



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL

TÍTULO:

**DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE CARBONO EN EL
ECOSISTEMA HERBAZAL DE PÁRAMO EN EL NOROESTE DE
LA SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORES: GUISELLA TATIANA CHANDI JAPÓN

ARIEL SOFÍA PILCO PINO

TUTOR: ING. FREDDY ARMIJOS

RIOBAMBA -ECUADOR

AÑO 2023

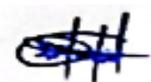
© 2023, Chandi Japón, Guisella Tatiana y Pilco Pino, Ariel Sofía.

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

Nosotras, Guisella Tatiana Chandi Japón y Ariel Sofía Pilco Pino, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autoras asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnico de Chimborazo.

Riobamba, 06 de diciembre de 2023.



Ariel Sofía Pilco Pino

CI: 0650150634



Guisella Tatiana Chandi Japón

CI: 1104240831

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, “**DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE CARBONO EN EL ECOSISTEMA HERBAZAL DE PÁRAMO EN EL NOROESTE DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO**”, realizado por las señoritas: **GUISELLA TATIANA CHANDI JAPÓN Y ARIEL SOFÍA PILCO PINO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Juan Carlos González García PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-12-06
Ing. Freddy Marco Armijos Arcos DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-12-06
Ing. María Soledad Núñez Moreno ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-12-06

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo principalmente a Dios, por habernos dado la vida y permitirnos el haber llegado hasta este momento tan importante de nuestra formación profesional. A nuestros padres, por estar con nosotras, por enseñarnos a crecer y a que si caemos debemos levantarnos, por apoyarnos y guiarnos, por ser las bases que nos ayudaron a llegar hasta aquí, también han sabido formarnos con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual nos ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles. Sé que estas palabras no son suficientes para expresar nuestro agradecimiento, pero espero que, con ellas, se den a entender nuestros sentimientos de aprecio y cariño a todos ellos.

Tatiana Chandi y Ariel Pilco

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento al Ing. Freddy Armijos, nuestro director de tesis, por su dedicación y apoyo durante todo el proceso de investigación. También queremos agradecer al técnico de laboratorio el Ing. José, quien nos brindó su ayuda y colaboración en todo momento, y al Ing. Diego Damián Carrión por su paciencia, destreza y cooperación que nos han ayudado a alcanzar las metas propuestas. Agradezco especialmente a nuestra familia y amigos, quienes nos han brindado su apoyo emocional y nos motivaron a seguir adelante en los momentos más difíciles. Además, queremos agradecer a todas las personas que participaron en este proyecto, cuyo aporte fue fundamental para el éxito de esta investigación. Finalmente agradecemos por nuestro esfuerzo y perseverancia ante las adversidades ya que gracias a ello hemos podido lograr nuestro trabajo de investigación.

Tatiana Chandi y Ariel Pilco

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	ix
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.1. Planteamiento del Problema.....	3
1.2. Objetivos	3
1.3. Justificación	3
1.4. Planteamiento de la Hipótesis	4

CAPÍTULO II

2.1. Antecedentes	6
2.2 Bases teóricas	7
2.2.1. Cambio Climático	7
2.2.2. Efecto Invernadero.....	7
2.2.3. Gases de efecto invernadero.....	7
2.2.4. CO ₂	8
2.2.5. Ecosistema de páramo	8
2.2.6. Páramos en Ecuador	11
2.2.7. Paramos de Chimborazo	11
2.2.8. Flujo de Carbono.....	12
2.2.9. Sumideros de carbono	13
2.2.10. Entradas	13
2.2.11. Salidas	20

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO.....	21
3.1. Área de estudio	21
3.2. Tipo y diseño de la investigación	22
3.3. Diseño Experimental	22
3.4. Metodología.....	22

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	34
4.1. Determinación de los flujos de entrada y salida del páramo de Igualata.....	34
4.2. Determinación de los flujos de entrada y salida del páramo de Quimiag	46
4.3. Comparación de los flujos de carbono entre sitios (Igualata vs Quimiag).....	55
4.4. Flujo de carbono.....	63

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
5.1. Conclusiones	65
5.2. Recomendaciones	66

6. BIBLIOGRAFÍA

7. ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Composición de un suelo franco en buenas condiciones para el desarrollo vegetal.....	16
Tabla 3-1 Puntos de muestreo (Tabla coordenadas X y Y)	22
Tabla 4-1. Resultado de las propiedades de las Biomasa del páramo de Igualata a una profundidad de 50 cm2.	34
Tabla 4-2. Resultado de las propiedades de las necromasa del páramo de Igualata.	35
Tabla 4-3. Resultado de las propiedades de las Raíces del páramo de Igualata.....	37
Tabla 4-4. Resultado de las propiedades físico-químicas de los suelos del páramo de Igualata a una profundidad de 0-15 cm.	38
Tabla 4-5. Resultado de las propiedades físico-químicas de los suelos del páramo de Igualata a una profundidad de 15-30 cm.	38
Tabla 4-6. Resultados de respiración edáfica en el páramo de Igualata.....	43
Tabla 4-7. Resultado de las propiedades de las Biomasa del páramo de Quimiag.	46
Tabla 4-8. Resultado de las propiedades de las necromasa del páramo de Quimiag	47
Tabla 4-9. Resultado de las propiedades de las raíces del páramo de Quimiag a una profundidad de 30 cm.....	48
Tabla 4-10. Resultado de las propiedades físico-químicas de los suelos del páramo de Quimiag a una profundidad de 0-15 cm.	49
Tabla 4-11. Resultado de las propiedades físico-químicas de los suelos del páramo de Quimiag a una profundidad de 15-30 cm.	49
Tabla 4-12. Resultados de respiración edáfica en el páramo de Quimiag.....	54
Tabla 4-13. Resultados del flujo de carbono para el páramo de Igualata y Quimiag.....	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-3. Ubicación del páramo de Igualata y Quimiag.	21
Ilustración 4-1. Biomasa del suelo en mitigación del páramo de Igualata en un área de 50 cm ² . ..	35
Ilustración 4-2. Necromasa del suelo en mitigación del páramo de Igualata en un área de 50 cm ²	36
Ilustración 4-3. Raíces del suelo en mitigación del páramo de Igualata en una profundidad de 30 cm.....	38
Ilustración 4-4. pH de suelo en mitigación del páramo de Igualata a una profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm.....	39
Ilustración 4-5. Conductividad eléctrica de suelo en mitigación del páramo de Igualata a una profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm.	40
Ilustración 4-6. Densidad aparente de suelo en mitigación del páramo de Igualata a una profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm.	41
Ilustración 4-7. Materia orgánica de suelo en mitigación del páramo de Igualata a una profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm.....	42
Ilustración 4-8. Carbono orgánico de suelo en mitigación del páramo de Igualata a una profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm.....	43
Ilustración 4-9. Respiración del suelo en mitigación del páramo de Igualata en un área de 50 cm ²	45
Ilustración 4-10. Biomasa del suelo intervenido del páramo de Quimiag en un área de 50 cm ²	47
Ilustración 4-11. Necromasa del suelo intervenido del páramo de Quimiag en un área de 50 cm ² .	48
Ilustración 4-12. Raíces del suelo intervenido del páramo de Quimiag en una profundidad de 30 cm.....	49
Ilustración 4-13. pH de suelo intervenido del páramo de Quimiag a una profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm.....	50
Ilustración 4-14. Conductividad eléctrica de suelo intervenido del páramo de Quimiag a una profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm.	51
Ilustración 4-15. Densidad aparente del suelo intervenido del páramo de Quimiag a una profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm.	52
Ilustración 4-16. Densidad aparente del suelo intervenido del páramo de Quimiag a una profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm.	53
Ilustración 4-17. Carbono orgánico de suelo intervenido del páramo de Quimiag a una profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm.....	54
Ilustración 4-18. Respiración del suelo intervenido del páramo de Quimiag en un área de 50 cm ²	55
Ilustración 4-19. Relación de los valores de CO (Mg/Ha) de la biomasa en Igualata y Quimiag... ..	55
Ilustración 4-20. Media de los valores de CO (Mg/Ha) de la biomasa en Igualata y Quimiag.....	56
Ilustración 4-21. Relación de los valores de CO (Mg/Ha) de la necromasa en Igualata y Quimiag.	57
Ilustración 4-22. Media de los valores de CO (Mg/Ha) de la necromasa en Igualata y Quimiag.	58

Ilustración 4-23. Relación de los valores de CO (Mg/Ha) de las raíces en Igualata y Quimiag.	58
Ilustración 4-24. Media de los valores de CO (Mg/Ha) de las raíces en Iguala y Quimiag.	59
Ilustración 4-25. Relación de los valores de CO (Mg/Ha) del suelo en Igualata y Quimiag a dos profundidades (0-15) y (15-30).....	60
Ilustración 4-26. Media de los valores de CO (Mg/Ha) del suelo en Iguala y Quimiag a dos profundidades (0-15) y (15-30).....	61
Ilustración 4-27. Relación de los valores de CO (Mg/Ha) de la respiración edáfica en Igualata y Quimiag.....	61
Ilustración 4-28. Media de los valores de CO (Mg/Ha) de la respiración edáfica en Iguala y Quimiag.....	62

ANEXOS

ANEXO A: PARAMO IGULATA-MITIGACION

ANEXO B: PÁRAMO QUIMIAG-INTERVENIDO

ANEXO C: ANALISIS EN EL LABORATORIO

RESUMEN

En el presente estudio se centra en realizar un trabajo conjunto entre dos páramos, para poder lograr una correcta comparación, por lo tanto, tuvo como objetivo determinar el flujo del carbono dentro del ecosistema herbazal de páramo en las zonas de Igualata (mitigación) y Quimiag (intervención) pertenecientes a la provincia de Chimborazo. La metodología utilizada se centró en analizar el flujo de carbono mediante entradas (biomasa, necromasa, raíces y suelo) y salidas correspondientes a la respiración edáfica, para cada conglomerado. Se establecieron 10 puntos de monitoreo, siendo 7 puntos para Igualata y 3 para Quimiag, donde cada punto representa 3 parcelas, teniendo un total de 20 muestras para biomasa aérea, 90 muestras para necromasa y raíces, 180 muestras de suelos obtenidos a profundidades de 0-15 cm y 15-30 cm, finalmente para respiración 60 muestras a una profundidad de 0-15 cm. En el laboratorio se analizaron las propiedades físico-químicas y la respiración edáfica. Mediante esta metodología se logró determinar que Igualata tiene una mayor biomasa (21,5 Mg/ha) en comparación con Quimiag (7,3 Mg/ha), sugiriendo más material orgánico vivo y un mayor almacenamiento de carbono. La necromasa es similar en ambas zonas, indicando tasas comparables de descomposición. Igualata tiene ligeramente más raíces (0,34 Mg/ha) que Quimiag (0,27 Mg/ha), contribuyendo al almacenamiento de carbono en el suelo. Sin embargo, el contenido de carbono en el suelo de Quimiag es considerablemente mayor, sugiriendo posibles impactos humanos en el equilibrio del carbono. Ambas zonas muestran actividad microbiana y descomposición de materia orgánica, con mayor respiración edáfica en Igualata (116,03 mg CO₂-C/Kgd) que en Quimiag (99,56 mg CO₂-C/Kgd), en contexto a estos resultados se determinó la importancia de conservar y gestionar de manera sostenible los páramos para mantener su función como sumideros de carbono y garantizar la salud de estos ecosistemas.

Palabras clave: <MICROCUENCA>, <RESPIRACIÓN EDÁFICA>, <CARBONO>, <BIOMASA>, <PÁRAMO>

0273-DBRA-UPT-2024



ABSTRACT

This research is focused on doing a project within two moorlands. In order to achieve a correct comparison, it was established as an objective to determine the carbon flow in the herbal system of the moorland at Iguatas zone (mitigation) and Quimiag (intervention) both parts of Chimborazo province. The method used was based on the analysis of the carbon flow through entrances (biomass, necromass, roots, and land), and exists corresponding to the edaphic respiration for each conglomeration. It was established 10 tracking points, 7 points for Iguata, and 3 for Quimiag. Each of these points represents a plot; having in total 20 samples for air biomass, 90 samples for necromass and roots, and 180 samples for land obtained from the undergrounds of 0-15 cm and 15-30 cm. Finally for the respiration, 60 samples at a depth of 0-15 cm. In the laboratory, the physical-chemical properties and the edaphic respiration were analyzed. Through this methodology, it was possible to determine that Iguata has a bigger biomass (21,5 MG/ha) than Quimiag (7,3 Mg/ha). This suggests a greater living organic material and a higher carbon provision. The necromass is similar in both zones. This indicates comparable rates of decomposition. Iguatas has a slightly higher number of roots (0,34 Mg/ha) than Quimiag (0,27 Mg/ha). This contributes to the carbon provision of the land. However, the carbon content on Quimiag land is much higher, causing possible human impacts on the carbon balance. Both zones reflect microbial activity and organic material decomposition. At Iguata, there is higher edaphic respiration (116,03 mg C₀₂-C/Kgd) than at Quimiag (99,56 mg C₀₂-C/Kgd). Within the context of these results, it was determined the importance of conserving and managing the moorland in a sustainable way to maintain the functioning of carbon drains and guarantee the health of these ecosystems.

Keywords: <MICROBASIN> <EDAPHIC RESPIRATION> <CARBON> <BIOMASS>
<MOORLAND>



Ing. Romel Francisco Calles Jiménez Mgr.

CI: 0603877713

INTRODUCCIÓN

Una de las mayores preocupaciones actuales en términos ambientales es el incremento en el nivel de concentraciones de gases de efecto invernadero, incluyendo principalmente el CO₂, en la atmósfera terrestre (Álvarez, 2008). Por otro lado, en la actualidad existe un consenso científico significativo respecto a la necesidad de limitar la temperatura media global es 1.55°F (0.86°C) por encima del promedio del siglo 20 de 57.0°F (13.9°C) (NOAA 2023), antes de que finalice el siglo XXI, a fin de evitar eventuales daños severos asociados con calentamientos extremos; la mayoría de los modelos sugieren que esta tarea requiere disminución rápida y sostenedora en las concentraciones globales de gases de efecto invernadero. Es decir, el manejo adecuado de los recursos naturales incluidos los Páramos ecuatorianos, que no solo traerá beneficios directamente, sino que también tendrá importantes implicaciones a nivel hemisférico y global (Garnier et al. 2018).

Los suelos de páramo poseen un notable potencial de absorción de carbono, ya que tienen la capacidad de retener tres veces más carbono orgánico que la vegetación circundante. Esta característica convierte al páramo en un escenario propicio para la mitigación del cambio climático, especialmente en la reducción de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂). Las bajas temperaturas en este ecosistema contribuyen a tasas de mineralización y reciclaje de nutrientes más lentas, facilitando una absorción neta continua de carbono atmosférico que se acumula en forma de materia orgánica en los suelos (UPTC 2015).

En este contexto, la medición y el monitoreo del carbono en los ecosistemas de alta montaña, como los Páramos, se ha vuelto un tema de investigación importante en los últimos años, especialmente debido al cambio climático. Estos datos empíricos son necesarios para las negociaciones destinadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la deforestación y degradación forestal (REDD) (Goetz y Dubayah 2011). Además, los registros de carbono en los Páramos contribuyen a mejorar la cuantificación de los sumideros y flujos de carbono en estos entornos (Herold & Skutsch, 2011).

Los entrelazados procesos de síntesis y descomposición, a través de los cuales el C se mueve en el suelo, las plantas, los animales y el aire, constituyen el ciclo del C. Este ciclo se percibe como un sistema completo que incluye tanto las entradas (captura) como las salidas (emisiones) de carbono en diversas formas hacia el entorno. En este sistema, el carbono se reintroduce en el medio ambiente tan pronto como es retirado (Fernández Romero 2015).

Las entradas de carbono orgánico en el suelo incluyen la incorporación de material orgánico fresco, principalmente de origen vegetal, a través de la descomposición de plantas, animales y microorganismos, el aporte de residuos de cosecha en suelos cultivados y procesos geológicos lentos. Las salidas de carbono orgánico en el suelo incluyen la mineralización del carbono orgánico por la acción microbiana, la pérdida de carbono en forma gaseosa, el transporte de carbono por corrientes de ríos hasta el mar, la emisión de CO₂ durante la respiración de organismos vivos. El equilibrio entre las entradas y salidas de carbono en el suelo determina si actúa como un sumidero o una fuente de CO₂ atmosférico. Las prácticas de manejo del suelo, como la deforestación, la agricultura intensiva y la degradación, pueden aumentar las salidas de carbono y disminuir su capacidad de almacenamiento (Álvarez y Rimski-Korsakov 2016).

Para nuestra investigación, se recolectaron un total de 180 muestras de suelo de diferentes profundidades (0-15 cm y 15-30 cm) de un conjunto de 10 puntos, el muestreo de suelo se realizó de manera representativa, teniendo en cuenta los objetivos de la investigación y utilizando técnicas adecuadas, como la barrenación. La recolección de muestras a diferentes profundidades permite obtener información más completa sobre las propiedades del suelo y su contenido de carbono orgánico. Además, se recolectaron muestras de biomasa subterránea (raíces), biomasa aérea (paja), necromasa, suelo, y respiración. Posteriormente, estas muestras fueron llevadas al laboratorio (Investigación y Desarrollo Ambiental GIDAC) para analizar sus propiedades físico-químicas, incluyendo el pH, conductividad, color, textura y contenido de carbono orgánico total en el suelo. Estos análisis son esenciales para comprender la composición y el funcionamiento del suelo, así como su capacidad de almacenamiento de carbono.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

Existen investigaciones realizadas como la determinación de la respiración edáfica (RE) en el páramo de Igualata, cantón Guano y otro estudio referente a la cuantificación del contenido de carbono orgánico edáfico en ecosistemas nativos e intervenidos, en la Parroquia Quimiag, pertenecientes a la provincia de Chimborazo.

Estos estudios son sustanciales para nuestra investigación debido a que intervienen los parámetros de interés como son la biomasa aérea, raíces, necromasa, suelo y respiración edáfica; sin embargo, hasta la actualidad en el Ecuador los estudios acerca de este tipo de investigación se han hecho de forma separada. Por lo tanto, nuestra investigación se centra en realizar un trabajo conjunto de todas las variables, para poder lograr una correcta comparación. Además, se han encontrado pocas investigaciones detalladas, involucradas con el páramo, por tal motivo, es importante impulsar a realizar investigaciones conjuntas que aborden estos parámetros en los páramos andinos del Ecuador los cuales nos permitirán obtener una visión más completa de la dinámica de estos ecosistemas y su importancia para la conservación y el bienestar de la población.

1.2. Objetivos

General

- Determinar el flujo de carbono en el ecosistema herbazal de páramo al noroeste de la subcuenca del Río Chambo entre Quimiag e Igualata, provincia de Chimborazo.

Específicos

- Cuantificar el carbono orgánico del suelo, biomasa aérea, necromasa y de raicillas.
- Cuantificar la respiración edáfica.
- Comparar el flujo de carbono de entrada con el de salida del ecosistema.

1.3. Justificación

En el contexto del cambio climático, es crucial entender cómo funciona el flujo de carbono en diferentes regiones geográficas, al igual que es importante conocer el contenido de carbono orgánico almacenado en el mismo, ya que contribuye a mejorar la cuantificación de sumideros y flujo de carbono en el entorno (Pinzón 2022). Los páramos ecuatorianos representan un componente clave ya que juegan un papel vital en almacenar y liberar dióxido de carbono (Torres 2021). Además, estos páramos poseen un microclima frío, húmedo y baja luz solar, favoreciendo la preservación. Este sistema ha permitido un alto contenido de carbono que ahora está siendo investigado, especialmente su relación con la variabilidad natural ambiental, como las fluctuaciones térmicas, precipitaciones y fenómenos hidrológicos. Entender mejor cómo funcionan estos mecanismos contribuirá enormemente al desarrollo de políticas públicas que puedan abordar la reducción de emisiones causadas por la actividad humana (Arquis et al. 2012). De esa manera, se podrán tomar decisiones informadas que promuevan prácticas sostenibles, protegiendo así este recurso valioso por su gran variedad cultural, los comuneros dependen directa o indirectamente del páramo, porque obtienen beneficios principalmente agua y así desarrollar su vida en comunidad adecuadamente (Paña, 2022).

Los páramos de Igualata y Quimiag, cuentan con ciertas características en común como la alteración ambiental por actividades agrícolas y de ganadería, introducción de especies, entre otros; esto ayuda al aumento de las emisiones de CO₂ a la atmósfera y por ende generar el efecto invernadero. Tomando esto en consideración, tendremos una perspectiva más amplia que nos permitirá una mejor comparativa entre estas dos zonas para la determinación del flujo de carbono mediante factores de entrada como son la biomasa aérea, necromasa, raíces, suelo y de salida la respiración edáfica. La investigación se llevará a cabo en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, con recursos técnicos e instrumentos, respaldado por el proyecto denominado “Estabilidad del carbono orgánico frente al cambio climático para la gestión de los recursos con enfoque de género en la zona alto andina de la sierra centro del Ecuador”.

1.4. Planteamiento de la Hipótesis

Hipótesis Nula

El flujo de carbono no varía entre las dos zonas del páramo (proceso de degradación y proceso de mitigación).

Hipótesis Alternante

El flujo de carbono varía entre las dos zonas del páramo (proceso de degradación y proceso de mitigación).

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

El estudio del ciclo global del carbono (C) es fundamental para comprender las consecuencias del aumento acelerado de la concentración de CO₂ en la atmósfera, así como para desarrollar estrategias que permitan reducir sus emisiones y mitigar el cambio climático global. Los científicos han centrado sus esfuerzos en estimar la cantidad de C en los principales reservorios de los ecosistemas y en identificar los factores que determinan su almacenamiento y dinámica (Montaño et al., 2016). Los páramos son especialmente importantes debido a su clima, que se caracteriza por bajas temperaturas, tasas de descomposición lentas, acumulación de materia orgánica y gran capacidad para almacenar agua (Podwojewski et al., 2002; Poulénarda, Podwojewskib and Herbillona, 2003). Los páramos son considerados sumideros carbono (C), ya que capturan seis veces más C que los bosques tropicales (Mena y Medina 2002); además, al secuestrar carbono, estos ecosistemas ayudan a regular el clima; por el contrario, de no hacerlo, cuando el suelo se descubre y se maltrata, existe el riesgo de que el carbono almacenado se descomponga y se libere a la atmósfera en forma de gas, especialmente en la forma de CO₂, que es uno de los principales contribuyentes al calentamiento global. (Villa et al., 2019).

Los páramos son paisajes bioclimáticos desarbolados y fríos, localizados entre los 3.200 y 3.800 m de altitud. Son propios de las montañas neotropicales de Costa Rica, Panamá y los Andes de Venezuela, Colombia, Ecuador y el norte del Perú (Castañeda y Montes 2017). Además, los páramos son espacios de vida y territorios sagrados para los pueblos indígenas que habitan en o alrededor de ellos, y juegan un papel fundamental en la subsistencia de diversas poblaciones tradicionales y locales asentadas en las zonas altas de las montañas, siendo ejes de cohesión social y determinantes de los modos de vida de los habitantes de las tierras altas. Por lo tanto, es esencial reconocer la importancia de los páramos y promover su conservación y uso sostenible. (Maldonado & de Bievre. 2011). La vegetación del páramo se caracteriza por la ausencia de árboles y la presencia de vegetación herbácea, dominada principalmente por pastos, cojines, rosetas y pequeños arbustos. Algunas de las especies vegetales que se encuentran en los páramos ecuatorianos son *Neurolepis elata*, *Rhynchospora vulcani*, *Calamagrostis macrophylla*, *Chusquea neurophylla*, *Puya eryngioides*, *Valeriana plantaginea* y *Blechnum aurantium*. (Richter & Moreira, 2005).

Estudios realizados por (Tonnejck et al. 2010) en páramos del norte de Ecuador, encontraron reservas de carbono orgánico de 530 ± 40 Mg/ha. Sin embargo, de producirse cambios de uso del suelo, o la conversión en tierras agrícolas, se produciría la pérdida inmediata de carbono de los horizontes orgánicos (Takahashi et al. 2006).

2.2 Bases teóricas

2.2.1. Cambio Climático

El artículo 1 de la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC) define el "cambio climático" como un cambio en el clima que se atribuye directa o indirectamente a la actividad humana, y que altera la composición de la atmósfera mundial, sumándose a la variabilidad natural del clima observado durante períodos de tiempo comparables (Díaz Cordero, 2012). Los cambios en el nivel del mar, los efectos de las nubes, la emisión de aerosoles a la atmósfera, y el aumento en las emisiones de dióxido de carbono, gas metano e hidratos de metano son algunos de los factores que afectan los cambios en la temperatura media de la Tierra y el cambio climático (Miller, 2007).

2.2.2. Efecto Invernadero

El efecto invernadero es uno de los procesos naturales que permite que exista vida en la Tierra. Consiste en la absorción que realiza la atmósfera de la radiación térmica emitida por el sol, la tierra y los océanos, la cual es irradiada nuevamente hacia la tierra aumentando la temperatura de la superficie. Este efecto se produce gracias a los gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono, metano, óxidos nitrosos y vapor de agua, que actúan como una manta que rodea a la Tierra y mantiene al planeta más cálido (Caballero et al., 2007). Sin embargo, en las últimas décadas, los seres humanos han estado interfiriendo con el equilibrio energético del planeta, principalmente a través de la quema de combustibles fósiles que agregan dióxido de carbono al aire, lo que ha aumentado el efecto invernadero y está calentando la Tierra. Los niveles de gases de efecto invernadero han incrementado y descendido durante la historia de la Tierra, pero han sido bastante constantes durante los últimos miles de años (Mendoza de Armas & Jiménez Narváez, 2017).

2.2.3. Gases de efecto invernadero

El CO₂ es uno de los gases de efecto invernadero más importantes, y que su emisión a la atmósfera

debido al cambio en el uso del suelo ocupa el segundo lugar a nivel mundial, con una fuerte contribución de las zonas tropicales (Benjamín Ordóñez y Masera 2001).

El CO₂ no es el único gas que forma parte del efecto invernadero. Además del CO₂, hay otros siete GEI: 1) el metano (CH₄); 2) el óxido nitroso (N₂O); 3) los fluorocarbonados (CCL₂F₂); 4) los hidrofluorocarbonados (CCI₂F₂); 5) el perfloroetano (C₂F₆); el 6) hexafluoruro de azufre (SF₆); y 7) el vapor de agua (Becerra, M. R., Mance, H., Rey, X. B., & Arbeláez, C. G. 2015).

Las emisiones de GEI de origen humano están alterando el equilibrio natural de la atmósfera y provocando un calentamiento global que tiene consecuencias negativas para el planeta y sus habitantes. Los modelos muestran que el dióxido de carbono ocupa el 56.5 % de las emisiones de GEI provocadas por el hombre (Miller 2007).

2.2.4. CO₂

El CO₂ es uno de los gases traza más comunes e importantes en el sistema atmósfera-océano-Tierra (Benavides y León 2007). Es un gas incoloro e inodoro que está presente en la atmósfera y es producido por diversas actividades naturales y humanas. Desempeña un papel importante en el clima y los cambios climáticos. Si bien se sabe que el CO₂ causa el calentamiento global, también es esencial para el proceso de fotosíntesis en las plantas (V. Masson-Delmotte, 2014).

El dióxido de carbono (CO₂) es un gas de efecto invernadero antropogénico primario que representa aproximadamente el 76% (38 gigatoneladas (Gt) de CO₂) de las emisiones globales de gases de efecto invernadero en 2010. Estas emisiones provienen del suministro de energía (35%), la agricultura, la silvicultura y otros usos de la tierra (24%), la industria (21%), el transporte (14%) y la construcción (6%) (Ministerio de Agricultura, 2016).

2.2.5. Ecosistema de páramo

2.2.5.1. Páramos

Los páramos son áreas naturales en las montañas que brindan diversos servicios ecosistémicos y juegan un papel crucial en la vida humana. Se caracterizan por su vegetación y sostenibilidad del

suelo. Sin embargo, la sostenibilidad de los páramos se ve amenazada por actividades antropogénicas como las prácticas agrícolas y ganaderas. Los páramos tienen una larga historia de presencia humana, que se remonta a miles de años atrás, y han sido impactados por actividades como la agricultura, la ganadería y la minería. En general, los páramos son ecosistemas únicos que requieren esfuerzos de conservación para proteger su biodiversidad y asegurar la continuidad de los servicios que brindan (Barrera, Andrea y Yolima 2012).

El rango altitudinal que ocupa esta región natural estaría situado de manera discontinua en el Neotrópico, desde altitudes de aproximadamente 3000 m.s.n.m. hasta la línea de nieves perpetuas aproximadamente a 4200 m.s.n.m.(Echeverría et al. 2018). Esta cota altitudinal inferior de la Región Paramera está sujeta a variaciones locales de acuerdo a las distintas cordilleras, vertientes y laderas, en función de variables ambientales tales como: precipitación, exposición, pendiente, insolación-nubosidad; que se relacionan con la masa relativa de los diversos sectores cordilleranos y con procesos de deforestación del bosque altoandino (Castañeda y Montes 2017).

En el continente Sudamericano, los ecosistemas de páramo cubren alrededor de 46 000 km² que se distribuyen entre Venezuela (5.2 %), Colombia (30.5 %), Ecuador (39.8 %) y Perú (24.6 %); siendo esta una parte importante de su biodiversidad (Serrano Giné y Galárraga Sánchez 2015).

2.2.5.2. Páramos importancia ambientales y sociales.

La importancia de los ecosistemas de páramos se puede dividir en tres componentes según su función. En primer lugar, los páramos tienen un valor ecológico significativo debido a su flora endémica y fauna. En segundo lugar, los páramos son fundamentales para la regulación de la hidrología regional y son la fuente de agua potable para la mayoría de la población. Y, en tercer lugar, los páramos desempeñan una función en la producción de alimentos. Su función principal consiste en la recolección, regulación, mantenimiento y suministro de agua (Chuncho Morocho & Chuncho, 2019).

Los beneficios que los páramos proporcionan como servicios ecosistémicos son significativos; no obstante, pueden sufrir alteraciones debido a los impactos del cambio climático, afectando el ciclo hidrológico y la distribución de los recursos hídricos. Además, los cambios en el uso del suelo y las prácticas agrícolas pueden dar lugar a problemas de erosión en los páramos.

Según Castañeda y Montes (2017), una estrategia para contrarrestar el aumento de la concentración

de CO₂, el páramo desempeña un papel crucial como un almacén de carbono. La conservación de este reservorio resulta fundamental para evitar la emisión de este contaminante a la atmósfera. Los procesos de captura y liberación de carbono forman parte de un sistema que involucra cuatro reservorios: la vegetación aérea y radicular, la materia en descomposición, los suelos y los productos forestales. Estos reservorios están estrechamente interconectados, presentando tiempos de residencia y flujos asociados que varían significativamente.

En el páramo, la concentración de carbono es más elevada debido a las bajas temperaturas y a la descomposición lenta de los residuos vegetales en este ecosistema. Esto conlleva a una mayor fijación de carbono. En contraste, en los bosques tropicales, el carbono se descompone, especialmente la hojarasca, de manera rápida, liberándose a la atmósfera de forma equivalente.

Además, los páramos son ecosistemas de gran importancia económica directa, como el turismo y la recreación, debido a las áreas con paisaje, elementos naturales atractivos y a su representatividad de los Andes ecuatorianos (Ayala, Villa, Aguirre, et al., 2014). Existen visitantes nacionales e internacionales que van a muchas de las áreas protegidas, y una parte de estos visitantes viene atraída por los páramos (Hayes et al., 2015). Además, la importancia cultural de los páramos es evidente y se manifiesta a distintos niveles como: los páramos junto con las punas y las jalcas formaron las rutas de comunicación entre diferentes culturas como la cultura Inca y la cultura Andina. Por esto actualmente algunos páramos son importantes sitios arqueológicos (Chuncho Morocho & Chuncho, 2019).

2.2.5.3. Suelos de Páramo

Los suelos del páramo son jóvenes del tipo A-C y se caracterizan por tener una alta susceptibilidad al deterioro, bajos niveles de fertilidad, fuerte acidez, temperatura edáfica baja, pedregosidad, alta retención de humedad, bajo desarrollo genético y evolución lenta. El material de origen (horizonte C) puede tener diferente composición como: morrenas, arenas, cenizas volcánicas (Sturm, 1994). Además, los suelos de páramo pueden tener hasta el 90% de su volumen como espacio poroso. Por lo general, un suelo contiene del 1 - 5 % de MO, mientras que el suelo de páramo puede tener de 3 - 44% y llegar incluso a valores tan altos como 90 % en el caso de suelos pertenecientes a los páramos. El suelo del páramo, generalmente de color oscuro, está fuertemente asociado con la materia orgánica, cuya acumulación se ve favorecida por las bajas temperaturas, formando complejos muy fuertes entre la parte mineral y la parte orgánica (Cuesta et al. 2014).

De esta forma se pone en evidencia la función relevante que cumplen los suelos de páramo, pues al poseer tal potencial de captura de carbono ayudan en la mitigación de los efectos negativos ocasionados por el cambio climático (Castañeda & Montes, 2017).

2.2.6. Páramos en Ecuador

Los páramos en Ecuador tienen una altitud promedio de 3,300 m.s.n.m. y cubren aproximadamente el 7% del territorio ecuatoriano (Carrillo-Rojas et al., 2019). Estos ecosistemas son importantes porque suministran agua a los valles interandinos y a la población de las ciudades cercanas (Mosquera et al., 2016). Los páramos tienen una baja evapotranspiración, alta humedad, acumulación de materia orgánica y una morfología de ciertas plantas de páramo que contribuyen a su importancia hidrológica (Carrillo-Rojas et al. 2019). Además, los páramos son importantes sumideros de carbono, almacenando seis veces más carbono que los bosques tropicales (Chuncho Morocho & Chuncho, 2019).

Los páramos del Ecuador presentan una gran diversidad en su vegetación debido a factores como los suelos y los factores meteorológicos, como la temperatura, la precipitación, la evapotranspiración y los vientos, que generan una amplia variedad de microclimas y zonas de vida. Por ejemplo, la temperatura promedio anual a 3.600 msnm es de 9,32 °C en la cordillera Occidental y de 8,32 °C en la Central, lo que significa que a la misma altura la cordillera Central es un grado más frío que la Occidental. Estas diferencias tienen efectos sobre la vegetación natural y cultivada. Los suelos de los páramos tienen una densidad aparente baja, estructura abierta y porosa, lo que permite una alta retención de agua y conductividad hidráulica (Camacho, 2014).

2.2.7. Paramos de Chimborazo

La provincia de Chimborazo destaca por tener una gran presencia de este ecosistema, con más de 236.000 hectáreas de páramo, que constituyen el 36,9% de su territorio. Además, en la provincia se encuentran otras 83.800 hectáreas de bosque andino y alto andino, que representan el 13,1% de su área total. A nivel nacional, esto equivale al 17,7% del total de superficie de páramo en el país. En Chimborazo, existen dos áreas protegidas del Patrimonio Nacional del Estado (PANE), la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo y el Parque Nacional Sangay, que abarcan 91.667 hectáreas, lo que equivale al 14% de la provincia y el 31% de sus páramos (Honorable Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo, 2020). A pesar de su estatus de protección, algunas áreas dentro de estas reservas muestran signos de intervención humana.

La Reserva de Producción Faunística Chimborazo forma parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador, que cubre aproximadamente el 20% del territorio nacional y es establecida mediante el Acuerdo Ministerial No. 437 el 26 de octubre de 1987. Esta reserva se encuentra en las provincias de Chimborazo, Bolívar y Tungurahua y abarca 52.683 hectáreas. Su altitud varía desde los 3650 hasta los 6310 metros sobre el nivel del mar, con un clima frío andino que presenta temperaturas que oscilan entre -4.8°C y 11.4°C . La precipitación anual varía de 809mm en las zonas menos lluviosas a 1300 mm en las zonas más húmedas. Sus principales objetivos de conservación son los páramos, los sistemas hídricos y humedales, los bosques y arbustales siempre verdes, así como los sitios arqueológicos (Caranqui et al., 2016).

Los páramos de Chimborazo son vitales para tres cuencas hidrográficas importantes que abastecen agua para riego y generación eléctrica a nivel nacional: la cuenca del Río Guayas (que abarca el 36% de la provincia), la cuenca del Río Pastaza (que cubre el 54% de la provincia) y la cuenca del Río Santiago (que abarca el 9% de la provincia). El clima de estos páramos está influenciado por dos factores principales: su ubicación en la región tropical y la presencia de la cordillera de los Andes.

La superficie total de los sistemas ecológicos relacionados con los páramos, incluyendo áreas para fines productivos, abarca 406.187 hectáreas lo que representa el 62,7% de su territorio. El tipo de ecosistema dominante en esta área son los pajonales paramunos, que abarcan más del 50% y son utilizados principalmente para pastoreo extensivo de ganado vacuno y ovino (más de 200.000 hectáreas). Las áreas intervenidas, ya sea para agricultura o ganadería intensiva y extensiva, ocupan más del 74% del territorio, en contraste con el 18% que permanece en estado natural, incluyendo pajonales, bosques siempreverdes, eriales, glaciares, vegetación geliturbada y bofedales. También es importante mencionar la presencia de áreas naturales en proceso de recuperación, como los bosques de *Polylepis* y pajonales, que abarcan unas 25.000 hectáreas (equivalente al 6%). Por último, se observan áreas relativamente pequeñas de reforestación con especies exóticas, que comprenden menos del 1% del territorio, junto con áreas de suelos desnudos, conocidas como arenales (Bustamante et al., 2011).

2.2.8. Flujo de Carbono

El flujo de carbono se refiere al movimiento o transferencia de carbono entre diferentes reservorios o compartimentos del medio ambiente. El flujo de carbono está influenciado por varios factores,

incluidas las condiciones ecológicas y ambientales, como las emisiones globales de carbono, la gestión del pastoreo y la composición de los metabolitos en los sistemas biológicos. En efecto, los procesos de captura-emisión son parte de un sistema con cuatro tipos generales de reservorios de carbono (vegetación, aérea y subterránea, materia en descomposición, suelos, productos forestales), con tiempos de residencia y flujos asociados muy diferentes (Benjamín Ordóñez y Masera 2001).

El ciclo del carbono representa el proceso natural mediante el cual el elemento carbono se mueve a través de la atmósfera en diversas formas. Este ciclo involucra seis procesos clave: fotosíntesis, respiración, intercambio, sedimentación, extracción y combustión; predominantemente relacionados con el carbono en forma de dióxido de carbono (CO₂). La fotosíntesis es un proceso fundamental donde la energía solar se convierte en biomasa por parte de los productores primarios, como las plantas, almacenando energía y carbono. La respiración, en contraste, implica la liberación de CO₂ cuando consumidores, productores primarios y descomponedores utilizan biomasa para obtener energía. La interacción entre el agua y el ciclo del carbono, conocida como intercambio, es otra parte esencial, donde el CO₂ se disuelve en agua y, con el tiempo, puede afectar la acidez de los océanos, especialmente con el aumento de las concentraciones de CO₂ debido a la combustión de combustibles fósiles (Barrales-Brito et al., 2022). La sedimentación lleva a la acumulación de carbono en sedimentos en el fondo de océanos o cuerpos de agua dulce, lo que puede convertirse en depósitos de carbono a largo plazo, como los combustibles fósiles. Las actividades humanas, como la extracción de combustibles fósiles y la posterior combustión, han alterado significativamente el ciclo del carbono al liberar grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera, contribuyendo al cambio climático. A través de todos estos procesos, el carbono se desplaza entre diferentes reservorios en la biosfera, la pedosfera, la geosfera, la hidrosfera y la atmósfera, y aunque normalmente se mantiene en equilibrio, las actividades humanas han perturbado este equilibrio al aumentar las concentraciones de CO₂ en la atmósfera (Cueva et al., 2016).

2.2.9. Sumideros de carbono

El sistema natural del suelo es considerado uno de los mayores sumideros de carbono que beneficia a la mitigación del cambio climático (Rojas-Vargas et al. 2019). Debido a la gran capacidad de almacenamiento y captura del carbono de la atmósfera, es por esta razón que el páramo es un sistema estratégico de interés nacional e internacional (Fernández Pérez et al., 2019).

2.2.10. Entradas

Las entradas de carbono se refieren a los procesos mediante los cuales el carbono es incorporado a los diferentes depósitos, reservorios o almacenes de carbono, como la atmósfera, el suelo, los océanos y el subsuelo. En el suelo, las principales entradas de carbono se generan mediante la incorporación de material vegetal, como residuos de cultivo, raíces, exudados radiculares (Burbano Orjuela, 2018). La cantidad de materia orgánica del suelo es la diferencia entre todas las entradas de carbono al suelo y todas sus pérdidas. Además, el carbono puede circular por diferentes vías, como la fotosíntesis, la respiración y la descomposición.

2.2.10.1. *Biomasa Aérea*

La vegetación tiene la capacidad de absorber el carbono y lo incorpora en sus estructuras, como tallos, ramas, hojas y raíces, lo que significa que lo captura y lo almacena durante largos periodos. Por tanto, es de gran importancia asegurar una estimación precisa de la biomasa en un bosque, ya que esto permite calcular la cantidad de carbono y otros elementos químicos presentes en cada componente (Pimienta de la Torre et al., 2019).

A nivel global, los bosques cubren aproximadamente el 30% de la superficie total de la Tierra, que equivale a 4.03 billones de hectáreas (Pomboza Tamaquiza y Reinoso Torres 2020). Por otro lado, en los páramos, se registra una variabilidad en la cantidad de la biomasa, con valores que fluctúan entre 13.21 y 183 t/ha (Castañeda y Montes 2017). Algunas investigaciones indican que esta disparidad podría ser resultado de las fluctuaciones en las condiciones ambientales circundantes (Walteros Torres et al., 2022).

2.2.10.2. *Necromasa*

La necromasa se refiere a la materia orgánica muerta, específicamente partes de plantas muertas, que se acumulan en el suelo. Es un componente importante del carbono orgánico del suelo y desempeña un papel crucial en el ciclo del carbono del suelo y la dinámica de los nutrientes. La necromasa se puede clasificar en diferentes etapas, incluida la producción, el reciclaje, la estabilización y la desestabilización, que determinan su persistencia en el suelo (Buckeridge, Creamer y Whitaker 2022). La acumulación de carbono de necromasa microbiana (MNC) está influenciada por varios factores como el clima, el tipo de lecho rocoso y las prácticas de manejo de la tierra (Zeng et al. 2023). La necromasa microbiana contribuye a la formación y renovación del carbono orgánico del suelo, y su acumulación puede verse favorecida por factores como la fertilización con nitrógeno, cultivos de cobertura, labranza reducida, aplicación de estiércol y enmienda de paja (Hu et al. 2023). Comprender la dinámica

y la persistencia de la necromasa es crucial para predecir la vulnerabilidad y la persistencia del carbono del suelo en un mundo cambiante.

Según el estudio de Gualpa et al. (2021), los resultados referentes a la cantidad de carbono orgánico almacenado en la necromasa recolectadas en 4 cuadrantes de 0,25 m², exhiben variaciones en función de la altitud. Dentro del intervalo altitudinal de 3900–4050 m.s.n.m., se registró un promedio de 4,96 tC·ha⁻¹, mientras que en el rango altitudinal de 3750–3900 m.s.n.m., se identificó un promedio de 3,33 tC·ha⁻¹.

En relación a la cobertura vegetal determinó que la vegetación arbórea es la que mayor cantidad de carbono orgánico almacena con una media de 7,40 tC·ha⁻¹, frente a la vegetación herbácea que presenta una media de 0,89 tC·ha⁻¹. Los datos aquí obtenidos guardan concordancia con los datos obtenidos con otras investigaciones en donde se obtuvo un valor medio de 5,19 tC·ha⁻¹ en la biomasa del páramo arbustivo; y 0,87 tC·ha⁻¹ en la biomasa del páramo herbáceo del PNY (Spracklen & Righelato, 2014).

2.2.10.3. Raíces

Las raíces son la mitad oculta de las plantas que cumplen múltiples funciones. Proporcionan anclaje a las plantas, les suministran agua y nutrientes y facilitan el intercambio de sustancias de crecimiento con los brotes (Brun y Rademakers 1997). Las raíces también desempeñan un papel crucial en la interacción entre las plantas y su entorno, ya que la mayoría de estas interacciones ocurren en la interfaz raíz-suelo (Clothier y Green 1997). Además, las raíces contribuyen a la estructura, aireación y actividades biológicas del suelo al servir como fuente importante de material orgánico (Yang y Peng 2013). Tienen estructuras complejas y exhiben una amplia gama de asociaciones con otros organismos vivos. Las raíces, la principal unidad léxica de los términos ontológicos, conllevan aspectos importantes de contenido semántico y no pueden reducirse a componentes más pequeños (Varma 1998). En general, las raíces son esenciales para el crecimiento de las plantas y desempeñan un papel vital en el funcionamiento de las plantas y su entorno.

En el estudio de se determino que la cantidad más baja de masa de raíces se registró a una profundidad de 1 m, mientras que su mayor volumen y distribución se observaron hasta los 0.2 m. Se hallaron

valores parecidos en pastizales que registraron un incremento de 21.9 Mg ha⁻¹ del C en los primeros 0.3 m del suelo, sobre un valor inicial de 61.2 Mg ha⁻¹ (Gualpa et al., 2021).

2.2.10.4. Suelo

El suelo es la combinación de materiales sólidos, líquidos (agua) y gaseosos (aire). La relación adecuada entre cada uno de estos componentes determina la capacidad de hacer crecer las plantas y la disponibilidad de suficientes nutrientes para ellas. El suelo es soporte, fuente de alimento y agua de las plantas, así como refugio de algunas plagas y sus predadores, por lo tanto, debe intentarse una optimización de todos estos factores (León et al., 2018).

Castañeda y Montes (2017), en el ecosistema de páramo, entre 0 y 40 cm de profundidad nos dice que el carbono almacenado en el suelo puede variar entre 119 y 397 t/ha, bajo vegetación natural (Castañeda y Montes 2017). Se clasificó en 4 categorías a los suelos de páramo según el almacenamiento de C: muy alto >150 t.C.ha-1 ; alto entre 100-150 t.C.ha-1 ; medio entre 50-100 t.C.ha-1 y bajo (Sánchez Irigoien et al. 2021).

2.2.10.5. Componentes del suelo

El suelo es un conjunto organizado, de espesor variable (que se lo puede localizar desde algunos centímetros hasta algunos metros) que recubre las rocas. Esta capa es considerada un ente vivo que está en relación directa con la vida vegetal. (Miranda et al., 2022). Según Navarro et al. (2022) si se considera el suelo en su conjunto como un sistema disperso, constituido por tres fases: sólida, líquida y gaseosa), se pueden distinguir en él, cuatro componentes: minerales, materia orgánica, agua y aire; ligados entre sí y originando un medio perfecto para el crecimiento de las plantas. La composición de las citadas fases y de sus componentes, como es lógico, puede variar con el tiempo y de un lugar a otro. De forma aproximada, y considerando un suelo superficial, bien equilibrado, se puede situar dentro de los valores reflejados en la tabla 2-1.

Tabla 2-1: Composición de un suelo franco en buenas condiciones para el desarrollo vegetal.

Componente del suelo	% Volumen	% Peso
Material mineral	45	81
Materia orgánica	5	2

Agua	20-30	17
Aire	20-30	-

Fuente: (Navarro et al., 2022, p.31)

Realizado por: (Pilco & Chandi, 2023)

2.2.10.6. *Materia orgánica del suelo*

Navarro et al. (2022) narra que la descomposición de residuos de plantas y animales en el suelo constituye un proceso biológico básico en el que el carbono es recirculado hacia la atmósfera como dióxido de carbono (CO₂), mientras el nitrógeno (N) es mineralizado a la forma amónica (NH₄⁺) y posteriormente oxidado a nitrato (NO₃⁻), y otros elementos asociados (P, S y micronutrientes) son requeridos por las plantas.

Para este proceso, un porcentaje de carbono es asimilado dentro del tejido microbiano (biomasa del suelo) y parte es transformado en humus. Parte del humus es mineralizado simultáneamente, y en consecuencia el contenido total de materia orgánica es mantenido a un nivel estable característico del suelo y de las condiciones de su manejo.

Los residuos de las plantas son los responsables de la generación de la materia orgánica del suelo. Bajo condiciones naturales, todos estos residuos generados (partes aéreas y raíces de los árboles, arbustos, malas hierbas y otras plantas) aportan al suelo una gran cantidad de residuos orgánicos (Pérez 2022).

2.2.10.7. *Propiedades del suelo*

Propiedades físicas

La composición y disposición de las partículas en el suelo son los principales factores que influyen en sus propiedades físicas. Estos factores están estrechamente relacionados con dos conceptos clave: la textura, que se refiere a la composición de las partículas del suelo en términos de su porcentaje relativo, y la estructura, que se refiere a la manera en que estas partículas se agregan entre sí y con otros componentes del suelo, como la materia orgánica.

2.2.10.7.1. *Textura del suelo*

La granulometría de un suelo se refiere a la composición por tamaño de las partículas de materia

mineral, y se expresa en porcentaje en peso de cada fracción. En los suelos se separan tres clases por tamaño: arena, limo y arcilla. Existen varias clasificaciones para diferenciar las partículas del suelo, siendo las más importantes las propuestas por el Departamento de Agricultura de los EE. UU. (USDA) y la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (ISSS). No se ha entrado en detalles sobre el método a seguir para la diferenciación de las partículas del suelo (Pérez, 2022).

2.2.10.7.2. Estructura del suelo

El suelo tiene una propiedad importante que determina el espacio disponible para sus fases sólida, líquida y gaseosa. Esta propiedad influye en la dinámica de líquidos y gases en el suelo, y en propiedades como porosidad, densidad aparente, régimen hídrico, régimen térmico, permeabilidad, aireación, distribución de la materia orgánica, entre otras (López & Zamora, 2016).

2.2.10.7.3. Color del suelo

Una de las características morfológicas más notorias del suelo, tiene gran importancia porque guarda una estrecha relación con sus principales componentes sólidos. Además, la mayoría de los procesos pedogenéticos producen en el suelo colores específicos, y por ser este rasgo morfológico el más visible de su accionar, es el más utilizado para empezar a aproximarse al análisis de la génesis de un suelo (Jaramillo, 2021).

El color del suelo se puede determinar mediante la comparación de muestras en húmedo y seco con tablas especiales, como la Tabla de Colores Munsell. Esta tabla ordena los colores de acuerdo con códigos numéricos que utilizan tonos, luminosidad y saturación para evaluar el color. Los horizontes del suelo y subsuelos pueden ser reconocidos por las variaciones en el color, y el color de los suelos guarda una estrecha relación con los componentes sólidos, como la materia orgánica, textura, composición mineralógica y morfología (Cajilema & Piguabe, 2020).

2.2.10.7.4. Densidad

La densidad, tal como se aplica a cualquier tipo de material monofásico homogéneo de masa M y volumen V , se expresa como la relación M/V . Bajo condiciones especificadas, esto conduce a valores únicos que representan una propiedad bien definida del material. Para materiales heterogéneos y multifásicos, sin embargo, como los medios porosos, la aplicación de esta definición puede conducir

a resultados diferentes, dependiendo de la forma exacta de la masa y el volumen del sistema.

En el sistema suelo de tres fases (sólida, líquida y gaseosa), el concepto de densidad media puede ser usado para definir los siguientes términos:

- La densidad de un volumen determinado de suelo o densidad aparente (DA).
- La densidad de sólidos o densidad
- Porosidad del suelo (Pérez, 2022).

2.2.10.8. *Propiedades químicas*

Las propiedades químicas de los suelos están regidas principalmente por las arcillas (coloides inorgánicos) y por la materia orgánica (coloides orgánicos), por ser estos las principales reservas de nutrientes en el suelo (Pérez 2022).

2.2.10.8.1. *pH*

es una propiedad química que se refiere a la “concentración de iones hidrogeno activos (H^+) que se da en la interface líquida del suelo, por la interacción de los componentes sólidos y líquidos” (López y Zamora 2016). Prácticamente, la solubilidad y la disponibilidad de todos los elementos presentes en el suelo, incluyendo los nutrientes de la planta, están controladas por el pH, que además controla la solubilidad de otros elementos en el suelo como el Al, que pueden causar toxicidad a las plantas. En la taxonomía de suelos del USDA. (SSS, 1999, 2014) están definidas varias propiedades diagnósticas con base en el pH: los materiales espódicos del suelo, el horizonte ágrico y el horizonte sulfúrico, por ejemplo, presentan pH en agua 1:1 v:v menor a 5,9, entre 6,0 y 6,5 y menor a 3,5, respectivamente (Jaramillo 2021).

2.2.10.8.2. *Intercambio iónico*

El intercambio iónico es un conjunto de procesos reversibles mediante los cuales las partículas coloidales del suelo retienen los iones, cationes y aniones de la disolución del suelo debido a la carga que soportan, liberando al mismo tiempo otros iones en cantidades equivalentes a las adsorbidas, estableciéndose un equilibrio entre ambas fases. En otras palabras, el intercambio iónico es un proceso mediante el cual los iones son intercambiados entre las partículas del suelo y la solución del suelo

(Navarro et al., 2022).

2.2.11. Salidas

2.2.11.1. Respiración Edáfica

La respiración del suelo (R_s) es el flujo de CO_2 por la descomposición de la materia orgánica (respiración heterotrófica) y la respiración de las raíces y microorganismos (respiración autótrofa) (Lankreijer et al. 2003). La Respiración del suelo es el segundo mayor flujo de Carbono emitido hacia la atmósfera a nivel global. La respiración del suelo es variable, tanto espacial como temporalmente, lo que ocasiona que haya incertidumbre en las mediciones debido a la heterogeneidad de las propiedades del suelo (Cueva et al. 2016). La estructura del suelo, temperatura, humedad, microorganismos del suelo, distribución de raíces y contenido de la materia orgánica del suelo (MOS) influyen en la respiración del suelo (Barrales-Brito et al. 2022).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Área de estudio

El Páramo del Igualata se encuentra ubicado en la parte norte del cantón Guano de la provincia de Chimborazo, ubicado en la Zona 17 correspondiente al Ecuador continental con una superficie de alrededor de 2693 ha (Echeverría et al. 2018), y bajo las características climáticas de temperaturas de 6-8 °C y una precipitación promedio de 500 a 750 mm/m² (HARO 2012).

La Parroquia Quimiag se encuentra ubicada en el extremo Noreste del cantón Riobamba. Tiene la forma de un polígono irregular con una extensión de 139,6 km², de superficie que representa el 14.2 % del territorio Cantonal. (León Falconí, 2019). El relieve es irregular, ocupa el declive interno de la Cordillera Oriental de los Andes. La parroquia posee un clima ecuatorial de alta montaña, mesotérmico semi – húmedo, mesotérmico seco y nival, y un rango altitudinal entre 2400-5319 msnm, temperaturas que oscilan entre 15 a 22°C (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural Quimiag, 2015).

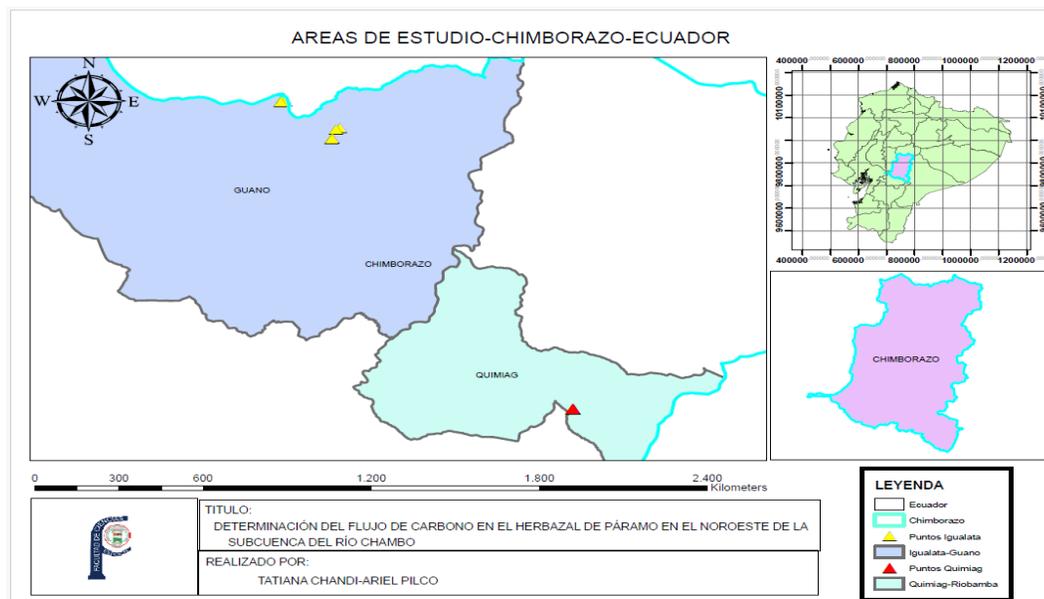


Ilustración 3-1. Ubicación del páramo de Igualata y Quimiag.

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

3.2. Tipo y diseño de la investigación

3.2.1. Tipo de Investigación

La investigación fue de carácter cuantitativo porque los datos son valores numéricos obtenidos mediante análisis.

3.2.2. Variables

Variable independiente

- Propiedades físico-químicas

Variable dependiente

- Flujo del carbono

3.3. Diseño Experimental

3.3.1. Diseño Experimental

El diseño experimental característico de la investigación fue el diseño cuasiexperimental debido a que se va a experimentar las variables dependientes (Flujo de carbono para observar su efecto sobre la variable independiente (propiedades físico-químicas del herbazal de páramo de Igualata y Quimiag).

3.4. Metodología

3.4.1. Selección de la muestra

Para seleccionar las muestras se tomó en cuenta suelos de zonas intervenidas del sector de Igualata y Quimiag, con un total de 10 conglomerados.

Tabla 3-1 Puntos de muestreo (Tabla coordenadas X y Y)

# CONGLOMERADO	CÓDIGO	PARCELA	RANGO ALTITUD (MSNM)	COORDENADAS		SECTOR	ZONA
				X	Y		
1	C1	P1	3500	763085,70 2498	9834557, 36881	IGUAL ATA- GUANO	MITIGACIÓN
		P2					
		P3					
2	C2	P1	3500	763174,60 2676	9834325, 59335	IGUAL ATA- GUANO	MITIGACIÓN
		P2					
		P3					
3	C3	P1	3500	762936,4 772	9834236,6 9317	IGUAL ATA- GUANO	MITIGACIÓN
		P2					
		P3					
4	C4	P1	3500	766294,3 10999	9832392,4 1136	IGUAL ATA- GUANO	MITIGACIÓN
		P2					
		P3					
5	C5	P1	3500	766073,6 48058	9832295,5 7366	IGUAL ATA- GUANO	MITIGACIÓN
		P2					
		P3					
6	C6	P1	3930- 3970	765870,4 47651	9831664,2 7657	IGUAL ATA- GUANO	MITIGACIÓN
		P2					
		P3					
7	C7	P1	3930- 3970	765840,2 85091	9831600,7 7644	IGUAL ATA- GUANO	MITIGACIÓN
		P2					
		P3					
8	C8	P1	3600- 3700	779659	9812501	QUIMI AG	INTERVENIDA
		P2					
		P3					
9	C9	P1	3600- 3700	779631	9812535	QUIMI AG	INTERVENIDA
		P2					
		P3					
10	C10	P1	3600- 3700	779568	9812506	QUIMI AG	INTERVENIDA
		P2					
		P3					

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

3.4.2. Materiales y equipos

a) Materiales

- Barreno
- Espátula
- Flexómetro
- Machete
- Azadón
- Fundas Ziploc
- Fundas de halar grandes
- Plástico adhesivo transparente
- Hoyadora
- Hoz
- Cuadro de madera (50 x 50 cm)
- Cilindros de acero inoxidable
- Sacos
- Probeta
- Vasos de precipitación
- Cisoles de 30 mL
- Desecador

b) Equipos

- GPS (Geoposicionador)
- Balanza analítica
- Potenciómetro
- Conductímetro
- Estufa
- Horno mufla

3.4.3. Métodos

1. Fase de campo

a) Biomasa aérea

Se realizarán muestras de la biomasa aérea con el objetivo de medir la cantidad de carbono almacenado en el herbazal de Páramo. Para asegurar la precisión de la medición, se utilizará un cuadro de madera de 50 x 50 cm. El proceso para recolectar las muestras es el siguiente:

- En un área representativa en el primer punto de la parcela, se colocará el cuadro de maderay se corta toda la biomasa (por ejemplo, paja) que se encuentra dentro del cuadro con unatiijera de podar u oz.
- Después de cortar la biomasa, se colocará en una bolsa y se pesará con una balanza portátil (en gramos).
- Luego, se procederá a moverse en diagonal hacia el noreste a una distancia de 20 metros desde el punto de la parcela inicial, y se repite el mismo proceso.
- Finalmente, se mezclarán las dos muestras de biomasa recolectadas en cada parcela y setomará una cantidad específica para colocarla en una bolsa Ziploc debidamente etiquetada y sellada al vacío.

b) Necromasa

El procedimiento para la toma de muestras de la necromasa del herbazal de Páramo es el siguiente:

- En un área de 50 x 50 cm, en el primer punto de la parcela, en un área significativa se colocó el cuadro de madera y se recolectó toda la necromasa que esté dentro del cuadro, con la herramienta óptima.
- Una vez recolectada la necromasa, se colocó en fundas debidamente etiquetadas.
- Finalmente se trasladaron al lugar de almacenamiento para su posterior análisis en el laboratorio del Grupo de Investigación y Desarrollo para el Cambio Climático (GIDAC) de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

c) Raíces

- Para obtener información sobre la cantidad de carbono almacenado en el herbazal de páramo, se

tomarán muestras de biomasa subterránea. El procedimiento para la toma de muestras de raíces es el siguiente:

- Utilizando una hoyadora, se removerá la vegetación existente en un área pequeña en el punto de la parcela, asegurándose de que no haya residuos externos sobre la superficie del suelo.
- Con un machete, se cortará una muestra de 10 x 10 cm de volumen de suelo a una profundidad de 30 cm, asegurándose de incluir las raíces que son representativas del sector según la vegetación existente.
- Se tomarán nueve muestras de raíces por cada conglomerado.
- Cada muestra de raíces se colocará en una funda etiquetada adecuadamente, se sellará y se trasladará al laboratorio para su respectivo análisis.

d) Suelo

La selección de la muestra se realizó mediante un muestreo aleatorio simple, ya que de esta manera todos los individuos que componen la población de estudio tienen la misma posibilidad de ser incluidos en la muestra (Otzen y Manterola, 2017, pp. 227-232).

- La extracción de la muestra aplicó la técnica de barrenación, el cual se basa en introducir y presionar el barreno hasta llegar a las profundidades requeridas de la toma de muestra de suelo 0-0.15 cm (respiración edáfica), 0-15 cm y 15-30 cm (carbono orgánico y propiedades físico- químicas) (Schweizer, 2011, p. 13).
- Se recolecta la muestra de los 18 puntos que representan 1 conglomerado, separados 20 m de distancia en forma creciente, considerando que la muestra de suelo recolectada debe ser homogénea (extremos y centro), luego la muestra se colocó en fundas ziploc debidamente etiquetada. (Schweizer, 2011, p. 13).

e) Densidad Aparente

Para extraer las muestras para densidad aparente se empleó el método del cilindro impulsado en el suelo. Para obtener las muestras se dispuso un barreno de 0-0.15 cm y de 0.15-0.30 cm en cada parcela con la ayuda de una hoyadora y un flexómetro se introdujo un cilindro en forma horizontal en el suelo excavando donde se toma aproximadamente 0,2 g de suelo, se sacó con la ayuda de una

excavadora y se selló herméticamente al cilindro para que no pierda humedad, se recolectó 6 muestras por cada conglomerado y cada muestra se etiquetó con su respectivo código.

f) Respiración edáfica

Para recolectar las muestras de cada conglomerado, se aplicará la siguiente técnica:

- Primero, se identificará el lugar de muestreo.
- Luego, con ayuda del barreno se limpiará la superficie donde se tomaría la muestra.
- Después, se introducirá el barreno hasta una profundidad de 0-15 cm y se extrajo la muestra de suelo, que se colocará en bolsas ziploc debidamente identificadas.

3.4.4. Técnicas

2. Fase de laboratorio

a) Biomasa aérea y necromasa

- Cuando las muestras llegaron al laboratorio, el siguiente paso es colocar 20 gramos de biomasa, necromasa en canastas de aluminio y pesar en una balanza analítica
- Todas las muestras se colocaron en la estufa a 105 °C por 24 horas.
- Al siguiente día todas las muestras que ingresaron a la estufa se las debe pesar para obtener la relación de peso seco sobre peso húmedo.
- Todos los datos obtenidos en campo y en el laboratorio fueron ingresados en una tabla de Excel para ser analizados.

b) Biomasa Subterránea (raíces)

- Una vez que las muestras de biomasa subterránea estén en el laboratorio, se procede a quitar el exceso de tierra y con ayuda de un tamiz de metal y abundante agua se lava por completo todas las raíces, hasta que queden relativamente limpias.
- El siguiente paso es dejarlas secar en el sol sobre papel de empaque o cualquier otro papel que sea resistente.
- Luego de aproximadamente una hora cuando las raíces estén secas, se procede a pesar sobre una

canasta de aluminio en una balanza analítica para obtener su peso húmedo.

- Todas estas muestras ingresan en una estufa a 105 °C por 24 horas, luego de este tiempo, se pesaron para obtener su peso seco.
- Todos los datos obtenidos en el laboratorio fueron tabulados para el desarrollo del estudio, además, las combinaciones de variables permitieron corroborar las hipótesis planteadas.

c) pH y Conductividad

Los análisis de pH y conductividad eléctrica se recomiendan realizar en menos tiempo posible de la recolección de la muestra en el campo.

pH

- En una balanza analítica modelo OHAUS, se pesó 20 gr de suelo de las muestras en un vaso de plástico.
- Se añadió 80 ml de agua destilada, agitar 10 minutos.
- Se dejó reposar por 5 minutos.
- Se midió con un pH-metro
- Se anotó los valores.

Conductividad

- Para la conductividad se utilizó la solución utilizado para pH, pero se les reposó durante 24 horas.
- Se midió con un conductímetro
- Se registró los valores conductividad en unidad de $\mu\text{S}/\text{cm}$.

d) Determinación de Densidad Aparente y Humedad

La densidad aparente se analizó apenas que llegue de campo, la cual se realiza por medio de un cilindro de volumen conocido:

- En la balanza analítica modelo OHAUS se pesó en la tarrina de aluminio.

- Se elimina la funda plástica sellada anteriormente en el campo.
- La muestra de suelo de los cilindros se procederá a poner en la tarrina de aluminio con la ayuda de una espátula.
- Se pesará en la balanza analítica la canasta de aluminio con la muestra de suelo de los cilindros, y se le conoce el peso en húmedo.
- Se coloca en la estufa a 105°C durante 24 horas.
- Luego de la hora establecida se retirará de la estufa para pesar la cual es el peso en seco.

Para la densidad aparente se utilizó la siguiente ecuación: (Gómez, 2013, p. 40).

$$DA = \frac{Ps - Pc}{V}$$

DA=Densidad Aparente

PS= Peso seco

PC=peso tarrina

V= Volumen conocido del cilindro calibrado

Para la humedad se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{PH - (Ps - Pc)}{PH} * 100$$

%H=contenido de humedad.

PH=Peso húmedo.

PS=peso seco. PC=peso tarrina.

e) Secado y tamizado

Las muestras se etiquetarán y colocarán sobre papel de empaque, y se mantendrán a temperatura ambiente durante 3-4 días hasta que se sequen por completo, evitando la exposición directa a la luz solar.

f) Determinación de Materia orgánica y Carbono orgánico

- La muestra de suelo se procede a secar en un papel periódico a temperatura ambiente hasta observar que la muestra este bien seca.
- Se procede a tamizar la muestra secada con un tamiz de 2 milímetros (mm) (análisis de pH) ,425 micrómetro (µm) se utiliza para determinar materia orgánica.
- Se taro los crisoles para eliminar las impurezas en una mufla a 800 ° C durante 2 horas.
- Luego de la hora prevista se le enfría en un desecador.
- Se etiquetará los crisoles con los códigos respectivos la cual se pesó en una balanza analítica(P1).
- Utilizando la técnica del cuarteo se pesa 5 gramos de suelo de muestra en una balanza analítica (P2).
- Se coloca en la estufa por 24 horas a una temperatura de 105°C, luego de la hora prevista se enfrían las muestras en un desecador y luego se pesó (P3).
- Por último, se coloca las muestras en la mufla por 2 horas a una temperatura de 360°C, se enfrían las muestras en un desecador y se pesó (P4).

Para determinar el porcentaje de materia orgánica se utilizó de la siguiente ecuación:

$$\%MO = \frac{(P3 - P4)}{(P3 * P4)} * 100$$

%MO= Porcentaje de materia orgánica 32

P3= Peso en estufa a una temperatura de 105°C por 24 horas
P4= Peso en mufla a una temperatura de 360°C por 2 horas

El carbono orgánico es estimado a partir de la materia orgánica a través del factor de Van Bemmelen (Tabatabai,1996 citado en Eyherabide et al., 2014, pp. 13-19). Como se muestra en la siguiente ecuación:

%CO=R%MO/1,724

%CO = Porcentaje de carbono orgánico

R%MO = Resultado Porcentaje de materia orgánica 1,724 = Constante

g) Color

El análisis de color se realizó previamente las muestras secas, siguiendo la metodología del Sistema Munsell (Departamento de Agricultura, 1994).

- Se procedió a comparar los matices de cada muestra con las tablas de Munsell Soil Color Book.
- Se tomó una cantidad considerable de muestra de suelo (lo que cabe en el puño de la mano) y se colocó en una hoja blanca para evitar confusiones en la observación del color.
- Se colocó la tabla de Munsell sobre la muestra y se comparó con cada uno de los colores hasta encontrar la tonalidad del suelo.
- Los datos se registraron de la siguiente manera: Matiz (tinte), Claridad y pureza (1,2 o 3).

h) Textura

Para identificar la textura del suelo mediante el tacto se debe realizar algunos pasos:

- Tomar una pequeña porción de suelo en la palma de la mano y adicionar gotas de agua hasta que adquiera una consistencia moldeable, si la masa está demasiado húmeda, colocar suelo seco.
- Luego con ayuda de la mano, comenzar con la manipulación e identificar el tipo de suelo que predomina, si no se forma la cinta se obtendrá un suelo Areno Francosa, cinta pequeña de menos de 2,5 cm, con sensación de suelo muy arenoso es un suelo Franco Arenoso, si no se siente el suelo muy suave se obtendrá un suelo Franco Limoso y con sensación de ni muy grueso ni muy suave será un suelo Franco.
- Finalizando con el proceso de identificación de textura de suelo se registran los datos.

i) Respiración Edáfica

El análisis realizo apenas llegaron las muestras al laboratorio siguiendo la metodología

- Primero se pesan 300 g del suelo previamente homogenizados en campo
- Luego se mide 30 ml de NaOH 1Molar con la probeta y se vierte en el vaso de precipitado de 30 ml.
- Se coloca el suelo en el equipo OXITOP-C luego se coloca los 30 ml de NaOH, se cierra debidamente el cabezal, se genera la calibración para 5 días respectivos y se deja en un lugar evitando la luz solar.
- El equipo midió la pérdida de presión dentro de los frascos mediante un sensor localizado en el cabezal del equipo; esta pérdida se debe al consumo de oxígeno requerido para la descomposición

de la materia orgánica. La descarga de los datos se hizo con un control electrónico externo diseñado para tal efecto. El diseño experimental fue totalmente al azar. Con los datos de las mediciones de pérdida de presión en el OxiTop se realizó un análisis de variancia (ANOVA) y las medias de los tratamientos se compararon con la prueba de Tukey (Grigatti et al. 2007).

El consumo de oxígeno (mg L⁻¹) se calculó con la Ecuación 1 derivada de la ley general de los gases, considerando la temperatura, la constante universal de los gases, el peso molecular del oxígeno, la cantidad de muestra, el volumen libre de muestra y la pérdida de presión registrada:

$$Rs = \frac{PM(O_2)}{R * T} * \frac{Vfr}{mS} * |\Delta P|$$

Donde Rs es la respiración del suelo (mg L⁻¹), PM(O₂) es el peso molecular del oxígeno (31 998 mg*mol), R es la constante universal de los gases (83,14 L hPa /K mol), T es la temperatura de incubación en grados Kelvin, Vfr es el volumen libre de muestra (L), mBt es la masa de mantillo(kg), |ΔP| es el cambio de presión en hPa registrado por el sensor localizado en el cabezal de los frascos.

La variable Vfr se determina midiendo el volumen de aire dentro del frasco de incubación, para lo cual se usó la Ecuación 2. El volumen total del sistema (VT) fue el volumen del frasco (500 mL) menos el volumen ocupado por la muestra (Vm) y el dispositivo (Vd) que contiene el absorbente (Sodalime):

$$Vfr = VT - (Vd + Vm)$$

donde VT es el volumen total del sistema, Vd es el volumen ocupado por absorbente y dispositivos del absorbente, y Vm es el volumen ocupado por la muestra obtenido con la masa del mantillo de la muestra y su valor de la densidad. La variable Vm es necesaria para determinar la Vf.

El CO₂ se calculó indirectamente a partir del oxígeno consumido por la descomposición de la muestra mediante una operación basada en la estequiometría de la ecuación en la que participan el oxígeno, carbono y el bióxido de carbono, los cuales componen la fórmula química de la descomposición (Ecuación 3) y para este cálculo se usaron los pesos equivalentes del O₂ (8 eq) respiración. La formación de una molécula de CO₂ requiere una molécula de C y una molécula de O₂. A partir del oxígeno consumido se calculó la cantidad de CO₂ emitido por la y del CO₂ (22 eq g). El cálculo de la cantidad de CO₂ se realizó con base en la cantidad de muestra en cada tratamiento y se extrapola a unidades de mg kg⁻¹ de muestra:

$$CO_2 = \left[\frac{O_2}{PEO (eq\ gr)} \right] * 1PE(CO_2)(eq\ gr)$$

donde (O₂) es la cantidad de oxígeno consumido en la incubación (mg kg⁻¹), PE O₂ es el peso equivalente del oxígeno, PE CO₂ es el peso equivalente del bióxido de carbono. (Barrales-Brito et al. 2022)

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Determinación de los flujos de entrada y salida del páramo de Igualata

Para establecer la variabilidad de las propiedades físico-químicas de 0-15 cm y 15-30 cm se analizaron las siguientes variables: materia orgánica, carbono orgánico, conductividad eléctrica, textura, pH y densidad aparente.

Biomasa Aérea

Tabla 4-1. Resultado de las propiedades de las Biomasa del páramo de Igualata a una profundidad de 50 cm².

#CONGLOMERADO	CÓDIGO	MO %	CO %
1	C1	71,8	35,9
2	C2	78,5	39,2
3	C3	75,7	37,8
4	C4	79,9	39,9
5	C5	57,5	28,7
6	C6	66,6	33,3
7	C7	64,1	32,1

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Materia Orgánica

Materia orgánica en un área de 50 cm² obtuvo un resultado promedio de 70,5 % con una desviación estándar de 8,2; un valor máximo de 79,8 % determinado en el conglomerado 4, y el valor mínimo de 57,4 % ubicada en el conglomerado 5.

Carbono Orgánico

Carbono orgánico en un área de 50 cm² obtuvo un resultado promedio de 35,2 % con una desviación

estándar 4,11; un valor máximo de 39,94 % determinado en el conglomerado 4, y el valor mínimo de 28,73 % ubicada en el conglomerado 5.

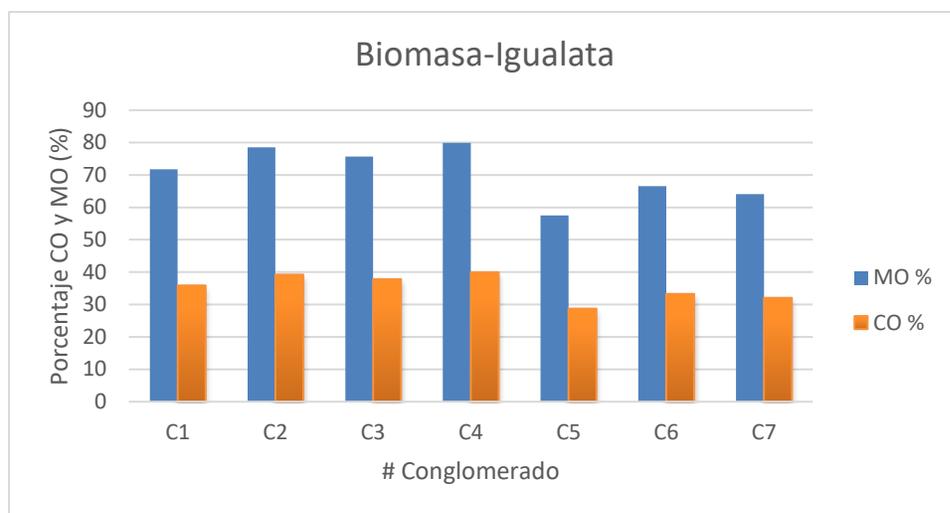


Ilustración 4-1. Biomasa del suelo en mitigación del páramo de Igualata en un área de 50 cm².

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Materia Orgánica

Materia orgánica a la profundidad de 30 cm se obtuvo un resultado promedio de 47,8 % con una desviación estándar de 11,6; un valor máximo de 61,4 % determinado en el conglomerado 3, y el valor mínimo de 33,4 % ubicada en el conglomerado 7.

Carbono Orgánico

Carbono orgánico a la profundidad de 30 cm se obtuvo un resultado promedio de 23,9 % con una desviación estándar 5,8; un valor máximo de 30,7 % determinado en el conglomerado 3, y el valor mínimo de 16,7 % ubicada en el conglomerado 7.

Necromasa

Tabla 4-2. Resultado de las propiedades de las necromasa del páramo de Igualata.

#CONGLOMERADO	CÓDIGO	MO %	CO %
1	C1	68,8	34,4
2	C2	75,1	37,6
3	C3	63,6	31,8
4	C4	63,3	31,6
5	C5	62,4	31,2
6	C6	60,3	30,1
7	C7	60,5	32,9

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Materia Orgánica

Materia orgánica en un área de 50 cm² obtuvo un resultado promedio de 64,9 % con una desviación estándar de 5,3; un valor máximo de 75,3 % determinado en el conglomerado 2, y el valor mínimo de 60,3 % ubicada en el conglomerado 6.

Carbono Orgánico

Carbono orgánico en un área de 50 cm² obtuvo un resultado promedio de 32,8 % con una desviación estándar 2,5; un valor máximo de 37,8 % determinado en el conglomerado 2, y el valor mínimo de 30,1 % ubicada en el conglomerado 6.

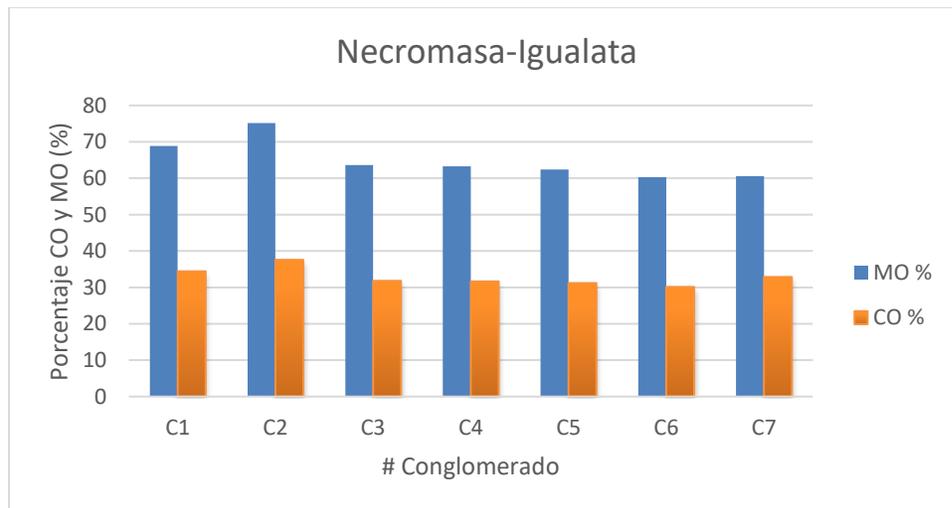


Ilustración 4-2. Necromasa del suelo en mitigación del páramo de Igualata en un área de 50 cm².

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Raíces

Tabla 4-3. Resultado de las propiedades de las Raíces del páramo de Igualata

#CONGLOMERADO	CÓDIGO	MO %	CO %
1	C1	59,6	29,8
2	C2	56,9	28,5
3	C3	61,4	30,7
4	C4	34,7	17,3
5	C5	44,4	22,2
6	C6	44,6	22,3
7	C7	33,4	16,7

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Materia Orgánica

Materia orgánica a la profundidad de 30 cm se obtuvo un resultado promedio de 47,9 % con una desviación estándar de 11,6; un valor máximo de 61,4 % determinado en el conglomerado 3, y el valor mínimo de 33,4 % ubicada en el conglomerado 7.

Carbono Orgánico

Carbono orgánico a la profundidad de 30 cm se obtuvo un resultado promedio de 23,9 % con una desviación estándar 5,8; un valor máximo de 30,7 % determinado en el conglomerado 3, y el valor mínimo de 16,7 % ubicada en el conglomerado 7.

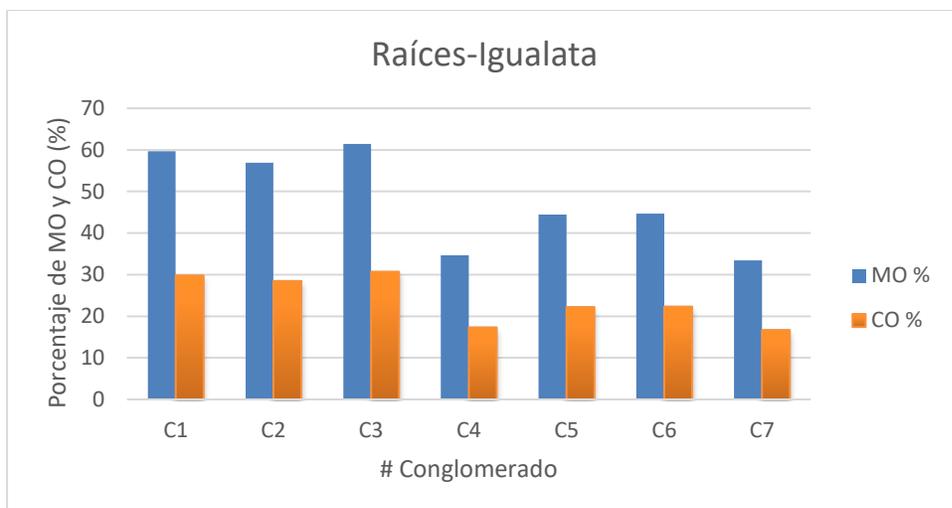


Ilustración 4-3. Raíces del suelo en mitigación del páramo de Igualata en una profundidad de 30 cm.

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Suelo

Tabla 4-4. Resultado de las propiedades físico-químicas de los suelos del páramo de Igualata a una profundidad de 0-15 cm.

#CONGLOMERADO	CODIGO	TEXTURA	PH-0-15	CE 0-15	DA 0-15	MO (%) 0-15	CO (Mg/Ha) 0-15
1	C1	Franco	6,1	33,7	0,7	4,1	27,0
2	C2	Franco	6,7	44,1	0,9	5,6	44,5
3	C3	Franco	5,9	33,5	0,8	4,7	31,2
4	C4	Franco	7,0	30,5	0,8	5,5	40,5
5	C5	Franco	6,0	44,1	0,9	4,5	35,2
6	C6	Franco	6,1	43,9	0,8	5,5	36,1
7	C7	Franco-Arcilloso	5,7	25,3	1,0	4,9	42,8

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Tabla 4-5. Resultado de las propiedades físico-químicas de los suelos del páramo de Igualata a una profundidad de 15-30 cm.

#CONGLOMERADO	CODIGO	TEXTURA	PH-15-30	CE 15-30	DA 15-30	MO (%) 15-30	CO (Mg/Ha) 15-30
1	C1	Franco	6,3	43,5	1,0	4,3	36,2
2	C2	Franco	6,5	30,7	0,9	4,1	30,1
3	C3	Franco	5,8	30,8	1,0	4,7	38,7

4	C4	Franco	6,8	38,6	1,0	5,8	48,1
5	C5	Franco	6,1	30,0	0,8	4,4	30,2
6	C6	Franco	6,2	33,8	1,0	5,4	45,7
7	C7	Franco-Arcilloso	5,8	19,6	1,0	4,8	41,6

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

pH

En relación al pH, en la profundidad 0-15 cm obtuvo un promedio de 6,2; siendo el límite superior de 6,95 ubicada en el conglomerado 4 y el límite inferior de 5,7 ubicada en el conglomerado 7. El pH de la profundidad 15-30 cm mostró un promedio de 6,2; su límite superior de 6,8 ubicada en el conglomerado 4 y el límite inferior de 5,8 ubicada en el conglomerado 7.

Los resultados sugieren que el suelo en Igualata tiende a ser ligeramente ácido a casi neutro, pero hay variabilidad entre conglomerados. Este intervalo de valores es importante porque el pH del suelo es adecuado para la mayoría de los cultivos y existe una máxima disponibilidad de nutrientes para las plantas y puede influir en la composición de la comunidad vegetal (Vázquez & Millán, 2017).

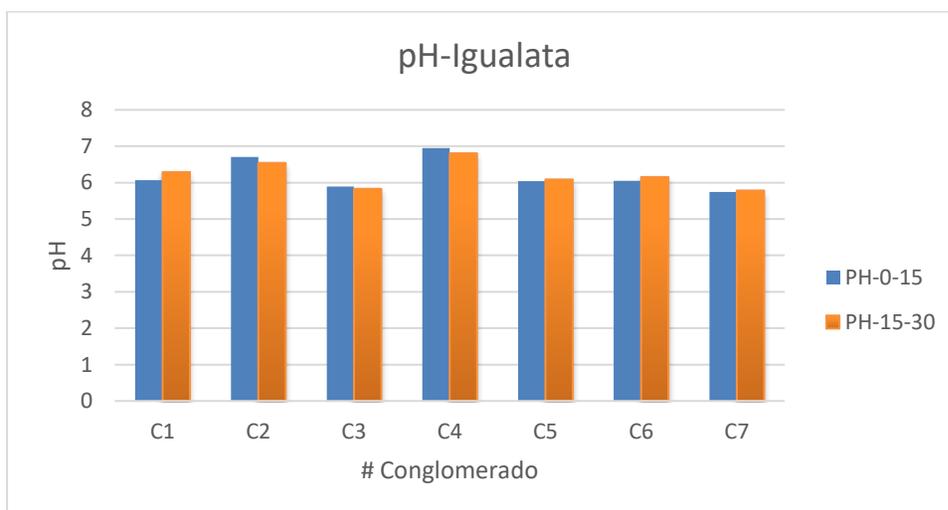


Ilustración 4-4. pH de suelo en mitigación del páramo de Igualata a una profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm.

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Conductividad Eléctrica

Para la profundidad de 0-15 cm, la conductividad eléctrica dio un resultado promedio de 36,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con una desviación estándar de 7,6, resultando un límite superior de 44,14 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que se encuentra en el conglomerado 2, y el límite inferior de 25,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ localizado en el conglomerado 7.

La conductividad eléctrica a la profundidad de 15-30 cm obtuvo un resultado promedio de 32,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con una desviación estándar de 7,5 un límite superior de 43,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que se encuentra en el conglomerado 1 y un límite inferior de 19,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ localizado en el conglomerado 7.

Según la media a las dos profundidades tenemos una conductividad que ronda entre 32,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 36,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, esto nos indica que el suelo es no salino y una baja conductividad. Un bajo nivel de CE simplifica la gestión de la fertilización y previene posibles problemas de fitotoxicidad en el cultivo (Victoria Cremona y Soledad Enriquez 2020).

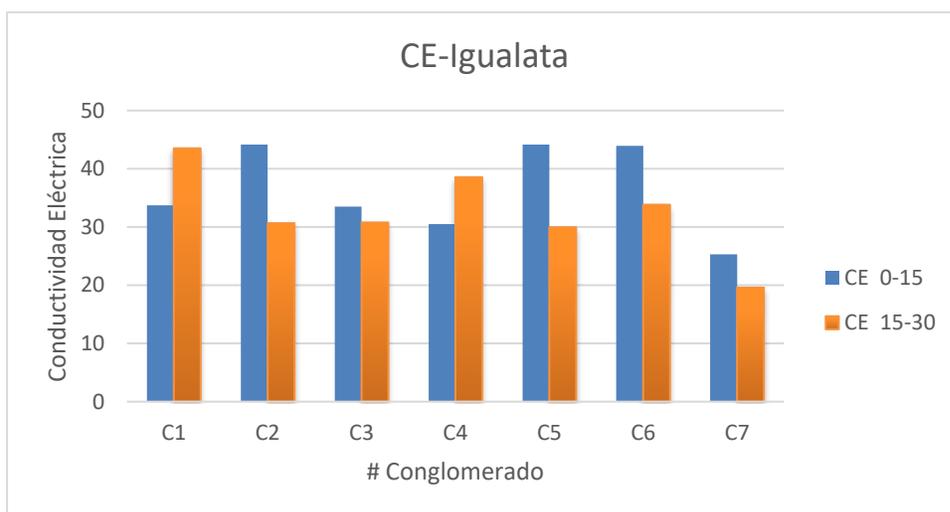


Ilustración 4-5. Conductividad eléctrica de suelo en mitigación del páramo de Igualata a una profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm.

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Densidad aparente

La densidad aparente del suelo se define como la masa de una unidad de volumen de suelo seco (105°C). Este volumen incluye tanto sólidos como los poros, por lo que la densidad aparente refleja la porosidad total del suelo. Valores de densidad aparente bajos (generalmente por debajo de 1,3 kg dm^{-3}) indican generalmente una condición porosa del suelo. La densidad aparente es un parámetro importante para la descripción de la calidad del suelo y la función del ecosistema (Vargas Rojas, 2009).

En la profundidad de 0-15 cm obtuvo un promedio de 0,8 g/cm^3 con una desviación estándar de 0,10; siendo el límite superior de 1,0 g/cm^3 correspondiente al conglomerado 7 y el límite inferior de 0,7 g/cm^3 ubicadas en el conglomerado 1.

La densidad aparente de la profundidad 15-30 cm mostró un promedio de 0,9 g/cm^3 con una

desviación estándar de 0,08; su límite superior de 1,0 g/cm³ pertenecientes a 8 muestras y el límite inferior de 0,8g/cm³ correspondientes a 6 muestras.

Basándonos en estos resultados, se interpreta que cuando la densidad aparente en Igualata se sitúa por debajo de 0,9 g/cm³, como se evidencia en el conglomerado 1, esto señala la presencia de suelos caracterizados por su naturaleza arenosa, limosa y franca, con un bajo contenido de arcilla. Estos suelos exhiben una cantidad significativa de poros, materiales húmedos que se desprenden con facilidad al utilizar la barrena, y presentan poros vesiculares, indicando propiedades ándicas en su composición mineral. No obstante, para valores comprendidos entre 0,9 y 1,2 g/cm³ como es el caso del conglomerado 7, nos indica que la muestra se desintegra al momento del muestreo, mostrando la presencia de numerosos poros visibles en la pared del perfil (Vargas Rojas, 2009).

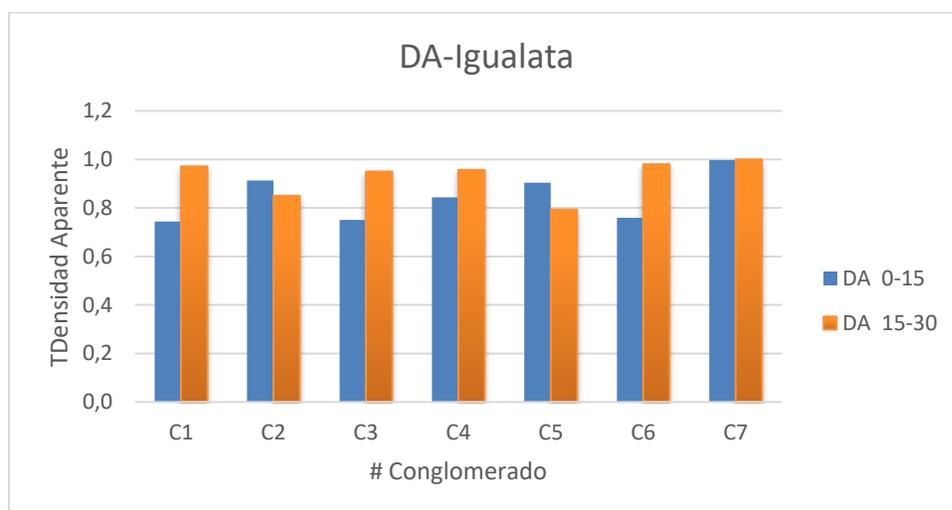


Ilustración 4-6. Densidad aparente de suelo en mitigación del páramo de Igualata a una profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm.

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Materia orgánica

Para materia orgánica a la profundidad de 0-15 cm se obtuvo un resultado promedio de 4,9 % con una desviación estándar de 0,6; un valor máximo de 5,6 % determinado en el conglomerado 2, y el valor mínimo de 4,15 % ubicada en el conglomerado 1.

En la profundidad 15-30 cm el valor promedio fue de 4,8 %, con una desviación estándar de 0,6; un valor máximo de 5,8 % determinado en el conglomerado 4, y el valor mínimo de 4,1 % ubicada en el conglomerado 2.

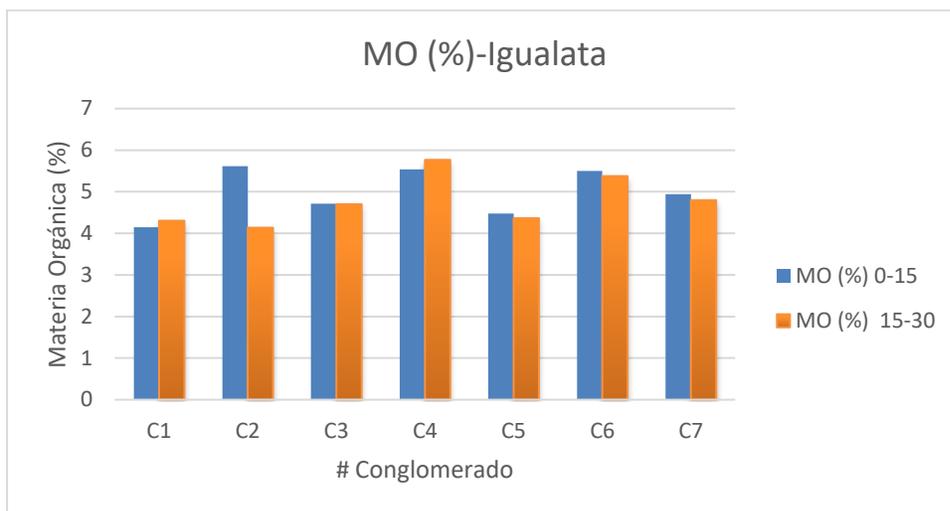


Ilustración 4-7. Materia orgánica de suelo en mitigación del páramo de Igualata a una profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm.

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Carbono Orgánico

Carbono orgánico de la profundidad 0-15 cm obtuvo un resultado promedio de 36,8 Mg/Ha con una desviación estándar de 6,3; un valor máximo de 44,5 Mg/Ha determinado en el conglomerado 2, y el valor mínimo de 27,0 Mg/Ha ubicada en el conglomerado 1. En la profundidad 15-30 cm el valor promedio fue de 38,7 Mg/Ha, con una desviación estándar de 7,4; un valor máximo de 48,1 Mg/Ha determinado en el conglomerado 4, y el valor mínimo de 30,1 Mg/Ha ubicada en el conglomerado 2.

Los resultados mostraron niveles más bajos de carbono, posiblemente como consecuencia de la actividad descrita en estudios anteriores. Esta actividad, caracterizada por el pastoreo de ganado, podría tener impactos significativos en la estructura y funcionamiento de los páramos. La compactación del suelo y la pérdida de propiedades físicas, químicas y biológicas, responsables de retener agua y carbono, son citadas como efectos derivados de dicha actividad (Cuervo Barahona 2019).

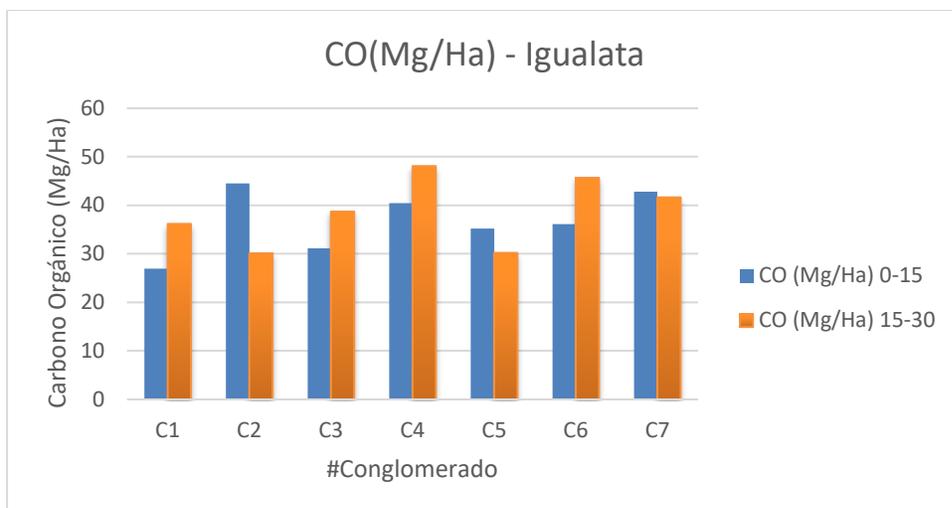


Ilustración 4-8. Carbono orgánico de suelo en mitigación del páramo de Igualata a una profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm.

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Textura

En la textura del suelo, tanto a la profundidad de 0-15 cm y 15-30 cm, se determinó dos clases texturales, que corresponden a suelo franco arcilloso y franco; encontrándose el más representativo el suelo franco principalmente en los conglomerados 1,2 y 3. Generalmente, los suelos de páramo presentan suelos francos con una composición equilibrada de arcilla (7 a 27 %), limo (28 a 50 %) y arena (< 52 %). Mientras que los suelos franco arcillosos contienen arcilla entre un 27 a 40 % y arena de 20 a 45 % (Gisbert Blanquer, Manuel y Ramón 2010). Sus horizontes no muestran una diferenciación significativa y presentan tonalidades oscuras debido a la presencia de materia orgánica. Además, tienen una alta permeabilidad, lo que beneficia el crecimiento de las raíces y facilita el flujo de agua (Llambí et al. 2012).

Respiración Edáfica

Tabla 4-6. Resultados de respiración edáfica en el páramo de Igualata

#CONGLOMERADO	CODIGO	RESPIRACION (CO2)	DIA
1	C1P1 0-15 cm	163,7	5
1	C1P2 0-15 cm	151,4	5
1	C1P3 0-15 cm	24,6	2
2	C2P1 0-15 cm	71,6	3
2	C2P2 0-15 cm	83,9	5
2	C2P3 0-15 cm	81,8	5
3	C3P1 0-15 cm	192,3	5
3	C3P2 0-15 cm	57,3	5
3	C3P3 0-15 cm	153,4	5
4	C4P1 0-15 cm	204,6	5
4	C4P2 0-15 cm	188,2	5
4	C4P3 0-15 cm	171,9	5
5	C5P1 0-15 cm	69,6	5
5	C5P2 0-15 cm	88,0	5
5	C5P3 0-15 cm	112,5	5

6	C6P1 0-15 cm	108,4	5
6	C6P2 0-15 cm	102,3	5
6	C6P3 0-15 cm	120,7	5
7	C7P1 0-15 cm	98,2	5
7	C7P2 0-15 cm	73,7	5
7	C7P3 0-15 cm	118,7	5

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Según la tabla 7-4., se aprecia que el valor superior para respiración edáfica corresponde al valor 208,68 mgCO₂/kg*d ubicada en C3P1 a una profundidad de 15-30cm, para el valor inferior es 24,55 mgCO₂/kg*d que se encuentra en C1P3 a profundidad de 0-15cm. El valor promedio que se obtuvo es de: 105,57 mgCO₂/kg por día.

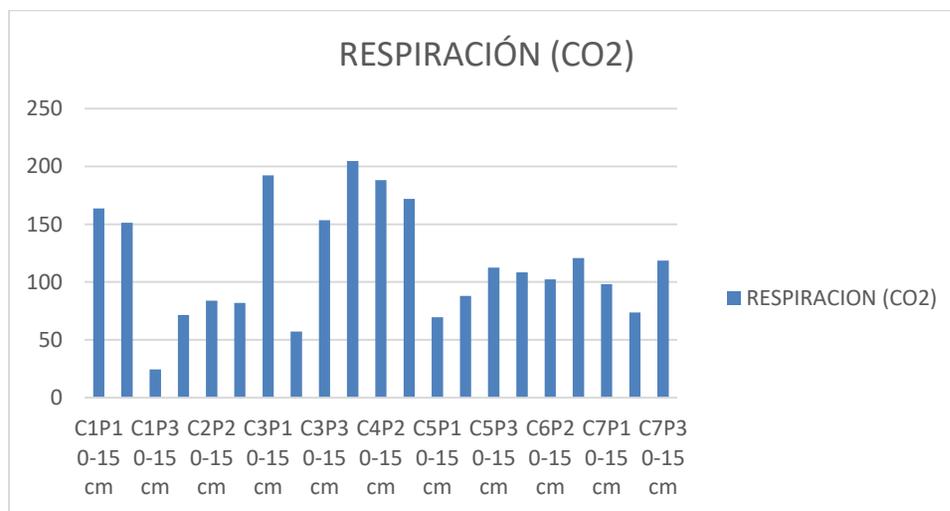


Ilustración 4-9. Respiración del suelo en mitigación del páramo de Igualata en un área de 50 cm².

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

4.2. Determinación de los flujos de entrada y salida del páramo de Quimiag

Para establecer la variabilidad de las propiedades físico-químicas de 0-15 cm y 15-30 cm se analizaron las siguientes variables: materia orgánica, carbono orgánico, conductividad eléctrica, textura, pH, y densidad aparente.

Biomasa aérea

Tabla 4-7. Resultado de las propiedades de las Biomasa del páramo de Quimiag.

#CONGLOMERADO	CÓDIGO	MO %	CO %
8	C8	54,12	27,06
9	C9	51,04	25,52
10	C10	59,62	29,81

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Materia Orgánica

Materia orgánica en un área de 50 cm² obtuvo un resultado promedio de 54,93 % con una desviación estándar de 4,34; un valor máximo de 59,62 % determinado en el conglomerado 10, y el valor mínimo de 51,04 % ubicada en el conglomerado 9.

Carbono Orgánico

Carbono orgánico en un área de 50 cm² obtuvo un resultado promedio de 27,46 % con una desviación estándar 2,17; un valor máximo de 29,81 % determinado en el conglomerado 10, y el valor mínimo de 25,52 % ubicada en el conglomerado 9.

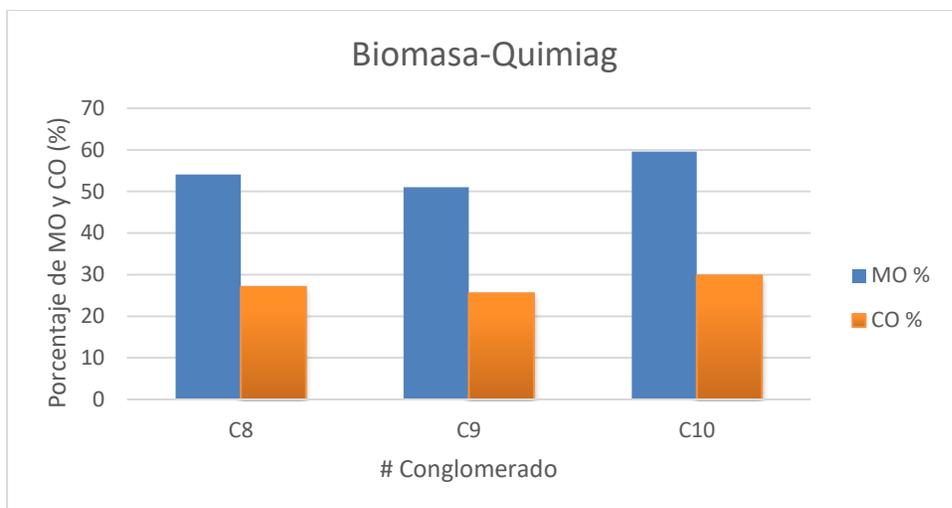


Ilustración 4-10. Biomasa del suelo intervenido del páramo de Quimiag en un área de 50 cm².

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Necromasa

Tabla 4-8. Resultado de las propiedades de las necromasa del páramo de Quimiag.

#CONGLOMERADO	CÓDIGO	MO %	CO %
8	C8	71,2	35,6
9	C9	82,7	41,4
10	C10	96,1	48,0

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Materia Orgánica

Materia orgánica en un área de 50 cm² obtuvo un resultado promedio de 83,32 % con una desviación estándar de 12,47; un valor máximo de 96,09 % determinado en el conglomerado 10, y el valor mínimo de 71,15 % ubicada en el conglomerado 8.

Carbono Orgánico

Carbono orgánico en un área de 50 cm² obtuvo un resultado promedio de 41,66 % con una desviación estándar 6,24; un valor máximo de 48,04 % determinado en el conglomerado 10, y el valor mínimo de 35,58 % ubicada en el conglomerado 8.

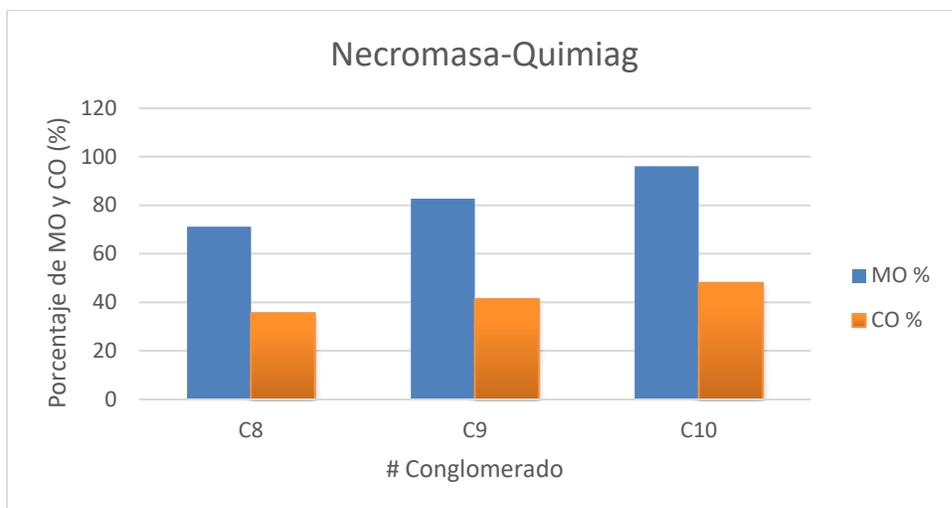


Ilustración 4-11. Necromasa del suelo intervenido del páramo de Quimiag en un área de 50 cm².

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Raíces

Tabla 4-9. Resultado de las propiedades de las raíces del páramo de Quimiag a una profundidad de 30 cm.

#CONGLOMERADO	CÓDIGO	MO %	CO %
8	C8	16,3	8,14
9	C9	19,1	9,57
10	C10	17,7	8,87

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Materia Orgánica

Materia orgánica a la profundidad de 30 cm se obtuvo un resultado promedio de 17,72 % con una desviación estándar de 1,42; un valor máximo de 19,14 % determinado en el conglomerado 9, y el valor mínimo de 16,28 % ubicada en el conglomerado 8.

Carbono Orgánico

Carbono orgánico a la profundidad de 30 cm se obtuvo un resultado promedio de 8,86 % con una desviación estándar 0,71; un valor máximo de 9,57 % determinado en el conglomerado 9, y el valor mínimo de 8,14 % ubicada en el conglomerado 8.

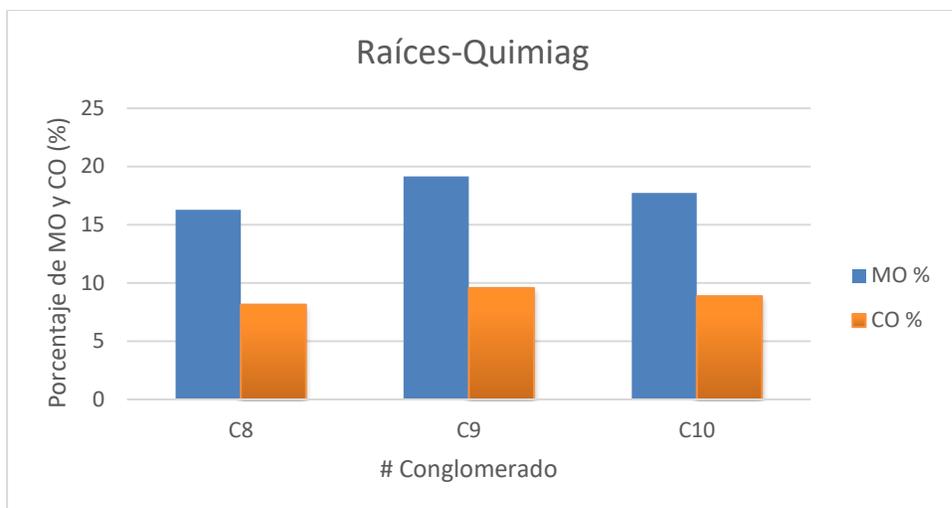


Ilustración 4-12. Raíces del suelo intervenido del páramo de Quimiag en una profundidad de 30 cm.

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Suelo

Tabla 4-10. Resultado de las propiedades físico-químicas de los suelos del páramo de Quimiag a una profundidad de 0-15 cm.

#CONGLOMERADO	CODIGO	TEXTURA	PH-0-15	CE 0-15	DA 0-15	MO (%) 0-15	CO (Mg/Ha) 0-15
8	C8	Franco	6,9	30,9	0,7	14,0	79,6
9	C9	Franco	5,8	28,0	0,6	15,8	82,2
10	C10	Franco	5,7	26,8	0,6	14,8	77,3

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Tabla 4-11. Resultado de las propiedades físico-químicas de los suelos del páramo de Quimiag a una profundidad de 15-30 cm.

#CONGLOMERADO	CODIGO	TEXTURA	PH 15-30	CE 15-30	DA 15-30	MO (%) 15-30	CO (Mg/Ha) 15-30
8	C8	Franco	6,8	26,5	0,6	12,8	70,6
9	C9	Franco	5,9	23,6	0,6	13,9	74,8
10	C10	Franco	5,7	23,4	0,6	13,8	66,3

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

pH

En relación al pH, en la profundidad 0-0.15 cm obtuvo un promedio de 6,12; siendo el límite superior de 6,87 ubicada en el conglomerado 8 y el límite inferior de 5,67 ubicada en conglomerado 10. El pH de la profundidad 0.15-0.30 cm mostró un promedio de 6,15; su límite superior de 6,85 ubicada el conglomerado 8 y el límite inferior de 5,73 ubicada en el conglomerado 10.

Los resultados sugieren que, en general, el suelo en Quimiag es ligeramente ácido, pero hay variabilidad entre los conglomerados. Algunas áreas pueden ser casi neutras, mientras que otras pueden ser más ácidas, especialmente en el conglomerado 10. Estos resultados son valiosos para comprender la variabilidad del pH del suelo en la zona estudiada, lo cual puede tener un intervalo adecuado para la mayoría de los cultivos y máxima disponibilidad de nutrientes (Vázquez & Millán, 2017).

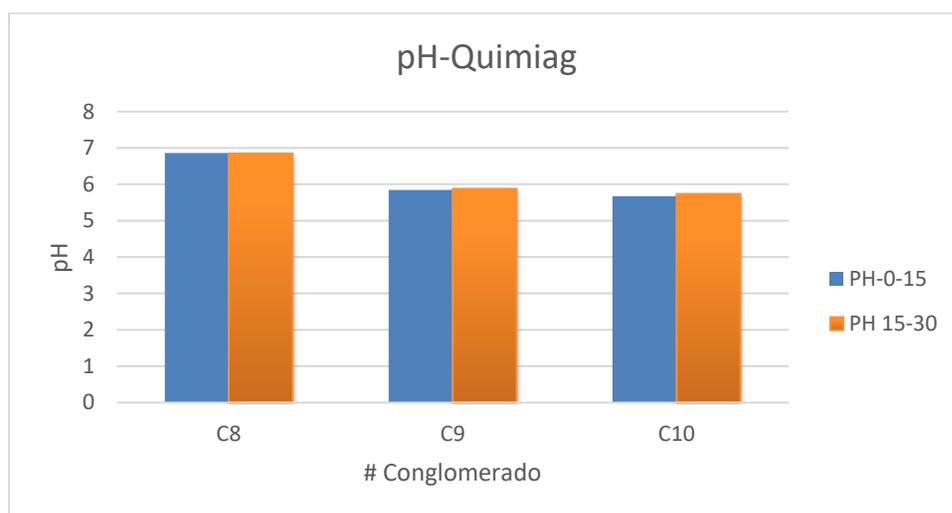


Ilustración 4-13. pH de suelo intervenido del páramo de Quimiag a una profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm.

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Conductividad Eléctrica

Para la profundidad de 0-15 cm, la conductividad eléctrica dio un resultado promedio de 26,54 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con una desviación estándar de 2,19, resultando un límite superior de 30,89 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que se encuentra en el conglomerado 8, y el límite inferior de 26,76 $\mu\text{S}/\text{cm}$ localizado en el conglomerado 10.

La conductividad eléctrica a la profundidad de 15-30 cm obtuvo un resultado promedio de 24,51

$\mu\text{S}/\text{cm}$ con una desviación estándar de 1,74 un límite superior de 26,51 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que se encuentra en el conglomerado 8 y un límite inferior de 23,36 $\mu\text{S}/\text{cm}$ localizado en el conglomerado 10.

Con estos resultados podemos denotar que el suelo es no salino por su baja conductividad, esto según Victoria Cremona & Soledad Enriquez, (2020), nos indican que ayuda con el manejo de fertilización y previene posibles complicaciones de fitotoxicidad en el suelo.

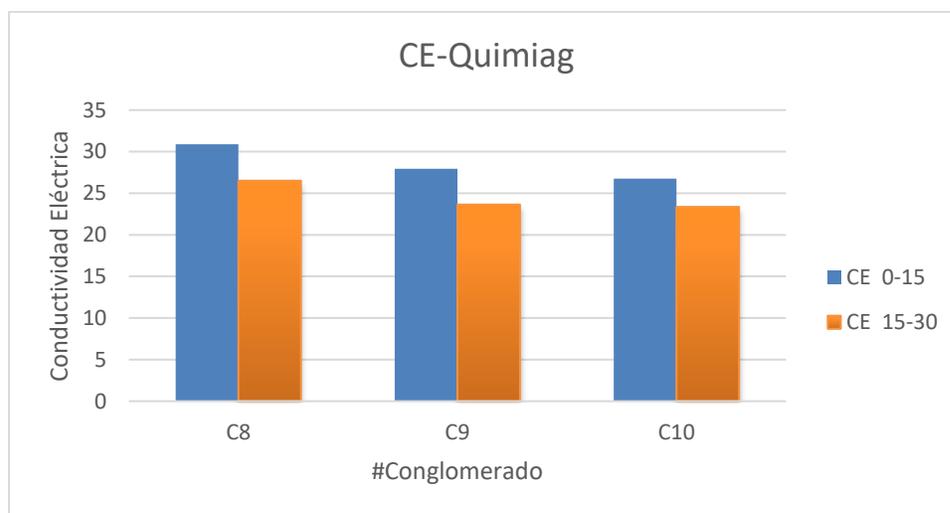


Ilustración 4-14. Conductividad eléctrica de suelo intervenido del páramo de Quimiag a una profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm.

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Densidad aparente

La densidad aparente de la profundidad 0-15 cm mostró un promedio de 0,62 g/cm^3 con una desviación estándar de 0,030; siendo el límite superior de 0,65 g/cm^3 correspondiente a 3 muestras del conglomerado 8, y el límite inferior de 0,60 g/cm^3 ubicadas en el conglomerado 10.

Mientras que para la profundidad 15-30 cm se obtuvo un promedio de 0,60 g/cm^3 con una desviación estándar de 0,042; su límite superior de 0,63 g/cm^3 pertenecientes al conglomerado 8 y el límite inferior de 0,55 g/cm^3 correspondientes a al conglomerado 10.

A partir de estos resultados, se puede deducir que cuando la densidad aparente en Quimiag es inferior a 0,9 como se aprecia en todos los conglomerados, sugiere la presencia de suelos con características arenosas, limosas y francas, con un contenido reducido de arcilla. Además, estos suelos exhiben una abundancia de poros, materiales húmedos que se desprenden fácilmente de la barrena, presentan poros vesiculares y muestran propiedades ándicas en su composición mineral (Vargas Rojas, 2009).

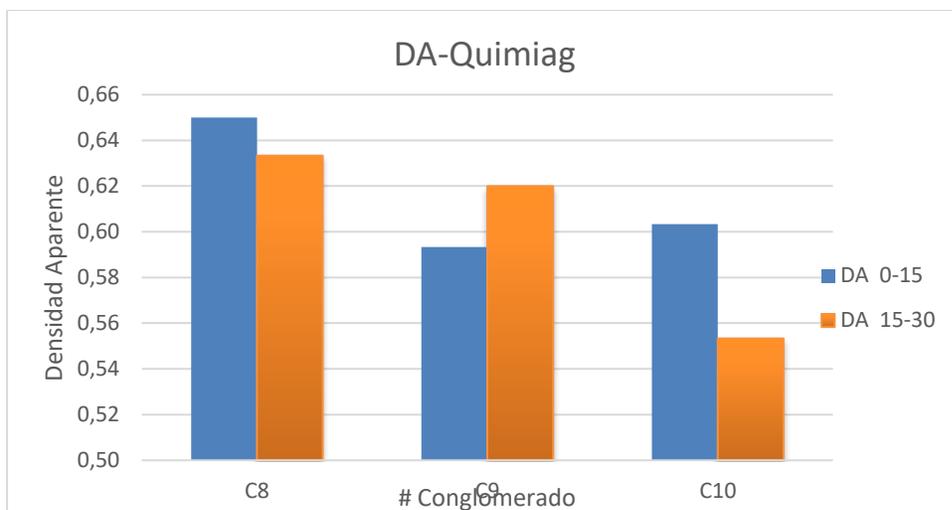


Ilustración 4-15. Densidad aparente del suelo intervenido del páramo de Quimiag a una profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm.

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Materia orgánica

Para materia orgánica a la profundidad de 0-15 cm se obtuvo un promedio de 14,88 % con una desviación estándar de 0,90; siendo el límite superior de 15,84 % ubicada en el conglomerado 9. y el límite inferior de 14,04% ubicada en el conglomerado 8.

Para la profundidad de 15-30 cm mostró un promedio de 13,50% con una desviación estándar de 0,60; su el límite superior de 13,89 % ubicada en el conglomerado 9. y el límite inferior de 12,80% ubicada en el conglomerado 8.

De acuerdo con estos hallazgos, se observa que en Quimiag la presencia de materia orgánica es elevada. Este hecho, a su vez, favorece la biodiversidad del suelo, que contribuye al proceso de formación de materia orgánica del suelo (MOS) mediante la descomposición y la producción de humus. Estas interacciones numerosas son intrincadas y generan diversos ciclos de retroalimentación biológica, química y física que se fortalecen mutuamente (Laban, Metternicht y Davies 2018).

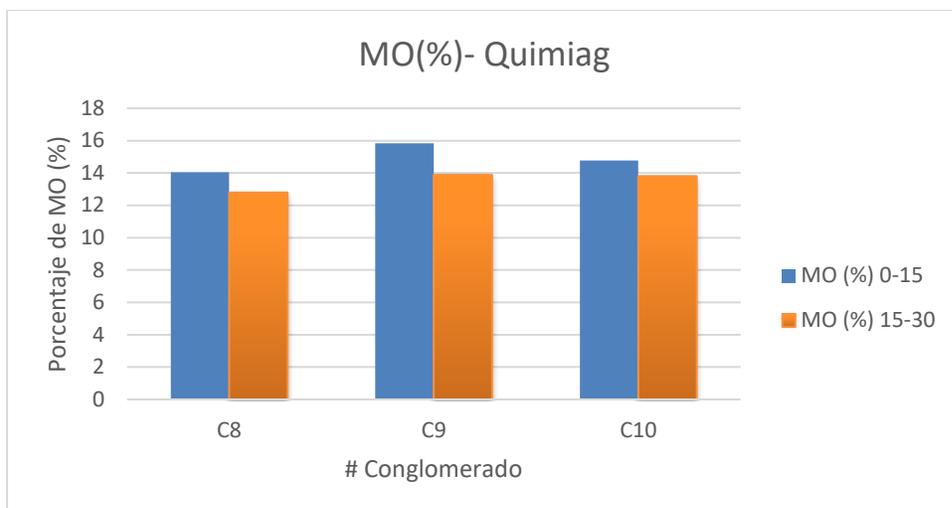


Ilustración 4-16. Densidad aparente del suelo intervenido del páramo de Quimiag a una profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm.

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Carbono Orgánico

Carbono orgánico de la profundidad 0-15 cm obtuvo un resultado promedio de 79,9 Mg/Ha con una desviación estándar de 2,4; un valor máximo de 82,2 Mg/Ha determinado en el conglomerado 9, y el valor mínimo de 77,3 Mg/Ha ubicada en el conglomerado 10.

En la profundidad 15-30 cm el valor promedio fue de 70,6 Mg/Ha, con una desviación estándar de 4,3; un valor máximo de 74,8 Mg/Ha determinado en el conglomerado 9, y el valor mínimo de 66,3 Mg/Ha ubicada en el conglomerado 10.

Ambos promedios indican una cantidad significativa de carbono orgánico en el suelo, especialmente en la capa superficial, lo cual posiblemente se debe al bajo nivel de resiliencia de los suelos de páramo, que, al ser sometidos a las actividades propias para la siembra y pastoreo, tienden a liberar a la atmósfera una proporción del carbono por efectos de oxidación (Cuervo Barahona 2019).

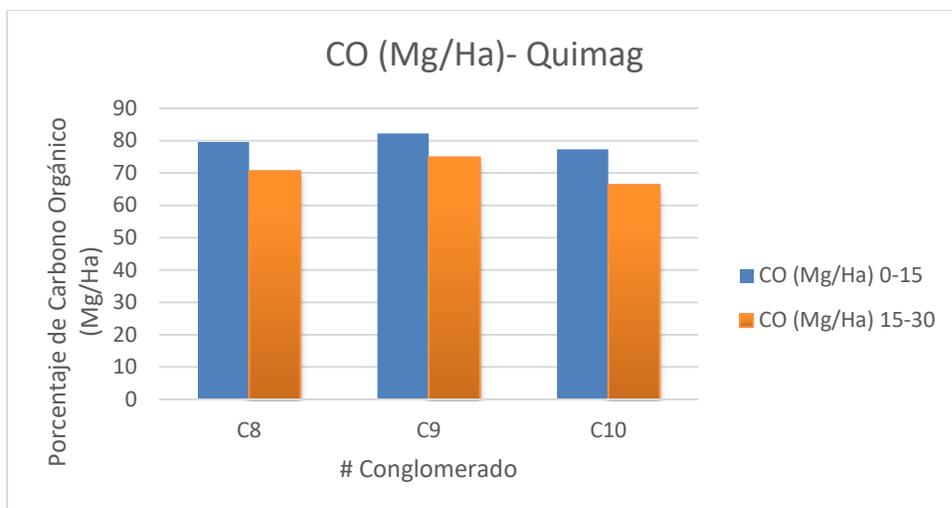


Ilustración 4-17. Carbono orgánico de suelo intervenido del páramo de Quimiag a una profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm.

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Textura

En cuanto a la textura del suelo, se identificaron dos clases texturales, franco arcilloso y franco, tanto a una profundidad de 0-15 cm como a 15-30 cm. El suelo franco predominó en mayor medida en los conglomerados 9 y 10.

Respiración edáfica

Tabla 4-12. Resultados de respiración edáfica en el páramo de Quimiag.

#CONGLOMERADO	CODIGO	RESPIRACION (CO ₂)	DIA
8	C8P1 0-15 cm	143,2	5
8	C8P2 0-15 cm	96,1	5
9	C9P1 0-15 cm	79,8	5
9	C9P2 0-15 cm	94,1	5
10	C10P1 0-15 cm	65,5	5
10	C10P2 0-15 cm	118,7	5

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Según la tabla 12-4., se observa que el valor superior para la respiración edáfica es de 143,21 mgCO₂/kg*d ubicada en el conglomerado 8 parcela 1 a una profundidad de 0-15cm, mientras que el valor inferior es 65,46 mgCO₂/kg*d que se encuentra en el conglomerado 10 parcela 1 a profundidad de 0-15cm. El valor promedio calculado es de: 99,56 mgCO₂/kg por día.

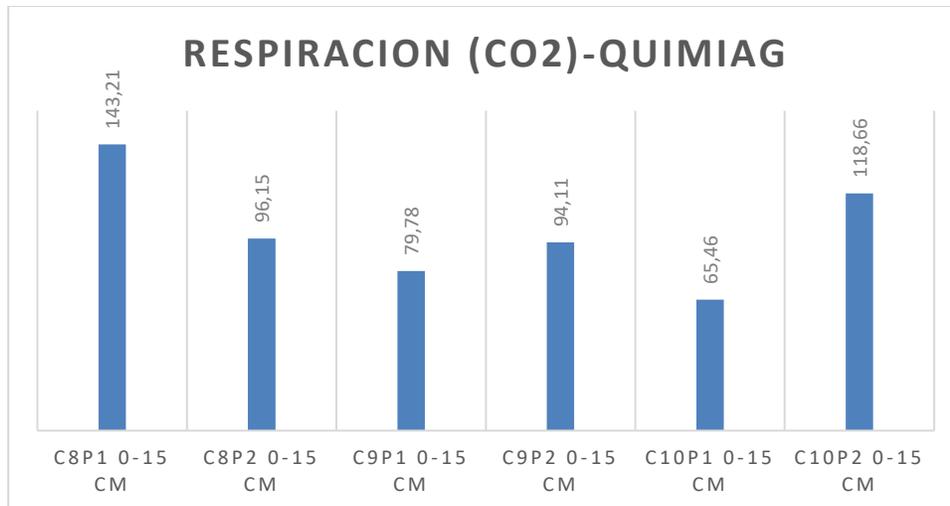


Ilustración 4-18. Respiración del suelo intervenido del páramo de Quimiag en un área de 50 cm².

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

4.3. Comparación de los flujos de carbono entre sitios (Iguayata vs Quimiag)

Biomasa

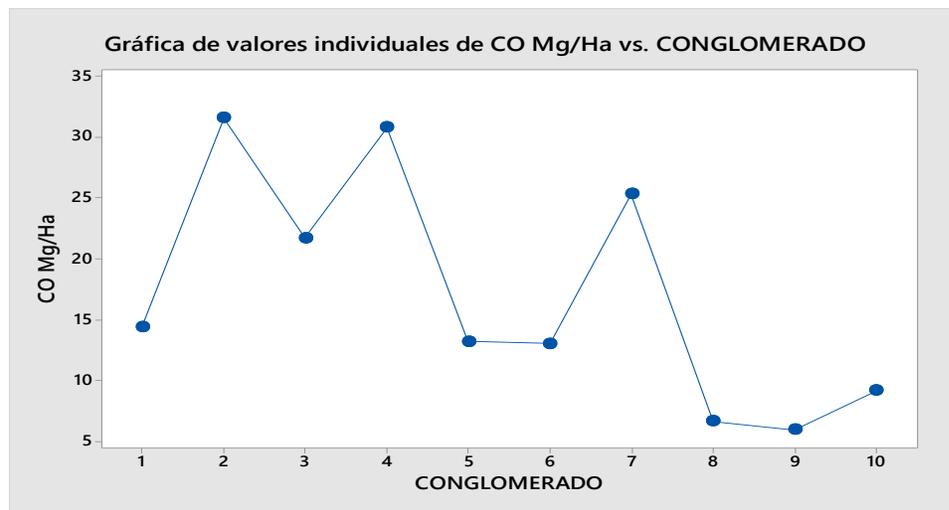


Ilustración 4-19. Relación de los valores de CO (Mg/Ha) de la biomasa en Iguayata y Quimiag.

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Según el Ilustración 4-19. se puede observar que en el páramo de Iguayata existe mayor CO presente en la biomasa esto puede ser debido a que se encuentra en mitigación a diferencia de Quimiag que

presenta valores bajos de CO debido a su alto estado de intervención. Según Don et al., (2011), su estudio encontró que, en el ecosistema de páramo, las reservas de carbono disminuyen cuando se cambia el uso de suelo de cobertura natural a cultivos. La eliminación de la vegetación natural que protege el suelo disminuye el ingreso de materia orgánica al suelo e incrementa la tasa de descomposición de los residuos vegetales, lo que suele causar una rápida pérdida de carbono de la biomasa, acompañada de pérdida de carbono del suelo.

Conforme al mismo Ilustración se puede determinar el porcentaje de CO en cada uno de los conglomerados presentes en la zona de estudio. El valor más alto se encuentra en Igualata, perteneciente al conglomerado 4, mientras que el valor más bajo se ubica en Quimiag, específicamente en el conglomerado 9. Los valores de mayor influencia se encuentran en mitigación con alrededor de 31,6 MgC/ha y el de menor influencia con 6,0 MgC/ha en Quimiag, se puede observar una diferencia significativa. De acuerdo con Spracklen & Righelato, (2014), el estudio indica que, en los páramos, el carbono en biomasa varía entre 13,21 y 183 t/ha. Esto puede ser producto de que variaciones ambientales. Sin embargo, otros estudios indican ausencia de correlación de biomasa aérea con variables climáticas y topográficas (Slik et al., 2010)

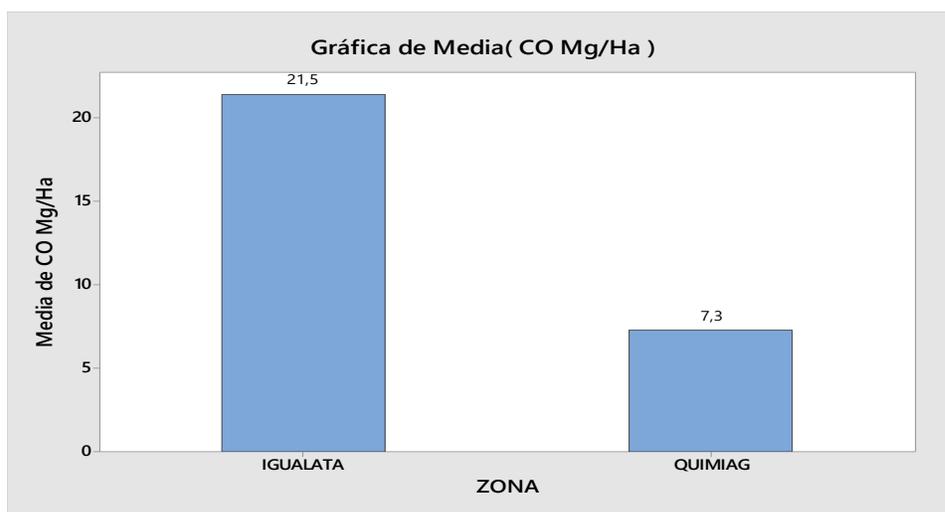


Ilustración 4-20. Media de los valores de CO (Mg/Ha) de la biomasa en Iguala y Quimiag.

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Según la ilustración 4-20. Se puede observar que el porcentaje de CO presente la biomasa del páramo de Igualata cuenta con un 21,5 Mg/Ha a comparación del páramo de Quimiag que presenta un 7,3 Mg/Ha.

Necromasa

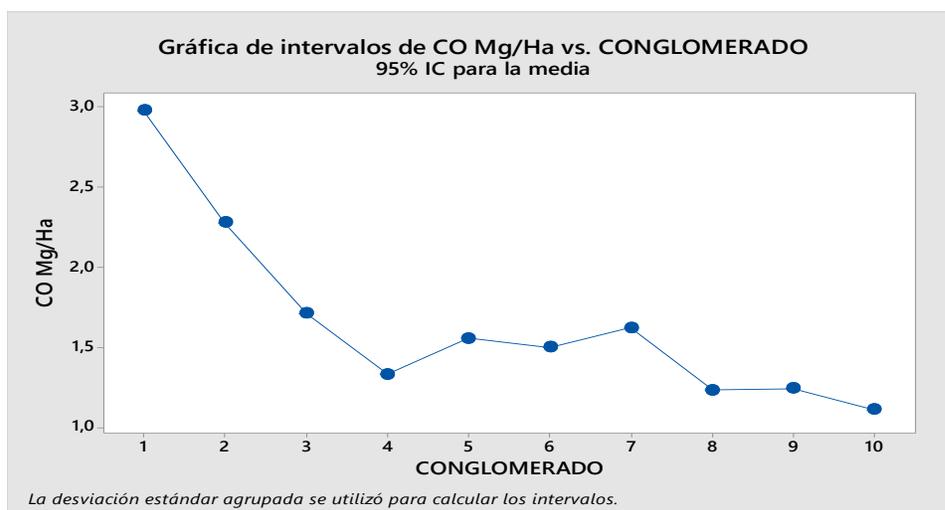


Ilustración 4-21. Relación de los valores de CO (Mg/Ha) de la necromasa en Igualata y Quimiag.

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Según el Ilustración 4-21. Se puede observar que existe mayor CO en el páramo de Igualata debido a su descomposición más rápida mientras que los conglomerados con más baja presencia de CO puede presentar indicios de intervención humana (Guallpa et al., 2021). En los suelos de mayores altitudes, la tasa de descomposición es más lenta debido a la alta humedad y los climas fríos, lo que resulta en una capa gruesa de suelo orgánico. En cuanto a la cobertura vegetal, se encontró que la vegetación herbácea tiene una media de $0,89 \text{ tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ hasta $7,40 \text{ tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ con un rango altitudinal de 3750-3900 msnm se determinó en el estudio de una media de $3,33 \text{ tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ esto en comparación con el rango altitudinal de la zona de estudio de 3500-3900 con un promedio de $1,7 \text{ MgC/ha}$. Esto según el autor Hernández et al., (2013) establece posibles factores que puede afectar en las entradas de CO demostrando en su estudio que la producción de hojarasca es mayor en zonas húmedas y cálidas con suelos fértiles, mientras que disminuye en zonas secas y frías y con una baja disponibilidad de nutrientes. Sin embargo, la producción de hojarasca es muy dependiente de la variabilidad de las condiciones climáticas entre diferentes años, por lo que es difícil establecer un patrón general a escalas más pequeñas o en zonas con gran variabilidad climática.

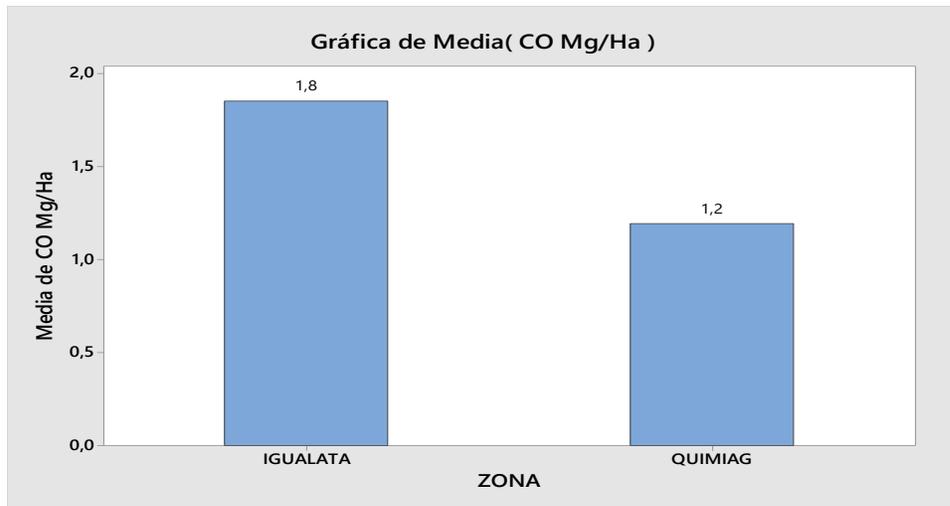


Ilustración 4-22. Media de los valores de CO (Mg/Ha) de la necromasa en Igualata y Quimiag.
Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Según la ilustración 4-22. Se puede observar que el porcentaje de CO presente la necromasa del páramo de Igualata cuenta con 1,8 Mg/ha a comparación del páramo de Quimiag que presenta 1,2 Mg/ha.

Raíces

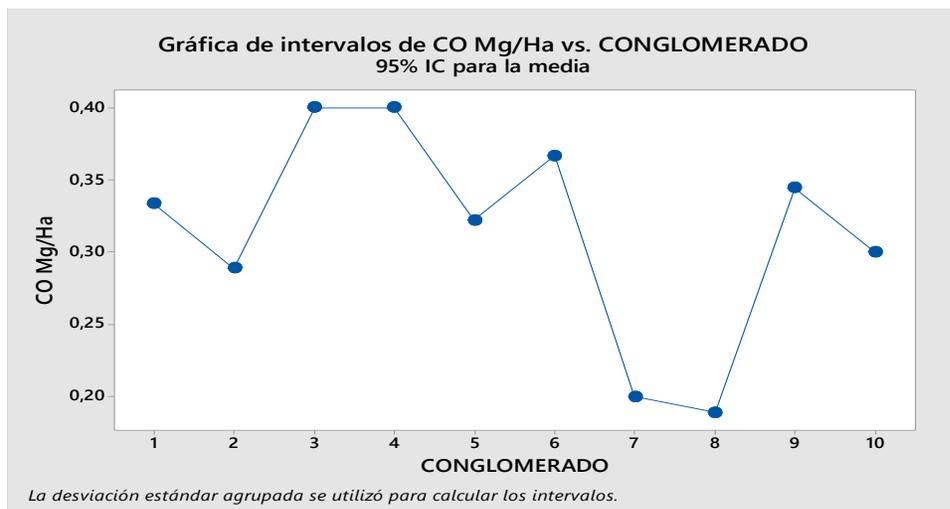


Ilustración 4-23. Relación de los valores de CO (Mg/Ha) de las raíces en Igualata y Quimiag.
Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Según la ilustración 4-23. una explicación a la mayor presencia de carbono en suelo de pasturas es el

posible incremento de biomasa en las raíces finas que al descomponerse proporcionan mayor contenido de carbono al suelo (Brook & Ibrahim, 2008; Maia et al., 2010). Mientras que para las pasturas sin uso, el carbono es menor. Probablemente la falta de resturación de los pastizales disminuye la contribución de las raíces. Sin embargo, el autor Cargua et al., (2014) determinó la cantidad de carbono acumulado en la materia muerta o detritus no vivo obteniendo un rango de valor de 0,002-0,19, por el contrario, se puede observar que el rango de valores presentes en esta investigación se encuentran en valores mayores a los que presenta el autor ya que para nuestro estudio se determinado entre 0,40-0,20 Mg/ha, el valor máximo en el páramo de Igualata y el valor mínimo en Quimiag estas variaciones podrían estar influenciadas por algunos factores ambientales. Esto se podría corroborar según Hofstede, (2014) el cual menciona que uno de los factores a considerar es el efecto de la temperatura, ya que el aumento de esta produce una mayor acumulación de biomasa y mayor productividad primaria en donde la temperatura es una de las principales limitantes para el crecimiento de la vegetación esto significaría mayor producción de hojarasca y raíces que aumentaría la entrada de materia orgánica en el suelo. Otro de los factores que se puede verse influenciado en la limitacion de las raices son las situaciones de sequía según Hernández et al., (2013) , la concentración de nutrientes en la hojarasca tiende a aumentar, ya que las hojas maduras caen prematuramente debido al estrés hídrico, impidiendo la reabsorción de nutrientes. Además, la escasez de agua en el suelo reduce la disponibilidad de nutrientes al disminuir la actividad microbiana, responsable de liberar nitrógeno, fósforo y azufre de la materia orgánica del suelo.

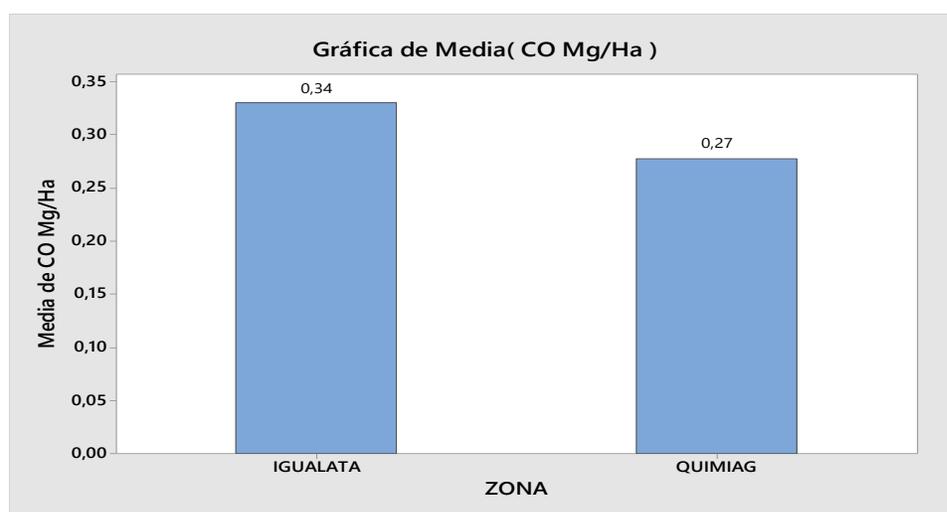


Ilustración 4-24. Media de los valores de CO (Mg/Ha) de las raíces en Iguala y Quimiag.

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Según la ilustración 4-24. Se puede observar que el porcentaje de CO presente la biomasa subterránea

del páramo de Igualata cuenta con 0,34 Mg/ha a comparación del páramo de Quimiag que presenta 0,27 Mg/ha.

Suelo

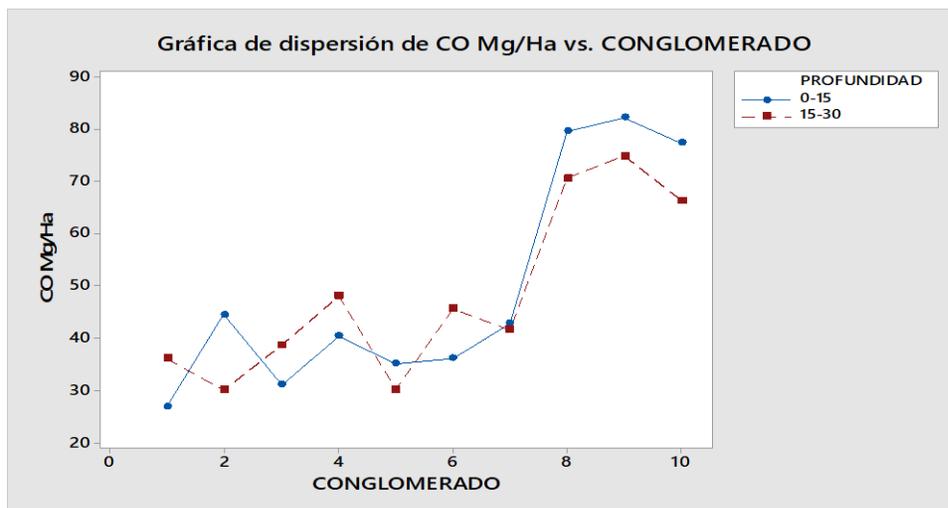


Ilustración 4-25. Relación de los valores de CO (Mg/Ha) del suelo en Igualata y Quimiag a dos profundidades (0-15) y (15-30).

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Según el gráfico 25-4. El interés en COS se fundamenta en que esta medida es un indicador de calidad de suelo. En consecuencia, su variación puede tener implicaciones en procesos ambientales como fertilidad de suelo, erosión y flujos de gases efecto invernadero (Stolbovoy et al., 2007). En el ecosistema de páramo, entre 0 y 40 cm de profundidad el carbono almacenado en el suelo puede variar entre 119 y 397 t/ha, bajo vegetación natural (Castañeda-Martín & Montes-Pulido, 2017). Se puede observar que el porcentaje de CO presente en el suelo del páramo de Igualata a una profundidad de 0-15 cm cuenta con un valor de 36,70 MgC/ha y a una profundidad de 15-30 cm con 38,6 MgC/ha en comparación con el páramo de Quimiag que a una profundidad de 0-15 cm cuenta con un valor de 79,7 MgC/ha y a una profundidad de 15-30 cm con 70,6 MgC/ha. Según el autor (Ayala, L. et al. 2014) demostrando que a medida que se profundiza el muestreo el contenido de MO y CO disminuye, lo que es similar a lo obtenido por (Santín y Vidal 2012), esto refutaría hacia los resultados obtenidos en nuestro estudio, determinando que en 2 conglomerado es CO es mayor a mayor profundidad.

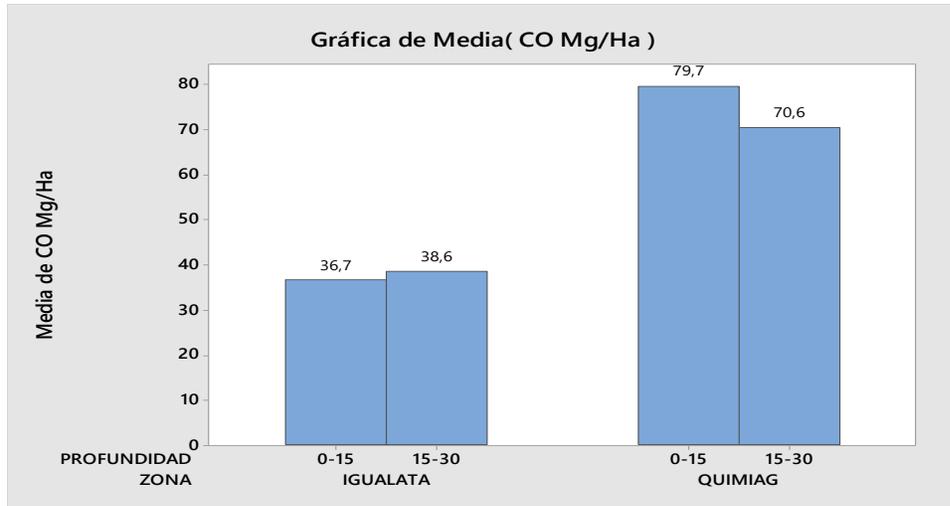


Ilustración 4-26. Media de los valores de CO (Mg/Ha) del suelo en Igualata y Quimiag a dos profundidades (0-15) y (15-30).

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Según el gráfico 26-4. Se puede observar que el porcentaje de CO presente el suelo del páramo de Igualata a una profundidad de 0-15 cm cuenta con un valor de 36,70 MgC/ha y a una profundidad de 15-30 cm con 38,6 MgC/ha a comparación del páramo de Quimiag que a una profundidad de 0-15 cm cuenta con un valor de 79,7 MgC/ha y a una profundidad de 15-30 cm con 70,6 MgC/ha.

Respiración Edáfica

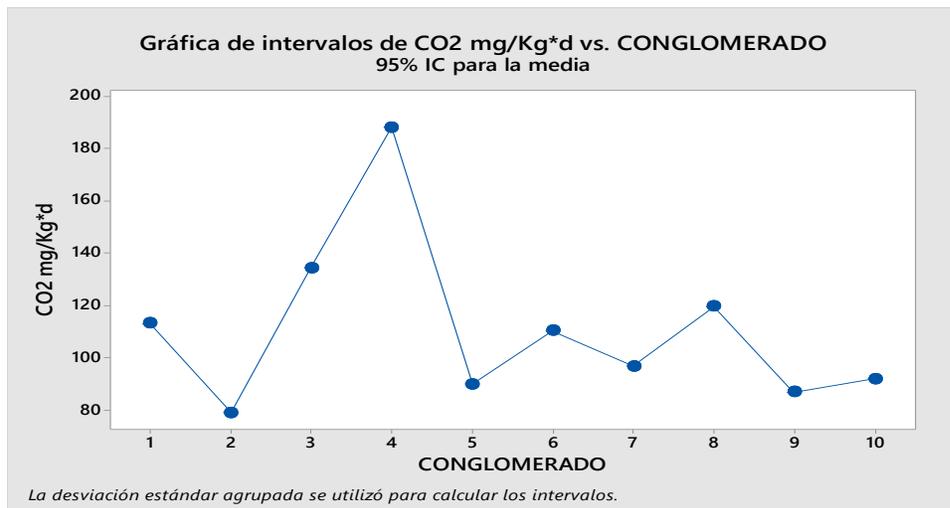


Ilustración 4-27. Relación de los valores de CO (Mg/Ha) de la respiración edáfica en Igualata y Quimiag.

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Según la ilustración 4-27. Los autores Vásquez et al., (2013) determinan que en una escala global la respiración del suelo produce 80,4 Pg CO₂-C anualmente. Sin embargo en esta investigación se pudieron obtener resultados con un valor máximo de 180 mg CO₂-C/Kg*d presentes en el conglomerado 4 perteneciente al páramo de Igualata y con un valor mínimo de 75 mg CO₂-C/Kg*d presente en el conglomerado 2 presente igualmente en la zona Igualata, además los valores máximos y mínimos para zona de Quimiag se encuentran entre 120-90 mg CO₂-C/Kg*d, por lo tanto se puede determinar que el páramo de Igualata genera valores más altos de CO₂-C en comparación con Quimiag, esto debido al mayor índice de presencia de microorganismos los cuales incrementan la descomposición de los sustratos orgánicos (Vásquez et al., 2013). Según el autor Díaz et al., (2017). determina que los principales factores que regulan la respiración del suelo son la temperatura, humedad, precipitación y el tipo de vegetación. Por lo tanto, se puede decir que la vegetación entonces afecta a la Rs a través de la respiración y exudación de la raíz, así como de la producción de residuos vegetales como caída de hojarasca, que es la principal fuente de carbono orgánico del suelo (COS). Se ha encontrado que, a escala mundial, la producción anual de residuos vegetales está positivamente correlacionada con el COS y la Rs (Cruz-Sánchez et al., 2021).

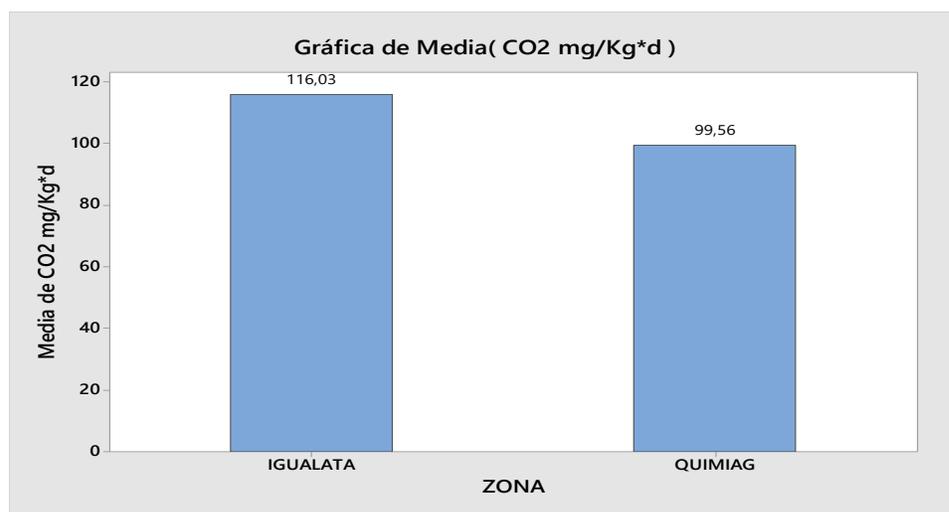


Ilustración 4-28. Media de los valores de CO (Mg/Ha) de la respiración edáfica en Igualata y Quimiag.

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Según la ilustración 4-28. Se puede observar que para respiración edáfica presente en el páramo de Igualata cuenta con el mayor valor 116,03 mg CO₂-C/Kg*d en comparación con Quimiag que cuenta con un valor de 99,56 mg CO₂-C/Kg*d, esto debido a que uno se encuentra en estado de mitigación

y el otro en intervención.

4.4. Flujo de carbono

Tabla 4-13. Resultados del flujo de carbono para el páramo de Igualata y Quimiag.

VARIABLES	COMPARACIONES	
	IGUALATA	QUIMIAG
	ENTRADAS	
BIOMASA	21,5	7,3
NECROMASA	1,8	1,2
RAICES	0,34	0,27
SUELO 0-15	36,7	79,7
SUELO 15-30	38,6	70,6
TOTAL	98,94	159,07
SALIDAS		
RESPIRACIÓN EDÁFICA	116,03	99,56
TOTAL	116,03	99,56

Realizado por: Tatiana Chandi, Ariel Pilco, 2023.

Biomasa y Necromasa: En la Zona 1 (Igualata), se observa una mayor biomasa (21,5 Mg/ha) en comparación con la Zona 2 (Quimiag, con 7,3 Mg/ha). Esto sugiere que en Igualata hay una mayor cantidad de material orgánico vivo, lo que puede contribuir a un mayor almacenamiento de carbono. La necromasa, o material orgánico muerto, es similar en ambas zonas, lo que indica que la tasa de descomposición y liberación de carbono a través de la descomposición de la materia orgánica es comparable.

Raíces: Igualata presenta una cantidad ligeramente mayor de raíces (0,34 Mg/ha) en comparación con Quimiag (0,27 Mg/ha). Las raíces contribuyen al almacenamiento de carbono en el suelo a través de la materia orgánica en descomposición.

Suelo: En la Zona 2 (Quimiag), el contenido de carbono en el suelo (tanto en la capa de 0-15 cm como en la de 15-30 cm) es considerablemente mayor que en la Zona 1 (Igualata). Esto sugiere que la intervención humana en Quimiag puede haber afectado el equilibrio del carbono en el suelo, posiblemente debido a cambios en el uso del suelo o prácticas agrícolas.

Respiración Edáfica: Aunque la respiración edáfica en Igualata es mayor (116,03 mg CO₂-C/Kgd) que en Quimiag (99,56 mg CO₂-C/Kgd), ambas zonas muestran tasas de liberación de CO₂ al suelo,

indicando la actividad microbiana y la descomposición de la materia orgánica.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Cuantificamos la respiración edáfica, la investigación sobre la respiración edáfica en el ecosistema de páramo entre Quimiag e Igualata, provincia de Chimborazo, ofrece perspectivas valiosas sobre la dinámica del carbono en este entorno específico, los hallazgos indican que el páramo de Igualata exhibe valores más elevados de respiración edáfica en comparación con Quimiag, con un máximo de 180 mg CO₂-C/Kg*d, en el conglomerado 4 y un mínimo de 75 mg CO₂-C/Kg*d en el conglomerado 2, en Quimiag, los valores oscilan entre 120-90 mg CO₂-C/Kg*d, esta disparidad se atribuye posiblemente al mayor índice de presencia de microorganismos en Igualata, lo que intensifica la descomposición de sustratos orgánicos, adicionalmente, las observaciones respaldan la importancia de la vegetación en la regulación de la respiración del suelo, factores como la temperatura, humedad, precipitación y tipo de vegetación desempeñan un papel crucial en la dinámica de la respiración edáfica, la influencia de la vegetación se evidencia en los diferentes valores entre Quimiag e Igualata, donde la presencia de vegetación en diferentes estados (mitigación e intervención) impacta directamente en la magnitud de la respiración edáfica.
- Cuantificamos el carbono orgánico del suelo, biomasa aérea, necromasa y de raicillas, en base a la cuantificación de estos parámetros, en el ecosistema de páramo entre Quimiag e Igualata, se obtuvieron resultados que ofrecen una visión detallada de la distribución y dinámica del carbono en esta área específica, los hallazgos presentan implicaciones significativas para la comprensión de la salud y la funcionalidad de estos ecosistemas, especialmente considerando el estado de mitigación en Igualata y la intervención en Quimiag, en relación a la biomasa aérea, se observa que Igualata, en estado de mitigación, exhibe una presencia significativamente mayor de carbono en comparación con Quimiag, que está bajo intervención, este patrón se refleja tanto en los valores absolutos como en los porcentajes de carbono presentes en los conglomerados, estas diferencias pueden asociarse a la conservación de la cobertura vegetal natural en Igualata, mientras que la intervención humana en Quimiag ha conducido a una disminución en las reservas de carbono en la biomasa aérea, en cuanto a la necromasa, los resultados indican que Igualata muestra una mayor presencia de carbono, sugiriendo una descomposición más rápida en

comparación con Quimiag, este fenómeno puede estar vinculado a factores como la intervención humana, que afecta la descomposición de residuos vegetales y, por ende, la liberación de carbono al suelo, además, las condiciones ambientales, como la humedad y el clima frío en mayores altitudes, también influyen en la tasa de descomposición, la cuantificación de carbono en raíces revela diferencias notables entre pasturas y áreas sin uso, la presencia de carbono en el suelo de pasturas se atribuye al incremento de biomasa en raíces finas, lo cual contribuye al contenido de carbono en el suelo, estas variaciones pueden estar relacionadas con factores ambientales como la temperatura y la disponibilidad de agua.

- En conclusión, comparando el flujo de carbono tanto de entrada como de salida en el ecosistema se puede decir que Igualata, pese a ser un páramo en proceso de mitigación, muestra mayores valores de biomasa (área, subterránea y necomasa) y respiración edáfica, indicando una mayor actividad biológica y potencial de almacenamiento de carbono en comparación con Quimiag, que es un páramo intervenido. El mayor flujo de carbono en el suelo de Quimiag sugiere que la intervención humana puede haber alterado el equilibrio del carbono en esta zona, posiblemente debido a cambios en el uso del suelo. La información proporcionada destaca la importancia de conservar y gestionar de manera sostenible los páramos para mantener su función como sumideros de carbono y garantizar la salud de estos ecosistemas.

5.2. Recomendaciones

- Socializar con las autoridades y comunidades afines al páramo de Igualata y Quimiag, con la finalidad de informar las condiciones actuales en las que se encuentra el páramo e incentivarlos a seguir cuidando al mismo, de esta manera podríamos prevenir más impactos ambientales en estas zonas.
- Implementar un programa de seguimiento a largo plazo con el fin de continuar la evaluación del flujo de carbono en el ecosistema de herbazal de páramo en el noroeste de la subcuenca del Río Chambo, esto nos permitirá una mayor comprensión de las fluctuaciones estacionales y anuales, así como la capacidad del páramo para resistir posibles perturbaciones.

6. BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ, C.R. y RIMSKI-KORSAKOV, H., 2016. *Manejo de la fertilidad del suelo en planteos orgánicos* [en línea]. EFA. Buenos Aires: s.n. [consulta: 1 diciembre 2023]. Disponible en: https://www.ciaorganico.net/documypublic/126_libro_fertilidad_de_suelos-pvo_isbn.pdf#page=59.
- ALVAREZ, G., 2008. *Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia*. S.l.: s.n.
- ARQUIS, G., BALDASSARRI, T., HOFER, T., ROMEO, R. y WOLTER, P., 2012. FAO's Current Engagement in Sustainable Mountain Development. . *Mountain Research and Development*, vol. 32, no. 2,
- AYALA, L, VILLA, M., AGUIRRE, Z. y AGUIRRE, N., 2014. Cuantificación del carbono en los páramos del parque nacional Yacuri, provincias de Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador. *CEDAMAZ*, vol. 4, no. 1,
- AYALA, L., VILLA, M., MENDOZA, A. y MENDOZA, N., 2014. Cuantificación del carbono en los páramos del parque nacional Yacuri, provincias de Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador. *Cedamaz*, vol. 4, no. 1,
- BARRALES-BRITO, E., PAZ-PELLAT, F., ETCHEVERS-BARRA, J.D., HIDALGO-MORENO, C. y VELÁZQUEZ-RODRÍGUEZ, A.S., 2022. Protocolo de medición de CO₂ para determinar la cantidad mínima en peso de muestras de suelo y mantillo. *Terra Latinoamericana*, vol. 40, ISSN 23958030. DOI 10.28940/TERRA.V40I0.911.
- BARRERA, C., ANDREA, J. y YOLIMA, N., 2012. BENEFICIOS DEL ECOSISTEMA PÁRAMO, ORGANIZACIONES Y POLÍTICAS DE CONSERVACIÓN Aproximaciones al páramo El Consuelo del municipio de Cerinza, Boyacá. *Desarrollo, Economía Y Sociedad* [en línea], vol. 1, no. 1, [consulta: 1 diciembre 2023]. Disponible en: <https://revista.jdc.edu.co/index.php/deyso/article/view/505>.
- BENAVIDES, O. y LEÓN, E., 2007. INFORMACIÓN TECNICA SOBRE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO. . S.l.:
- BENJAMÍN ORDÓÑEZ, J.A. y MASERA, O., 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*. S.l.:
- BROOK, A. y IBRAHIM, M., 2008. Growth, production and carbon sequestration of silvopastoral systems with native timber species in the dry lowlands of Costa Rica. *Plant and Soil*, vol. 1, no. 2,
- BRUN, R. y RADEMAKERS, F., 1997. ROOT — An object oriented data analysis framework. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, vol. 389, no. 1-2, ISSN 01689002. DOI 10.1016/S0168-9002(97)00048-X.
- BUCKERIDGE, K.M., CREAMER, C. y WHITAKER, J., 2022. Deconstructing the microbial necromass continuum to inform soil carbon sequestration. *Functional Ecology*, vol. 36, no. 6, ISSN 0269-8463. DOI 10.1111/1365-2435.14014.
- BURBANO ORJUELA, H., 2018. El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, vol. 35, no. 1, ISSN 2256-2273. DOI 10.22267/rcia.183501.85.
- CABALLERO, M., LOZANO, S. y ORTEGA, B., 2007. Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista Digital Universitaria* [en línea], vol. 8, no. 10, ISSN 1067-6079. Disponible en: <http://www.revista.unam.mx/vol.8/num10/art78/int78.htm>.
- CAJILEMA, E.M. y PIGUABE, C.J., 2020. *Estimación de materia orgánica en el suelo y biomasa del páramo de Quimiag*. Riobamba, Ecuador: Superior Politécnica de Chimborazo.
- CAMACHO, M., 2014. Los páramos ecuatorianos: caracterización y consideraciones para su

- conservación y aprovechamiento sostenible. *Revista Anales*, vol. 1, no. 372, ISSN 1390-7891. DOI 10.29166/anales.v1i372.1241.
- CARGUA, F.E., RODRÍGUEZ, M. V, RECALDE, C.G. y VINUEZA, L.M., 2014. Cuantificación del Contenido de Carbono en una Plantación de Pino Insigne (*Pinus radiata*) y en Estrato de Páramo de Ozogoche Bajo, Parque Nacional Sangay, Ecuador. *Información tecnológica*, vol. 25, no. 3, ISSN 0718-0764. DOI 10.4067/S0718-07642014000300011.
- CARRILLO-ROJAS, G., SILVA, B., ROLLENBECK, R., CÉLLERI, R. y BENDIX, J., 2019. The breathing of the Andean highlands: Net ecosystem exchange and evapotranspiration over the páramo of southern Ecuador. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 265, ISSN 01681923. DOI 10.1016/j.agrformet.2018.11.006.
- CASTAÑEDA, A.E. y MONTES, C.R., 2017. Carbono almacenado en páramo andino. *ENTRAMADO*, vol. 13, no. 1, ISSN 19003803. DOI 10.18041/entramado.2017v13n1.25112.
- CASTAÑEDA-MARTÍN, A.E. y MONTES-PULIDO, C.R., 2017. Carbono almacenado en páramo andino. *ENTRAMADO*, vol. 13, no. 1, ISSN 19003803. DOI 10.18041/entramado.2017v13n1.25112.
- CHUNCHO MOROCHO, C. y CHUNCHO, G., 2019a. Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión. *Bosques Latitud Cero*, vol. 9, no. 2,
- CHUNCHO MOROCHO, C. y CHUNCHO, G., 2019b. Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión. *Bosques Latitud Cero* [en línea]. Loja: [consulta: 1 diciembre 2023]. Disponible en: <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/686#:~:text=De%20esta%20revisi%C3%B3n%20se%20concluye,para%20almacenar%20y%20regular%20agua>.
- CLOTHIER, B.E. y GREEN, S.R., 1997. ROOTS: THE BIG MOVERS OF WATER AND CHEMICAL IN SOIL. *Soil Science*, vol. 162, no. 8, ISSN 0038-075X. DOI 10.1097/00010694-199708000-00002.
- CRUZ-SÁNCHEZ, Y., LÓPEZ-TELOXA, L.C., GÓMEZ DIAZ, J.D. y MONTERROSO-RIVAS, A.I., 2021. Respiración del suelo en un bosque templado de México y su relación con el carbono orgánico. *Madera y Bosques*, vol. 27, no. 2, ISSN 2448-7597. DOI 10.21829/myb.2021.2722153.
- CUERVO BARAHONA, E.L., 2019. *Potencial de liberación y fracciones de carbono orgánico en el suelo del Páramo la Cortadera* [en línea]. S.l.: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. [consulta: 27 noviembre 2023]. Disponible en: https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/3474/Potencial_de_reliberacion_y_fracciones.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- CUESTA, F., SEVINK, J., LLAMBÍ, L.D., DE BIÈVRE, B. y POSNER, J., 2014. *Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos*. [en línea]. Lima: CONDESAN. [consulta: 1 diciembre 2023]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11245/1.418136>.
- CUEVA, A., ROBLES ZAZUETA, C.A., GARATUZAN PAYAN, J. y YÉPEZ, E., 2016. Soil respiration in México: Advances and future directions. *Terra Latinoamericana*, vol. 34, no. 3,
- DÍAZ CORDERO, G., 2012. CIENCIA Y SOCIEDAD Volumen XXXVII, Número 2 Abril-Junio 2012 EL CAMBIO CLIMÁTICO. *Ciencia y Sociedad*, vol. XXXVII, no. 2,
- DÍAZ, M., SILVA, I., RODRÍGUEZ, H., MONSIVÁIS, J., JURADO, E. y MEZA, M., 2017. Respiración del suelo en cuatro sistemas de uso de la tierra. *Mexicana de Ciencias Forestales*, vol. 8, no. 42,
- DON, A., SCHUMACHER, J. y FREIBAUER, A., 2011. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks—a meta-analysis. *Global Change Biology*, vol. 17, no. 4,
- ECHEVERRÍA, M., MUR, R.J., LINDAO, V., ERAZO, N., LOGROÑO, W. y CÓRDOVA, R., 2018. Quantification of organic carbon stored in the soil in the paramo of Igualata, Chimborazo province-Ecuador. *AIP Conference Proceedings*, vol. 2003, no. 1, DOI 10.1063/1.5050356.
- ESTUPIÑÁN, L.H., [sin fecha]. LOS PÁRAMOS, ECOSISTEMAS PARA CONSERVAR. ,
- FERNÁNDEZ PÉREZ, C.J., CELY REYES, G.E. y RAMÍREZ, P.A., 2019. Cuantificación de la

- captura de carbono y análisis de las propiedades del suelo en coberturas naturales y una plantación de pino en el páramo de Rabanal, Colombia. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, vol. 28, no. 1, ISSN 2256-5442. DOI 10.15446/rcdg.v28n1.66152.
- FERNÁNDEZ ROMERO, M., 2015. *Effects of management, land use and geographical variables on soil organic carbon in Mediterranean and Temperate climate* [en línea]. Córdoba: Universidad de Córdoba. Disponible en: www.uco.es/publicaciones.
- GARNIER, E., FAYOLLE, A., NAVAS, M., DAMGAARD, C., CRUZ, P., HUBERT, D., RICHARTE, J., AUTRAN, P., LEURENT, C. y VIOLLE, C., 2018. Plant demographic and functional responses to management intensification: A long-term study in a Mediterranean rangeland. *Journal of Ecology*, vol. 106, no. 4, ISSN 0022-0477. DOI 10.1111/1365-2745.12996.
- GISBERT BLANQUER, nombre, MANUEL, J. y RAMÓN, M., 2010. LA TEXTURA DE UN SUELO. [en línea]. Valencia: [consulta: 2 diciembre 2023]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7775/Textura.pdf>.
- GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO PARROQUIAL RURAL QUIMIAG, 2015. PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL. .
- GOETZ, S.J. y DUBAYAH, R., 2011. Advances in remote sensing technology and implications for measuring and monitoring forest carbon stocks and change. *Carbon Management.*, vol. 2, no. 3,
- GUALLPA, M., ESPINOZA, V. y ARCOS, D., 2021a. Estimation of Carbon Content in the Páramo Ecosystem of Pasa Population, Ambato Canton, Tungurahua Province. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, ISSN 2789-5009. DOI 10.18502/epoch.v1i4.9508.
- GUALLPA, M., ESPINOZA, V. y ARCOS, D., 2021b. Estimation of Carbon Content in the Páramo Ecosystem of Pasa Population, Ambato Canton, Tungurahua Province. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, ISSN 2789-5009. DOI 10.18502/epoch.v1i4.9508.
- GUALLPA, M., ESPINOZA, V. y ARCOS, D., 2021c. Estimation of Carbon Content in the Páramo Ecosystem of Pasa Population, Ambato Canton, Tungurahua Province. *Revista fitotecnia mexicana* [en línea], vol. 35, no. 1, [consulta: 2 diciembre 2023]. ISSN 0187-7380. DOI 10.18502/epoch.v1i4.9508. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802012000100011&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
- HARO, F., 2012. *Determinación de carbono orgánico en la biomasa y suelo del páramo de la comunidad de Pichán Central-San Isidro*. S.l.: s.n.
- HAYES, T., MURTINHO, F. y WOLFF, H., 2015. An institutional analysis of Payment for Environmental Services on collectively managed lands in Ecuador. *Ecological Economics*, vol. 118, ISSN 09218009. DOI 10.1016/j.ecolecon.2015.07.017.
- HERNÁNDEZ, L., RODRÍGUEZ, H., LOZANO, R., SILVA, I., MEZA, M., MORENO, M. y CASTILLÓN, A., 2013. Producción de hojarasca y retorno potencial de nutrientes en tres sitios del estado de Nuevo León, México. *Polibotánica*, vol. 35,
- HEROLD, M. y SKUTSCH, M., 2011. Monitoring, reporting and verification for national REDD + programmes: Two proposals. *Environmental Research Letters*, vol. 6,
- HOFSTEDE, R., 2014. Los Paramos Andinos. ¿Que sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema paramo. *UICN*,
- HONORABLE GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO, 2020. PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO. .
- HU, J., DU, M., CHEN, J., TIE, L., ZHOU, S., BUCKERIDGE, K.M., CORNELISSEN, J.H.C., HUANG, C. y KUZYAKOV, Y., 2023. Microbial necromass under global change and implications for soil organic matter. *Global Change Biology*, vol. 29, no. 12, ISSN 1354-1013. DOI 10.1111/gcb.16676.
- JARAMILLO, D.F., 2021. Guía ilustrada para la descripción del perfil del suelo. *Fondo Editorial*

EIA,

- LABAN, P., METTERNICHT, G. y DAVIES, J., 2018. *Biodiversidad de suelos y carbono orgánico en suelos: cómo mantener vivas las tierras áridas*. 1. S.l.: IUCN, International Union for Conservation of Nature. ISBN 9782831718910.
- LANKREIJER, H., JANSSENS, L.A., BUCHMANN, N., LONGDOZ, B., EPRON, D. y DORE, S., 2003. Measurement of soil respiration. In: R. Valentini (Ed.). *Fluxes of Carbon, Water and Energy of European Forests*. , vol. 3,
- LEÓN FALCONÍ, M.B., 2019. *Plan de desarrollo turístico para la parroquia Quimiag, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo*. S.l.: s.n.
- LIK, J.W.F., AIBA, S.I., BREARLEY, F.Q., CANNON, C.H., FORSHED, O., KITAYAMA, K. y POULSEN, A.D., 2010. Environmental correlates of tree biomass, basal area, wood specific gravity and stem density gra-dients in Borneo's tropical forests. *Global Ecology and Biogeography*, vol. 19, no. 1,
- LLAMBÍ, L.D., SOTO-W, A., CÉLLERI, R., DE BIEVRE, B., OCHOA, B. y BORJA, P., 2012. *Ecología, hidrología y suelos de páramos* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 9789942115492. Disponible en: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56480.pdf>.
- LÓPEZ, G.M. y ZAMORA, A.R., 2016. *Diagnóstico de la fertilidad del suelo en el area deinvestigacion, innovacion y desarrollo de la ESPAM- MFL*. S.l.: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Ecuador.
- MAIA, S.M., OGLE, S.M., CERRI, C.C. y CERRI, E., 2010. Changes in soil organic carbon storage under different agricultural management systems in the Southwest Amazon Region of Brazil. *Soil and Tillage Research*, vol. 106, no. 2,
- MENA, P. y MEDINA, G., 2002. *Los páramos del Ecuador: Particularidades, problemas y perspectivas*. S.l.: s.n.
- MENDOZA DE ARMAS, C. y JIMÉNEZ NARVÁEZ, G., 2017. Relación entre el efecto invernadero y el cambio climático desde la perspectiva del sector agrario. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín* [en línea], vol. 70, no. 2, ISSN 0304-2847. DOI 10.15446/rfnam. Disponible en: <http://dle.rae.es/?id=ELjRufE>.
- MILLER, G.T. (George T., 2007. *Ciencia Ambiental Desarrollo Sostenible*. S.l.: Thomson Brooks/Cole. ISBN 0495015970.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, A. y M.A., 2016. Cambio climático: Informe de síntesis. . S.l.:
- MOSQUERA, G.M., SEGURA, C., VACHÉ, K.B., WINDHORST, D., BREUER, L. y CRESPO, P., 2016. Insights into the water mean transit time in a high-elevation tropical ecosystem. *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 20, no. 7, ISSN 1607-7938. DOI 10.5194/hess-20-2987-2016.
- NOAA, 2023. NOAA: El año 2022 fue el sexto año más cálido desde los comienzos de los registros en 1880. .
- PAÑA VALLEJO, B.D., 2022. *Determinación de la respiración edáfica en el páramo de Igualata, provincia de Chimborazo, Ecuador*. S.l.: s.n.
- PÉREZ, N.G., 2022. Análisis de suelos y aguas: aplicación agrícola. ,
- PIMIENTA DE LA TORRE, D. de Jesús., REYES, Jorge., RODRÍGUEZ, J.Alberto. y MARROQUÍN MORALES, P., 2019. Estimación de biomasa aérea total y contenido de carbono de *Pinus maximinoi* H. E. Moore en Las Margaritas, Chiapas, México. *Investigación Agropecuaria*, vol. 23, no. 2,
- PINZÓN, A.W., 2022. *Cuantificación del contenido de carbono orgánico edáfico en ecosistemas nativos e intervenidos, en la parroquia Quimiag, cantón Riobamba provincia de Chimborazo*. S.l.: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- POMBOZA TAMAQUIZA, P.P. y REINOSO TORRES, D.P., 2020. *Influencia de la cobertura vegetal y relieve sobre el almacenamiento de carbono en el suelo del ecosistema páramo*. S.l.: s.n.
- RICHTER, M. y MOREIRA, A., 2005. "Heterogeneidad Climática y Diversidad Vegetacional En El

- Sur de Ecuador : Un Método de Fitoindicación.” *Revista Peruana de Biología*, vol. 12,
- ROJAS-VARGAS, E.P., SILVA-AGUDELO, E.D., GUILLÉN-MOTTA, A.Y., MOTTA-DELGADO, P.A. y HERRERA-VALENCIA, W., 2019. Carbono almacenado en estrato arbóreo de sistemas ganaderos y naturales del municipio de Albania, Caquetá, Colombia. *Ciencia y Agricultura*, vol. 16, no. 3, ISSN 2539-0899. DOI 10.19053/01228420.v16.n3.2019.9515.
- SÁNCHEZ IRIGOIN, I., NÚÑEZ BUSTAMANTE, E., ABANTO-RODRIGUEZ, C. y MURGA-ORRILLO, H., 2021. Variaciones en la captura de carbono por cambio de uso de suelo, en zonas de páramo en Cajamarca, Perú. *Revista Nor@ndina*, vol. 4, no. 2, ISSN 27079848. DOI 10.37518/2663-6360X2021v4n2p25.
- SANTÍN, A. y VIDAL, E., 2012. *Generación de una línea base de los reservorios de carbono de los páramos del PNP y evaluación de su aplicación como mecanismos de mitigación al cambio climático*. Loja- Ecuador: s.n.
- SERRANO GINÉ, D. y GALÁRRAGA SÁNCHEZ, R., 2015. El páramo andino: características territoriales y estado ambiental. Aportes interdisciplinarios para su conocimiento. *Estudios Geollustracións*, vol. 76, no. 278, ISSN 1988-8546. DOI 10.3989/estgeogr.201513.
- SPRACKLEN, D. V. y RIGHELATO, R., 2014. Tropical montane forests are a larger than expected global carbon store. *Biogeosciences*, vol. 11, no. 10,
- STOLBOVOY, V., MONTANARELLA, L., FILIPPI, N., JONES, A., GALLEGO, J. y GRASSI, G., 2007. .Soil Sampling Protocol to Certify the Changes of Organic Carbon Stock in Mineral Soil of the European Union. *Official Publications of the European Communities, Luxembourg.*,
- TAKAHASHI, T., IKEDA, Y., FUJITA, K. y NANZYU, M., 2006. Effect of liming on organically complexed aluminum of nonallophanic Andosols from northeastern Japan. *Geoderma*, vol. 130, no. 1-2, ISSN 00167061. DOI 10.1016/j.geoderma.2005.01.006.
- TONNEIJCK, F.H., JANSEN, B., NIEROP, K.G.J., VERSTRATEN, J.M., SEVINK, J. y DE LANGE, L., 2010. Towards understanding of carbon stocks and stabilization in volcanic ash soils in natural Andean ecosystems of northern Ecuador. *European Journal of Soil Science*, vol. 61, no. 3, ISSN 1351-0754. DOI 10.1111/j.1365-2389.2010.01241.x.
- TORRES, D., 2021. *Influencia De La Cobertura Vegetal y Relieve Sobre El Almacenamiento de Carbono en el Suelo del Ecosistema Páramo*. S.l.: UTA.
- UPTC, 2015. Captura de carbono en suelos de páramo línea base a partir de escenarios de intervención. [en línea]. Boyacá: s.n., [consulta: 1 diciembre 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/4002/1/2835.pdf>.
- VARGAS ROJAS, Ronald, 2009. *Guía para la descripción de suelos* [en línea]. FAO. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. [consulta: 27 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>.
- VARGAS ROJAS, R., 2009. Guía para la descripción de suelos (FAO). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>.
- VARMA, A., 1998. Mycorrhizae — the Friendly Fungi: What We Know, What Should We Know, and How Do We Know? *Mycorrhiza Manual*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 1-24.
- VÁSQUEZ, J., MACÍAS, F. y MENJIVAR, J., 2013. RESPIRACIÓN DEL SUELO SEGÚN SU USO Y SU RELACIÓN CON ALGUNAS FORMAS DE CARBONO EN EL DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA, COLOMBIA. *Bioagro*, vol. 25, no. 3,
- VÁZQUEZ, M. E. y MILLÁN, G.J., 2017. Acidez del suelo: Origen, diagnóstico, consecuencias y tratamiento . In Manejo y Conservación de Suelos con especial énfasis en situaciones argentinas. *Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo*,
- VÁZQUEZ, Mabel Elena y MILLÁN, G.J., 2017. Acidez del suelo: Origen, diagnóstico, consecuencias y tratamiento . *Manejo y Conservación de Suelos con especial énfasis en situaciones argentinas* [en línea]. S.l.: Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, pp. 229-271. [consulta: 26 noviembre 2023]. ISBN 978-987-24771-8-9. Disponible en:

<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/154576>.

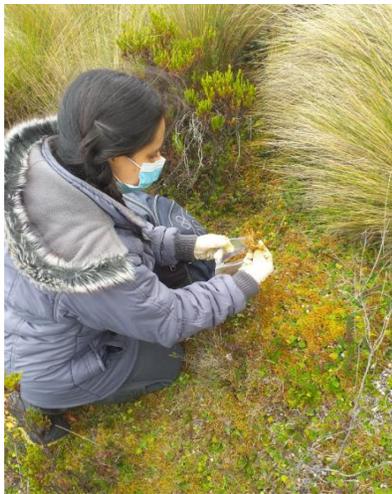
- VICTORIA CREMONA, M. y SOLEDAD ENRIQUEZ, A., 2020. ALGUNAS PROPIEDADES DEL SUELO QUE CONDICIONAN SU COMPORTAMIENTO. *INTA* [en línea], [consulta: 2 diciembre 2023]. ISSN 0326-7040. Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/revista-presencia-n%C2%B0-73>.
- WALTEROS TORRES, I., PALACIOS-PACHECO, S., CELY, G.E., SERRANO, P.A. y MORENO-PÉREZ, D., 2022. Influencia del cambio de uso del suelo sobre las reservas de carbono orgánico en el Parque Natural Regional Cortadera, Boyacá (Colombia). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, vol. 25, no. 2, ISSN 01234226. DOI 10.31910/rudca.v25.n2.2022.1846.
- YANG, Chao. y PENG, Zhang., 2013. [Stratigraphic observations on cardiac shadow in patients affected with tonsillar hypertrophy]. *Annali di radiologia diagnostica*, vol. 25, no. 3, ISSN 0003-4673.
- ZENG, L., HE, X., ZHU, G., ZHOU, L., LUO, M., YIN, X., LONG, Y., DAI, J., OUYANG, X. y YANG, Y., 2023. Bedrock and climate jointly control microbial necromass along a subtropical elevational gradient. *Applied Soil Ecology*, vol. 189, ISSN 09291393. DOI 10.1016/j.apsoil.2023.104902.



7. ANEXOS

ANEXO A: PARAMO IGULATA-MITIGACION





ANEXO B: PÁRAMO QUIMIAG-INTERVENIDO



ANEXO C: ANALISIS EN EL LABORATORIO





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA NORMALIZACIÓN
DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 29/ 02 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR	
Nombres – Apellidos: GUISELLA TATIANA CHANDI JAPÓN ARIEL SOFÍA PILCO PINO	
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	
Facultad: CIENCIAS	
Carrera: INGENIERÍA AMBIENTAL	
Título a optar: INGENIERA AMBIENTAL	
  	
Ing. Freddy Marco Armijos Arcos	Ing. María Soledad Núñez Moreno
Director del Trabajo de Integración Curricular	Asesora del Trabajo de Integración Curricular