



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

**“ESTIMACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO EN
NECROMASA Y SUELO EN LA ZONA ALTA DEL CERRO
HUICOTANGO PERTENECIENTE A LA COMUNA TASINTEO
MANTUGTUZA DEL CANTÓN PÍLLARO EN EL PERIODO
DICIEMBRE 2021 – FEBRERO 2022”**

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

Autora:

Pilataxi Diaz Deisy Beatriz

Tutor:

Daza Guerra Óscar René Ing. Mg.

LATACUNGA – ECUADOR

Marzo 2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Deisy Beatriz Pilataxi Diaz, con cédula de ciudadanía No. 1850464205, declaro ser autora del presente proyecto de investigación: “Estimación del Carbono Almacenado en Necromasa y Suelo en la Zona Alta del Cerro Huicotango perteneciente a la Comuna Tasinteo Mantugtuza del Cantón Píllaro en el periodo diciembre 2021 – febrero 2022”, siendo el Ingeniero Mg. Oscar René Daza Guerra, Tutor 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, 24 de marzo del 2022

Deisy Beatriz Pilataxi Diaz

Estudiante

CC: 1850464205

Ing. Mg. Oscar René Daza Guerra

Docente Tutor

CC: 0400689790

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 **PILATAXI DIAZ DEISY BEATRIZ**, identificada con cédula de ciudadanía **1850464205** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, el Ingeniero Ph.D. Cristian Fabricio 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 CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “Estimación del Carbono Almacenado en Necromasa y Suelo en la Zona Alta del Cerro Huicotango perteneciente a la Comuna Tasinteo Mantugtuza del Cantón Píllaro en el periodo diciembre 2021 – febrero 2022”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Abril 2017 - Agosto 2017

Finalización de la carrera: Octubre 2021 – Marzo 2022

Aprobación en Consejo Directivo: 7 de enero del 2022

Tutor: Ing. Mg. Oscar René Daza Guerra

Tema: “Estimación del Carbono Almacenado en Necromasa y Suelo en la Zona Alta del Cerro Huicotango perteneciente a la Comuna Tasinteo Mantugtuza del Cantón Píllaro en el periodo diciembre 2021 – febrero 2022”

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 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 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.
- e) 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 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 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 CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la 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 24 días del mes de marzo del 2022.

Deisy Beatriz Pilataxi Diaz

LA CEDENTE

Ing. Ph.D. Cristian Tinajero Jiménez

LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

“ESTIMACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO EN NECROMASA Y SUELO EN LA ZONA ALTA DEL CERRO HUICOTANGO PERTENECIENTE A LA COMUNA TASINTEO MANTUGTUZA DEL CANTÓN PÍLLARO EN EL PERIODO DICIEMBRE 2021 – FEBRERO 2022”, de Pilataxi Diaz Deisy Beatriz, de la carrera de Ingeniería en 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, 24 de marzo del 2022

Ing. Mg. Oscar René Daza Guerra

DOCENTE TUTOR

CC: 0400689790

AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, la postulante: Pilataxi Diaz Deisy Beatriz, con el título del Proyecto de Investigación: **“ESTIMACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO EN NECROMASA Y SUELO EN LA ZONA ALTA DEL CERRO HUICOTANGO PERTENECIENTE A LA COMUNA TASINTEO MANTUGTUZA DEL CANTÓN PÍLLARO EN EL PERIODO DICIEMBRE 2021 – FEBRERO 2022”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 24 de marzo del 2022

Lector 1 (Presidente)

Lcdo. M.Sc. Manuel Patricio Clavijo
Cevallos

CC: 0501444582

Lector 2

Ing. Mg. José Antonio Andrade Valencia

CC: 0502524481

Lector 3

Ing. M.Sc. José Luis Agreda Oña

CC: 0401332101

AGRADECIMIENTO

Agradezco a dios por el día a día que paso junto a mis seres queridos y por todas las bendiciones que me ha dado a lo largo de mi vida. A mis padres Héctor Pilataxi y Mariana Díaz, que han sido un apoyo fundamental y un gran ejemplo a seguir, brindándome sus consejos, inculcándome valores para que sea una persona de bien, pero sobre todo dándome su amor incondicional, ya que gracias a ellos soy la persona que soy hoy en día. A mis hermanos Natali Pilataxi y Darwin Pilataxi, que son un ejemplo de superación para mí y me han brindado su apoyo y cariño en los momentos buenos y malos. A mi gatita Mishu, que me ha acompañado en las noches en vela y le ha traído alegrías a mi vida. A mis maestros que me han brindado sus conocimientos y también sus consejos, agradezco en especial a mi tutor el Ing. Oscar Daza que me guio y apoyo en mi trabajo de investigación. A mis amigas Cynthia Garzón, Liliana Mañay y Karen Perugachi, con las cuales he compartido muchos momentos en esta bonita etapa de mi vida que es la universidad, me llevo gratos recuerdos de cada una de ellas.

Deisy Pilataxi

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mis padres, que son lo más preciado que tengo en mi vida y gracias a ellos he podido completar cada una de mis metas, juntos hemos luchado día a día para seguir adelante, hemos estado en las buenas y en las malas, hemos vivido momentos felices y tristes, pero siempre saliendo adelante y superando todas las adversidades. A mis hermanos, que siempre los tengo en mi corazón, ya que sin su apoyo y consejos no estaría donde estoy ahora, y también a mi cuñado Juan Carlos Paredes que ha sido como un hermano para mí y también me dio ánimos para seguir adelante. A todas las personas que alguna vez me dieron palabras de aliento y me dijeron que siga adelante y cumpla mis metas. A mis amigas que han sido un apoyo en mi vida estudiantil, ya que hemos compartido tantas experiencias tanto buenas como malas; pero siempre han estado ahí luchando y acompañándome cuando lo necesite.

Deisy Pilataxi

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TITULO: “ESTIMACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO EN NECROMASA Y SUELO EN LA ZONA ALTA DEL CERRO HUICOTANGO PERTENECIENTE A LA COMUNA TASINTEO MANTUGTUZA DEL CANTÓN PÍLLARO EN EL PERIODO DICIEMBRE 2021 – FEBRERO 2022”

Autor: Deisy Beatriz Pilataxi Díaz

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo estimar el contenido de carbono en suelo y necromasa en la zona alta del Cerro Huicotango perteneciente a la Comuna de Tasinteo Mantugtuza. Para estimar el contenido de carbono la investigación se dividió en tres fases: fase de campo, fase de laboratorio y fase de análisis de datos. Se estableció tres parcelas permanentes en base a tres sistemas distintos: parcela agrícola, parcela pasto y parcela bosque. Se obtuvieron 36 muestras de suelo a tres diferentes profundidades (0-30 cm) de las tres parcelas establecidas que fueron sometidas al proceso de calcinación o ignición (LOI) a una temperatura de 360°C por 24h. Para la estimación de carbono en necromasa se obtuvieron 36 muestras de diferentes especies vegetales que fueron seleccionadas por medio de un muestreo aleatorio simple, muestras que fueron secadas en una estufa a 120°C por 24h para obtener el peso seco y realizar los respectivos cálculos. Como resultado de la investigación se obtuvieron los siguientes datos: el promedio de almacenamiento de carbono en el suelo es de 69.78 tC/ha, siendo la parcela bosque la que contiene el mayor contenido de carbono; con un promedio de 85.47 tC/ha, mientras que para el contenido de carbono en necromasa el valor promedio es de 0.0022 tC/ha. Con la investigación realizada podemos concluir que, el suelo almacena más del 99% de carbono mientras que la necromasa no almacena ni el 1%, esto debido a las altas concentraciones de MO y CO que posee el suelo, volviéndolo el sumidero de carbono más grande, mientras que la necromasa almacena pocas cantidades de C debido a su rápida degradación y poca densidad vegetal.

PALABRAS CLAVES: Biomasa, Calcinación, Carbono, Fotosíntesis, Materia Orgánica, Necromasa.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

TOPIC: “STORED CARBON INTO NECROMASS ESTIMATION AND SOIL INTO THE CERRO HUICOTANGO UPPER AREA BELONGING TO THE TASINTEO MANTUGTUZA COMMUNE FROM PÍLLARO CANTON, IN THE PERIOD DECEMBER 2021-FEBRUARY 2022”.

Author: Pilataxi Diaz Deisy Beatriz

ABSTRACT

The actual research had as aim to estimate the carbon content into soil and necromass in the Cerro Huicotango upper area belonging to the Tasinteo Mantugtuza Commune. For estimating the carbon content, the research was divided into three phases: field phase, laboratory phase and data analysis phase. It was set three permanent plots based on three different systems: agricultural plot, pasture plot and forest plot. It was got 36 soil samples at three different depths (0-30 cm), from the three set plots, what were suppressed to the process calcination or ignition (LOI) at a 360°C temperature for 24h. For the carbon in necromass estimation, it was got different plant species 36 samples, what were selected, by means simple random sampling, samples, whose were dried into an oven at 120°C for 24h to get the dry weight and perform the respective calculations. As a research result, it was got the following data: the average carbon storage into the soil is 69.78 tC/ha, being the forest plot, which presents the highest carbon content; with an 85.47 tC/ha average, while for the carbon content into necromass, the average value is 0.0022 tC/ha. With the made research, it can conclude, what the soil stores more than carbon 99%, while necromass does not store, even 1%, this is due to the OM and CO high concentrations, whose have the soil, turning it the largest drain of carbon, while necromass stores few C amounts, due to its rapid degradation and low plant density.

KEYWORDS: Biomass, calcination, carbon, photosynthesis, organic matter, necromass.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	v
AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
ÍNDICE GENERAL.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
1. JUSTIFICACIÓN.....	1
2. PROBLEMÁTICA.....	2
3. OBJETIVOS.....	2
3.1. General.....	2
3.2. Específicos.....	2
4. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	3
5. MARCO TEÓRICO	4
5.1. Carbono	4
5.2. Ciclo del carbono.....	5
5.2.1. El ciclo lento del carbono	7
5.2.2. El ciclo rápido del carbono.....	7
5.3. Fijación de carbono en el suelo	8
1.3.1. Materia orgánica en el suelo (MO).....	9
1.3.2. Carbono orgánico (CO)	10
1.3.3. Densidad aparente (DA)	11
5.6. Fijación de carbono en plantas	12
5.6.1. Ciclo de Calvin	12
5.6.2. Carbono en necromasa.....	14
5.7. Importancia de los páramos en el almacenamiento de carbono	15

5.8. Método de calcinación o pérdida de peso por ignición (Loss On Ignition -LOI)	16
6. PREGUNTA CIENTÍFICA.....	16
7. METODOLOGÍA.....	17
7.1 Enfoques	17
7.1.1. Enfoque mixto	17
7.2. Técnicas	17
7.2.1. La observación.....	17
7.2.2. Fichaje	17
7.2.3. Investigación bibliográfica	18
7.3. Instrumentos de investigación	18
7.3.1. Fichas de campo	18
7.3.2. Fichas informativas	18
7.3.3. Cuaderno de notas	19
7.3.4. Equipos electrónicos.....	19
7.4. Fases metodológicas.....	19
7.4.1. Fase de campo	20
7.4.1.1. Equipos y Materiales	20
7.4.1.2. Caracterización y delimitación del área de estudio	21
7.4.1.3. Determinación del tamaño, número y forma de parcelas	25
7.4.1.4. Recolección de muestras	27
7.4.2. Fase de laboratorio.....	29
7.4.2.1. Materiales y equipos.....	29
7.4.2.2. Análisis del suelo.....	29
7.4.2.3. Análisis de la necromasa	31
7.4.3. Fase de análisis de datos.....	31
7.4.3.1. Estimación del carbono almacenado en suelo	31
7.4.3.2. Estimación del carbono almacenado en necromasa	34
7.4.3.3. Procesamiento de datos	36
8. RESULTADOS	36
8.1. Estimación de carbono en suelo	36
8.1.1. Densidad aparente total en suelo de los tres tipos de parcelas	36
8.1.2. Contenido de materia orgánica total en los tres tipos de parcelas	37
8.1.3. Contenido total de Carbono Orgánico en los tres tipos de parcelas	38
8.1.4. Contenido total de carbono en los tres tipos de parcelas.....	39
8.2. Estimación de carbono almacenado en necromasa.....	40

8.2.1. Contenido total de carbono almacenado de necromasa en los tres tipos de parcelas..	40
8.3. Estimación total de carbono almacenado en suelo y necromasa	41
9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	44
10. IMPACTOS SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS	46
11. PRESUPUESTO.....	47
12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
10.1. Conclusiones.....	48
10.2. Recomendaciones	48
13. BIBLIOGRAFÍA	50
14. ANEXOS	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividades y Sistemas de Tareas en Relación a los Objetivos Planteados	3
Tabla 2. Porcentaje de Materia Orgánica según la Utopía del 5%	10
Tabla 3. Carbono Orgánico en los Suelos del Mundo	10
Tabla 4. Rango de Carbono Orgánico para la Producción	11
Tabla 5. Coordenadas Geográficas de las Áreas Muestreadas	23
Tabla 6. Datos Climáticos de los Días de Muestreo.....	24
Tabla 7. Dimensiones de las Parcelas Muestreadas	26
Tabla 8. Especies seleccionadas para el Muestreo de Necromasa.....	28
Tabla 9. Base de datos en Access	43
Tabla 10. Promedios Generales del Contenido de Carbono en Suelo y Necromasa	44
Tabla 11. Presupuesto para la Elaboración del Proyecto.....	47
Tabla 12. Cálculos para Estimar el Carbono Almacenado en Suelo	59
Tabla 13. Cálculos para Estimar el Carbono Almacenado en Necromasa	60
Tabla 14. Base de Datos del Carbono Almacenado en Suelo.....	61
Tabla 15. Base de Datos en Access del Contenido de Carbono en Necromasa	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo del Carbono	6
Figura 2. Fijación de Carbono en el Suelo	9
Figura 3. Ciclo de Calvin	12
Figura 4. Fijación de Carbono en el Ciclo de Calvin	13
Figura 5. Etapa de Reducción del Ciclo de Calvin.....	14
Figura 6. Fases Metodológicas para la Investigación.....	20
Figura 7. Mapa de Ubicación Geográfica del Área de Estudio	22
Figura 8. Uso de Suelo y Cobertura Vegetal.....	25

Figura 9. Forma de las Parcelas.....	26
Figura 10. Densidad Aparente Total en Suelo	36
Figura 11. Contenido de Materia Orgánica Total en Suelo.....	37
Figura 12. Porcentaje Total de Carbono Orgánico en el Suelo	38
Figura 13. Contenido Total de Carbono Almacenado en las Tres Parcelas	39
Figura 14. Contenido Total de Carbono Almacenado en Necromasa	40
Figura 15. Relación entre CO ₂ y Carbono en Necromasa	41
Figura 16. Carbono Almacenado en Suelo y Necromasa.....	42

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Fichas de campo para la recolección de muestras de suelo	53
Anexo 2. Fichas de campo para la recolección de muestras de necromasa	53
Anexo 3. Fichas de laboratorio.....	54
Anexo 4. Fase de campo para la recolección de muestras de suelo	55
Anexo 5. Fase de campo para la recolección de muestras de necromasa.....	56
Anexo 6. Fase de laboratorio para muestras de suelo	57
Anexo 7. Fase de laboratorio para muestras de necromasa.....	58
Anexo 8. Fase de análisis de datos	59
Anexo 9. Aval de Traducción.....	65

1. JUSTIFICACIÓN

El almacenamiento de carbono tanto en suelo como en biomasa (viva y muerta) es de suma importancia. En lo que respecta al suelo; ayuda en la fertilidad y desarrollo de plantas, mientras que en la biomasa ayuda a retener los gases de efecto invernadero (GEI) y combate el cambio climático. La constante expansión de la agricultura y ganadería pueden afectar el ciclo de carbono, sobre todo en un ecosistema frágil como lo es el ecosistema de páramo. Además, hasta la fecha no se han realizado ningún tipo de estudio o investigación sobre el almacenamiento de carbono en esta zona, por lo que no se puede deducir que impactos sociales, ambientales o económicos se han dado en el sitio.

En el enfoque ambiental, es importante conocer el contenido de carbono que se almacena en suelo y necromasa; para tener conocimiento de la actividad que causa mayor impacto y como esta puede perjudicar al entorno natural, ya que al acabar con vastas extensiones de vegetación del páramo para sustituirlas con pasto (que se utiliza como alimento de ganado), acabamos con especies vegetales que secuestran mucho más carbono que los pastizales. En la agricultura el labrado convencional o excesivo puede cambiar la estructura de suelo y disminuir la materia orgánica por lo cual también disminuye el carbono en suelo. Si el ciclo de carbono se altera en la zona puede darse varios impactos negativos en la sociedad como, por ejemplo; el desplazamiento de las personas debido a los efectos que pueda tener (erosión de suelo, reducción de la producción agrícola, afectación a la salud, etc) el desequilibrio del ciclo de carbono. En lo económico, el secuestro de carbono puede ser una fuente futura de economía para los socios que pertenecen a la comuna Tasinteo Mantugtuza, ya que existen varios proyectos que dan incentivos por la conservación de los páramos y secuestro de carbono. En cuanto al enfoque institucional, es importante que los estudiantes aporten con sus investigaciones, para difundir la información recolectada a los pobladores y se interesen en implementar técnicas sustentables que no afecten a los páramos.

Motivo suficiente por el cual me ha llevado a realizar el presente estudio enfocado en investigar sobre la estimación de carbono almacenado en la zona alta del Cerro Huicotango tanto en necromasa como en suelo, de esta manera espero obtener resultados confiables que puedan darme una perspectiva actual de cuanto carbono se almacena en la zona y proponer alternativas sustentables para que las actividades que se ejecutan en la zona no provoquen grandes impactos ambientales futuros.

2. PROBLEMÁTICA

El cambio climático ha causado que varios investigadores se interesen en realizar diversos estudios para dar soluciones a este problema que se da a gran escala luego de la llamada “Revolución industrial”. Dicho cambio climático ha provocado un desbalance del ciclo de carbono, dado que las actividades antropogénicas aumentan el CO₂ en la atmósfera entre unos 950 a 1.200 gramos por persona al día. En el Ecuador ya se empieza a vivir los impactos del cambio climático debido al aumento de temperaturas causadas por deforestación, cambio del uso del suelo, construcciones, la utilización irresponsable de vehículos con combustibles fósiles y el desarrollo industrial, que afectan especialmente a la Sierra y Amazonia. En la actualidad la actividad agropecuaria en la zona alta del Cerro Huicotango es mucho mayor en comparación a años anteriores, y no se conoce si dicha actividad aporta en la afectación del almacenamiento de carbono, debido a que las áreas utilizadas para pastoreo y agricultura pasan por un proceso de degradación, lo que origina un cambio en la estructura y composición del suelo, mientras que la afectación producida en la vegetación es la deforestación o eliminación de diversas especies vegetales que almacenan mayormente el carbono. La agricultura es la segunda actividad que ha aumentado en la zona, lo que provoca un cambio en el uso de suelo y puede llegar a afectar el ciclo de carbono por el uso de componentes químicos (fertilizantes, abonos químicos, etc) que cambian la composición química y microbiológica del suelo. El déficit de información de estudios de carbono en los páramos de Píllaro también es un problema a la hora de analizar la situación actual de la zona de estudio, ya que no se conoce los valores de C de años anteriores y si las actividades realizadas en el sitio han causado un desequilibrio en el almacenamiento de carbono.

3. OBJETIVOS

3.1. General

- Analizar y comparar los resultados obtenidos durante la investigación mediante tres fases metodológicas para conocer el contenido de carbono almacenado en suelo y necromasa en un sistema agrícola, un sistema pasto y un sistema bosque en la zona alta del Cerro Huicotango.

3.2. Específicos

- Establecer tres parcelas permanentes para realizar una comparación de resultados entre los tres sistemas diferentes.

- Estimar el contenido de carbono almacenado en suelo mediante el método LOI y en necromasa aplicando el método del peso húmedo y peso fresco para la obtención de datos.
- Crear una base de datos en el programa Access para organizar la información recolectada y ver las variables que influyen en la fijación de carbono en suelo y necromasa.

4. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

En la presente investigación se realiza las siguientes actividades para poder cumplir cada objetivo específico planteado:

Tabla 1.

Actividades y Sistemas de Tareas en Relación a los Objetivos Planteados

Objetivos	Actividades	Detalles de la actividad	Medios de verificación
O.1.- Establecer tres parcelas permanentes mediante el método aleatorio estratificado para realizar una comparación entre los tres sistemas diferentes.	Visitas de campo	Recorridos por la zona de estudio para ver las características geográficas, las actividades que se realizan, etc.	Libreta y hojas de campo
	Uso del programa Google Earth y Arcgis.	Estratificación aleatoria para seleccionar las parcelas teniendo en cuenta el sitio y la autorización del dueño del terreno.	Mapas
	Fase de campo	Medición de las parcelas seleccionadas.	Mapas
O.2.- Estimar el contenido de carbono almacenado en suelo mediante el método LOI y en necromasa	Estudio de metodologías.	Investigación bibliográfica del método LOI para calcular el carbono en suelo, mientras que para la necromasa fue el método del peso húmedo y peso seco.	Marco teórico y metodológico

aplicando el método del peso húmedo y peso fresco de las áreas de estudio seleccionadas.	Fase de laboratorio.	Uso de los laboratorios de la universidad para aplicar los métodos seleccionados y obtener el contenido de carbono en suelo y necromasa.	Registro fotográfico Fichas de laboratorio
	Fase de análisis de datos.	Uso de ecuaciones para calcular el carbono almacenado en suelo y necromasa.	Hojas de cálculo en Excel
O.3.- Crear una base de datos en el programa Access para organizar la información recolectada y ver las variables que influyen en la fijación de carbono en suelo y necromasa.	Crear una base de datos	Uso del programa Excel y Access para crear una base de datos con la que se pueda interpretar los resultados obtenidos en laboratorio mediante tablas y gráficos.	Tablas y gráficos

Elaborado por: Pilataxi, 2022

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Carbono

Como es de conocimiento mundial, el carbono es considerado el elemento químico de la vida y es uno de los más abundantes en la tierra además del helio, el nitrógeno y el oxígeno. Los seres vivos están constituidos por un 50% de átomos de carbono, las capas de la tierra (biosfera, atmósfera, hidrosfera y litosfera) también contienen este elemento que es usado para formar otros componentes o realizar reacciones químicas.

Según el artículo científico publicado por Riebeek (2011) el carbono se almacena alrededor de unos 65 500 millones de toneladas métricas en las rocas. Por otro lado, existen otros reservorios de carbono como la biomasa y los suelos; que al interactuar entre si crean el famoso ciclo de carbono.

En mención al artículo publicado por Lal (2007) podemos decir que el carbono juega un papel esencial en la biología por la siguiente razón:

Su capacidad para formar una infinidad de enlaces (hasta cuatro por átomo) en una variedad aparentemente infinita de moléculas orgánicas complejas. Muchas de estas moléculas orgánicas contienen átomos de carbono que forman fuertes enlaces con otros átomos de carbono, combinándose en largas cadenas y anillos. Tales cadenas y anillos de carbono son la base de las células vivas. Por ejemplo, el ADN está formado por dos moléculas entrelazadas construidas alrededor de una cadena de carbono. (pp. 303-310)

5.2. Ciclo del carbono

El ciclo de carbono es un ciclo biogeoquímico que básicamente se trata del movimiento del carbono junto con otros elementos como el oxígeno, hidrogeno, fosforo, etc., entre los seres vivos y el ambiente mediante distintos procesos. Este ciclo es uno de los más esenciales que son clave para que la vida en el planeta tierra pueda darse, además de realizar un intercambio del carbono entre los distintos reservorios existentes, conocido como el balance global del carbono.

Para Martín Chivelet “el concepto de ciclo del carbono es aquel que realiza el flujo del carbono mediante los procesos físicos, químicos y biológicos que lo controlan entre los diferentes almacenes de ese elemento del sistema Tierra” mientras que para Sánchez (2019) el ciclo del carbono “es un ciclo biogeoquímico donde el carbono sufre distintas transformaciones a lo largo del tiempo (Ballesteros y Aristizabal, 2007), esto se debe al intercambio entre la biósfera, litósfera, hidrósfera y la atmósfera de la Tierra”.

Los reservorios de carbono funcionan mediante una interconexión entre ellos realizando el intercambio del carbono mediante procesos químicos, físicos, geológicos y biológicos; creando el balance global de carbono antes mencionado. Estos reservorios se los puede clasificar de la siguiente manera:

➤ *Atmosfera*

El carbono en la atmosfera se presenta en dos formas que son el dióxido de carbono y el metano, siendo el CO₂ el que mayor se encuentra presente. Dichos gases son los responsables de absorber y retener el calor en la atmosfera creando el llamado efecto invernadero, el cual es causado mayormente por las actividades humanas logrando el aumento de carbono en la atmosfera en forma de CO₂.

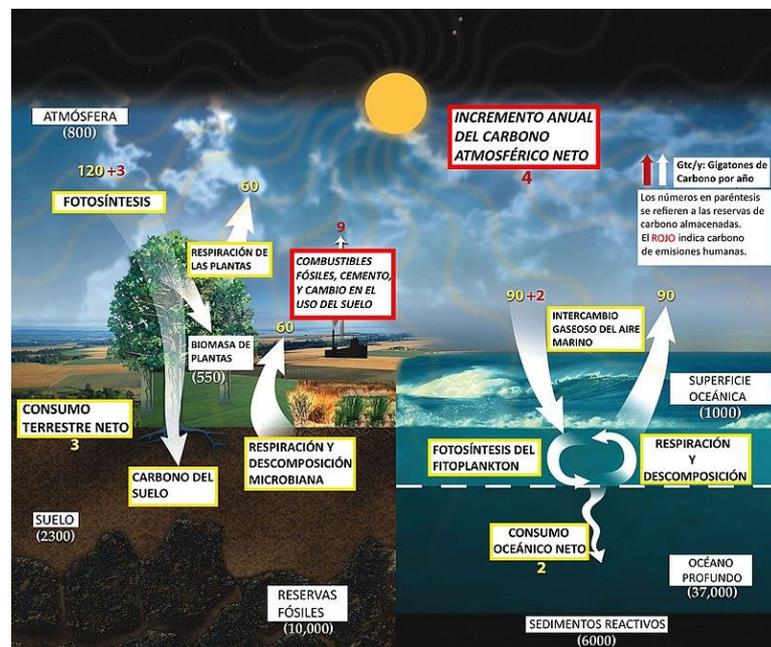
➤ *Biosfera terrestre*

El carbono presente en la biosfera terrestre se encuentra en los organismos vivos y muertos mientras que en los suelos se encuentra en forma de carbono orgánico. Según Charles. W (2002) en la revista Geotimes menciona que aproximadamente unos 500 GtC (gigatonnes de carbono) se encuentran almacenados sobre la tierra (plantas y organismos vivientes) mientras que el suelo almacena unos 1500 GtC.

La fijación de carbono en la biosfera terrestre depende en gran medida de los factores bióticos (organismos vivos) que a través de distintos procesos fijan o libera carbono. Uno de los procesos para liberar carbono del suelo es mediante la respiración del suelo o a su vez por el proceso de erosión, mientras que para las plantas se lo realiza mediante el proceso de fotosíntesis. La temperatura también juega un papel importante en la fijación del carbono en la biosfera, debido a que acelera la descomposición del carbono orgánico y aumenta el flujo del CO₂.

Figura 1.

Ciclo del Carbono



Fuente: Holli Riebeck (2011). El ciclo del carbono [Imagen].

<https://earthobservatory.nasa.gov/features/CarbonCycle>

5.2.1. El ciclo lento del carbono

En este ciclo el carbono tarda entre 100 a 200 millones de años en moverse entre las rocas, el suelo, el océano y la atmósfera con un promedio de 10 a 100 millones t métricas de carbono cada año regulando este movimiento a través de varias reacciones químicas, según lo expuesto por Riebeek (2011). Este ciclo comienza con la lluvia, moviendo el carbono entre la atmósfera (A través de los volcanes) y la litosfera combinándolo con el agua para formar un ácido débil (el ácido carbónico) para realizar la meteorización química de las rocas, liberando iones de calcio, magnesio, potasio o sodio.

En la superficie terrestre y oceánica de la Tierra el carbono se asienta sobre varias placas de la corteza en movimiento y cuando estas placas chocan, una se hunde debajo de la otra y la roca que transporta se derrite bajo el calor y la presión extremos. Si el dióxido de carbono aumenta en la atmósfera debido a un aumento en la actividad volcánica, las temperaturas aumentan generando más lluvia, lo que provoca que las rocas se disuelvan más y creen más iones que eventualmente causara que el carbono se deposite en mayor cantidad en el fondo del océano.

El ciclo lento del carbono también contiene un componente ligeramente más rápido que es el océano, donde el aire se encuentra con el agua y el gas CO₂ se disuelve y sale del océano en un intercambio constante con la atmósfera liberando hidrógeno que luego reacciona con el carbonato de la erosión de las rocas para producir iones de bicarbonato.

Actualmente un 80% de la roca realiza este ciclo lento del carbono, mientras que el otro 20% lo realiza los seres vivos almacenando carbono (carbono orgánico) que es incrustado en capas de lodo. En casos especiales, cuando la materia vegetal muerta se acumula más rápido de lo que se descompone, las capas de carbono orgánico se convierten en petróleo, carbón o gas natural en lugar de rocas sedimentarias como el esquisto.

5.2.2. El ciclo rápido del carbono

En este ciclo el carbono se mueve a través de las formas de vida en la Tierra o la biosfera y se mide en una vida útil, entre unos 1000 a 100 000 millones de toneladas métricas de carbono cada año. Las plantas y el fitoplancton son los componentes principales de este ciclo, tomando el dióxido de carbono de la atmósfera y absorbiéndolo en sus células utilizando la energía solar para luego formar azúcares.



Este ciclo empieza con las plantas descomponiendo el azúcar para obtener la energía que necesitan para crecer, luego los animales (incluido el ser humano) comen las plantas o el plancton y descomponen el azúcar producido en la planta para obtener energía, y finalmente cuando las plantas y animales mueren se descomponen y son nuevamente consumidos por las plantas y el ciclo vuelve a repetirse.

5.3. Fijación de carbono en el suelo

El suelo es un importante sumidero de carbono después de los océanos; almacenando un promedio total de 2.700 Gt en suelos de todo el mundo, ayudando al ciclo de carbono y cumpliendo un papel importante en lo que respecta a la biogeoquímica, la mitigación del cambio climático, entre otros. El carbono sólido se fija en los suelos en forma de materia orgánica y carbono inorgánico como por ejemplo los minerales de carbonato.

La vegetación es importante para el almacenamiento de C en el suelo, debido a que el CO₂ absorbido se almacena en el suelo por medio de las raíces de las plantas, además de la descomposición de la materia orgánica (Peris, 2013). Es así que la dinámica del carbono en el suelo, se da por la materia orgánica fresca y los restos orgánicos en forma de necromasa que se encuentran en la superficie del suelo, formando el primer reservorio llamado mantillo o turba.

¿Cómo se fija el carbono en suelo?

De acuerdo a García et, al. (2012) el almacenamiento de carbono en el suelo se realiza mediante el siguiente proceso:

1. Se aporta materia orgánica fresca al suelo que proviene de los árboles especialmente de la necromasa caída, o también proviene de los restos de animales muertos o los desechos de los animales.
2. Luego de que se acumula la materia orgánica sobre la superficie del suelo, esta se transforma en turba o mantillo convirtiéndose en el primer reservorio del carbono.
3. La turba pasa por el proceso de descomposición liberando CO₂ a la atmósfera mientras que una parte de la turba se transforma en humus el cual contiene grandes cantidades de carbono.

Figura 2.*Fijación de Carbono en el Suelo*

Fuente: García et, al. (2012). <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Orellana-et-al-2012.pdf>

Elaborado por: Pilataxi, 2022

1.3.1. Materia orgánica en el suelo (MO)

Se conoce como materia orgánica (MO) al conjunto de residuos orgánicos que son o pueden ser de origen animal y/o vegetal, que se encuentran a distintas etapas de descomposición, y que se acumulan tanto en la superficie del suelo como dentro de este. La materia orgánica (MO) es un componente dinámico, que responde de manera selectiva y rápida a los cambios en cuanto al uso y manejo del suelo.

Según el investigador del Instituto de Geología (IG) Chávez. V (2020) explica el aprovechamiento de la MO en el suelo donde los microorganismos pueden aprovechar el carbono presente en la materia orgánica como fuente de energía y de materia para construir sus propias células, mientras que el dióxido de carbono y los iones inorgánicos se quedan en el suelo y siguen formando parte de la materia orgánica.

Según la revista Agrinova Science (2019) menciona que, el suelo debería contener un porcentaje de materia orgánica cercano al 5%, aunque con la llegada de la agricultura intensiva dicho porcentaje se ha reducido drásticamente, y en muchos de los casos no llega ni

al 2%. Es por esto que se puede afirmar que este cinco por ciento es una utopía actualmente (Tabla 2).

Tabla 2.

Porcentaje de Materia Orgánica según la Utopía del 5%

Clase	Porcentaje (%)
Extremadamente pobre	0.00 – 0.60
Pobre	0.61 – 1.20
Medianamente pobre	1.21 – 1.80
Mediano	1.81 – 2.40
Medianamente rico	2.41 – 3.00
Rico	3.01 – 4.20
Extremadamente rico	Mayor de 4.20

Fuente: Agrinova Science (2019). *Utopía del 5%* [Tabla]. <https://agri-nova.com/noticias/la-utopia-del-5-de-la-materia-organica/#:~:text=En%20un%20supuesto%20ideal%2C%20el,ni%20al%20dos%20por%20ciento.>

Elaborado por: Pilataxi, 2022

1.3.2. Carbono orgánico (CO)

El carbono orgánico en el suelo es una composición de los residuos orgánicos vegetales y animales que se encuentran poco alterados formando humus. Según Aguilera (2000) y Swift (2001) el CO resulta de un balance entre la incorporación de materia orgánica fresca y la salida de carbono hacia la atmósfera en forma de CO₂. Es por esta razón que el contenido de CO depende en gran medida del contenido de MO presente en el suelo, siendo una importante fuente para que se produzca el carbono orgánico en el suelo.

Según Acevedo (2008) los suelos que acumulan la mayor cantidad de carbono orgánico son los histosoles, aun cuando este orden tiene la menor superficie con respecto a los otros órdenes de suelos, pero es el que tiene la mayor cantidad de COS/superficie (Tabla 3).

Tabla 3.

Carbono Orgánico en los Suelos del Mundo

ORDEN	Área (10 ³ km ²)	COS/Área (Pg ⁻³ km ²)
Histosoles	1.745	0.205
Andisoles	2.552	0.031
Inceptisoles	21.580	0.016
Podzoles	4.878	0.015
Molisoles	5.480	0.013

Oxisoles	11.772	0.010
Entisoles	14.921	0.010
Ultisoles	11.330	0.009
Alfisoles	18.283	0.007
Vertisoles	3.287	0.006
Aridosoles	31.743	0.003
Misceláneos	7.644	0.002
TOTAL	135.215	0.012

Fuente: Martínez , Fuentes, & Acevedo (2008). Worldwide soil organic carbon [Tabla].

https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912008000100006

Elaborado por: Pilataxi, 2022

Según la plataforma Agrantech (2018), para las actividades agrícolas se toma en cuenta el porcentaje de carbono orgánico presente en el suelo, de esta manera se puede ver el potencial para producción, tal como se muestra en la **Tabla 4**.

Tabla 4.

Rango de Carbono Orgánico para la Producción

Rango CO	Potencial productivo
<0.5%	Bajo
0.5 – 1.5%	Medio
1.5 – 1.9%	Alto
>2.0%	Extremadamente alto

Fuente: Agrantech (2018). *Análisis de Suelos* [Tabla] . <http://agrantech.com/servicios/analisis-de-suelos/>

Elaborado por: Pilataxi, 2022

1.3.3. Densidad aparente (DA)

En base a lo dicho por Keller & Håkansson (2010) se puede describir a la DA del suelo como una relación entre la masa/ peso del suelo seco y el volumen total, incluyendo el espacio poroso que existe entre las distintas capas del suelo. Por otra parte, Taboada & Alvarez (2008) mencionan la variación de dicha DA dependiendo de la textura del suelo y el contenido de MO (materia orgánica); por lo que puede variar por varias razones como la labranza del suelo o la humedad, sobre todo en los suelos arcillosos.

Los valores bajos son propios de suelos muy porosos, con buena aireación, buen drenaje y buena penetración de raíces; lo que permite su buen desarrollo, mientras que los

valores altos son propios de suelos compactados o poco porosos, aireación deficiente e infiltración lenta del agua. Un suelo con baja densidad aparente permite que el carbono se fije de mejor manera en el suelo debido a que sus espacios porosos son grandes permitiendo el paso de la materia orgánica y que como consecuencia esta se fije al suelo en grandes cantidades.

5.6. Fijación de carbono en plantas

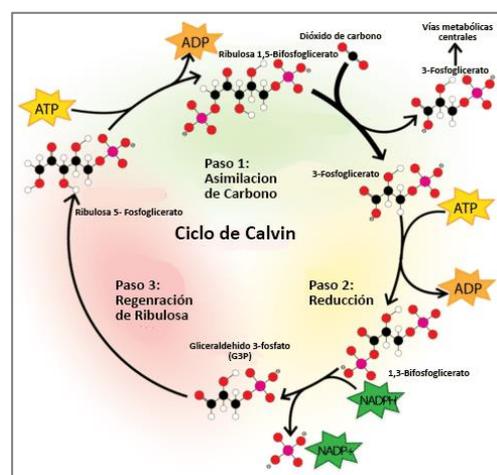
Existen varias vías de fijación del carbono en plantas, una de ellas es el ciclo de Calvin que fija carbono en los cloroplastos de plantas, algas y en las cianobacterias. La fotosíntesis oxigénica también es otra vía de fijación del carbono, en el cual usa la luz como fuente más el agua para realizar la fijación del carbono de manera autótrofa.

5.6.1. Ciclo de Calvin

En base a un artículo publicado de la revista académica Khan (2021) se puede definir al Ciclo de Calvin como la segunda fase de la fotosíntesis en las plantas. Dicho ciclo consiste en que el CO_2 producido en la atmósfera entre al interior de las hojas a través de unos poros llamados estomas y luego se difunda hacia los estromas del cloroplasto, que es el sitio en el cual se producen reacciones químicas para realizar el ciclo de Calvin, sintetizando los azúcares. Este ciclo se realiza en la fase oscura de la fotosíntesis ya que las reacciones que se dan son independientes de la luz.

Figura 3.

Ciclo de Calvin



Fuente: Zachary Wilson (2021). *Ciclo de Calvin* [Ilustración]. Flexbooks.ck12.org.

<https://flexbooks.ck12.org/cbook/ck-12-conceptos-biologia/section/2.22/primary/lesson/ciclo-de-calvin/>

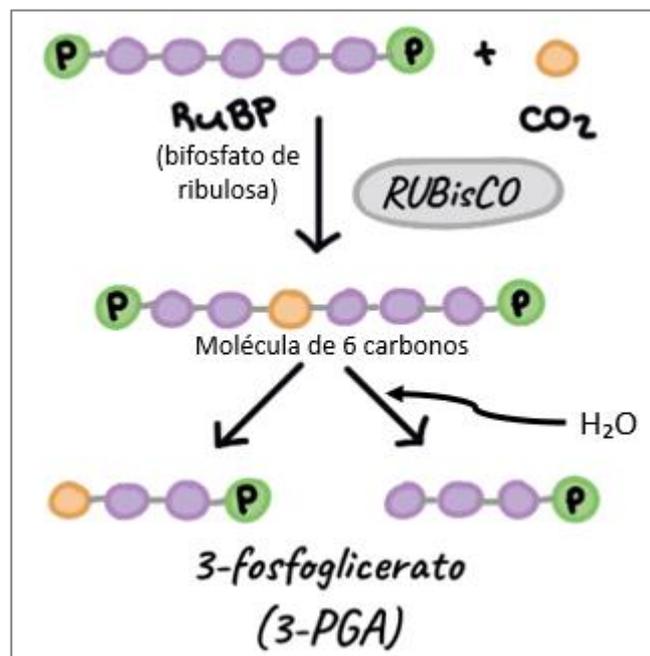
Básicamente este ciclo se basa en que los átomos de carbono se fijan en las moléculas orgánicas para ser utilizadas en la formación de azúcares de tres carbonos mediante tres etapas. El ATP y NADPH estimulan las reacciones producidas en este ciclo.

➤ **Etapa 1**

Fijación de carbono: en esta etapa las moléculas de CO_2 entran a través de los poros de la superficie llamados estomas hacia la capa mesófito de las hojas y se difunden en sus moléculas y en el estroma de los cloroplastos, sitio donde ocurre este ciclo. La enzima llamada RuBisCO (Ribulosa Bisfosfato Carboxilasa Oxidasa) será la encargada de catalizar la fijación del CO_2 a un azúcar de cinco carbonos llamada RuBP (bifosfato de ribulosa), pero la molécula resultante de este proceso es inestable lo que causa que rápidamente se divida en dos moléculas de un compuesto de tres carbonos llamado 3-PGA (3-fosfoglicerato), de esta manera resulta que por cada molécula de CO_2 que entra en el ciclo, se produzca dos moléculas de 3-PGA.

Figura 4.

Fijación de Carbono en el Ciclo de Calvin



Fuente: Koning, R. E. (1994). Calvin cycle (Ciclo de Calvin) [Imagen]. <https://cdn.kastatic.org/ka-perseus-images/7cb5cb0a62ff409b346b1505dc1fcadd75724624.png>

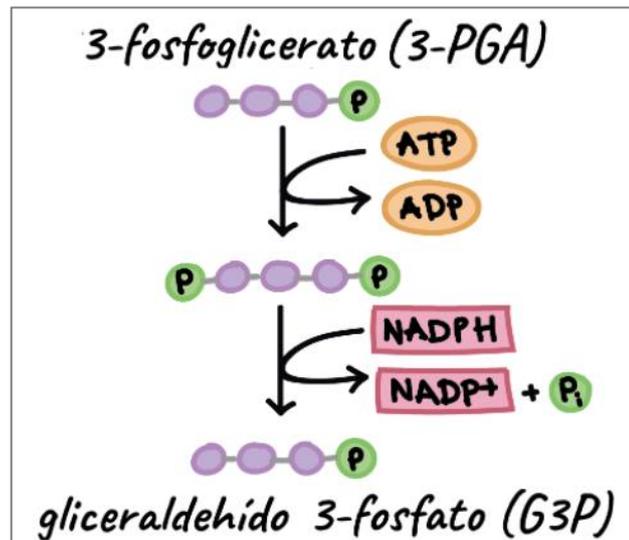
Modificado por: Pilataxi (2022)

➤ Etapa 2

Reducción: esta etapa se da en la fase luminosa donde absorbe la luz proveniente del sol más la adición del agua para donar electrones y desprender oxígeno, lo que simultáneamente producirá energía química que es almacenada como ATP y moléculas reductoras (NADPH) que son utilizados en la fase oscura para fijar el carbono y formar azúcares.

Figura 5.

Etapa de Reducción del Ciclo de Calvin



Fuente: Koning, R. E. (1994). Calvin cycle (Ciclo de Calvin) [Imagen]. <https://cdn.kastatic.org/ka-perseus-images/7cb5cb0a62ff409b346b1505dc1fcadd75724624.png>

• Etapa 3

Regeneración: algunas moléculas de G3P se pierden para formar glucosa, pero otras se reciclan para regenerar el aceptor RuBP usando el ATP, lo que implica una compleja serie de reacciones llamadas “secuencia desordenada de carbohidratos”. Para que las moléculas de G3P salgan del ciclo y sinteticen la glucosa, es necesario que tres moléculas de CO₂ entren al ciclo, para dar el resultado de tres nuevos átomos de carbono fijo.

5.6.2. Carbono en necromasa

Zaninovich (2017) menciona que “la necromasa representa un reservorio de C importante (del 14 al 40% del reservorio total) en los ecosistemas boscosos y sus flujos de productividad y descomposición determinan el reciclado de C en el ecosistema”.

Por otro lado, Vargas y Varela (2007) mencionan que la materia orgánica muerta (es decir la necromasa) y la hojarasca son variables que pueden influenciar altamente en los niveles de acumulación de biomasa y contenido de carbono en los bosques, porque actúan como una vía de transferencia de nutrientes y energía entre las plantas y el suelo.

Se estima que en los bosques de la Amazonía la necromasa constituye casi el 13% de la biomasa aérea y almacena 9.6 Gt de carbono en toda la cuenca amazónica, lo cual es más que la emisión de carbón fósil causada por el ser humano durante el 2008.

5.7. Importancia de los páramos en el almacenamiento de carbono

El páramo es un ecosistema único de alta montaña, en el cual habitan formas de vida singulares y propias, además de poblaciones humanas con sistemas culturales que contribuyen a enriquecer la diversidad planetaria. De acuerdo a Buytaert et. al, (2006) los suelos del páramo presentan características especiales, como: densidad aparente baja que está relacionada con el contenido de carbón orgánico ya que la estructura abierta y porosa ayuda a la fijación de carbono en el suelo. Según Kindermann et. al, (2008) los bosques cuentan con el 80% del total de biomasa vegetal del planeta cubriendo globalmente 4.03 billones de hectáreas. De acuerdo a Maia et al., (2010) los valores de carbono en suelos de páramo son altos comparados, por ejemplo, con oxisoles bajo vegetación natural de sabana tropical denominada Cerrado, donde se almacenan 53 tC/ha a 30 cm de profundidad.

Las bajas temperaturas y alta humedad pueden favorecer en la descomposición de materia orgánica volviendo el proceso más lento, lo que ayuda a que los suelos negros y húmedos almacenen tasas de carbono más altas. Sin embargo, según Post & Known (2000) indican que la actividad antrópica en los ecosistemas andinos (cultivos y pastizales) disminuye la cobertura natural y/o protección física del suelo, reduciendo significativamente los niveles de carbono orgánico en los mismos, es por ello que los suelos que son ocupados con pastos dedicados a ganadería extensiva poseen menor contenido de C, con respecto a suelos con vegetación natural.

En turberas, la alta acumulación de carbono puede deberse a dos factores: la vegetación adaptada al ambiente alpino y las condiciones de suelo saturado; que disminuyen la descomposición de la materia orgánica. en base a lo expuesto por Beck (1994) y Squeo et al., (2006) se puede decir que, a pesar de las bajas temperaturas del páramo, las plantas

permanecen fotosintéticamente activas durante todo el año, por lo que la vegetación provee de materia orgánica de manera continúa incrementando los contenidos de carbono.

5.8. Método de calcinación o pérdida de peso por ignición (Loss On Ignition -LOI)

Según Davies (1974) el método de calcinación o la pérdida por ignición se ha propuesto como un método rápido, económico y preciso para estimar materia orgánica del suelo y se basa en determinar la pérdida de peso de una muestra de suelo al someterla a altas temperaturas en un horno-mufla durante un tiempo determinado. Davies también menciona que a temperaturas de 430 °C se lograría una completa oxidación de la MO, de esta manera se obtiene la MO total del suelo, incluyendo las formas condensadas como humus y residuos orgánicos que son poco alterados en el proceso.

En la investigación sobre la calibración del método de calcinación la autora Rosell (2001) menciona las temperaturas ideales para aplicar este método por lo que se puede decir que:

A temperaturas de 600°C una parte de las sustancias húmicas permanecen resistentes a la oxidación. Sin embargo, si se utilizan temperaturas mayores a 500°C cabe la posibilidad de que existan errores en la determinación de la MO porque se da pérdidas del dióxido de carbono presente en los carbonatos, agua estructural de los minerales de arcilla, oxidación del ión ferroso, descomposición de sales hidratadas, etc., por lo que es más recomendable utilizar temperaturas entre los 300 y 400°C. (p. 34)

Según Kastenmayer (2019) este tipo de método que requiere de una vía seca (mufla), tiene la ventaja de que no se requieren reactivos o sólo se utiliza una pequeña cantidad de ellos; el rendimiento de muestras es alto y se requiere sólo un instrumental simple. Además, cabe recalcar que es un método fácil y sencillo de aplicar, ya que no se realiza una gran serie de procedimientos complicadas y que en su mayoría resulta tedioso de realizar.

6. PREGUNTA CIENTÍFICA

- ¿Cuánto carbono se almacena en suelo y necromasa en un sistema bosque, un sistema agrícola y un sistema pasto ubicados en la zona alta del Cerro Huicotango?

7. METODOLOGÍA

7.1 Enfoques

El presente trabajo fue diseñado bajo el planteamiento metodológico del enfoque mixto, puesto que este enfoque se adapta a las características y necesidades de la investigación realizada.

7.1.1. Enfoque mixto

Según Sánchez Valtierra (2013) menciona que la investigación mixta es una integración sistemática de los métodos cuantitativos y cualitativos, con el fin de obtener una mejor comprensión del problema de la investigación utilizando datos tanto cualitativos como cuantitativos.

Este enfoque fue utilizado para analizar los hallazgos encontrados proporcionando una comprensión más completa y exhaustiva del problema de investigación, con la ayuda de distintos instrumentos de investigación, de esta manera se realizó un análisis de los resultados.

7.2. Técnicas

7.2.1. La observación

Según Campos & Lule Martínez (2012) definen a la observación como una técnica de investigación por medio de la cual se crea una vinculación concreta y constante entre el investigador y el hecho o fenómeno, y que tiende a ceñirse a la lógica de las formas, procedimientos, relaciones e interrelaciones que se suscitan dentro de la realidad estudiada.

Esta técnica se implementó para observar el sitio de muestreo, tomar la información necesaria y registrarla de manera más sistemática en instrumentos de investigación como fichas de campo, libreta de campo, fichas de laboratorio, etc., con el fin de recopilar la mayor información posible para luego realizar el respectivo análisis.

7.2.2. Fichaje

El fichaje es una técnica de investigación que consiste en registrar todos los datos que se han recopilado en una investigación en un instrumento llamado ficha, donde se registra los datos de manera ordenada para ahorrar tiempo, espacio y dinero.

Esta técnica fue utilizada en la presente investigación para registrar los datos obtenidos en campo y laboratorio en distintos instrumentos de investigación como las fichas de campo o fichas de laboratorio; para mantener la información de manera clara y ordenada,

de esta manera es mucho más fácil usar la información obtenida y registrarla en una base de datos.

7.2.3. Investigación bibliográfica

Según Arteaga (2020) la investigación bibliográfica es una lectura de fondo, que trata de la lectura y el pensamiento basados en la literatura; que consiste en realizar una revisión de varios materiales bibliográficos existentes con respecto al tema a investigar, mediante la consulta de fuentes de información, referencias o bibliografías de otras investigaciones realizadas.

Para apoyar y sustentar el presente trabajo se utilizó la investigación bibliográfica para realizar un análisis de la información recopilada basado en la fundamentación teórica del tema investigado, facilitando la identificación del problema y estableciendo conocimientos necesarios para la ejecución del presente estudio.

7.3. Instrumentos de investigación

Un instrumento de investigación es un recurso necesario, utilizado en un estudio o trabajo experimental. Es por esto que para la presente investigación se utilizaron los siguientes instrumentos investigativos.

7.3.1. Fichas de campo

Según Rojas (2021) las fichas de campo son instrumentos utilizados por el o los investigadores para registrar y organizar la información en hojas que son como tarjetas pequeñas, donde se anotan los datos de manera directa y que son considerados de mayor relevancia, con el fin de lograr un buen manejo de los mismos.

Estas fichas de campo fueron utilizadas para recopilar información en la fase de campo, con el fin anotar los hechos relevantes de manera clara y ordenada, ya que dicha información fue muy importante en la fase de análisis de datos.

7.3.2. Fichas informativas

Según Calderon (2012) define a una ficha informativa como una ficha básica, donde se guarda o anota la información sobre el tema tratado de manera organizada, para que podamos recuperar los datos básicos y fundamentales con respecto al tema que se estudie o que hayamos fichado. Es por eso que en el presente trabajo se utilizó estas fichas informativas para recopilar y guardar los datos obtenidos en la fase de laboratorio para luego utilizarlos en la fase de análisis de datos.

7.3.3. Cuaderno de notas

Según Garay (2020) el cuaderno de notas es un objeto primordial en la investigación, ya que es aquí donde se registra la información observada en campo y laboratorio que sea relevante para el proyecto. Es por esta razón por la cual se utilizó un cuaderno de notas o también llamado libreta de campo, ya que con la ayuda de este instrumento se registró todos los datos que son de relevantes; con el fin de tener un respaldo de la información recolectada.

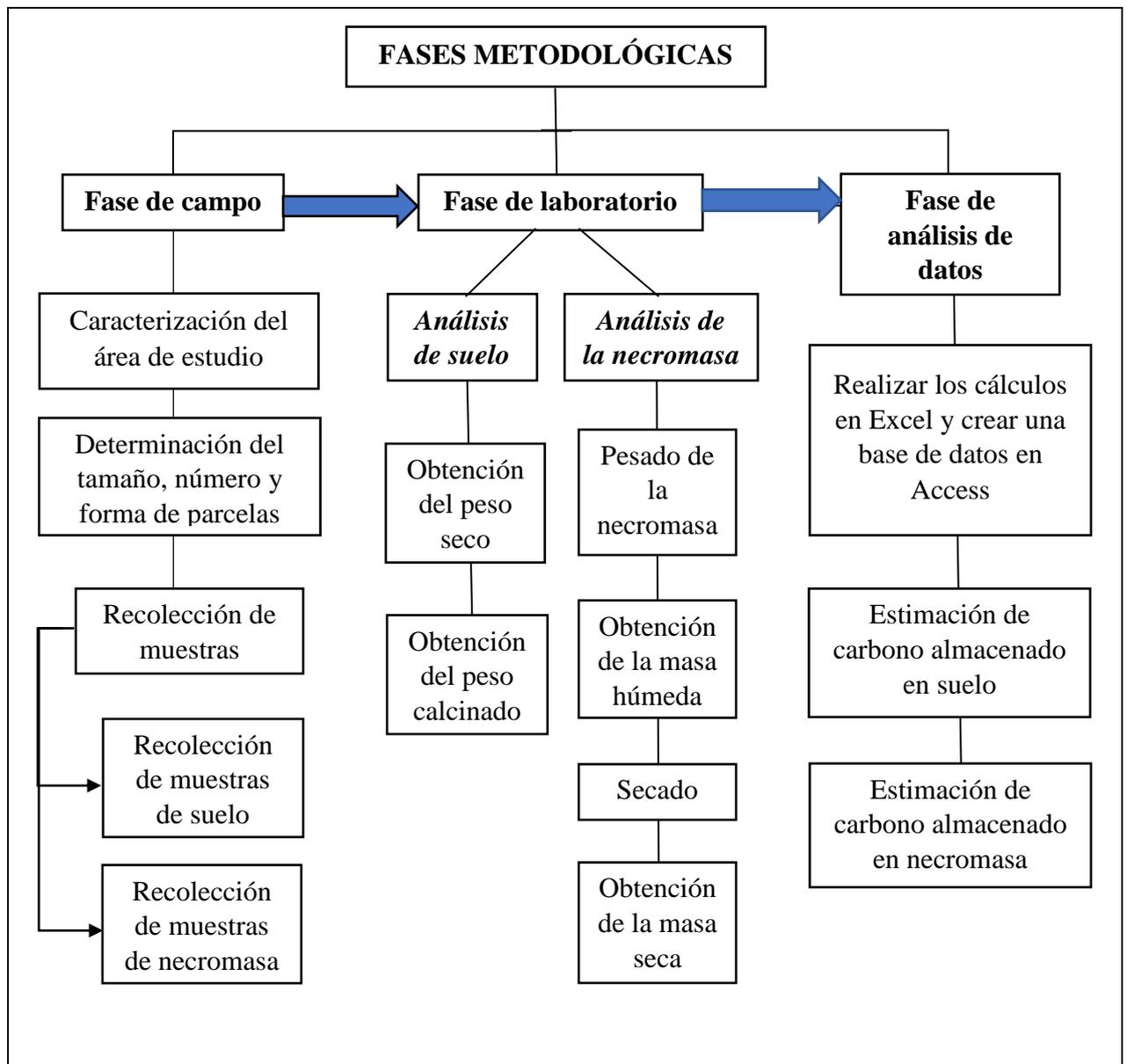
7.3.4. Equipos electrónicos

Los equipos utilizados para la presente investigación fueron, computadora portátil, impresora, cámara fotográfica y GPS (móvil); estos equipos fueron un medio de apoyo en la búsqueda, recolección y almacenamiento de la información.

7.4. Fases metodológicas

Para llevar a cabo la estimación de carbono en la zona alta del cerro Huicotango, la investigación se dividió en tres fases metodológicas de la siguiente manera: fase de campo donde se realizó visitas de campo para ver las características de la zona de estudio y establecer las parcelas que fueron muestreadas, la fase de laboratorio la cual se lo realizó en las instalaciones de la universidad y la fase de análisis de datos en la cual se utilizó el programa Excel para realizar los cálculos y obtener graficas para la interpretación de los resultados mientras que el programa Access fue utilizado para crear la base de datos con la información recolectada (**Figura 6**).

Figura 6.

Fases Metodológicas para la Investigación

Elaborado por: Pilataxi, 2022

7.4.1. Fase de campo**7.4.1.1. Equipos y Materiales**

- GPS
- Cámara fotográfica
- Fundas Ziploc de 14cm x 14cm
- Combo

- Libreta y hojas de campo
- Cilindro casero
- Cinta métrica
- Estacas
- Esferos
- Piola
- Cubeto

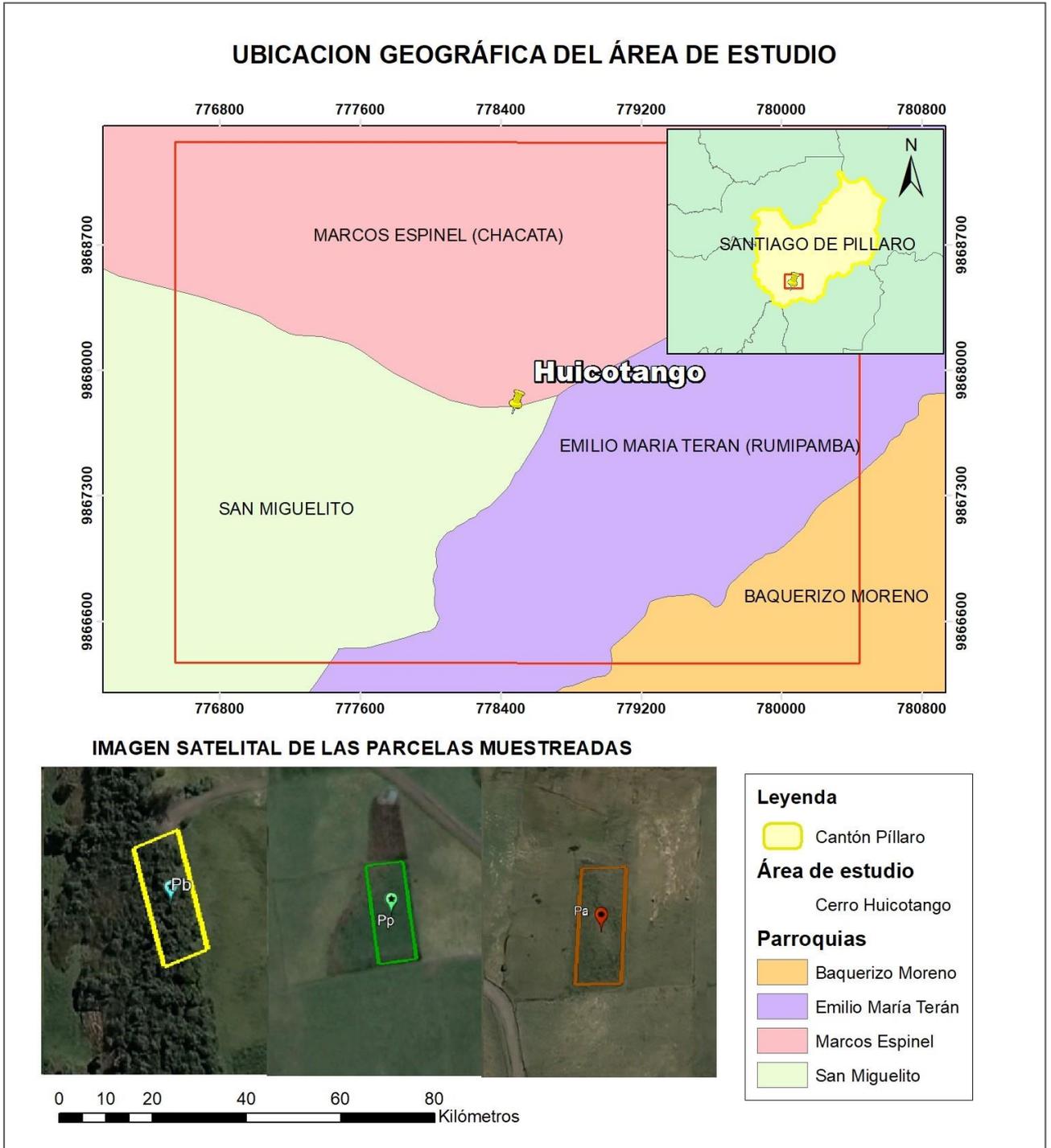
7.4.1.2. Caracterización y delimitación del área de estudio

Para la presente investigación se realizó visitas de campo para ver las características de la zona de estudio y saber la situación actual del lugar, recolectar la información en una libreta de campo y usar dicha información para georreferenciar el área de estudio y delimitar las parcelas que fueron seleccionadas para la recolección de las muestras de necromasa y suelo. Con la ayuda del programa Google Earth y Arcgis se realizó la ubicación geográfica del área de estudio, el uso de suelo y cobertura vegetal de la zona.

El Cerro Huicotango se encuentra ubicado al Suroeste del cantón Santiago de Píllaro a unos 45 min del centro de la ciudad, cuenta con distintos pisos altitudinales que va desde los 2739 msnm a unos 3516 msnm, con un área aproximada de 11.4 km², se encuentra colindado con cuatro parroquias que son: Marcos Espinel, San Miguelito, Baquerizo Moreno y Emilio María Terán (**Figura 7**).

Figura 7.

Mapa de Ubicación Geográfica del Área de Estudio



Elaborado por: Pilataxi, 2022

Nota: Pa=Parcela agrícola; Pp=Parcela pasto; Pb=Parcela bosque

Las coordenadas geográficas de cada parcela muestreada se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5.

Coordenadas Geográficas de las Áreas Muestreadas

Nº Parcelas	Categoría	Coordenadas X	Coordenadas Y	Altitud
Parcela 1	Parcela Pasto	779101.01	9869019.66	3437
Parcela 2	Parcela Agrícola	778847.40	9868352.08	3483
Parcela 3	Parcela Bosque	778332.70	9869019.59	3423

Elaborado por: Pilataxi, 2022

Nota: Para las coordenadas geográficas (X y Y) de cada parcela se tomó en cuenta el punto medio de cada parcela.

- **Clima**

Tomando como referencia la estación meteorológica “Escuela de Tasinteo” ubicada en la parroquia Marcos Espinel con datos que va desde enero 2015 a enero de 2020 se registran temperaturas que fluctúan desde los 2° C hasta los 19° C aproximadamente, con una media anual de 12° C, incluso algunas veces, en las zonas altas del páramo pueden presentarse temperaturas bajo cero. La zona presenta un clima Ecuatorial de Alta Montaña con precipitaciones medias que oscilan entre los 1100 mm y 1700 mm anuales.

Otra de las características climáticas que presenta la zona son las heladas, que son un fenómeno climático que se presenta especialmente en los meses de noviembre a diciembre, que es cuando más ocurre dicho fenómeno.

Con respecto a las condiciones climáticas presentadas en los días que se procedió a la recolección de las muestras; se tomó como referencia los datos meteorológicos del sector de Tunguipamba emitidos por la aplicación climática llamada “Clouds”, la cual nos dio los siguientes datos descritos en la **Tabla 6**.

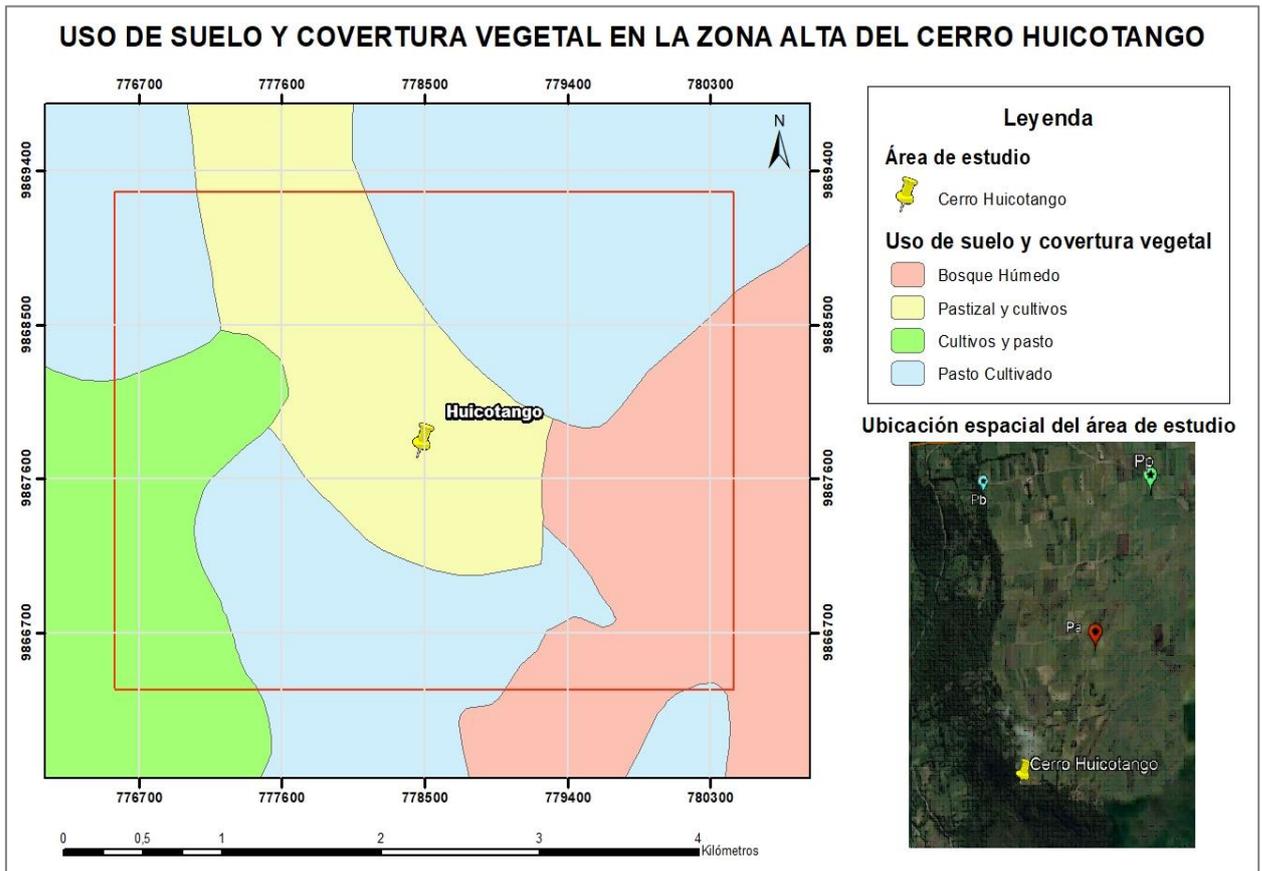
Tabla 6.*Datos Climáticos de los Días de Muestreo*

Semana	Temperatura (°C)	Viento (m/s)	Humedad (%)	Abundancia de nubes (%)
1	12° C	2.8	80	80
2	10° C	2.5	88	90
3	12° C	4.2	70	70
4	13° C	1.8	74	75
Promedio	12.5° C	2.83	78	78.75

Elaborado por: Pilataxi, 2022

- *Uso de suelo y cobertura vegetal*

En base al proyecto de Generación de Información Básica y Temática para Planes de Desarrollo Provinciales (MAG, 2002), los órdenes de suelos que predominan en las zonas altas son los inceptisoles e histosoles. Además, los suelos pertenecientes a esta zona son de origen volcánico con diferenciaciones entre limo-arenoso, arenoso-limoso y pseudo-limo que tiene una alta y mediana retención de agua, aunque los suelos que predominan en las zonas altas son especialmente los suelos de textura limo-arcillosos.

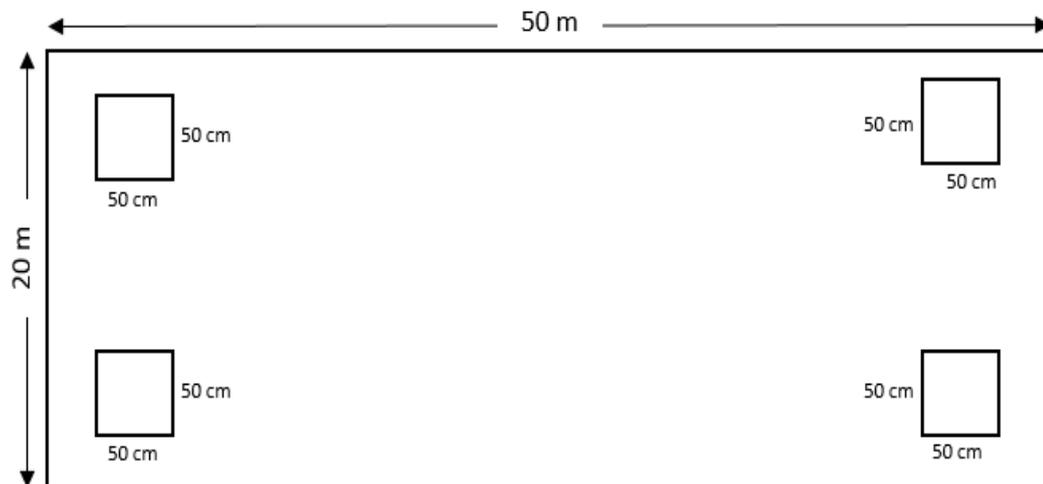
Figura 8.*Uso de Suelo y Cobertura Vegetal*

Nota: Pa=Parcela agrícola; Pp=Parcela pasto; Pb=Parcela bosque

7.4.1.3. Determinación del tamaño, número y forma de parcelas

Forma

Se trazaron tres parcelas rectangulares con un área de 1000 m², ya que este tipo de parcela es de fácil medición y son muy utilizadas cuando se realiza un muestreo, además cabe recalcar que estas parcelas son de tipo permanente, con el objetivo de ver los cambios en referencia al tiempo y espacio (**Figura 9**).

Figura 9.*Forma de las Parcelas*

Elaborado por: Pilataxi, 2022

Tamaño

Se tomó como referencia el método desarrollado por el autor A. Centry (1995), que se basa en el levantamiento de un transecto de 0.1 ha de área con una modificación en cuanto al tamaño de las parcelas; con una distancia de 50 x 20 m, que a su vez se subdividió en pequeñas parcelas de 50 x 50 cm, las cuales se encuentran dentro de la parcela principal ubicadas en las esquinas laterales de cada parcela principal para la toma de muestras (**Tabla 7**).

Se seleccionaron un total de tres parcelas de tipo permanente y de forma rectangular, las cuales se dividieron en tres categorías diferentes.

Tabla 7.*Dimensiones de las Parcelas Muestreadas*

N° parcelas	Categoría	Distancia (m)	Área total (ha)	Medición Subparcelas (cm)
Parcela 1	Parcela con Pasto	20 x 50	0.1	50 x 50
Parcela 2	Parcela Agrícola	20 x 50	0.1	50 x 50
Parcela 3	Parcela Bosque	20 x 50	0.1	50 x 50

Elaborado por: Pilataxi, 2022

Número de parcelas

En cuanto al número de parcelas, como ya se ha mencionado anteriormente por falta de tiempo, solo se muestrearon un total de 3 parcelas en base al tipo de categoría (Parcela pasto, Parcela agrícola y Parcela bosque) que se escogió para realizar la investigación, en cada una de ellas se tomó muestras de suelo y necromasa.

7.4.1.4. Recolección de muestras

➤ *Recolección de muestras de suelo*

Para estimar el stock de carbono almacenado en el suelo se tomó una muestra dentro del sitio de cada parcela escogida a diferentes profundidades (0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm) utilizando el método del “Cilindro de volumen conocido” (**Anexo 4**) descrito por MacDicken en el año de 1997, para saber la densidad aparente en tres capas diferentes de suelo, ya que el cambio de uso de suelo es más notorio en estas tres profundidades, por lo cual se realizó el siguiente procedimiento en campo:

1. Se utilizó un cilindro de volumen conocido (4.6 cm de diámetro) el cual se señaló las tres alturas diferentes (0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm).
2. Se introduce el cilindro en el suelo tratando de comprimir lo menos posible para sacar la muestra de suelo de cada profundidad. En caso de que sea difícil introducir el cilindro se puede utilizar un combo para golpear la parte superior del cilindro (utilizar aceite mineral si ocurre adhesión del suelo con el metal).
3. Se colocó la muestra en una funda ziplot con su respectiva etiqueta para ponerlas en un contenedor o cubeto para posteriormente ser llevadas al laboratorio.

El muestreo se realizó 1 vez cada 15 días en dos meses para obtener la mayor cantidad de muestras posibles.

➤ *Recolección de muestras de necromasa*

El muestreo se realizó de manera aleatoria; es decir que se escogieron tres muestras al azar de cada parcela y se las colocó en fundas ziplot para su respectivo traslado del campo al laboratorio (**Anexo 5**). Tanto en la parcela bosque como en la parcela con pasto se realizó un muestreo restringido aleatorio simple, lo que significa que todos los individuos de una población tienen la misma posibilidad de ser muestreados y además de que alguno de ellos puede muestrearse más de una vez.

Tabla 8.

Especies seleccionadas para el Muestreo de Necromasa

Parcela	Nombre común	Origen	Nombre científico	Familia	Tipo de vegetación
Parcela Agrícola	Raigrás	Introducido	<i>Lolium multiflorum</i>	Poaceae	Pastizal
	Tribulillo	Introducido	<i>Trifolium repens</i>	Leguminosae	Herbazal o pastizal
	Papa	Introducido	<i>Solanum tuberosum</i>	Solanaceae	Herbazal
Parcela con Pasto	Pajilla	Nativo	<i>Stipa ichu</i>	Poaceae	Herbazal
	Pasto lanudo	Nativo	<i>Holcus lanatus</i>	Poaceae	Herbazal
	Pasto azul	Introducido	<i>Dactylis glomerata</i> L	Poaceae	Pastizal
	Falso llantén	Introducido	<i>Plantago linearis</i>	Plantaginaceae	Herbazal o pastizal
	Tribulillo	Introducido	<i>Trifolium repens</i>	Leguminosae	Herbazal o pastizal
	Pagta	Nativo	sp	Poaceae	Herbazal o pastizal
	Raigrás	Introducido	<i>Lolium multiflorum</i>	Poaceae	Pastizal
	Trébol blanco	Introducido	<i>Trifolium repens</i>	Papilionaceae	Herbazal o pastizal
	Diente de león	Nativo	<i>Taraxacum officinalis</i>	Asteraceae	Herbazal
	Parcela Bosque	Sachapera	Nativo	<i>Acanthosyris falcata</i>	Cervantesiac eae
Fato		Nativo	sp	Fabaceae	Arbustivo
Colca		Nativo	<i>Miconia</i> sp	Melastomata ceae	Arbustivo

Fucunero	Introducido	<i>Siphocampyl- lus giganteus</i>	Campanaceae	Arbustivo
Hualicón	Nativo	<i>Macleania rupestris</i>	Ericaceae	Arbustivo
Musgo	Nativo	<i>Bryophyta</i>	Andreaeobry- aceae	Liquen
Shanshi	Nativo	<i>Coriaria ruscifolia L</i>	Coriariaceae	Arbustivo
Escoba	Nativo	<i>Brachyotum ledifolium</i>	Melastomata ceae	Arbustivo
Taglli	Nativo	sp	Fabaceae	Arbustivo
Helecho	Nativo	<i>Coriaria ruscifolia</i>	Coriariaceae	Arbustivo

Elaborado por: Pilataxi, 2022

7.4.2. Fase de laboratorio

7.4.2.1. Materiales y equipos

- Mufla
- Crisoles de porcelana
- Estufa
- Desecador
- Balanza analítica
- Tamizador
- Libreta
- Hojas guías
- Recipientes de aluminio

7.4.2.2. Análisis del suelo

Para determinar el contenido de carbono almacenado en el suelo se usó el método de calcinación o pérdida de ignición (Loss on ignition, LOI); ya que es un método barato debido a que no se utilizan químicos ni reactivos y es de fácil aplicación. Se basa en determinar el contenido de materia orgánica de un suelo mediante la pérdida de peso de la muestra sometida a altas temperaturas para lograr una completa oxidación de la materia orgánica (MO) y carbono orgánico (CO). De acuerdo a Vinueza (2015) “el contenido de carbono orgánico en el

suelo (COS) se puede determinar mediante la suposición de que la materia orgánica contiene un 58 % de carbono.”

Según Eyherabide (2014) menciona que “para determinar el contenido de materia orgánica en el suelo por el método de calcinación o pérdida de ignición se debe secar la muestra durante 24 h (en una estufa) y luego 2 h de ignición (en una mufla) a 360 °C”.

Para determinar el contenido de carbono por unidad de volumen de suelo lo primero en analizar fue la densidad aparente de las muestras de suelo en las distintas profundidades escogidas; por lo que se realizó los siguientes pasos:

1. Se realizó un pretratamiento a los recipientes que se van a usar para las muestras de suelo, que consiste en dejarlos por un tiempo de 15 a 20 minutos en la estufa hasta conseguir su peso constante.
2. Una vez obtenido el peso constante de cada recipiente con la ayuda de la balanza analítica se toma nota de los pesos obtenidos para restarlos del peso seco total que obtengamos de las sub-muestras.
3. Sacamos una submuestra de suelo de unos 20 g que haya sido previamente tamizada para sacar los desechos sólidos como raíces, hojas, rocas, etc., y la colocamos en la estufa a una temperatura de 120°C por un periodo de 24h para eliminar el agua higroscópica.
4. Una vez pasado el tiempo dejamos secar las muestras a temperatura ambiente y procedemos a sacar el peso seco utilizando la balanza analítica y anotamos los resultados en una hoja guía de laboratorio para su posterior análisis de datos.

Una vez realizado el procedimiento para obtener la densidad aparente se procedió a realizar la calcinación del suelo (método LOI) para lo cual se realizó el siguiente proceso:

1. Se realizó un pretratamiento a los crisoles de porcelana que van a ser utilizados en la mufla, que consiste en meterlos a la mufla a una temperatura de 360°C por un periodo de 15 a 20 minutos hasta obtener su peso constante.
2. Se tomó la submuestra de 20 g que se utilizó para obtener la densidad aparente y la colocamos en los crisoles que previamente fueron etiquetados para meterlos en la mufla a una temperatura de 360°C por un periodo de 2 horas.

3. Una vez pasado el tiempo establecido se dejó enfriar las muestras incineradas en el desecador y se las pesó en la balanza analítica para obtener el peso calcinado de las mismas.

Para obtener el peso real de las muestras de suelo calcinadas se restó el peso del crisol con el peso total obtenido del incinerado (**Anexo 6**).

7.4.2.3. Análisis de la necromasa

De acuerdo a López (2017) menciona que “el método para estimar el carbono en la biomasa de la hojarasca se basa en calcular el peso húmedo y seco de la misma, ya que la relación de biomasa seca comprende una relación del carbono 2:1, es decir el 50% está presente en la biomasa”

Para obtener el peso seco de las muestras recolectadas se procedió a realizar el siguiente proceso:

1. Se pesó los recipientes de aluminio para obtener su peso y luego restarlo con el peso seco que se obtiene al final del proceso.
2. Se colocó las muestras de necromasa en los recipientes con sus respectivas etiquetas para pesarlas en la balanza analítica y obtener su peso fresco o peso húmedo.
3. Se colocó las muestras en la estufa a una temperatura de 120°C por un periodo de 24h.
4. Luego de culminar el tiempo establecido se dejó secar las muestras a temperatura ambiente y se pesan en la balanza analítica.
5. Se restó el peso obtenido del proceso de secado con el peso de los recipientes para obtener el peso seco real de la muestra.

Estas relaciones se obtienen con la finalidad de estimar el porcentaje de humedad presente en las muestras de necromasa y la cantidad de biomasa, de esta manera se obtiene el contenido de carbono presente en necromasa (**Anexo 7**).

7.4.3. Fase de análisis de datos

7.4.3.1. Estimación del carbono almacenado en suelo

A partir de los parámetros como la densidad aparente, el porcentaje de materia orgánica y el porcentaje de carbono orgánico obtenido en la etapa de laboratorio, se puede determinar el contenido de carbono o stock de carbono en suelo mediante las siguientes formulas:

- **Densidad aparente del suelo**

La densidad aparente se puede definir como la masa del suelo por la unidad de volumen. De acuerdo con López (2017) “la densidad aparente se determina mediante el método de volumen conocido descrito por MacDicken (1997); y se calcula mediante la siguiente ecuación:”

Ecuación 1.

$$DA = \frac{Pss}{Vol.}$$

Donde:

DA= Densidad aparente (g/cm³)

Pss = Peso seco de la submuestra de suelo (g)

Vol. = Volumen del cilindro (cm³)

Según Rüginitz (2009) menciona que para calcular el volumen del cilindro que hemos utilizado se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 2.

$$Vol. = \pi * r^2 * h$$

Donde:

Vol. = volumen del cilindro (cm³)

π = constante (3.14)

r = radio del cilindro (cm²)

h = altura del cilindro (cm)

- **Porcentaje de materia orgánica del suelo**

Eyherabide (2014) indica que para realizar el cálculo del porcentaje de materia orgánica en el suelo se obtiene mediante la diferencia de pesos a diferentes temperaturas obtenidas en el laboratorio, y para ello se aplica la siguiente ecuación:

Ecuación 3.

$$\% MO = \frac{(Peso\ 120^{\circ}C - Peso\ 360^{\circ}C)}{Peso\ 120^{\circ}C} * 100$$

Donde:

% MO = Porcentaje de materia orgánica (%)

Peso a 120°C = Peso seco de la submuestra de suelo

Peso a 360°C = Peso calcinado de la submuestra de suelo

100= Constante para transformar a porcentaje

- **Porcentaje de carbono orgánico del suelo**

De acuerdo a Vinueza (2015) menciona que “Para estimar el contenido o porcentaje de carbono orgánico a partir del porcentaje de materia orgánica se utiliza el Factor de Van Bemmelen que resulta de la suposición de que la materia orgánica del suelo contiene aproximadamente el 58% de carbono ($1/0.58=1.724$), y para su cálculo se emplea la siguiente ecuación:”

Ecuación 4.

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

Donde:

% CO = Porcentaje de carbono orgánico (%)

% MO = Porcentaje de materia orgánica (%)

1.724 = Factor de Van Bemmelen

- **Contenido de carbono o stock de carbono almacenado en el suelo**

Según López (2017) indica que “para determinar el contenido de carbono en las diferentes superficies o profundidades del suelo se utiliza la siguiente ecuación:”

Ecuación 5.

$$CC = DA * \%CO * P * S$$

Donde:

CC = Contenido de carbono (tC/ha)

DA = Densidad aparente del suelo (g/cm³)

% CO = Porcentaje de carbono orgánico total (%)

P = Profundidad del suelo (cm)

S = Superficie o área de estudio (ha)

7.4.3.2. Estimación del carbono almacenado en necromasa

Para determinar la cantidad de carbono en la necromasa (hojarasca y detritos finos) se debe conocer el contenido de humedad y la cantidad de biomasa seca; estos contenidos se obtienen a partir del peso fresco y seco de la hojarasca determinados en la etapa de laboratorio.

- **Contenido de humedad**

El contenido de humedad es la cantidad de agua que contiene la biomasa de la necromasa (hojarasca y detritos finos) y se calcula mediante la ecuación establecida por Serrato Cuevas (2014).

Ecuación 6.

$$CH = \frac{(Pfs - Pss)}{Pfs} \times 100$$

Donde:

CH=Contenido de humedad (%)

Pfs= Peso fresco de la submuestra (g)

Pss= Peso seco de la submuestra (g)

100= Constante para transformar en porcentaje

- **Cálculo de la biomasa seca**

Según Serrato Cuevas (2014) menciona que “la biomasa seca hace referencia al peso de la materia orgánica de la necromasa que está libre de humedad”. Para determinar dicha biomasa seca se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 7.

$$Bn = \frac{Psm}{Pfm} x Pft$$

Donde:

Bn= Biomasa de la necromasa (t)

Psm= Peso seco de la muestra (g)

Pfm= Peso fresco de la muestra (g)

Pft= Peso fresco total de la muestra (g)

- **Contenido de CO₂ fijado**

Según Gonzales L (2010) para calcular el contenido de CO₂ fijado en la necromasa se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 8.

$$CO_2 = Kr * C$$

Donde:

CO₂= Dióxido de carbono fijado

C= Carbono

Kr= Factor de conversión del CO₂ de 3.67 que es el resultante del cociente de los pesos moleculares del dióxido de carbono 44 y 12.

Según el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) se estima que estima que en 1 tonelada de carbono hay 3.67 toneladas de CO₂.

- **Contenido de carbono en la hojarasca**

De acuerdo a Delgadillo & Quechulpa (2016) menciona que “la mitad de la biomasa seca pertenece a la cantidad de Carbono, por lo tanto, una vez que se haya determinada la biomasa seca se multiplica por 0.5” de la siguiente forma:

Ecuación 9.

$$CC = \frac{Bh * 0.5}{Tmm}$$

Donde:

CC= Contenido de carbono (tC/ha)

Bh= Biomasa (t)

Tmm= Total de metros muestreados (ha)

0.5= Factor que corresponde al Carbono.

7.4.3.3. *Procesamiento de datos*

Una vez reunida toda la información recolectada tanto en campo como en laboratorio se procedió a realizar una base de datos en el programa Excel, donde se mostró los resultados mediante gráficas y se realizó una comparación entre las variables encontradas, analizando tanto la información obtenida en la fase de campo y la fase de laboratorio documentada en las fichas de campo, libreta de campo, hojas guía, etc., de esta manera se podrá saber las variables que influenciaron en los resultados obtenidos. Con la base de datos realizada en Excel se procedió a crear una base de datos en el programa Access donde se colocó los promedios generales del contenido de carbono de cada parcela muestreada y se realizó un análisis de dichos resultados obtenidos.

8. RESULTADOS

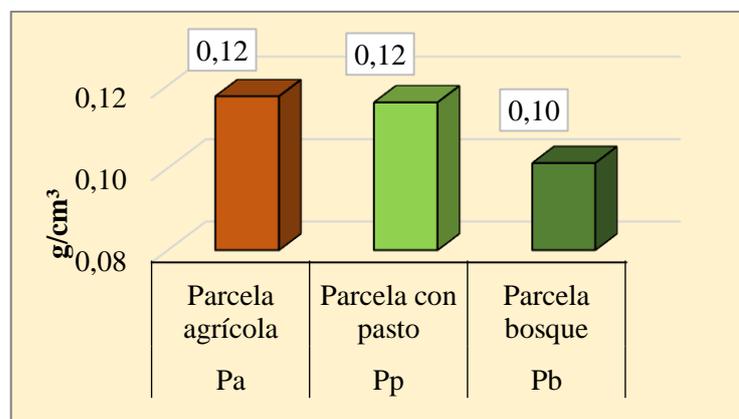
8.1. Estimación de carbono en suelo

8.1.1. Densidad aparente total en suelo de los tres tipos de parcelas

Para obtener la densidad aparente total se tomó en cuenta el promedio de cada una de las parcelas (parcela con pasto, parcela agrícola y parcela bosque) tomando en cuenta los valores obtenidos de las 4 veces que se muestreó el suelo.

Figura 10.

Densidad Aparente Total en Suelo



Elaborado por: Pilataxi, 2022

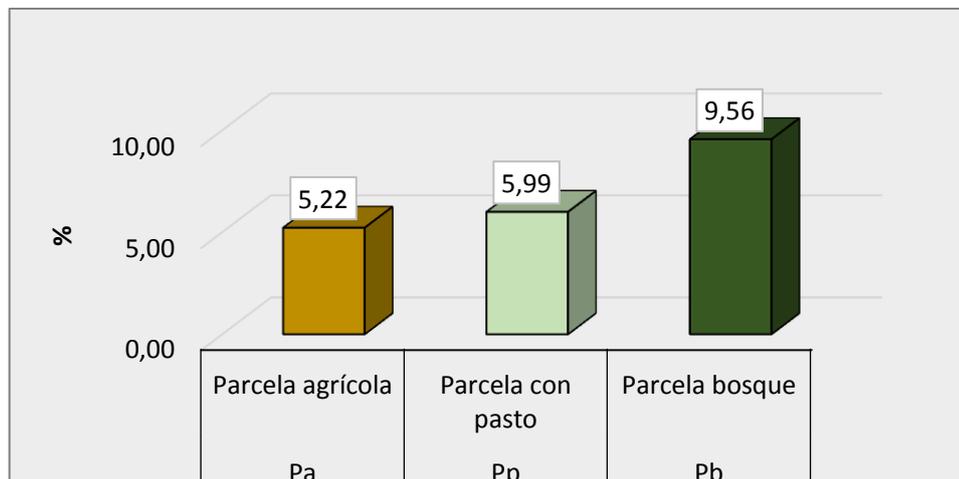
Tanto en la parcela con pasto y la parcela agrícola presentan la misma densidad aparente con un valor de 0.12 g/cm^3 , lo cual indica que el suelo presenta una buena cantidad de materia orgánica, dado que mientras más aumente el valor de la densidad aparenta menor será la cantidad de materia orgánica y viceversa. Por otra parte, la parcela bosque presenta una densidad aparente menor a la de las parcelas de suelo agrícola y suelo con pasto, con un valor de 0.10 g/cm^3 lo que indica que el suelo es rico en materia orgánica, además de que implica otras características como de que el suelo es poroso, bien aireado y con buen drenaje, lo que facilita que la descomposición de la materia orgánica sea lenta o tarde en descomponerse y la materia orgánica con la ayuda del recurso hídrico y de microorganismos existentes en el suelo, pueda almacenarse a más de 30 cm de profundidad por los espacios porosos de gran tamaño en el suelo.

8.1.2. Contenido de materia orgánica total en los tres tipos de parcelas

El porcentaje de materia orgánica (MO) total de cada una de las parcelas se determinó tomando en cuenta los promedios totales de las tres (3) profundidades muestreadas.

Figura 11.

Contenido de Materia Orgánica Total en Suelo



Elaborado por: Pilataxi, 2022

Se refleja una variación entre las cantidades de MO de las parcelas de suelo agrícola y de pasto con respecto a la parcela bosque. Entre la parcela agrícola y la parcela con pasto los valores no varían demasiado, con un valor de 5.22% para la parcela agrícola y un valor de 5.99% para la parcela con pasto la diferencia es solo de 0.77% de MO, mientras que para la

parcela bosque el valor es de 9.56% de MO, lo que indica que entre los tres tipos de parcela en donde más se acumula la materia orgánica es en la parcela bosque con un nivel de contenido extremadamente rico en MO en base a la **Tabla 2**, esto se debe especialmente a la presencia de gran cantidad de especies vegetales que se acumulan en el suelo y se descomponen formando la turba y genera el almacenamiento de MO.

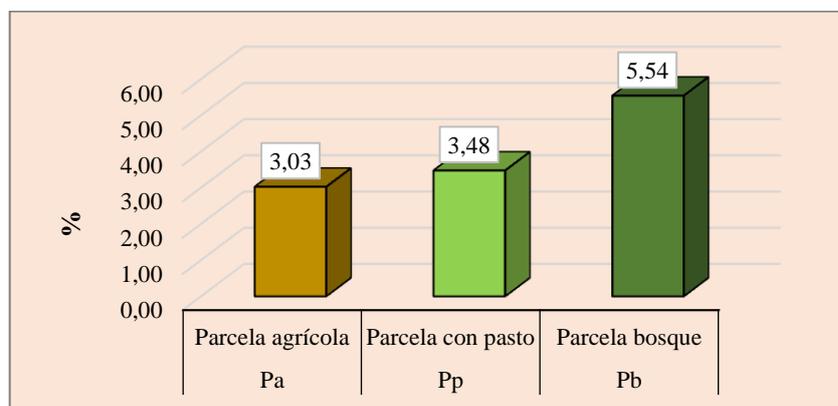
En el caso de la parcela bosque la cantidad de MO presente en la zona se debe a la vegetación abundante, lo que hace que el aporte de MO al suelo sea extremadamente rico, además se debe recalcar que debido a diferentes factores como la presencia de microorganismos en el suelo ayudan a que la MO se infiltre a más de los 30 cm de profundidad. Otra variable que influencia en la abundancia de MO en la parcela bosque es la gran cantidad de caída de hojas o detritos procedentes de los árboles que son de gran tamaño, mientras que en la parcela agrícola y la parcela pasto la abundancia vegetal es poca y además el tamaño de las especies vegetales presentes en la zona son de tamaño pequeño y tienen un ciclo corto de vida, por lo que la abundancia de MO será más escasa. Podemos hacer una comparación con la densidad de vegetación existente en el amazonas lo que aporta gran contenido de MO al suelo haciendo que la fijación de carbono en el suelo sea mucho mayor.

8.1.3. Contenido total de Carbono Orgánico en los tres tipos de parcelas

En la estimación del porcentaje de carbono orgánico (CO) total de los tres tipos de parcelas se tomó en cuenta los valores promedios totales de las muestras de suelo a diferentes profundidades obteniendo un promedio general de cada una de ellas.

Figura 12.

Porcentaje Total de Carbono Orgánico en el Suelo



Elaborado por: Pilataxi, 2022

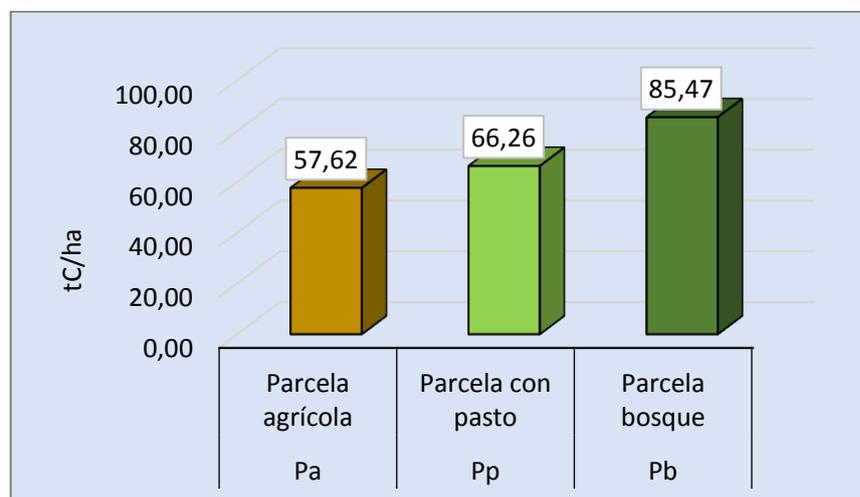
La **Figura 12** muestra que el mayor porcentaje de carbono orgánico (CO) se encuentra en la parcela bosque con un total de 5,54%, seguido de la parcela con pasto con un valor de 3,48% y por último esta es la parcela agrícola que contiene el porcentaje menor con un total de 3,03% de CO. En base a **Tabla 3** se determina que la cantidad de porcentaje presente en los tres sistemas es extremadamente rico, esto se debe a la cantidad de MO existente en la superficie del suelo que al descomponerse se transforma en humus y aporta a la acumulación del CO por tanto el carbono presente en el suelo será mucho mayor, dando a entender que el suelo es un buen reservorio de C.

8.1.4. Contenido total de carbono en los tres tipos de parcelas

El mayor contenido de C se encuentra almacenado en la parcela bosque, con un valor promedio de 85.47 tC/ha, seguido de la parcela con pasto con un valor promedio de 66.26 tC/ha; mientras que la parcela con el menor almacenamiento de carbono es la parcela agrícola con un valor promedio de 57.62 tC/ha (**Figura 13**).

Figura 13.

Contenido Total de Carbono Almacenado en las Tres Parcelas



Elaborado por: Pilataxi, 2022

Luego de haber analizado las diferentes variables que influyen en el almacenamiento de carbono en suelo, se puede afirmar que debido a la presencia de una gran cantidad de MO y CO el suelo es un gran receptor de C, que entra al suelo en estas dos formas, además se puede decir que la densidad aparente ayuda a la fijación de C a más de los 30 cm, por lo que el suelo presenta espacios porosos grandes que ayuda a que el C se infiltre a mayor profundidad,

además de que el drenaje sea bueno, lo que lo convierte en un medio de transporte que ayuda a la infiltración de C en el suelo.

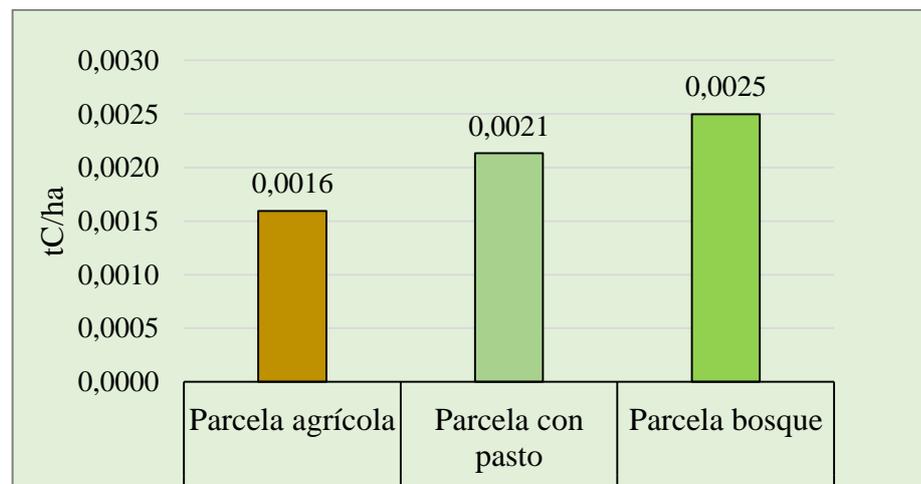
8.2. Estimación de carbono almacenado en necromasa

8.2.1. Contenido total de carbono almacenado en necromasa en los tres tipos de parcelas

La parcela bosque presenta una mayor cantidad de C almacenado en necromasa debido a la densidad vegetal que es mucho mayor en comparación a las otras parcelas, por lo que la fijación de carbono tiende a ser mayor con respecto a las dos parcelas restantes. Otro factor importante es el contenido de humedad, ya que a mayor porcentaje de humedad menor será el almacenamiento de carbono por la descomposición rápida de la necromasa (**Figura 14**).

Figura 14.

Contenido Total de Carbono Almacenado en Necromasa



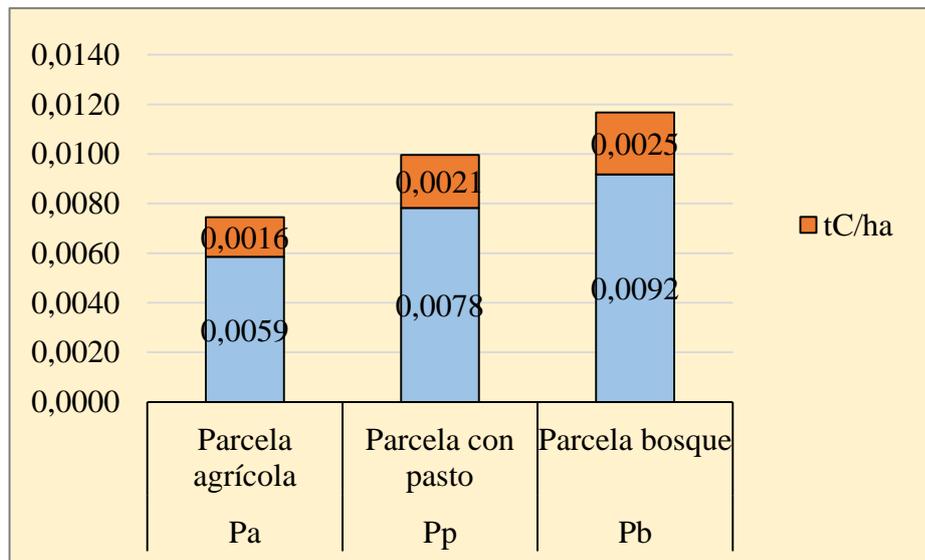
Elaborado por: Pilataxi, 2022

El contenido de carbono en necromasa también tiene relación con la cantidad de CO₂ que se fija en las plantas a través del proceso de la fotosíntesis, ya que cuando la atmosfera contiene un exceso de este gas la planta lo absorbe muy bien al principio, pero luego presenta una sobresaturación de CO₂, por lo que la planta ya no puede fijar el carbono en sus estomas, causando que el contenido de carbono disminuya y aumente el dióxido de carbono en la atmosfera provocando un desbalance en el ciclo del carbono. En la zona alta del Cerro Huicotango el sistema que mayor absorbe el CO₂ es el sistema bosque dado que las especies

que existen en la zona tienen un ciclo de vida más largo y son de gran tamaño en comparación a las especies vegetales en el sistema pasto y agrícola, por lo que la fijación de C se da por mucho más tiempo, además de que se considera que la densidad vegetal es mucho mayor en el sistema bosque, lo que ayuda al almacenamiento de carbono en mayores proporciones (**Figura 15**).

Figura 15.

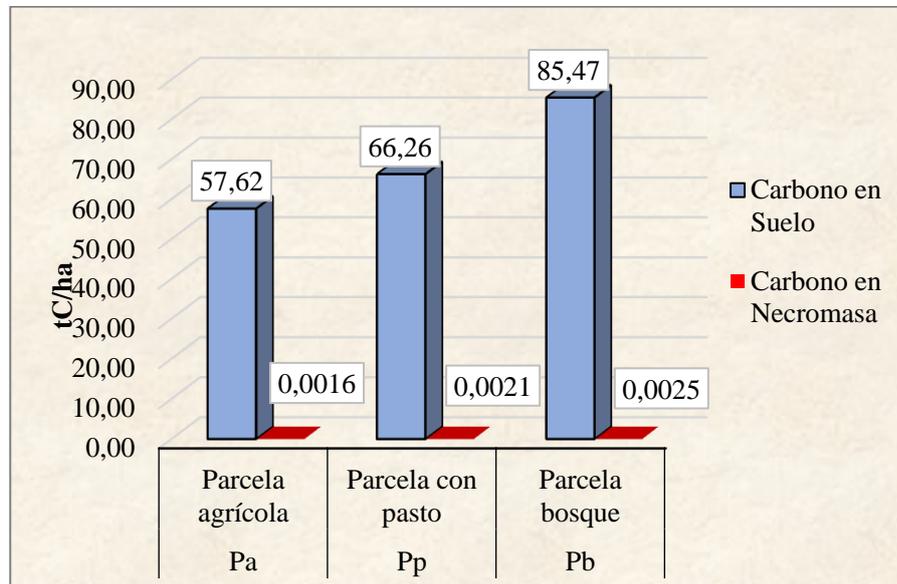
Relación entre CO₂ y Carbono en Necromasa



Elaborado por: Pilataxi, 2022

8.3. Estimación total de carbono almacenado en suelo y necromasa

En la Figura 16 se observa la diferencia de contenido de carbono almacenado tanto en suelo como en necromasa, en el cual la parcela agrícola tiene un gran almacenamiento de carbono en suelo con un valor promedio de 57.62 tC/ha a diferencia del almacenamiento de carbono en necromasa que solo llega a un valor promedio de 0.0020 tC/ha. En la parcela con pasto el carbono almacenado en suelo tiene un valor promedio de 66.26 tC/ha, mientras que el carbono almacenado en necromasa tiene un valor promedio de 0.0021 tC/ha. Por último, tenemos la parcela bosque la cual es la que mayor reserva de carbono almacena con un valor promedio de 85.47 tC/ha, mientras que el carbono almacenado en necromasa solo llega a tener un valor promedio de 0.0025 tC/ha.

Figura 16.*Carbono Almacenado en Suelo y Necromasa*

Elaborado por: Pilataxi, 2022

Los resultados obtenidos demuestran que el suelo es la mayor reserva de carbono a diferencia de la necromasa, ya que mediante la incorporación de distintas especies vegetales se obtiene mucha más MO lo que ayuda al almacenamiento de carbono en suelo.

Tabla 9.

Base de datos en Access

 Estimación de Carbono en la Zona Alta del Cerro Huicotango				
Suelo				
Parcela	DA (g/cm ³)	MO (%)	CO (%)	C (tC/ha)
Parcela Agrícola	0,12	5,22	3,03	57,62
Parcela pasto	0,12	6,99	3,45	66,26
Parcela bosque	0,10	9,56	5,54	85,47

Necromasa			
Parcelas	CH (%)	CO ₂	C (tC/ha)
Parcela agrícola	72,12	0,0059	0,0016
Parcela pasto	64,08	0,0078	0,0021
Parcela bosque	60,09	0,0092	0,0025

Elaborado por: Pilataxi, 2022

Nota: DA= densidad aparente, MO= materia orgánica, CO= carbono orgánico, C= carbono total sobre hectárea, CH= contenido de humedad, CO₂= dióxido de carbono fijado.

La relación existente entre las distintas variables aportan a la fijación de carbono, en lo que respecta a suelo la densidad aparente ayuda a que la materia orgánica que posee grandes cantidades de carbono se fije de manera más fácil al suelo dado que este no tiene una gran compactación por lo que la materia orgánica puede penetrar en el suelo por los espacios porosos y con ayuda del componente hídrico y de los microorganismos presentes en el suelo para que esta materia orgánica se descomponga y se convierta en carbono orgánico el cual se asume que en un 58% de este se fija el carbono. Para necromasa la fijación de carbono se da por medio de la absorción del CO₂ de la atmósfera que a través del ciclo de Calvin el carbono se fija en los estomas de la hoja, pero cuando hay mucha humedad las hojas se sobresaturan de agua provocando que se descomponga más rápido, por otra parte el clima también influye

ya que cuando el clima es frío provoca que las esporas de las hojas se cierren y no absorban el CO₂ por lo tanto la fijación de carbono será bajo.

9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para la discusión de los resultados se realizó una tabla general en donde se observan los valores obtenidos de cada variable que influye en el almacenamiento de carbono tanto en suelo como en necromasa.

Tabla 10.

Promedios Generales del Contenido de Carbono en Suelo y Necromasa

Parcelas	SUELO				NECROMASA		
	DA	MO	CO	CCS	CH	CO ₂	CCN
Parcela agrícola	0.12	5.22	36,30	57,62	76,12	0.0059	0.0016
Parcela pasto	0.12	6.99	41,71	66,26	64,08	0.0078	0.0021
Parcela bosque	0.10	9.56	66,52	85,47	60,09	0.0092	0.0025
TOTAL				209.35	TOTAL		0.0062

Elaborado por: Pilataxi, 2022

Nota: DA=Densidad aparente; MO=Materia orgánica; CO=Carbono orgánico; CCS=Carbono total en suelo; CH=Contenido de humedad; CO₂=Dióxido de carbono fijado; CCN=Carbono total en necromasa.

Los resultados obtenidos y representados en la tabla 10 muestran que el suelo almacena más del 99% de carbono con una cantidad de 209.35 tC/ha, mientras que la necromasa no llega ni al 1% con una cantidad de 0.0062 tC/ha, datos que al ser comparados con un estudio realizado por López. R (2017) en su tesis titulada “Valoración de Carbono en la Necromasa y Suelo del Bosque Protector Aguarongo, Provincia del Azuay, Ecuador”, quien obtuvo una cantidad de 262.46 tC/ha en suelo y 1.11 tC/ha en necromasa, se puede ver la diferencia de carbono almacenado en la zona alta del Cerro Huicotango; siendo una cantidad menor, sin embargo hay que tomar en cuenta que el estudio realizado por López fue hecho en una zona plenamente boscosa, por lo que las variables que influyen en los resultados serán distintas y al haber mucho más material vegetativo la zona fijara mayormente el carbono.

Los resultados obtenidos en el almacenamiento de carbono en suelo presentan una estrecha relación entre la cantidad de MO y CO con la fijación de C en suelo, es por esto que en la parcela bosque el stock de carbono es mucho mayor debido a la presencia de turba sobre la superficie del suelo que es transformada en humus por el proceso de descomposición, mientras que en las parcelas de pasto y agrícola, la vegetación no es muy densa, en comparación con el estudio realizado por Carrera (2018) en el ecosistema herbazal de páramo en la microcuenca Cachipata, donde el contenido de carbono presente en necromasa fue de unos 0.00088 tC/m^2 que es un valor mucho más bajo que el que presenta la zona alta del Cerro Huicotango, esto a pesar de que el área muestreada por Carrera fue de unos 10.000 m^2 que equivales a 1.0 ha, esta cantidad puede deberse a que solo se muestreo el sistema herbazal siendo que este fija poco carbono, según un estudio realizado por especialistas de la Universidad de California (EEUU) afirman que la absorción de CO_2 en grandes cantidades acelera el crecimiento de las planta asimilando de muy buena manera el carbono pero a la larga se disminuye y por ende las plantas ya no absorben más CO_2 , esto es típico de la vegetación presente en los herbazales, además, otra de las razones puede ser que la zona presenta una pérdida de vegetación por deforestación, sobrepastoreo y otras actividades antrópicas.

Al realizar una comparación entre las tres parcelas muestreadas podemos decir que el sistema que mayor almacena el carbono es el sistema bosque con un valor promedio de 85,47 tC/ha entre suelo y necromasa, dato que al comparar con la investigación realizada por López Merchán (2017) en el bosque protector Aguarongo donde existen valores promedios de 131,77 tC/ha entre la fijacion de carbono en suelo como en necromasa, por lo que podemos deducir que en la zona alta del cerro Huicotango los valores de carbono son bajos, esto puede deberse a que en el bosque Aguarongo la especie que mayor predomina es la especie *pinus* que es conocida por la gran fijacion de carbono en su madera y hojas además de que la biomasa aumenta con el crecimiento del árbol captando mucho mas carbono y convirtiendose en un sumidero a corto plazo, por otra parte; una característica similar que comparten ambos sitios es que poseen grandes cantidades de materia organica en la superficie del suelo debido a que las bajas temperaturas impiden que que estos residuos se descompongan, y por ende se acumula grandes cantidades de carbono.

10. IMPACTOS SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS

➤ **Social**

La presente investigación sirve como una fuente de información hacia la sociedad para que pueda crear interés en las personas con respecto a la fijación de carbono y el importante rol que juega los páramos en dicha fijación de C, con el objetivo de que la sociedad pueda adquirir una cultura ecológicamente sustentable, que beneficie no solo a esta generación sino también a las futuras.

➤ **Ambiental**

Al estimar el contenido de carbono almacenado en necromasa y suelo en la zona de estudio se podrá saber que actividad puede afectar al almacenamiento de carbono, de esta manera se pueden crear planes sustentables y aplicarlos en un futuro, de tal manera que los servicios ecosistémicos que están ligados al almacenamiento de carbono como la regulación del clima o la producción alimentaria no sean afectados negativamente.

➤ **Económico**

Con la información recolectada en la presente investigación realizada se puede crear proyectos sustentables que ayuden a combatir el cambio climático por medio de la remoción del CO₂ de la atmosfera y la fijación de carbono en biomasa y suelo, de esta manera las personas que pertenecen a la comuna Tasinteo Mantugtuza pueden acceder a incentivos ambientales o bonos de carbono por contribuir a la mitigación del cambio climático y el cuidado del páramo.

11. PRESUPUESTO

Tabla 11.

Presupuesto para la Elaboración del Proyecto

PRESUPUESTO UTILIZADO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO			
RECURSOS EMPLEADOS	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
Materiales y suministros			
Libreta de campo	1	\$0,75	\$0,75
Paquete de 500 hojas	1 paquete	\$6.75	\$6.75
Lápiz HB	1	\$0,65	\$0,65
Esferos	2	\$0.35	\$0.70
Fundas ziploc (14x14)	1 paquete	\$6,50	\$6,50
Contenedor de espuma flex	1	\$4.50	\$4.50
Marcador permanente	1	\$1,00	\$1,00
Recipientes de aluminio redondo	1 paquete	\$3.50	\$3.50
Recipientes de aluminio rectangular	6 paquetes	\$1.00	\$6.00
Cedazo	1	\$1.00	\$1.00
Cinta masking	1	\$1.25	\$1.25
Gastos personales y operacionales			
Transporte	20 días	\$5,00	\$100,00
Alimentación	8 días	\$2,00	\$16,00
Internet	4 meses	\$25.75	\$103.00
impresión	300 hojas	\$0.15	\$45.00
Anillado	4 paquetes	\$1.75	\$7.00
TOTAL			\$322.60

Elaborado por: Pilataxi, 2022

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1. Conclusiones

- ❖ En un área de 0,3 ha (3000m²) el suelo almacena un total de 209,35 tC/ha y la necromasa almacena un total de 0,0062 tC/ha, de esta manera se comprueba que el suelo es el mayor reservorio de carbono en comparación con la necromasa, esto se debe a que el suelo tiende a fijar el C por mucho más tiempo lo que se conoce como el ciclo lento del carbono mientras que la necromasa realiza el ciclo rápido del carbono por el corto periodo de vida de una planta en tierra.

- ❖ De las tres parcelas permanentes establecidas la parcela bosque (Pb) es en donde mayor se fija el carbono, con un valor promedio de 85,44 tC/ha en suelo y 0,0025 tC/ha en necromasa esto debido a la gran cantidad de especies vegetales y animales existentes en la zona que ayudan a la fijación de carbono en el sitio, ya que estas son las principales fuentes por las cuales se fija el C, por otro lado el contenido de C en la parcela pasto y agrícola disminuye entre un 19,21 tC/ha y 27,85 tC/ha en suelo y en necromasa los valores promedio en el sistema pasto es de 0,0021 tC/ha y en el sistema agrícola es de 0,0016 tC/ha.

- ❖ Se evidencia que el aporte vegetal y la poca influencia antropogénica en la parcela bosque aumenta la fijación de C en suelo que se lo fija en forma de MO dado que no se realiza actividades de labranza o deforestación en la zona, aunque los pastizales y la producción agrícola también aportan C al suelo lo hacen en menor cantidad debido a que el remplazo de las especies vegetales se lo realiza de manera muy rápida y en cortos periodos de tiempo además de utilizar métodos de labranza convencional que vuelven a extraer el C fijado en suelo hacia la superficie.

10.2. Recomendaciones

- ❖ Establecer más parcelas permanentes que puedan ser monitoreadas con más frecuencia, de esta manera se pueden obtener más información observando el cambio en el espacio y tiempo permitiendo tener una visión más clara de la situación del sitio con respecto al almacenamiento de carbono en suelo y necromasa y como las distintas actividades que se desarrollan en el sitio pueden influenciar en la fijación de C.

- ❖ Se recomienda revisar las distintas metodologías que son utilizadas para la estimación de carbono y poder comparar datos entre sí y ver cuál de dichas metodologías es la más apropiada para conocer el contenido de carbono tanto en suelo como en necromasa, esto con la finalidad de obtener resultados confiables y verídicos que sirvan de apoyo para futuras investigaciones.

- ❖ Difundir la información obtenida a los socios de la Comuna Tasinteo Mantugtuza, para crear propuestas futuras sustentables que ayuden a disminuir los posibles impactos negativos causados por las actividades antropogénicas, de esta manera se involucra a la sociedad a que participe en la protección de paramos, además de que puedan acceder a programas donde se dan incentivos por el secuestro de carbono y se convierta en otra fuente de economía.

13. BIBLIOGRAFÍA

- Adams, M. A. (s.f.). The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. 164. Agriculture, Ecosystems & Environment.
- Adams, M. A., Crawford, J. W., Henakaarchchi, N., Jenkins, M., Minasny, B., & Stockmann, U. (01 de Enero de 2013). The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. 164. Agriculture, Ecosystems & Environment.
- Agrantech. (2018). Análisis de Suelos. Ecuador. <http://agrantech.com/servicios/analisis-de-suelos/>
- Agrinova. (19 de Junio de 2019). La utopía del 5% de la materia orgánica. <https://agrinova.com/noticias/la-utopia-del-5-de-la-materia-organica/>
- Aguilar, S., & Sumiry, Y. (2019). Validación del método de calcinación en la determinación del contenido de la materia orgánica del suelo. Lima, Perú: UNALM. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4154/aguilar-silva-sumiry-yuleysi.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Anónimo. (2021). Ecosistemas de México: Pastizales. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/pastizales>
- Arcos, D., Espinoza, V., & Guallpa, M. (21 de Enero de 2021). Estimation of Carbon Content in the Páramo Ecosystem of Pasa Population, Ambato Canton, Tungurahua Province. Riobamba, Ecuador: ESPOCH.
- Arteaga, G. (26 de Octubre de 2020). *Investigación bibliográfica – Cómo llevar a cabo una*. <https://www.testsiteforme.com/investigacion-bibliografica/>
- Barrera, J. J., Barrezueta Unda, S., & Cervantes, A. (Noviembre de 2019). EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE IGNICIÓN PARA DETERMINAR MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS DE LA PROVINCIA EL ORO (ECUADOR). 3. Machala, Ecuador: Universidad Técnica de Machala. https://www.researchgate.net/publication/338375014_EVALUACION_DEL_METODO_DE_IGNICION_PARA_DETERMINAR_MATERIA_ORGANICA_EN_SUELOS_DE_LA_PROVINCIA_EL_ORO_ECUADOR
- Bendix, J., Carrillo, G., Célleri, R., Rollenbeck, R., & Silva, B. (2019). *The Breathing of the Andean Highlands: Net Ecosystem Exchange and Evapotranspiration over the Páramo of Southern Ecuador*(265), 30-47. Agricultural and Forest Meteorology. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.11.006>.
- Birdsey, J., Fang, R., Houghton, P., & Pan, Y. (2011). A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. 333: 988. Science.
- Bojórquez Serrano, J. J., Castillo Pacheco, L. A., García Paredes, J. D., Hernández Jiménez, A., & Madueño Molina, A. (Diciembre de 2015). Changes in organic carbon stocks in soils under different plant covers. 36(4). La Habana. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000400008
- Buytaert, W., Sevink, J., Leeuw, B., & Deckers, J. (2005). Clay Mineralogy of the Soils in the South Ecuadorian Paramo Region. (127). Geoderma. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.11.021>
- Calderon, G. (19 de Junio de 2012). Fichas de información. <https://es.slideshare.net/Yamiracalderon/fichas-de-informacin>

- Calles, J., Cerra, M., Hofstede, R., López, V., Polanco, R., Torres, F., Ulloa, J., & Vásquez, A. (2014). *LOS PÁRAMOS ANDINOS ¿Qué Sabemos?* Quito, Ecuador. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2014-025.pdf>
- Campos, G., & Lule Martínez, N. E. (2012). *LA OBSERVACIÓN, UN MÉTODO PARA EL ESTUDIO DE LA REALIDAD*. Universidad La Salle Pachuca.
- Carrera, C. A. (2018). ESTIMACIÓN DE CARBONO EN TRES DEPÓSITOS NATURALES DEL ECOSISTEMA HERBAZAL DE PÁRAMO EN LA MICROCUENCA CACHIPATA, COMUNIDAD LLUCUD, CANTÓN CHAMBO”. Riobamba, Ecuador.
- Cepeda, A. (2019). DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN EL SUELO EN UNA PLANTACIÓN DE MELINA (*Gmelina arborea*) EN LA PARROQUIA PUCAYACU DEL CANTÓN LA MANÁ, PROVINCIA DE COTOPAXI. Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.
- Chuncho, G., & Morocho, C. (05 de Diciembre de 2019). *Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión*, 9(2). Loja, Ecuador: Universidad Nacional de Loja. https://drive.google.com/file/d/1_m4ZobqzjfgTfv2S3CvB4AIjSh5IIPnS/view
- Dávila, S. (2006). Caracterización de la materia orgánica de los suelos representados en los ecosistemas amazónicos del Perú. Sevilla, Perú.
- Donoso, Z. (1992). Ecología forestal. Valdivia, Chile: Universidad.
- FAO. (2022). El Manejo de Suelos Altamente Orgánicos. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-altamente-organicos/es/>
- Garay, C. (27 de Junio de 2020). Técnicas e instrumentos para la recopilación de datos. 13.
- Guilcatoma, V. E. (2010). INVENTARIO DE LAS ESPECIES VEGETALES NATIVAS DEL CERRO TELIGOTE CANTÓN PELILEO, PROVINCIA DEL TUNGURAHUA DESDE LOS 3 200 HASTA LOS 3 420 m.s.n.m. 38-124. Cevallos, Tungurahua, Ecuador: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO. https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/959/1/Tesis_008agr.pdf
- Hofstede, R., Medina, G., & Mena, P. (2001). Los Páramos Del Ecuador. Particularidades, Problemas y Perspectivas. Quito, Ecuador.
- Ibáñez Asensio, S., Gisbert Blanquer, J. M., & Moreno Ramón, H. (s.f). INCEPTISOLES. España: Universidad Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12884/inceptisoles.pdf>
- InfoAgro. (01 de Diciembre de 2018). Densidad aparente, que es y como se mide. <https://infoagronomo.net/densidad-aparente-que-es-y-como-se-mide/>
- Josse, C., Medina, G., & Mena, P. (1999). El Páramo Como Espacio de Mitigación de Carbono Atmosférico. Quito, Ecuador.
- Kastenmayer, P. (2019). ANALISIS DE MINERALES Y ELEMENTOS TRAZA EN ALIMENTOS. <https://www.fao.org/3/ah833s/AH833S22.htm>
- Keller, T., & Håkansson, I. (2010). Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. (154), 398. Geoderma.
- Marín, C., & Parra, S. (2015). Bitácora de flora. *Guía visual de plantas de páramos en Colombia*, 16-300. Colombia. <http://www.humboldt.org.co/images/Fondo/pdf/bitacorafloa1.pdf>

- Martínez, E., Fuentes, J., & Acevedo, E. (2008). Soil organic carbon and soil properties. *8(1)*. Chile: SciELO. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912008000100006
- Morales Betancourt, J. A. (2006). *EL PÁRAMO: ¿ECOSISTEMA EN VÍA DE EXTINCIÓN?* <https://revistasoj.s.ucaldas.edu.co/index.php/lunazul/article/view/1524/1444>
- Morales, F. (2012). Conozca 3 tipos de investigación: Descriptiva, Exploratoria y Explicativa. 2.
- Navarrete, D. (2011). Madera muerta: un reservorio de carbono en bosques naturales de Colombia. Validación metodológica para su medición en el marco de proyectos REDD+. 29. Bogotá D.C, Colombia: IDEAM.
- Oliva, M., Culqui Mirano, L., Santos, L., Collazos, R., Salas, R., Vásquez, H., & Quintana, J. M. (Junio de 2017). Reserve of carbon in a silvopastoral system composed of *Pinus patula* and native herbaceous. *8(2)*. Perú. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172017000200007
- Pértegas Díaz, S., & Pita Fernández, S. (2002). Investigación cuantitativa y cualitativa. A Coruña, España: Universitario Juan Canalejo.
- Rojas, C. (27 de Junio de 2021). FICHA DE CAMPO. <https://milformatos.com/escolares/ficha-de-campo/>
- Rojas, J. M. (2012). DENSIDAD APARENTE. *Comparación de métodos de determinación en Ensayo de rotaciones en siembra directa*. Argentina. https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-_densidad_aparente.pdf
- Rosell, R. (1999). Materia orgánica, fertilidad de suelos y productividad de cultivos. Chile.
- Schlesinger, W. (1997). Biogeochemistry, an analysis of global change. San Diego, California, USA: Academic Press.
- Swift, R. S. (2001). Decomposition in terrestrial ecosystems, *Studies in Ecology*. 323. London: Blackwell Scientific Publications.
- Taboada, M., & Alvarez, C. (2008). Fertilidad física de los suelos. *2da*. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires.
- Ulcungo, B. P. (2008). Inventario Folrístico del Sector Ukshapamba, del Bosque Nativo de la Comunidad Paquiestancia, Cayambe-Ecuador, 2008. Quito, Ecuador: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.
- Viviroli, D., Hans, H. D., Messerli, B., Meybeck, M., & Weingartner, R. (2007). *Mountains of the world, water towers for humanity: Typology, mapping, and global significance* (Vol. 43). <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2006WR005653>
- Yuste, J., Heres, A.-m., Ojeda, G., Paz, A., Pizano, C., García, D., & Lasso, E. (2017). *Soil Heterotrophic CO2 Emissions from Tropical High-Elevation Ecosystems (Páramos) and Their Sensitivity to Temperature and Moisture Fluctuations*, 8-11. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.02.016>
- Zaninovich, S. C. (19 de Diciembre de 2017). Dinámica y almacenamiento del carbono en la necromasa y el suelo de ecosistemas forestales: efecto de la degradación del bosque nativo y su reemplazo por plantaciones de *Pinus taeda* L. en el NE de Argentina. Argentina: Repositorio Institucional CONICET Digital. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/84021>

14. ANEXOS

Anexo 1. Fichas de campo para la recolección de muestras de suelo

FICHA DE CAMPO PARA RECOLECCION DE MUESTRAS DE SUELO				
Fecha: 28-11-2021				
Responsible: Deisy Pilataxi				
Hora de inicio: 10:16 am		Hora de finalización: 10:31 am		
Muestreo # 1				
DATOS				
Nombre de la Parcela	Categoría	Subparcela	Profundidad	Nº de Muestra
Pp	Suelo pastoreil	Pp 1	10 cm	Msp 1
Pp	Suelo pastoreil	Pp 1	20 cm	Msp 2
Pp	Suelo pastoreil	Pp 1	30 cm	Msp 3
Características del sitio de Muestreo: La zona es accesible No presenta pendientes muy elevadas Sistema de pastoreo de vacas				
Observaciones: Se observa la presencia de ganado en el lugar. El pasto tiene una altura de unos 20 cm aproximadamente				

FICHA DE CAMPO PARA RECOLECCION DE MUESTRAS DE SUELO				
Fecha: 28-11-2021				
Responsible: Deisy Pilataxi				
Hora de inicio: 10:42 am		Hora de finalización: 11:02 am		
Muestreo # 2				
DATOS				
Nombre de la Parcela	Categoría	Subparcela	Profundidad	Nº de Muestra
Pa	Suelo Agrícola	Pa 1	10 cm	Msa 1
Pa	Suelo Agrícola	Pa 1	20 cm	Msa 2
Pa	Suelo Agrícola	Pa 1	30 cm	Msa 3
Características del sitio de Muestreo: La zona no tiene pendientes muy elevadas Existe un cultivo agrícola de papas Existe vegetación en las alrededores				
Observaciones: No se evidencia que los cultivos sean afectados por los helados				

Anexo 1. Ficha de campo para recolección de muestras de suelo pastoril

Anexo 1. Ficha de campo para recolección de muestras de suelo agrícola

Anexo 2. Fichas de campo para la recolección de muestras de necromasa

FICHA DE CAMPO PARA RECOLECCION DE MUESTRAS DE NECROMASA			
Fecha: 05-12-2021			
Responsable: Deisy Pilataxi			
Hora de inicio:		Hora de finalización:	
Muestreo # 2			
DATOS			
Cód. Parcela	Nombre común de la especie	Nº muestra	Observaciones
P _n	Pino	M8	No se evidencia que existan afectaciones antropogénicas, no se evidencia el abistamiento de ganado
P _n	Fato	M9	
P _n	Calca	M10	
P _n	Musgo	M11	Se presenta pequeñas lluvias con un periodo de tiempo corto T=12°C Viento=2.5 m/s Humedad=88% Nubosidad=90%
P _n	Chilca	M12	
P _n	Pinillo	M13	
P _n	Petitos finos	M14	
Características del sitio de Muestreo:			
Zonas con pendientes poco elevadas, con ligeras ondulaciones			
Zona con una gran cantidad de arbustos			
Presencia de especies de plantas nativas e introducidas			

Anexo 1. Ficha de campo para recolección de muestras de necromasa

Anexo 3. Fichas de laboratorio

FICHA DE LABORATORIO							
SUELO							
Fecha	Código Parcela	N° Muestra	Profundidad (cm)	Peso fresco de la muestra (g)	Peso fresco de la sub-muestra (g)	Peso seco de la sub-muestra (g)	Peso Calcinado de la sub-muestra (g)
25-11-2021 30-11-2021	Pa1	Msp1	10	170.64	20	9.27	8.97
		Msp2	20	216.70	20	9.83	8.71
		Msp3	30	248.80	20	10.77	10.14
	Pa1	Msa1	10	131.14	20	9.91	9.02
		Msa2	20	175.71	20	9.92	9.23
		Msa3	30	193.21	20	10.16	10.04
8-12-2021 7-12-2021	Pa2	Msp4	10	183.13	20	10.93	10.53
		Msp5	20	212.78	20	10.71	10.44
		Msp6	30	187.30	20	11.13	10.99
	Pa2	Msa4	10	179.91	20	11.02	10.51
		Msa5	20	134.17	20	10.73	9.97
		Msa6	30	213.92	20	10.03	9.86
13-12-2021 14-12-2021	Pa3	Msp7	10	149.73	20	9.08	8.81
		Msp8	20	174.29	20	9.98	9.50
		Msp9	30	247.21	20	11.25	10.96
	Pa3	Msa7	10	147.26	20	10.87	10.64
		Msa8	20	298.12	20	10.79	10.24
		Msa9	30	209.71	20	10.54	10.62
21-12-2021 22-12-2021	Pa4	Msp10	10	182.13	20	9.25	8.92
		Msp11	20	198.73	20	9.97	9.13
		Msp12	30	241.12	20	9.53	9.02
	Pa4	Msa10	10	187.91	20	9.72	9.21
		Msa11	20	212.33	20	10.23	9.89
		Msa12	30	231.14	20	10.21	9.78

Anexo 2. Ficha de laboratorio para muestras de suelo

FICHA DE LABORATORIO					
NECROMASA					
Fecha	Código parcela	N° muestra	Especie	Peso fresco (g)	Peso seco (g)
28-11-2021	Pn	M1	Colea	78.65	13.91
28-11-2021	Pn	M2	Musgo	52.26	21.70
28-11-2021	Pn	M3	Chilca	41.65	20.13
28-11-2021	Pn	M4	Pino	37.91	28.56
28-11-2021	Pn	M5	Feto	50.27	21.78
28-11-2021	Pn	M6	Pinillo o Arbol lechero	41.91	78.95
28-11-2021	Pn	M7	Detritos finos	47.72	25.10
5-12-2021	Pn	M8	Pino	26.46	16.59
5-12-2021	Pn	M9	Feto	74.79	28.42
5-12-2021	Pn	M10	Colea	26.46	16.79
5-12-2021	Pn	M11	Musgo	46.04	10.04
5-12-2021	Pn	M12	Chilca	35.52	18.97
5-12-2021	Pn	M13	Pinillo o Arbol lechero	40.24	25.66
5-12-2021	Pn	M14	Detritos finos	39.24	25.61
12-12-2021	Pn	M15	Pino	41.59	32.73
12-12-2021	Pn	M16	Pinillo o Arbol lechero	23.81	12.21
12-12-2021	Pn	M17	Feto	24.79	18.63
12-12-2021	Pn	M18	Colea	33.83	17.62
12-12-2021	Pn	M19	Chilca	43.73	22.44
12-12-2021	Pn	M20	Musgo	36.56	20.87
12-12-2021	Pn	M21	Detritos finos	23.76	16.33
19-12-2021	Pn	M22	Feto	51.22	18.29
19-12-2021	Pn	M23	Colea	55.66	25.71
19-12-2021	Pn	M24	Pinillo o Arbol lechero	53.69	18.99

Anexo 2. Ficha de laboratorio para muestras de necromasa

REGISTRO DE EQUIPOS - MATERIALES - REACTIVOS																													
<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES</p> <p>LABORATORIOS FACULTAD - CAREN</p> <p>DATOS INFORMATIVOS DEL USUARIO (Responsable)</p> <p>NOMBRES Y APELLIDOS: <u>Deisy Beatriz Pilotoxi Diaz</u></p> <p>No. CÉDULA O PASAPORTE: <u>1850464205</u></p> <p>CARRERA: <u>Inq Medio Ambiente</u> CICLO ACADÉMICO: <u>10 mo</u></p> <p>CORREO ELECTRÓNICO: <u></u> N° TELEFONO: <u>0979657073</u></p> <p>TEMA DE LA PRÁCTICA: <u>Estimación de carbono en necromasa y suelo</u></p> <p>ASIGNATURA: <u></u></p> <p>DOCENTE RESPONSABLE: <u>Inq Oscar Daza</u></p> <p>FECHA DE LA PRÁCTICA: <u>14/12/2021</u> HORA INGRESO: <u>12:00</u> HORA SALIDA: <u>4:00 pm</u></p> <p>GRUPO: <u>B*</u></p> <p>DETALLE DE EQUIPOS - MATERIALES Y REACTIVOS A UTILIZARSE EN LA PRÁCTICA</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">EQUIPOS Y MATERIALES</th> <th colspan="2">REACTIVOS</th> </tr> <tr> <th>CANTIDAD</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>CANTIDAD</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Pinza</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Muestras</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Estufa</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Balanzas</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Balanza Analítica</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		EQUIPOS Y MATERIALES		REACTIVOS		CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	1	Pinza			2	Muestras			1	Estufa			5	Balanzas			1	Balanza Analítica		
EQUIPOS Y MATERIALES		REACTIVOS																											
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN																										
1	Pinza																												
2	Muestras																												
1	Estufa																												
5	Balanzas																												
1	Balanza Analítica																												
<p>AUTORIZADO POR: <u>Mg Celene Aguilera</u> ANALISTA LABORATORIO</p> <p>RECIBIDO POR: <u>Deisy Pilotoxi</u> ESTUDIANTE RESPONSABLE No. CÉDULA: <u>1850464205</u></p> <p>OBSERVACIONES: <u></u></p>																													

Anexo 2. Ficha de laboratorio de los equipos y materiales utilizados

Anexo 4. Fase de campo para la recolección de muestras de suelo



Anexo 4. Limpieza del sitio de muestreo



Anexo 4. Toma de muestra de suelo a diferentes profundidades con el cilindro



Anexo 4. Recoleccion, etiquetado y transporte de las muestras de suelo

Anexo 5. Fase de campo para la recolección de nuestras de necromasa



Anexo 5. Recolección de necromasa de distintas especies vegetales en las tres parcelas

seleccionadas



Anexo 5. Etiquetado y transporte de las muestras de necromasa

Anexo 6. Fase de laboratorio para muestras de suelo



Anexo 6. Etiquetado de los recipientes para muestras de suelo



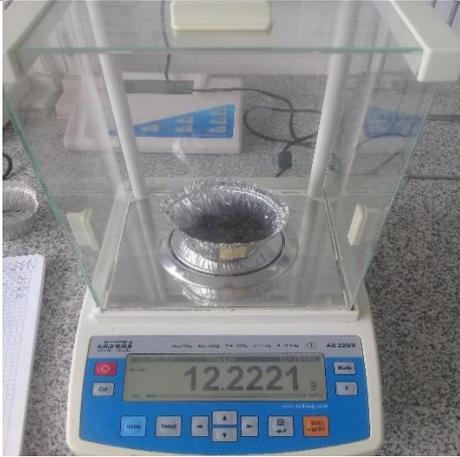
Anexo 6. Tamizado del suelo



Anexo 6. Pesado de las submuestras de suelo



Anexo 6. Secado de las submuestras de suelo en la estufa



Anexo 6. Pesado de las submuestras luego del secado en la estufa



Anexo 6. Etiquetado de los crisoles de porcelana



Anexo 6. Pesado de los crisoles de porcelana



Anexo 6. Calcination de las submuestras de suelo en la mufla



Anexo 6. Secado y pesado de las submuestras luego de la calcinacion

Anexo 7. Fase de laboratorio para muestras de necromasa



Anexo 7. Pesado y etiquetado del recipiente antes de colocar la muestra de necromasa



Anexo 7. Pesado total de la muestra fresca de necromasa de las distintas especies vegetales



Anexo 7. Secado de las muestras de necromasa en la estufa



Anexo 7. Pesado de muestras de necromasa luego del proceso de secado

Anexo 8. Fase de análisis de datos

Tabla 12.

Cálculos para Estimar el Carbono Almacenado en Suelo

Semana	Parcela	Subparcela	N° Muestra	P r o f c m	VC	Pfs	Pss	DA	Pcs	MO	CO	CC		Total de C
					cm ³	g	120 ^o C	g/cm ³	360 ^o C	%	%	gC/ha	tC/ha	
1	Pa	Pa1	Msa1	10	166,11	20	11,02	0,066	10,51	4,63	2,68	0,18	17,81	36,32
			Msa2	20	332,21	20	10,33	0,031	9,97	3,48	2,02	0,13	12,57	
			Msa3	30	498,32	20	10,03	0,020	9,86	1,69	0,98	0,06	5,94	
	Pp	Pp1	Msp1	10	166,11	20	9,27	0,056	8,97	3,24	1,88	0,10	10,48	40,16
			Msp2	20	332,21	20	9,83	0,030	9,21	6,31	3,66	0,22	21,65	
			Msp3	30	498,32	20	10,37	0,021	10,14	2,22	1,29	0,08	8,03	

	Pb	Pb1	Msb1	10	166,11	20	9,31	0,056	9,02	3,11	1,81	0,10	10,13	52,38
			Msb2	20	332,21	20	9,92	0,030	9,23	6,96	4,03	0,24	24,09	
			Msb3	30	498,32	20	10,56	0,021	10,04	4,92	2,86	0,18	18,16	
2	Pa	Pa2	Msa4	10	166,11	20	9,72	0,059	9,21	5,25	3,04	0,18	17,81	44,70
			Msa5	20	332,21	20	10,23	0,031	9,89	3,32	1,93	0,12	11,87	
			Msa6	30	498,32	20	10,21	0,020	9,78	4,21	2,44	0,15	15,02	
	Pp	Pp2	Msp4	10	166,11	20	10,87	0,065	10,04	7,64	4,43	0,29	28,98	60,41
			Msp5	20	332,21	20	10,79	0,032	10,24	5,10	2,96	0,19	19,21	
			Msp6	30	498,32	20	10,97	0,022	10,62	3,19	1,85	0,12	12,22	
	Pb	Pb2	Msb4	10	166,11	20	9,25	0,056	8,92	3,57	2,07	0,12	11,52	55,17
			Msb5	20	332,21	20	9,97	0,030	9,23	7,42	4,31	0,26	25,84	
			Msb6	30	498,32	20	9,53	0,019	9,02	5,35	3,10	0,18	17,81	
3	Pa	Pa3	Msa7	10	166,11	20	11,50	0,069	10,41	9,48	5,50	0,38	38,06	98,13
			Msa8	20	332,21	20	10,19	0,031	9,23	9,42	5,46	0,34	33,52	
			Msa9	30	498,32	20	9,72	0,020	8,96	7,82	4,54	0,27	26,54	
	Pp	Pp3	Msp7	10	166,11	20	11,04	0,066	10,07	8,79	5,10	0,34	33,87	86,95
			Msp8	20	332,21	20	9,82	0,030	9,08	7,54	4,37	0,26	25,84	
			Msp9	30	498,32	20	10,69	0,021	9,91	7,30	4,23	0,27	27,24	
	Pb	Pb3	Msb7	10	166,11	20	6,47	0,039	4,01	38,02	22,05	0,86	85,90	140,38
			Msb8	20	332,21	20	9,30	0,028	8,47	8,92	5,18	0,29	28,98	
			Msb9	30	498,32	20	10,52	0,021	9,79	6,94	4,03	0,25	25,49	
4	Pa	Pa4	Msa10	10	166,11	20	11,08	0,067	10,26	7,40	4,29	0,29	28,63	51,33
			Msa11	20	332,21	20	11,58	0,035	11,22	3,11	1,80	0,13	12,57	
			Msa12	30	498,32	20	10,47	0,021	10,18	2,77	1,61	0,10	10,13	
	Pp	Pp4	Msp10	10	166,11	20	11,08	0,067	10,18	8,12	4,71	0,31	31,43	77,52
			Msp11	20	332,21	20	10,64	0,032	9,96	6,39	3,71	0,24	23,75	
			Msp12	30	498,32	20	10,51	0,021	9,87	6,09	3,53	0,22	22,35	
	Pb	Pb4	Msb10	10	166,11	20	8,09	0,049	6,52	19,41	11,26	0,55	54,82	93,94
			Msb11	20	332,21	20	10,97	0,033	10,24	6,65	3,86	0,25	25,49	
			Msb12	30	498,32	20	11,48	0,023	11,09	3,40	1,97	0,14	13,62	

Elaborado por: Pilataxi, 2022

Tabla 13.

Cálculos para Estimar el Carbono Almacenado en Necromasa

Semana	Parcela	N° muestra	Nombre Común de la especie	Peso Fresco	Peso Seco	Peso fresco total	CH	Biomasa		Stock de Carbono	Total de Carbono
				g	g		%	g	t	t/ha	t/ha
1	Pa	M1	Raigrás	21,34	5,87	88,70	72,49	35,40	0,000035	0,0001770	0,0005605
		M2	Tribulullo	24,58	8,30		66,23	43,46	0,000043	0,0002173	
		M3	Hoja de papa	42,78	11,05		74,17	33,24	0,000033	0,0001662	
	Pp	M4	Pajilla	28,03	12,49	99,09	55,44	44,15	0,000044	0,0002208	0,0007163
		M5	Urculanudo	31,66	15,40		51,36	48,20	0,000048	0,0002410	
		M6	Pasto azul	39,4	20,24		48,63	50,90	0,000051	0,0002545	

	Pb	M7	Sachapera	21,95	13,72	139,67	37,49	87,30	0,000087	0,0004365	0,0008941
		M8	Fucunero	37,74	14,77		60,86	54,66	0,000055	0,0002733	
		M9	Gualicon	79,98	21,10		73,62	36,85	0,000037	0,0001842	
2	Pa	M10	Hoja de papa	49,69	5,94	116,37	88,05	17,50	0,000017	0,0000875	0,0005523
		M11	Tribulillo	31,19	8,79		71,82	41,25	0,000041	0,0002063	
		M12	Raigrás	35,49	12,54		64,67	51,72	0,000052	0,0002586	
	Pp	M13	Pasto azul	29,71	16,95	121,95	42,95	69,57	0,000070	0,0003479	0,0006003
		M14	Llanten	47,98	8,99		81,26	22,85	0,000023	0,0001142	
		M15	Tribulillo	44,26	10,03		77,34	27,64	0,000028	0,0001382	
	Pb	M16	Llanshi	37,38	10,75	129,41	71,24	37,22	0,000037	0,0001861	0,0005447
		M17	Fato	43,27	10,15		76,54	30,36	0,000030	0,0001518	
		M18	Colca	48,76	15,59		68,03	41,38	0,000041	0,0002069	
3	Pa	M19	Raigrás	32,34	11,87	113,70	63,30	49,07	0,000049	0,0002454	0,0005189
		M20	Tribulillo	35,58	8,30		76,67	31,19	0,000031	0,0001559	
		M21	Hoja de papa	45,78	8,05		82,42	23,51	0,000024	0,0001175	
	Pp	M22	Pagta	32,26	11,24	94,84	65,16	33,04	0,000033	0,0001652	0,0005278
		M23	Trebol	33,63	13,49		59,89	38,04	0,000038	0,0001902	
		M24	Diente de leon	28,95	10,52		63,66	34,46	0,000034	0,0001723	
	Pb	M25	Colca	32,86	15,15	84,70	53,90	39,05	0,000039	0,0001953	0,0006808
		M26	Taglli	23,16	14,01		39,51	51,24	0,000051	0,0002562	
		M27	Escoba	28,68	15,53		45,85	45,86	0,000046	0,0002293	
4	Pa	M28	Hoja de papa	41,69	3,94	141,35	90,55	14,30	0,000014	0,0000715	0,0003513
		M29	Tribulillo	52,19	8,75		83,23	25,37	0,000025	0,0001269	
		M30	Raigrás	47,47	9,59		79,80	30,58	0,000031	0,0001529	
	Pp	M31	Llanten	35,43	4,37	90,34	87,67	11,14	0,000011	0,0000557	0,0002882
		M32	Pagta	23,53	3,59		84,74	13,78	0,000014	0,0000689	
		M33	Raigrás	31,38	11,36		63,80	32,70	0,000033	0,0001635	
	Pb	M34	Helecho	23,96	6,11	76,99	74,50	19,63	0,000020	0,0000982	0,0003787
		M35	Musgo	29,36	8,92		69,62	23,39	0,000023	0,0001170	
		M36	Colca	23,67	10,06		57,50	32,72	0,000033	0,0001636	

Elaborado por: Pilataxi, 2022

Tabla 14.

Base de Datos del Carbono Almacenado en Suelo

SUELO

<u>Parcela</u>	<u>Subparcela</u>	<u>N° Muestra</u>	<u>CO (%)</u>	<u>MO (%)</u>	<u>DA (g/cm3)</u>	<u>CC (tC/ha)</u>
Pa						
	Pa1	Msa2	2,02	3,48	0,031	12,57
	Pa1	Msa3	0,98	1,69	0,020	5,94
	Pa1	Msa1	2,68	4,63	0,066	17,81
	Pa2	Msa4	3,04	5,25	0,059	17,81
	Pa2	Msa5	1,93	3,32	0,031	11,87
	Pa2	Msa6	2,44	4,21	0,020	15,02
	Pa3	Msa9	4,54	7,82	0,020	26,54
	Pa3	Msa7	5,50	9,48	0,069	38,06
	Pa3	Msa8	5,46	9,42	0,031	33,52
	Pa4	Msa10	4,29	7,40	0,067	28,63
	Pa4	Msa11	1,80	3,11	0,035	12,57
	Pa4	Msa12	1,61	2,77	0,021	10,13
Pb						
	Pb1	Msb2	4,03	6,96	0,030	24,09
	Pb1	Msb1	1,81	3,11	0,056	10,13
	Pb1	Msb3	2,86	4,92	0,021	18,16
	Pb2	Msb6	3,10	5,35	0,019	17,81
	Pb2	Msb4	2,07	3,57	0,056	11,52
	Pb2	Msb5	4,31	7,42	0,030	25,84
	Pb3	Msb9	4,03	6,94	0,021	25,49
	Pb3	Msb7	22,05	38,02	0,039	85,90
	Pb3	Msb8	5,18	8,92	0,028	28,98
	Pb4	Msb11	3,86	6,65	0,033	25,49
	Pb4	Msb12	1,97	3,40	0,023	13,62
	Pb4	Msb10	11,26	19,41	0,049	54,82
Pp						
	Pp1	Msp2	3,66	6,31	0,030	21,65
	Pp1	Msp3	1,29	2,22	0,021	8,03
	Pp1	Msp1	1,88	3,24	0,056	10,48

Pp2	Msp6	1,85	3,19	0,022	12,22
Pp2	Msp5	2,96	5,10	0,032	19,21
Pp2	Msp4	4,43	7,64	0,065	28,98
Pp3	Msp7	5,10	8,79	0,066	33,87
Pp3	Msp8	4,37	7,54	0,030	25,84
Pp3	Msp9	4,23	7,30	0,021	27,24
Pp4	Msp12	3,53	6,09	0,021	22,35
Pp4	Msp11	3,71	6,39	0,032	23,75
Pp4	Msp10	4,71	8,12	0,067	31,43

Elaborado por: Pilataxi, 2022

Tabla 15.

Base de Datos en Access del Contenido de Carbono en Necromasa

NECROMASA

<u>N° Muestra</u>	<u>Nombre Común de la Especie</u>	<u>CH (%)</u>	<u>CO₂ Fijado (tCO₂/ha)</u>
M1	Raigrás	72,49	0,00045
M2	Tribulullo	66,23	0,00055
M3	Hoja de papa	74,17	0,00042
M4	Pajilla	55,44	0,00081
M5	Urculanudo	51,36	0,00088
M6	Pasto azul	48,63	0,00093
M7	Sachapera	37,49	0,00160
M8	Fucunero	60,86	0,00100
M9	Gualicon	73,62	0,00068
M10	Hoja de papa	88,05	0,00026
M11	Tribulillo	71,82	0,00060
M12	Raigrás	64,67	0,00075
M13	Pasto azul	42,95	0,00128
M14	Llanten	81,26	0,00042
M15	Tribulillo	77,34	0,00051
M16	Llanshi	71,24	0,00068
M17	Fato	76,54	0,00056
M18	Colca	68,03	0,00076

M19	Raigrás	63,30	0,00077
M20	Tribulullo	76,67	0,00049
M21	Hoja de papa	82,42	0,00037
M22	Pagta	65,16	0,00061
M23	Trebol	59,89	0,00070
M24	Diente de leon	63,66	0,00063
M25	Colca	53,90	0,00072
M26	Taglli	39,51	0,00094
M27	Escoba	45,85	0,00084
M28	Hoja de papa	90,55	0,00025
M29	Tribulillo	83,23	0,00043
M30	Raigrás	79,80	0,00052
M31	Llanten	87,67	0,00020
M32	Pagta	84,74	0,00025
M33	Raigrás	63,80	0,00060
M34	Helecho	74,50	0,00036
M35	Musgo	69,62	0,00043
M36	Colca	57,50	0,00060

Elaborado por: Pilataxi, 2022

Anexo 9. Aval de Traducción



**CENTRO
DE IDIOMAS**

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del trabajo de titulación cuyo título versa: **“ESTIMACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO EN NECROMASA Y SUELO EN LA ZONA ALTA DEL CERRO HUICOTANGO PERTENECIENTE A LA COMUNA TASINTEO MANTUGTUZA DEL CANTÓN PÍLLARO EN EL PERIODO DICIEMBRE 2021 - FEBRERO 2022”** presentado por: **Deisy Beatriz Pilataxi Diaz**, estudiante de la Carrera de: **Ingeniería Ambiental** perteneciente a la **Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a la peticionaria hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, 31 marzo del 2022

Atentamente,



**CENTRO
DE IDIOMAS**

Mg. Marco Paúl Beltrán Semblantes

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI: 0502666514