, desde <http://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/237>
- Castañeda-Martín, A. E. & Montes-Pulido, C. R. (2017). Carbono almacenado en páramo andino. *Entramado*, 13(1), 210-221. doi:10.18041/entramado.2017v13n1.25112
- Ceballos, I. (1960). Repoblación forestal española en los últimos veinte años: (1940-1960). *Estudios geográficos*, 21(81), 497-507. Recuperado el 25 de julio de 2019, desde <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3160734>
- Damian, D. (2014). *Comparacion de variables edafoclimaticas, en zonas y bosque y paramo utilizando modelo de interpolacion KRIGING en la parroquia ACHUPALLAS, canton Alausi, provincia de Chimborazo* (Tesis doctoral). Recuperado desde <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3596/1/33T0131%20.pdf>
- Eyherabide, M., Rozas, H. S., Barbieri, P. & Echeverría, H. E. (2014). COMPARACIÓN DE MÉTODOS PARA DETERMINAR CARBONO ORGÁNICO EN SUELO, 7.
- FAO. (2017a). *CARBONO ORGANICO DEL SUELO: el potencial oculto*. OCLC: 1013937508. Place of publication not identified: FOOD & AGRICULTURE ORG.
- FAO. (2017b). Mapa de carbono organico en el suelo. Recuperado el 22 de julio de 2019, desde <http://www.fao.org/3/i8195es/I8195ES.pdf>
- García, H. (2013). Valoración de los bienes y servicios ambientales provistos por el páramo de santurbán. Recuperado el 15 de julio de 2019, desde <http://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/332>
- Hofstede Robert, R. (2001). EL IMPACTO DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS SOBRE EL PÁRAMO. *Proyecto Paramo*, 161-182. Recuperado desde <http://www.scielo.org.co/>

scielo.php?script=sci\_nlinks&ref=000081&pid=S0123-4226200900020000900007&lng=en

- Izco, J., Pulgar, Í., Aguirre, Z. & Santin, F. (2007). Estudio florístico de los páramos de pajonal meridionales de Ecuador. *Revista Peruana de Biología*, 14(2), 237-246. Recuperado el 22 de julio de 2019, desde [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1727-99332007000300010&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1727-99332007000300010&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Julio, G. F. G. & H, G. (2006). Conceptos basicos de geoestadistica. Recuperado desde [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/art%C3%ADculo\\_redalyc\\_36014577008.pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/art%C3%ADculo_redalyc_36014577008.pdf)
- Martínez H, E., Fuentes E, J. P. & Acevedo H, E. (2008). CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1), 68-96. doi:10.4067/S0718-27912008000100006
- Mena, V. P. & M., J. (Eds.). (2000). *Los suelos del Páramo*. Quito: GTP, Grupo de Trabajo en Páramos del Ecuador, 5. Serie Páramo. OCLC: 252933736.
- Mendoza Reynaldo & Espinoza Ariel. (2017). Guia técnica para muestreos de suelos. Recuperado desde <https://core.ac.uk/download/pdf/151729876.pdf>
- Ministerio de Agricultura - SIGTIERRAS. (2017). MAPA DE ORDENES DE SUELO DEL ECUADOR. Recuperado desde [http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/MEMORIA\\_MAPA\\_DE\\_ORDENES\\_DE\\_SUELOS\\_MAG\\_SIGTIERRAS.pdf](http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/MEMORIA_MAPA_DE_ORDENES_DE_SUELOS_MAG_SIGTIERRAS.pdf)
- Morales-Betancourt, J. A. & Estévez-Varón, J. V. (2006). EL PÁRAMO: ¿ECOSISTEMA EN VÍA DE EXTINCIÓN? (22), 14.
- Muñoz, H. I. C. (2018). “Estimación del secuestro de carbono edáfico en el ecosistema herbazal de páramo del territorio hídrico del río cebadas, Chimborazo, Ecuador”. Recuperado el 28 de julio de 2019, desde <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/4491>
- Orejuela, H. B. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 82-96. Recuperado el 25 de julio de 2019, desde <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6572299&fbclid=IwAR1HC51XH-OhJ2Nn2am8DOhNe6jQoo4BVbcGYnBoXNR4XhpyEZIHSCYMKI0>
- Ramon, G. (2002). Introduccion a la geoestadistica. Recuperado desde [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/LIBRO%20DE%20GEOESTADISTICA%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/LIBRO%20DE%20GEOESTADISTICA%20(2).pdf)
- Rojas, J. (2011). EL PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES COMO ALTERNATIVA PARA EL USO SOSTENIBLE DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LOS PÁRAMOS. *Ambiente y Sostenibilidad*, 1, 57-65. doi:10.25100/ays.v1i1.4339

- Rosero, M. (2015). Aplicacion de tecnicas espaciales para el analisis de patrones y modelacion del delito en la provincia de Pichincha. Recuperado desde file:///C:/Users/Usuario/Downloads/CD-6100.pdf
- Salcedo, G. (2019). El Canton Salcedo. Recuperado el 28 de julio de 2019, desde <https://www.salcedo.gob.ec/el-canton-salcedo/>
- superior de investigaciones cientificas, C. (2000). Normas para toma de muestras de suelo. Recuperado desde <http://digital.csic.es/bitstream/10261/42842/1/Normas%20para%20la%20toma%20de%20muestras%20de%20suelo.pdf>
- Vásconez, P. M. & Robert Hofstede. (2006). Los páramos ecuatorianos. Recuperado desde <http://beisa.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdfer/Capitulo%2006.pdf>
- Webster, R. & Oliver, M. A. (1992). Sample adequately to estimate variograms of soil properties. *Journal of Soil Science*, 43(1), 177-192. doi:10.1111/j.1365-2389.1992.tb00128.x
- Xavier, C. (2019). Más dióxido de carbono en la atmósfera que nunca [Nuevatribuna]. Recuperado el 25 de julio de 2019, desde <https://www.nuevatribuna.es/articulo/sostenibilidad/dioxidocarbono-atmosfera-cambioclimatico-co2-acuerdoparis/20190516103919162748.html>

## **13ANEXOS**

### **Anexo 1.Hojas de vida**

Proponente del Proyecto de Investigación

Tutor del Proyecto de Investigación

# Elizabeth Jiménez

Quito



*Universidad Técnica  
de Cotopaxi*

*Av. Mariscal Sucre y Leopoldo Chavez,  
H0 995 055 298  
B lettyejr1993@gmail.com*

## Educación

- 2014–2019 **Ingeniería Ambiental**, *Universidad Técnica de Cotopaxi*, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.
- 2007-2011 **Bachiller en Ciencias Químico Biológicas**, *Instituto Tecnológico Benito Juárez*, Quito, sector La Magdalena.  
Sección Matutina
- 2000-2007 **Educación General Básica**, *Escuela Fiscal Mixta Oswaldo Guayasamin*, Sector: Quito Sur.

## Experiencia Laboral

- 2019 **Pasante**, *Universidad Técnica de Cotopaxi*, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Sector Salache.  
Proyecto Vivero forestal
- 2019 **Pasante**, *Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Pelileo*, Dirección: Calle 22 de Julio y Padre Chacon, Departemento de Orden y Control.

## Capacitaciones

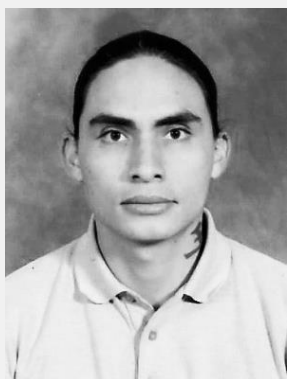
- 2018 **Certificado**, *Seminario Nacional Ambiental*, GAD Provincial de Cotopaxi, Universidad Técnica de Cotopaxi.  
16 horas

## Ponencias

- 2019 **Ponente**, “*I Jornada de Difusión Ambiental*”, Universidad Técnica de Cotopaxi, Carrera de Ingeniería Ambiental.

# JUAN MIGUEL ESPINOSA SOTO

## Especialista en Sistemas de Información Geográfica - SIG



### Información Personal

**Fecha de Nacimiento:** 22/10/1981

**Estado Civil:** Casado

**Nacionalidad:** Ecuatoriano

**Idiomas:**

Español (100%)

Portugués (100%)

Inglés (80%)

### Contacto

**Dirección:**

Isla Seymour N44-44 y Río Coca  
Quito - Ecuador

**E-mail:**

juanmiguelmanos@gmail.com

juanmiguel7@yahoo.com

**Telf. Celular:** 0995176636

### Referencias

**Laborales:**

Ing. Alejandra Repetto, Directora de Planificación, Ministerio de Educación del Ecuador. (0998300261)

Lic. Jenny Arroyo, Coordinadora de Cultura PUCE. (2991700 / 0991901226)

Ing. Marco Ayala Delgado, Líder de Proyectos Eléctricos, Consorcio Shushufindi S.A. (0983925469)

**Personales:**

Ing. Carlos Zuleta 0984637673

Mtr. Santiago Rubio 0998045001

Ph.D. Oscar Pérez 0999904181

### Otros

**Reconocimientos:**

Contra-Mestre de Capoeira  
Grupo de Capoeira RUMIZUMBI

**Aficiones:**

Fotografía, Música, Cine, Artes, Deportes

### PERFIL PROFESIONAL

Mi experiencia laboral me ha llevado hacia el mejoramiento de la calidad de la información geográfica que han generado y generan las instituciones del Estado. He puesto énfasis en el uso de nuevas tecnologías, procedimientos estandarizados y constante aprendizaje para cumplir los objetivos propuestos en las instituciones en donde he podido aportar.

Mi pasión por la Geografía me ha llevado a tener amplios conocimientos de ciencias de la tierra como la geología, climatología, oceanografía, vulcanología; así como los fenómenos humanos que caracterizan el territorio. En el último año me he dedicado a otra de mis pasiones, la docencia. El contacto con los estudiantes hace que se genere un círculo de aprendizaje continuo, donde las experiencias de los alumnos y los conocimientos del profesor enriquecen los contenidos académicos.



### EXPERIENCIA LABORAL

2017 - 2018	Universidad Técnica de Cotopaxi UTC - Docente de las carreras de Ingeniería en Medio Ambiente y Agronomía
2014 - 2015	Ministerio de Educación del Ecuador - Especialista en Sistemas de Información Geográfica
2014	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca - Coordinador de Geomática de la Subsecretaría de Tierras
2013 - 2014	Instituto Nacional de Investigaciones Geológico, Minero Metalúrgico - Analista de Información Geográfica
2011 - 2013	Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo - Analista de Información Geográfica
2009 - 2011	Instituto Nacional de Patrimonio Cultural - Geógrafo

### EDUCACIÓN

2016	Máster en Teledetección - Universidad de Valencia
2010	Ingeniero en Ciencias Geográficas y Desarrollo Sustentable - Pontificia Universidad Católica del Ecuador

### PUBLICACIONES

2013	CONAGE/SENPLADES - Estándares de Información Geográfica (Coautor)
2013	CONAGE/SENPLADES - Catálogo Nacional de Objetos Geográficos (Coautor)
2011	INPC/MCP - Guías Patrimoniales del Ecuador (Elaboración de Mapas)

### PROGRAMAS (SOFTWARE)





## Anexo 2.Registro Fotográfico - Fase de Campo



**Figura 34:** Grupo de Trabajo



**Figura 35:** Socialización del proyecto de investigación



**Figura 36:** Área de estudio



**Figura 37:** Remoción de cobertura Vegetal



**Figura 38:** Extracción de la muestra



**Figura 39:** Zona de alta retención hídrica



**Figura 40:** Humedal

### Anexo 3.Registro Fotográfico - Fase de Laboratorio



**Figura 41:** Estandarización de la muestra



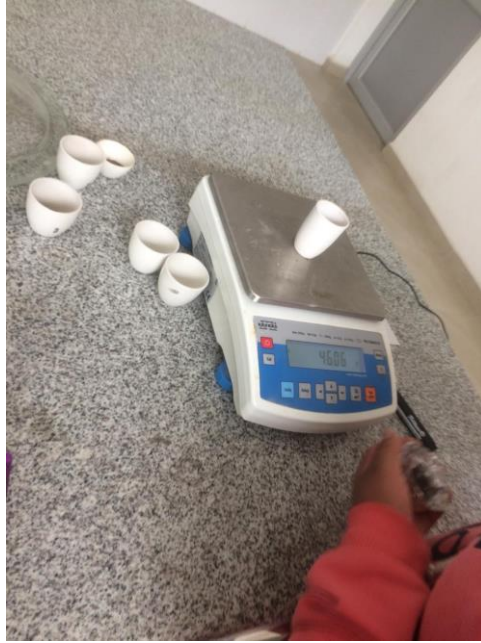
**Figura 42:** Secado 105°C



**Figura 43:** Muestra horno



**Figura 44:** Enfriamiento de la muestra



**Figura 45:** Medición del peso del crisol con muestra



**Figura 46:** Calibración de la temperatura para calcinación



**Figura 47:** Muestra de suelo en la mufla