

**DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE CO₂ EN SUELOS DEL DISTRITO
REGIONAL DE MANEJO INTEGRADO (DRMI)-PARAMO RABANAL
JURISDICCIÓN DE CORPOCHIVOR, COMO BASE PARA IMPLEMENTAR
ACCIONES DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO**

Autor

KAREN NATALIA CUBIDES GARZÓN



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA

INGENIERIA QUIMICA

PAMPLONA, diciembre 12 de 2022

**DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE CO₂ EN SUELOS DEL DISTRITO
REGIONAL DE MANEJO INTEGRADO (DRMI)-PARAMO RABANAL
JURISDICCIÓN DE CORPOCHIVOR, COMO BASE PARA IMPLEMENTAR
ACCIONES DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO**

KAREN NATALIA CUBIDES GARZÓN

Proyecto de grado para optar por el título de: INGENIERO QUÍMICO.

Director

PhD (c). JENIFFER KATERINE CARILLO GÓMEZ

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA

INGENIERIA QUIMICA

PAMPLONA, diciembre 12 de 2022

DEDICATORIA

Principalmente dedico este logro a Dios, porque gracias a él es que podemos lograr nuestras metas. A mis abuelitos paternos Carmen Rosa Castañeda Roa y Marco Antonio Cubides Bernal quienes me criaron; gracias a todo su esfuerzo y lucha para ayudarme en mi proceso de formación tanto personal como profesional para lograr esta meta, también a mis padres Rodrigo Cubides Castañeda y Jazmín Garzón Rivera por haberme regalado el privilegio de la vida y apoyarme siempre. A mis hermanas Rossy, Sara y Luisa; por su cariño y admiración.

Este logro también se lo dedico a mi bisabuelita Betulia Celis, quien ya no está en este plano terrenal pero siempre me hizo saber su admiración, cariño y amor; siempre me decía *“por más títulos que tenga, jamás vayas a dejar de ser una persona humilde”*.

Finalmente, a mis compañeros, docentes y todas aquellas personas que me brindaron su apoyo junto con sus conocimientos a lo largo de esta formación.

AGRADECIMIENTOS

A mis abuelitos paternos y padres por siempre inculcarme valores, hacer de mí una persona luchadora y capaz de lograr lo que se propone.

A mi directora Jeniffer Katherine Carrillo Gómez por su orientación y acompañamiento en este proyecto.

A la Universidad de Pamplona y sus docentes que me brindaron sus conocimientos y apoyo en mi formación profesional.

Al programa de Estado Joven por ser ese mediador entre los estudiantes universitarios y muchas entidades, con el fin de dar una oportunidad como lo son las pasantías empresariales.

A la Corporación Autónoma Regional de Chivor- CORPOCHIVOR en cabeza del Ingeniero Plinio Rolando Forero Dueñas como director, por haberme brindado la oportunidad de realizar la última etapa para de mi formación profesional; a mi tutor la subdirectora de Gestión Ambiental Juana Marcela Andrade López, al subdirector de Planeación Carlos Andrés García Pedraza; a la ingeniera química jefe del laboratorio Angie Arévalo quien fue un gran apoyo a lo largo de este tiempo; también al técnico analista químico Sebastián Porras, el ingeniero Milthón Rodríguez y demás compañeros de laboratorio.

Agradecerle de manera grata al docente William Reyes Acevedo, por su constante apoyo a lo largo de mi carrera.

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN.....	7
2. ABSTRACT.....	7
3. INTRODUCCIÓN	9
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	12
5. OBJETIVOS	13
5.1. OBJETIVO GENERAL.....	13
5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
6. MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE	14
6.1. ESTADO DEL ARTE	14
6.2. MARCO TEORICO.....	16
6.2.1. Marco espacial	16
6.2.2. Marco conceptual.....	17
6.2.3. Marco legal.....	18
7. METODOLOGÍA.....	20
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
8.1. DENSIDAD APARENTE.....	29
8.2. CARBONO ORGÁNICO % CO	30
8.3. CAPTURA DE CO₂.....	31
8.4. CAPTURA DE CO₂.....	34
8.5. pH	37
8.6. ALTERNATIVAS PARA LA ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMATICO EN EL DRMI-PÁRAMO RABANAL.....	39
9. CONCLUSIONES.....	42
10. RECOMENDACIONES	43
11. REFERENCIAS	44
12. ANEXOS	49

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.....	29
Tabla 2.....	35
Tabla 3. Variación de % de humedad respecto a pH (Fuente propia).	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Perfil esquematizado del uso del suelo	11
Figura 2. Fuente Corpochivor	16
Figura 3. Ciclo del Carbono (El Ciclo Del Carbono Lento - Vista Al Mar, n.d.).	17
Figura 4. Equipos de muestreo (Fuente propia).	21
Figura 5. Anillos de densidad aparente (Fuente propia).	21
Figura 6. Muestreo en área de agricultura (Fuente propia).	22
Figura 7. Disposición de muestras en papel craf para el secado (Fuente propia).	22
Figura 8. Secado de muestras (Fuente propia).	23
Figura 9. Tamizado de muestras (Fuente propia).	23
Figura 10. Adición de solución extractora (Fuente propia).	25
Figura 11. Adición de agua a las muestras con solución extractora (Fuente propia).	26
Figura 12. Muestras envasadas en las celdas espectrofotométricas (Fuente propia).	26
Figura 13. Lectura en el espectrofotómetro UV (Fuente propia).	26
Figura 14. Pesaje de muestra para pH (Fuente propia).	27
Figura 15. pHmetro Orion (Fuente propia).	28
Figura 16. Puntos de muestreo en el DRMI-Páramo Rabanal (Fuente Corpochivor).	35
Figura 17. Tipo de suelo del DRMI- Páramo Rabanal (Fuente Corpochivor).	37

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. Contenido de %CO respecto a la altura.	30
Gráfica 2. Captura de CO ₂ en 15 cm.....	31
Gráfica 3. Captura de CO ₂ en 30 cm	31
Gráfica 4. Relación entre Cantidad de COS y Densidad aparente.....	33
Gráfica 5. Captura de CO ₂ por área.....	34
Gráfica 6. Relación entre MO y DA.	36
Gráfica 7. pH por área a diferente profundidad (Fuente propia).	38

1. RESUMEN

En el Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI)-Páramo Rabanal, ubicado en el municipio de Ventaquemada en el departamento de Boyacá; con una extensión de 6.640 hectáreas; se desarrolló este proyecto, que tuvo como objetivo determinar la concentración de CO₂; para lo cual se hizo un muestreo en distintos puntos de las tres zonas donde existe la problemática de uso del suelo, las cuales son: zona de área protegida, zona de área dedicada a la ganadería (ganado lechería) y la zona dedicada a la agricultura (cultivo de papa, *Solanum tuberosum*) ; posteriormente se realizó los análisis de carbono orgánico por método Walkley- Black con cuantificación por colorimetría, usando espectrofotómetro UV; también se determinó la densidad aparente usando el kit de anillos metálicos, como dato para el diagnóstico de la capacidad de retención del suelo; con base en los mapas entregados por el Sistema de Información Geográfica (SIG) se encontró la deficiencia de captura de CO₂ del suelo dependiendo de la problemática de cada zona; para establecer estrategias que contribuyan al cuidado y preservación del ecosistema del páramo, puesto que este presenta un gran potencial de captura de CO₂; con lo que se busca la reducción de los gases efecto invernadero, que están asociados al cambio climático. De acuerdo con lo anterior, el área destinada a la agricultura es la que menos CO₂ está capturando, siendo solamente 652.229,91 ton/ha mientras que la zona dedicada a la ganadería retiene 1.672.825,21 ton/ha, que más de la mitad que la zona de agricultura; hecho que se debe en gran medida a la compactación generada por el pisoteo de los animales, en este caso lechería.

PALABRAS CLAVES: Capacidad, materia orgánica, sostenibilidad, sumidero.

2. ABSTRACT

In the Regional District of Integrated Management (DRMI)-Páramo Rabanal, located in the municipality of Ventaquemada in the department of Boyacá; with an extension of 6,640 hectares;

This project was developed, which aimed to determine the concentration of CO₂; for which a sampling was made at different points of the three areas where the land use problem exists, which are: protected area area, area area dedicated to livestock (dairy cattle) and the area dedicated to agriculture (potato crop, *Solanum tuberosum*) ; Subsequently, the organic carbon analysis was carried out by the Walkley-Black method with quantification by colorimetry, using a UV spectrophotometer; the apparent density was also determined using the metal ring kit, as data for the diagnosis of soil retention capacity; based on the maps delivered by the Geographic Information System (GIS), the deficiency of CO₂ capture of the soil was found depending on the problem of each area; to establish strategies that contribute to the care and preservation of the páramo ecosystem, since it has a great potential for CO₂ capture; with which the reduction of greenhouse gases, which are associated with climate change, is sought. According to the above, the area devoted to agriculture is the one that is capturing the least CO₂, being only 652,229.91 ton/ha while the area dedicated to livestock retains 1,672,825.21 ton/ha, which is more than the half that of the agricultural zone; fact that is due to a large extent to the compaction generated by the trampling of the animals, in this case dairy.

Key Words: Capacity, organic matter, sustainability, sink.

3. INTRODUCCIÓN

Los páramos son sitios de alta montaña, en zona tropical; su localización es de latitudes entre los 11° N y 8° S y altitudes entre los 3000 a 4500 m.s.n.m; poseen una temperatura media anual fría y presentan bruscos cambios a diario de temperatura, con una precipitación media anual superior a los 700 mm (Chaverri-Polini, n.d.). El DRMI- Páramo Rabanal está ubicado en el municipio de Ventaquemada en el departamento de Boyacá; se caracteriza por su gran variedad de ecosistemas de páramo, humedales, embalses, praderas, bosques andinos, entre otras. Mas de 1´000.000 hectáreas de esta región del país es irrigada por su sistema hídrico; además, aporta agua a una población estimada de 300.000 habitantes entre los cuales se encuentran la sociedad de la ciudad de Tunja (Corporación Autónoma Regional de Chivor (CORPOCHIVOR), 2018).

¿Es un recurso natural no renovable el suelo?, en efecto la perdida de este recurso no es recuperable; puesto que cada centímetro de suelo tarda miles de años en formarse desde la roca madre, pero solo basta con un año para que este desaparezca. La mayor reserva de carbono orgánico se encuentra en el suelo, siendo el doble de la cantidad almacenada en la vegetación; el secuestro de carbono ayuda con la mitigación del cambio climático al igual que reduce las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) (FAO, n.d.). El cambio climático es una fuerte amenaza para la capacidad de una seguridad alimentaria; las emisiones de GEI derivadas de actividades antropogénicas y la ganadería son un factor importante en el cambio climático, dentro de lo cual se puede hablar del ciclo de carbono, que consiste en un intercambio de carbono en diferentes formas, entre estas el CO₂, entre la atmosfera, océano, biosfera terrestre y los depósitos geológicos. La mayor parte del CO₂ que se encuentra en la atmosfera es proveniente de las distintas reacciones bilógicas de la tierra; la retención del carbono se da cuando el carbono presente en la atmosfera es absorbido y almacenado en el suelo; lo que ha resultado ser una función importante, ya que entre más carbono se almacene en el suelo, menos dióxido de carbono habrá en la atmosfera provocando cambios en el clima (FAO, 2015).

La remoción de GEI de la atmosfera se puede incrementar gracias los sumideros de CO₂, de esta forma se almacena en reservas terrestres y ecosistemas acuáticos; se dice que el suelo tiene una capacidad estimada de secuestro alrededor de 20 Pg en 25 años. La práctica de agricultura durante los últimos siglos, en especial los últimos decenios ha sido factor importante en el agotamiento de las reservas de carbono; sin embargo, las prácticas agrícolas mejoradas pueden contribuir en la mitigación del cambio climático, ya que se reduce las emisiones. En gran medida el trabajo de la organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO) consiste en mejorar los medios de vida de los agricultores mediante la identificación, desarrollo y provisión de prácticas culturales dirigidas a la reducción de emisiones agrícolas y retención de carbono; especialmente en países en vía de desarrollo (FAO, 2022b).

Este trabajo tuvo como fin determinar la concentración de CO₂ en toneladas por hectárea que retienen los suelos del DRMI- Páramo Rabanal; para lo cual se tomaron 18 muestras a lo largo del área del páramo a dos profundidades, de 0-15cm y 15-30cm; anotando sus respectivas coordenadas con el fin de entregarlas al SIG y tener los mapas para evidenciar gráficamente el estudio; a las muestras se les realizó un análisis fisicoquímico aplicando la metodología de Walkley Black, mediante el cual se obtuvo el porcentaje de carbono orgánico, para el cálculo de la densidad aparente se empleó el método del cilindro metálico; que son los parámetros necesarios en la determinación de carbono orgánico del suelo (COS), posteriormente me basé en el documento titulado “ Protocolo para la estimación nacional y subnacional” (Quintero, 2011), para calcular el dióxido de carbono equivalente (CO₂) secuestrado por los suelos del DRMI- Páramo Rabanal. En base a los resultados obtenidos se pudo diagnosticar la capacidad de retención que está teniendo estos suelos en cuanto al GEI dióxido de carbono dependiendo de las tres actividades contempladas para este estudio como lo son área protegida, área de ganadería (leche) y área de agricultura (cultivo de papa); también es una contribución en cuanto a la definición o planteamiento de nuevas alternativas de manejo del recurso suelo. Finalmente se resalta la importancia del DRMI-Páramo Rabanal como prestador de servicios ecosistémicos con las

poblaciones aledañas como fuente hídrica y fijador de CO₂ atmosférico, siendo este estudio un referente para la necesaria e inminente conservación y preservación del DRMI- Páramo Rabanal como un ecosistema estratégico.

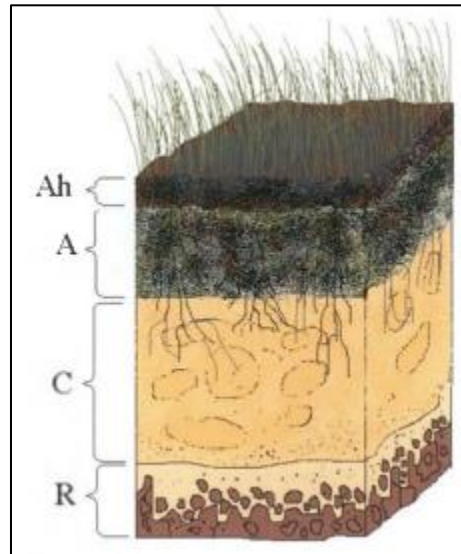


Figura 1. Perfil esquematizado del uso del suelo

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Los ecosistemas de paramos en Colombia, se ubican en las tres cordilleras de los Andes y la Sierra Nevada de Santa Marta, alcanzando un área de 14.434 km², equivalen al 49 % de los páramos del mundo y a 1,3 % de la extensión territorial del país. En el departamento de Boyacá, se ubica un 16% de terreno de paramos del mundo (PARRA JAIRO ALBERTO & ORDOÑEZ RODRIGO, 2020). El DRMI- Paramo Rabanal ubicado en el municipio de Ventaquemada en el departamento de Boyacá, hace parte de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Chivor-CORPOCHIVOR, cuenta con una extensión de 6.640 hectáreas; actualmente presenta un problema por uso inadecuado del suelo, producto de acciones antrópicas como: actividades agropecuarias, ganadería, pastoreo intensivo; que a largo de los años han generado alteraciones en la biodiversidad; siendo el cambio climático uno de las más preocupantes; causando impactos negativos a nivel económico y social, como la pérdida de ingresos por el bajo apoyo al manejo de los recursos naturales y afectación a más de 300mil personas de los departamentos de Boyacá y Cundinamarca que se abastecen del agua proveniente del páramo Rabanal; lo que se busca con este proyecto es determinar la cantidad de CO₂ en los suelos del DRMI- Paramo Rabanal en diferentes puntos, dependiendo tres usos más comunes, como lo es la área protegida, área de ganadería (leche) y área de agricultura (cultivo de papa); con el fin de conocer la concentración de CO₂ y la capacidad de retención del suelo, de modo que se pueda llegar a estrategias que incentiven a cambiar la actividad que se ha desarrollado por largos periodos en cada zona muestreada; con base en esto, contribuir a la restauración y preservación del páramo; por medio de la adaptación y mitigación al cambio climático. A su vez aportar soluciones a la problemática que existe, por los diferentes usos del suelo y apuntar a tener servicios ecosistémicos, lo cual beneficiaría a la población del sector.

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la concentración de CO₂ en suelos del DRMI-Paramo Rabanal Jurisdicción de CORPOCHIVOR, como base para implementar acciones de mitigación y adaptación al cambio climático.

5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Cuantificar mediante procesos analíticos de laboratorio la concentración de CO₂ en los suelos del Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) – Paramo Rabanal.
- Diagnosticar la capacidad de retención, analizando el problema de uso de suelo en el DRMI – Paramo Rabanal; usando Sistemas de información geográfica (SIG).
- Definir alternativas que contribuyan a CORPOCHIVOR en la implementación de acciones para la adaptación o mitigación de los efectos del cambio climático en el DRMI- Paramo Rabanal.

6. MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE

6.1. ESTADO DEL ARTE

(Heath et al., 2005), afirma que los bosques son un factor importante en los sumideros de carbono, lo cual conduce a mitigar el continuo aumento de la concentración atmosférica de CO₂ que a su vez se asocia al cambio climático. Exponen que el aumento de la tasa de CO₂ reduce el tamaño de los sumideros de carbono terrestre, por el contrario, se refleja una retroalimentación positiva en el CO₂ atmosférico (Heath et al., 2005).

(PARRA JAIRO ALBERTO & ORDOÑEZ RODRIGO, 2020), estimaron la captura de CO₂ en los suelos del páramo La Cortadera ubicado en la cordillera oriental de los municipios de Tuta, Toca, Siachoque, Rondón y Pesca en el departamento de Boyacá; para la determinación de COS usan el método Walkley-Black, este método es usado masivamente por su simplicidad; se le han hecho múltiples modificaciones encaminadas a la reducción de reactivos y mejora en el punto final de la titulación. Con los resultados pudieron concluir que para el año 2014 el páramo capturo 21,056 Mt de CO₂ y para el año en que se realizó este estudio, es decir; para el 2019, el páramo retuvo 18,949 Mt de CO₂; disminuyendo 2,107 Mt aproximadamente en 5 años. De acuerdo con lo reportado dedujeron que dicha disminución de retención de CO₂ en los suelos del Páramo La Cortadera, se debió al aumento en la temperatura superficial en unos 5,5 °C en promedio (PARRA JAIRO ALBERTO & ORDOÑEZ RODRIGO, 2020).

(Silva-parra, 2018); realizaron un estudio en dos zonas de la Orinoquia Colombiana: piedemonte y altillanura; seleccionando localidades por cada zona, respectivamente escogieron cinco sistemas productivos representativos. El muestreo lo hicieron a una profundidad de 30cm en 10 puntos, para extraer una muestra compuesta, que luego le realizaron diferentes análisis fisicoquímicos entre estos la determinación de % de CO, con ello la conversión a kgCO₂eq multiplicando la tasa de perdidas o ganancias de C por el factor 3,67. De acuerdo a los resultados obtenidos concluyeron

que los sistemas agroforestales y silvopastoriles, los stocks de C y las emisiones de CO₂ a la atmosfera indicaron un balance positivo de captura de C en el suelo y negativo para niveles de GEI (Silva-parra, 2018).

(Uso & Tierra, n.d.), para la FAO en América latina y caribe es de prioridad temas como prevención de degradación y mejoramiento del suelo, fortalecer el secuestro de carbono y conservación de la biodiversidad cambiando el uso y manejo sostenible de la tierra; este documento expone la evaluación del potencial de los recursos de sistemas de producción en los trópicos húmedos para la captura de carbono atmosférico (CO₂); identificar y promover sistemas con potencial para secuestro de C, fue un objetivo que tuvieron en cuenta; de ello resultan claros beneficios de orden social, económico y ambiental. Con dichas acciones pretenden contribuir al establecimiento de guías y procedimientos que apoyen el esfuerzo de los países amazónicos en el contexto de asimilación y evaluación actual del suelo y sus recursos, al igual que el manejo en relación a la mitigación de la pobreza, seguridad alimenticia; dentro de sus jurisdicciones y territorios (Uso & Tierra, n.d.).

(Ministerio de Medio Ambiente, 2010), el decreto 2372 de 2010; el art 15 trata sobre las áreas de recreación, es el espacio geográfico en el cual los paisajes y ecosistemas estratégicos a escala regional, mantienen su función, aunque su composición y estructura se hayan modificado; ya que son potencial de recuperación y con un valor natural y cultural asociado; se disponen a la población para su debida restauración, conocimiento, disfrute y uso sostenible. La delimitación, reserva, declaración; le corresponde a las Corporaciones Autónomas Regionales (CARS) por medio de sus consejos directivos (Ministerio de Medio Ambiente, 2010).

(INCONTEC, 2022), la norma técnica colombiana NTC 5403 Calidad del suelo- Determinación del carbono orgánico, cubre la determinación del contenido de carbono orgánico del suelo en el laboratorio, a través de métodos de oxidación seca y húmeda; además incluye métodos de cuantificación. Estas mediciones se pueden emplear en campos relacionados con agricultura,

medio ambiente y recursos naturales (INCONTEC, 2022). El protocolo (PT-LA-sQ17) esta validado y verificado con esta norma.

6.2. MARCO TEORICO

6.2.1. *Marco espacial*

Este estudio se realizó en el DRMI- Páramo Rabanal del departamento de Boyacá, cuenta con un área de 6,640 Ha de acuerdo con el Acuerdo 4 de 2011 estipulado por Corpochivor; mediante el cual se declara y delimita la región del macizo Rabanal perteneciente a la jurisdicción, ubicada en el municipio de Ventaquemada – veredas Boquerón, Parroquia vieja, Estancia grande y Montoya; siendo esta ultima la de mayor extensión. La delimitación y ubicación del DRMI se evidencia en la siguiente figura.

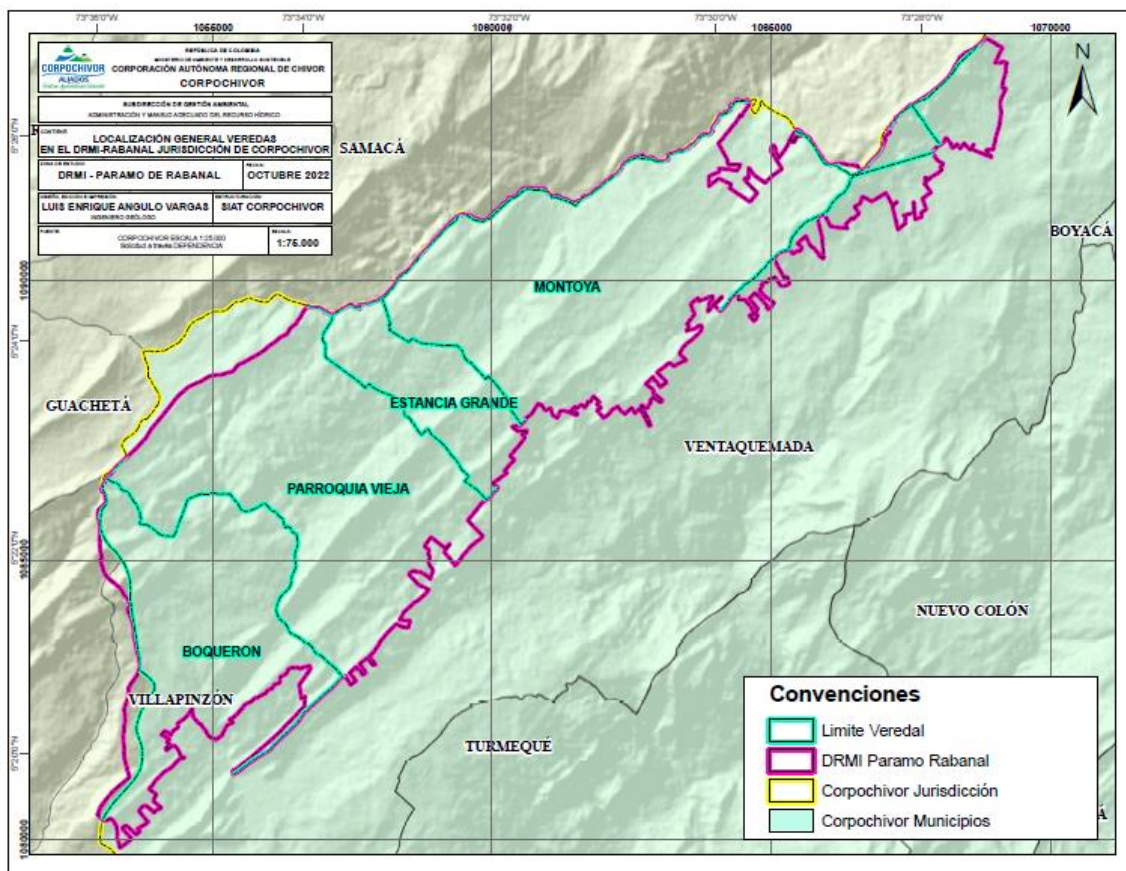


Figura 2. Fuente Corpochivor

6.2.2. Marco conceptual

Ciclo del carbono:

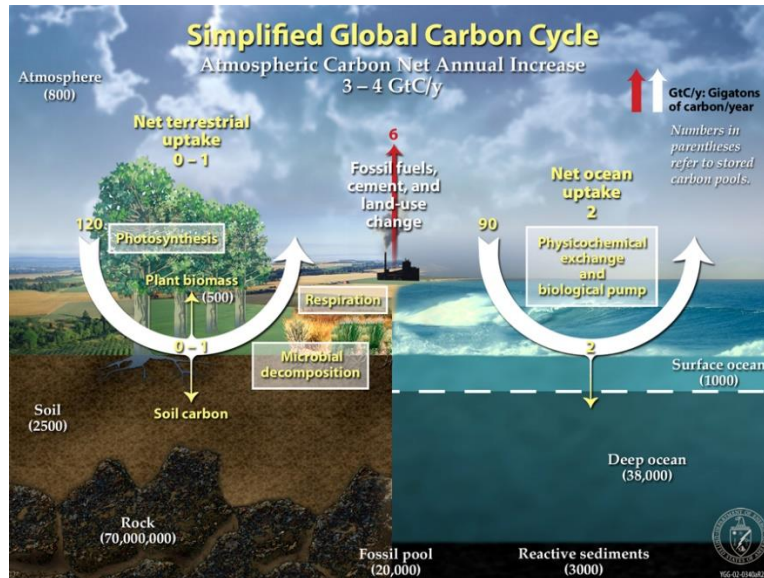


Figura 3. Ciclo del Carbono (*El Ciclo Del Carbono Lento - Vista Al Mar*, n.d.).

Es un ciclo muy importante ya que influye en los procesos circulares de la vida como lo es la fotosíntesis y la respiración. Su funcionamiento se divide en tres etapas: producción, síntesis y fijación. La producción se da mediante los procesos que emiten carbono, la síntesis consiste en el retiro de carbono de la atmósfera y la fijación, consiste en la captura de este; ya sea por la atmósfera, la vegetación, el océano y el suelo; siendo este último el sumidero más grande (*El CICLO DEL CARBONO*, n.d.).

Materia orgánica: Es contribuye en el mejoramiento de la dinámica y biodisponibilidad de los nutrientes de importancia en las plantas; también, es un indicador de la calidad del suelo tanto en funciones agrícolas como en ambientales. Esta es de suma importancia en cuanto a la capacidad de captura de carbono y calidad del aire (Robert, 2002).

Adaptación: Es los esfuerzos direccionados a lograr una mayor resiliencia frente a las

condiciones y fenómenos climáticos sin precedentes (Lefevre, C.; Rekik, F.; Alcantara, V.: Wiese, 2017).

Dióxido de carbono (CO₂) equivalente: Medida métrica que se usa para comparar las emisiones de varios GEI, se basa en el potencial de calentamiento global de cada uno (Quintero, 2011).

Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI): Áreas identificadas para conservación por la autoridad ambiental de la zona, su protección no solo garantiza la conservación de la fuente hídrica sino también la preservación de la biodiversidad que hay en estos suelos (*Acciones En Los Distritos Regionales de Manejo Integrado (DRMI) | AES Colombia, n.d.*).

Gases efecto invernadero (GEI): Componen la atmosfera, se presentan naturales como antropogénicos; estos adsorben o emiten radiación de ciertas longitudes de onda del espectro infrarrojo; se clasifican en directos e indirectos (Benavides, 2007).

Mantillo del suelo: Es la capa de material sobre la superficie del suelo, compuesta por restos de hojas, madera; que van cayendo al suelo.

Muestra compuesta: Consiste en hacer varias tomas de suelo para luego revolverlas y sacar una sola muestra.

Sumidero de carbón: Es una estrategia eficiente para solucionar el problema del cambio climático global (Qiu et al., 2022).

6.2.3. Marco legal

La política para la gestión sostenible del suelo promueve el manejo sostenible del suelo en Colombia, enmarcado en la conservación de la biodiversidad, el agua y el aire; en base a lo anterior, esta política se construyó con la participación de varios actores; con esta política se busca poner en marcha un plan de acción de un horizonte de cumplimiento de 20 años, el cual incluye

seis líneas estratégicas; entre las que se encuentra el monitoreo y seguimiento a la calidad de los suelos, como también la restauración y uso sostenible del suelo (Ministerio de Ambiente, 2016).

En el art 30 del título VI de la ley 99 de 1993, dice que todas las corporaciones autónomas regionales tienen por objetivo la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables (Congreso de la República de Colombia, 1993).

En cuanto al desarrollo de actividades agropecuarias según el art 10 de la ley; dice que se permite su continuación siempre y cuando sean de bajo impacto dentro de las zonas delimitadas del páramo, llevando a cabo buenas prácticas que ayuden en el cumplimiento de los estándares ambientales y defensa de los páramos; dichas actividades deben estar ceñidas por los lineamientos que establezca el ministerio de agricultura, Medio ambiente y desarrollo sostenible (Congreso Colombia, 2018).

7. METODOLOGÍA

- Cuantificar mediante proceso analítico de laboratorio la concentración de CO₂ en los suelos del Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) – Paramo Rabanal, con base en mediciones previas de carbono orgánico.

La cuantificación de analítica en el laboratorio de concentración de CO₂ en los suelos (DRMI) – Paramo Rabanal, se realizó en tres fases:

1. *Trabajo de campo:* teniendo en cuenta que en área del DRMI-Paramo Rabanal, existe tres categorías sobre el conflicto de uso del suelo, siendo estos adecuado, inadecuado y muy inadecuado; adicionalmente en cuanto al tema paisajístico estos tipos de uso están relacionando adecuado con las áreas boscosas conservadas, inadecuado con áreas de potrero dedicadas a la ganadería bovina y muy inadecuado con las áreas de ganadería, agricultura (Gesti & Con, 2018). En cuanto a la agricultura, su actividad está relacionada en su mayoría al cultivo de papa (*Solanum tuberosum*). Con base en lo anterior, se dividió el área de muestreo en tres secciones:

- Bosque conservado
- Áreas dedicadas a la ganadería bovino, específicamente lechería.
- Áreas agrícolas dedicadas al cultivo de papa.

En cada una de las zonas o áreas que se definió para muestrear se tomó 6 muestras compuestas, de las cuales 3 muestras fueron de 0-15 cm de profundidad y las otras 3 de 15-30 cm; para un total de 18 muestras. Para las cuales se utilizó un barreno Edelman según las instrucciones contempladas en el IT-LA-65. La totalidad de las muestras se tomó en superficies con elevaciones superiores a los 2.700 msnm, esta cantidad se considera suficiente dado que según Castañeda-Martín & Montes-Pulido, 2017, después de esta altura tiene unas

características similares en cuanto a transformación de materia orgánica, tipos de suelos y usos.

La densidad aparente es una variable que se usó para la determinación del COS que se dio en unidades de ton/ha; para ello se utilizó el kit de anillos metálicos según el IT-LA-66.



Figura 4. Equipos de muestreo (Fuente propia).



Figura 5. Anillos de densidad aparente (Fuente propia).



Figura 6. Muestreo en área de agricultura (Fuente propia).

2. Pretratamiento de las muestras.

Una vez se realizó la recepción de las 18 muestras, se procedió al pretratamiento; se cortó papel kraf y se extendió 50g de muestra, en una capa no superior a 5 cm; se empleó secado al aire (el área de secado no debe superar los 40 °C y debe estar a la sombra). Se espero un tiempo de secado de 72 h a 96 h, por el alto contenido de materia orgánica fresca.

Luego de secar la muestra, se le realizó una molienda y posteriormente se tamizó; se usó un tamiz de 250 µm, ya que en este caso se usa menos de 2g en el análisis fisicoquímico.



Figura 7. Disposición de muestras en papel kraf para el secado (Fuente propia).



Figura 8. Secado de muestras (Fuente propia).



Figura 9. Tamizado de muestras (Fuente propia).

3. Análisis de las muestras en el laboratorio.

Para la determinación de la concentración de CO₂, se utilizó el método Walkley y Black siguiendo la Norma NTC 5403, por la cual se guía el protocolo (PT-LA-sQ17).

La cuantificación que se usó es colorimetría, por medio del espectrofotómetro UV se leyó en absorbancia el carbono orgánico; este dato se computó junto con la humedad y se obtuvo el dato en %; posteriormente se usó la ecuación (1), para determinar el contenido de carbono orgánico del suelo;

$$COS = CO * DA * E * (1 - (FG/100)) \quad Ec (1)$$

Donde:

COS: Contenido de carbono orgánico del suelo (ton/ha)

CO: Carbono orgánico del suelo (%)

DA: Densidad aparente (g/cm³)

E: Espesor de la capa del suelo (cm)

Fg: Contenido de fragmentos rocosos

En cuanto a la variable de fragmentos rocosos (Fg), según PARRA JAIRO ALBERTO & ORDOÑEZ RODRIGO, 2020; en el horizonte C se encuentran los mayores fragmentos rocosos; por tanto, en la profundidad a la que se tomó la muestra, que en este caso fue de (0 -15 y 15 -30) cm, se ubica en el horizonte A que es rico en materia orgánica ; es por esto que se considera cero esta variable.

Densidad aparente: con las muestras recogidas en campo, usando el kit de anillos metálicos anteriormente mencionado; se sacó cada muestra a una capsula de porcelana, posteriormente se llevó al horno convección por 24 h a 105°C, como lo indica el protocolo de densidad aparente PT-LA-sFO3. Después de este tiempo se ingresó los datos de altura y radio del cilindro al igual que el peso de las muestras después del secado; de este modo se halló la masa seca en gramos. Para calcular la densidad aparente, se usó la ecuación (2); teniendo en cuenta la ecuación (3) para calcular el volumen:

$$D_v = \frac{m}{v} \quad Ec (2)$$

Donde:

$D_v = \text{Densidad aparente } (g/cm^3)$

$m = \text{masa seca } (g)$

$v = \text{volumen } (cm^3)$

$$v = h * r^2 * \pi \quad Ec (3)$$

$h = \text{altura } (cm)$

$r = \text{radio } (cm)$

para convertir de COS a CO₂ (dióxido de carbono equivalente), se calculó dividiendo el peso atómico de una molécula de dióxido de carbono por el peso específico del carbono (44/12); de esta forma es correcto afirmar que 1 tonelada de C equivale a 3,67 toneladas de CO₂ (Quintero, 2011).



Figura 10. Adición de solución extractora (Fuente propia).



Figura 11. Adición de agua a las muestras con solución extractora (Fuente propia).



Figura 12. Muestras envasadas en las celdas espectrofotométricas (Fuente propia).



Figura 13. Lectura en el espectrofotómetro UV (Fuente propia).

De manera adicional se realizó el parámetro de pH, para el cual se tuvo en cuenta el protocolo PT-LA-sQ01 establecido en el laboratorio, donde indica la cantidad de muestra y la relación de la solución para su determinación:

Entonces se peso 10 g de cada una de las muestras de suelo en un vaso de precipitado de 50 ml, que antes se le había realizado un pretratamiento de secado y tamizado con un tamiz de 2 mm. Según el protocolo, la relación de la solución es 1:1; es decir, por cada 10g de muestra de suelo se adicionó 10 ml de agua tipo II; luego con una varilla de vidrio se agitó de 30 s a 1 min hasta que se obtuvo una suspensión homogénea, que se dejó reposar por 30 min.

Pasado el tiempo de reposo se agitó con la varilla de vidrio de nuevo la suspensión, posteriormente se sumergió el electrodo y se midió el pH de la cada muestra.



Figura 14. Pesaje de muestra para pH (Fuente propia).

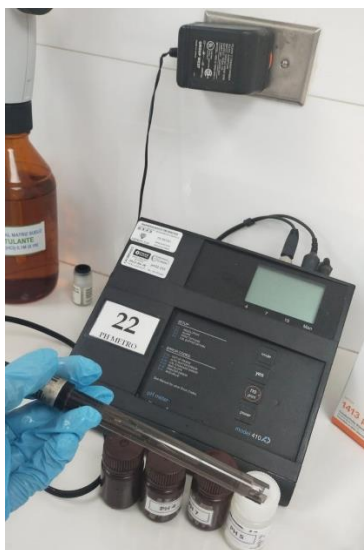


Figura 15. pHmetro Orion (Fuente propia).

- Diagnosticar la capacidad de retención de carbono, analizando el problema de uso de suelo en el DRMI – Paramo Rabanal; usando Sistemas de información geográfica (SIG).

De acuerdo con los resultados que se obtuvieron de concentración de CO₂ capturados en los suelos del DRMI – Paramo Rabanal; se envió al SIG junto con las coordenadas donde se tomó cada muestra, para que generen los correspondientes mapas, con ello se realizó un análisis geográfico y diagnosticar la capacidad de retención de carbono que tiene los suelos del DRMI – Paramo Rabanal, dependiendo del uso que se le está dando.

- Definir alternativas que contribuyan a CORPOCHIVOR en la implementación de acciones para la adaptación o mitigación de los efectos del cambio climático en el DRMI- Paramo Rabanal.

Teniendo en cuenta los resultados se obtuvieron de concentración de CO₂ y el respectivo análisis de mapas entregados por el SIG, se pasó al cumplimiento del tercer objetivo, el cual consistió en definir alternativas que contribuyan a CORPOCHIVOR en la implementación de acciones para la adaptación o mitigación de los efectos del cambio climático en el DRMI- Paramo Rabanal; para ello se analizó las que hay en la actualidad y ver si se están implementando de la forma correcta.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1. DENSIDAD APARENTE

Es un parámetro fundamental que relaciona la masa o peso del suelo en seco y el volumen total, este hace parte de las variables de la ecuación (1) tomada de (Arias Monsalve et al., 2018), mediante la cual se calcula la cantidad de COS.

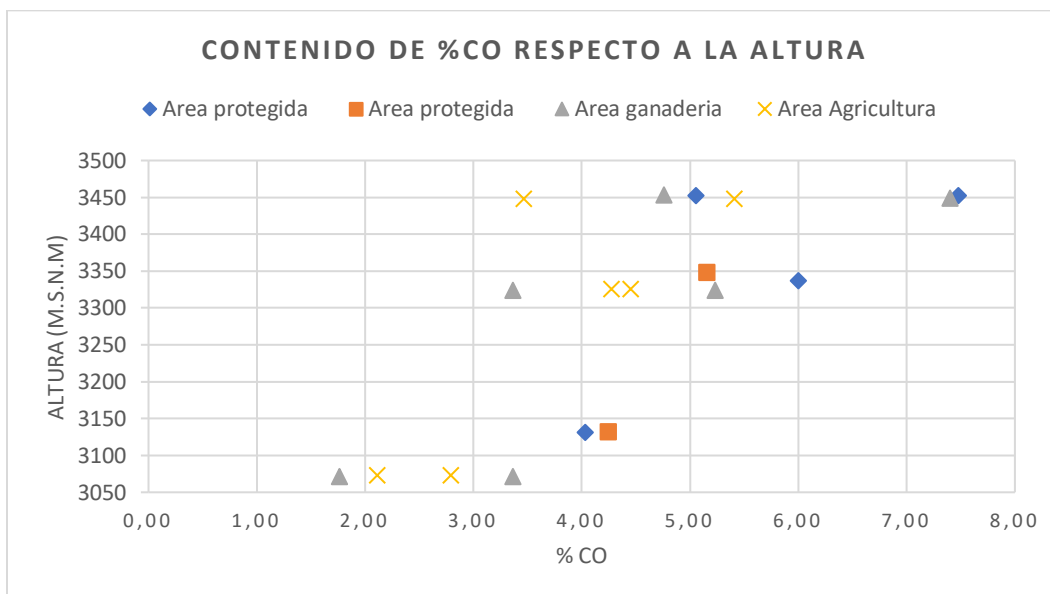
Tabla 1. Análisis de Densidad aparente

Zona de muestreo (ha)	Profundidad (cm)	Densidad Aparente (g/cm ³)			
		Valor mínimo	Valor máximo	Promedio	Desviación estándar
Área protegida	[0 -15]	0,860	1,330	1,097	0,235
	[15 - 30]	0,930	1,510	1,287	0,312
Área ganadería	[0 -15]	0,670	1,610	1,240	0,501
	[15 - 30]	0,690	1,740	1,277	0,536
Área agricultura	[0 -15]	0,630	0,750	0,680	0,062
	[15 - 30]	0,630	0,770	0,677	0,081

Se tuvo en cuenta el promedio y desviación estándar para la normalización de los datos de la densidad aparente.

Según (Estupiñán et al., n.d.)EF, la densidad aparente tiene una relación inversamente proporcional con el espacio poroso; puesto que a mayor DA menor es el espacio poroso al igual que la retención de humedad. De acuerdo con esto, en la tabla 1 se denota que el área de agricultura tiene la menor DA y mayor espacio poroso; mientras que el área protegida y de ganadería en promedio presenta una DA alta, por ende, un menor espacio poroso.

8.2. CARBONO ORGÁNICO % CO

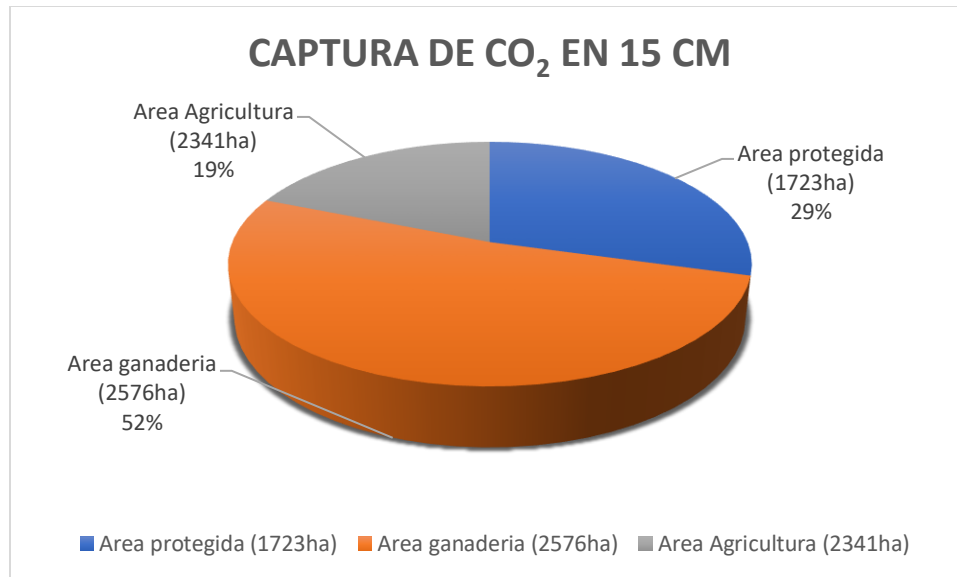


Gráfica 1. Contenido de %CO respecto a la altura.

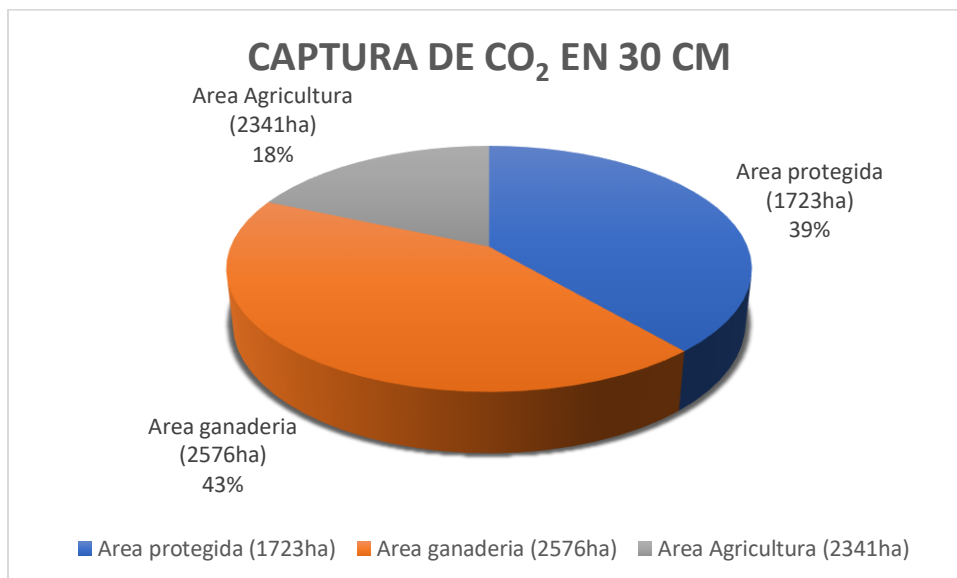
La gráfica 1 contiene información del efecto que tiene la altura sobre la captura de % CO por parte del suelo en el DRMI-Páramo Rabanal; en el que las áreas protegidas se encuentran a una altura superior a los 3.000 msnm. Para el muestreo realizado, los resultados fueron satisfactorios en cuanto al contenido de Carbono Orgánico (CO) en los ecosistemas protegidos, de acuerdo con la tabla de clasificación del contenido de materia orgánica propuesta por (Giovana & Caro, 2014), cuatro de las muestras compuestas obtenidas se encuentran en niveles **ALTOS**, las dos restantes, que pertenecen a las de menos altura, se encuentran en nivel **MEDIO**. En el caso de las áreas dedicadas a la agricultura los contenidos de CO se encuentran en el nivel **MEDIO**, a excepción de las muestras más cercanas al nivel del mar, las cuales tienen un contenido de CO **BAJO**. El caso de la ganadería difiere de los resultados esperados, pues, los contenidos de MO son similares a los de las áreas conservadas, lo cual está relacionado con las altas aplicaciones de materia orgánica adicional sin descomponer,

que frecuentemente utilizan los agricultores de la región, conjugado con el posterior periodo de reposo de los potreros que se utilizaron para actividades de cultivo.

8.3. CAPTURA DE CO₂

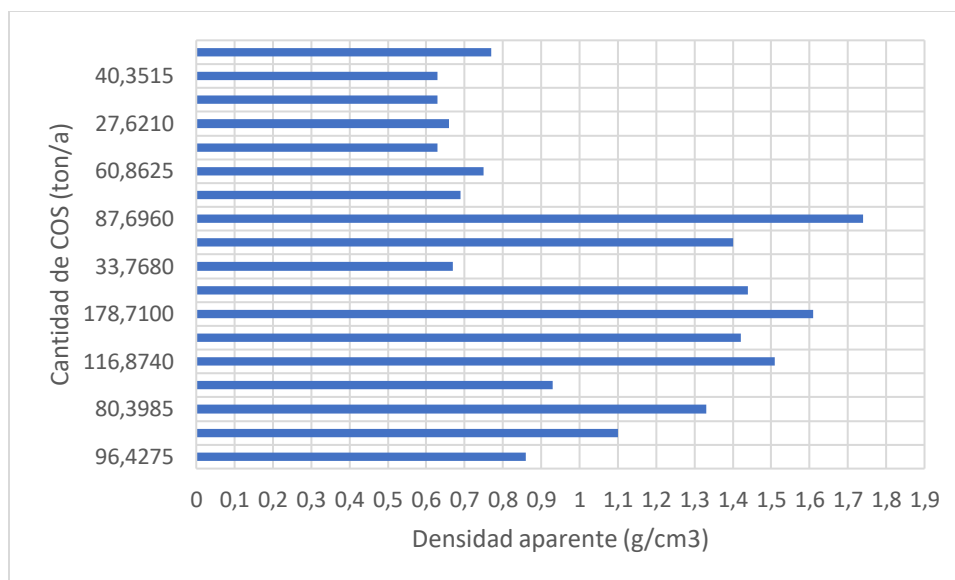


Gráfica 2. Captura de CO₂ en 15 cm



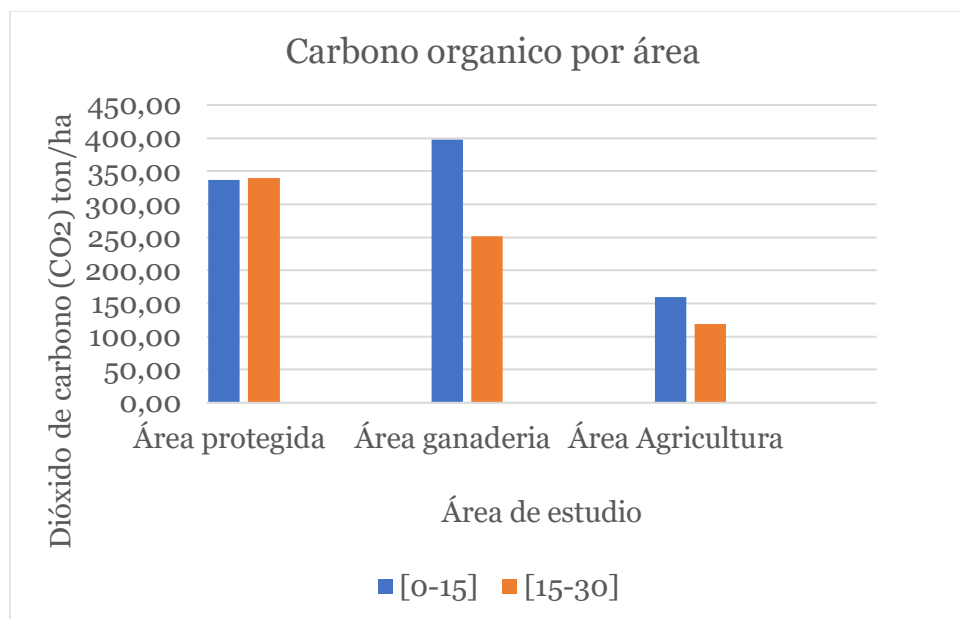
Gráfica 3. Captura de CO₂ en 30 cm

De acuerdo con las gráficas 2 y 3, se puede evidenciar una diferencia porcentual importante entre las profundidades tomadas (de 0 a 15 cm y de 15 a 30 cm), en el caso de los sistemas conservados es 29 y 39 % respectivamente, para el sistema dedicado a la agricultura 19 y 18% y para el sistema de ganadería de 52 y 43 %, como se observa en la gráfica 2 y 3, esto concuerda con el documento de la FAO (Lefevre, C.; Rekik, F.; Alcantara, V.: Wiese, 2017), donde se contextualiza que el ciclo y en las capas superficiales del suelo es más activo el secuestro de carbono, de ahí el hecho de muestrear en los primeros 30 cm. Se considera normal la escasa diferencia que existe en el sistema de paramo protegido debido a que son suelos poco alterados, sin embargo, en cuanto a las áreas dedicadas a la actividad pecuaria, este contraste puede estar relacionado con el aporte de las heces de la ganadería bovina depositadas por los animales en las capas superiores del suelo durante épocas de pastoreo, pues, según (Martínez et al., n.d.), un animal adulto puede aportar cerca de 20.200 kilogramos de estiércol los cuales contienen 68 gr/kg de materia orgánica, lo que significa cerca de 1,37 toneladas de materia orgánica por bovino en una hectárea aplicada directamente a la capa más superficial del suelo característica que se mantiene debido al establecimiento de nuevas pasturas que garantizan la conservación de dichos depósitos.



Gráfica 4. Relación entre Cantidad de COS y Densidad aparente

Como se puede evidenciar en la gráfica 4, los contenidos de Carbono Orgánico del Suelo (COS) están directamente relacionados con la densidad del suelo, en el páramo rabanal estos niveles contrastan entre los bosques conservados y las áreas dedicadas a la ganadería, en el primer caso el promedio estuvo en 91,942 ton/ha para la profundidad de 0 a 15 cm y de 92,62 ton/ha lo que según los parámetros establecidos por Vela et al., 2009, los ubica en áreas con contenido MEDIO de COS, para el caso de la ganadería el promedio para esta misma profundidad está en 108,482 ton/ha dato que los ubica en suelos con contenido de COS ALTO, situación relacionada con la alta densidad de estos suelos en las capas superficiales debido la compactación que genera el pisoteo del ganado bovino. La situación de los suelos dedicados a la agricultura, especialmente al cultivo de papa, se torna preocupante, debido al BAJO contenido de COS, ya que el promedio en la capa de 0 a 15 cm es de 43,51 ton/ha, esta situación se relaciona con la baja densidad del suelo causada por la mecanización agrícola, en especial el arado de disco que busca suelos más sueltos para mejorar la producción de tubérculos.



Gráfica 5. Captura de CO₂ por área.

De acuerdo con la gráfica 5, la captura de CO₂ en el páramo rabanal se estima de acuerdo con la concentración de COS, en los sistemas de bosque conservado y ganadería los valores por hectárea son de 337,12 y 397,77 ton/ha respectivamente, a pesar de que se calcula una mayor concentración de CO₂ en los suelos de ganadería, se debe tener en cuenta que en estas áreas no coexiste cobertura boscosa que ayude a la retención de carbono. Adicionalmente se deben considerar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) generadas por la fermentación entérica en la producción de ganadería bovina. En cuanto a la agricultura el panorama se torna aún más preocupante debido a que sus contenidos de CO₂ son de 159,54 ton/ha a una profundidad de 0 a 15 cm, es decir 50 % menores a los de los otros sistemas, esto aunado a la continua extracción de los productos de actividad de cosecha, incrementan la problemática cultivo tras cultivo.

8.4. CAPTURA DE CO₂

La figura 14 muestra la distribución del muestreo realizado, dejando ver las áreas de estudio.

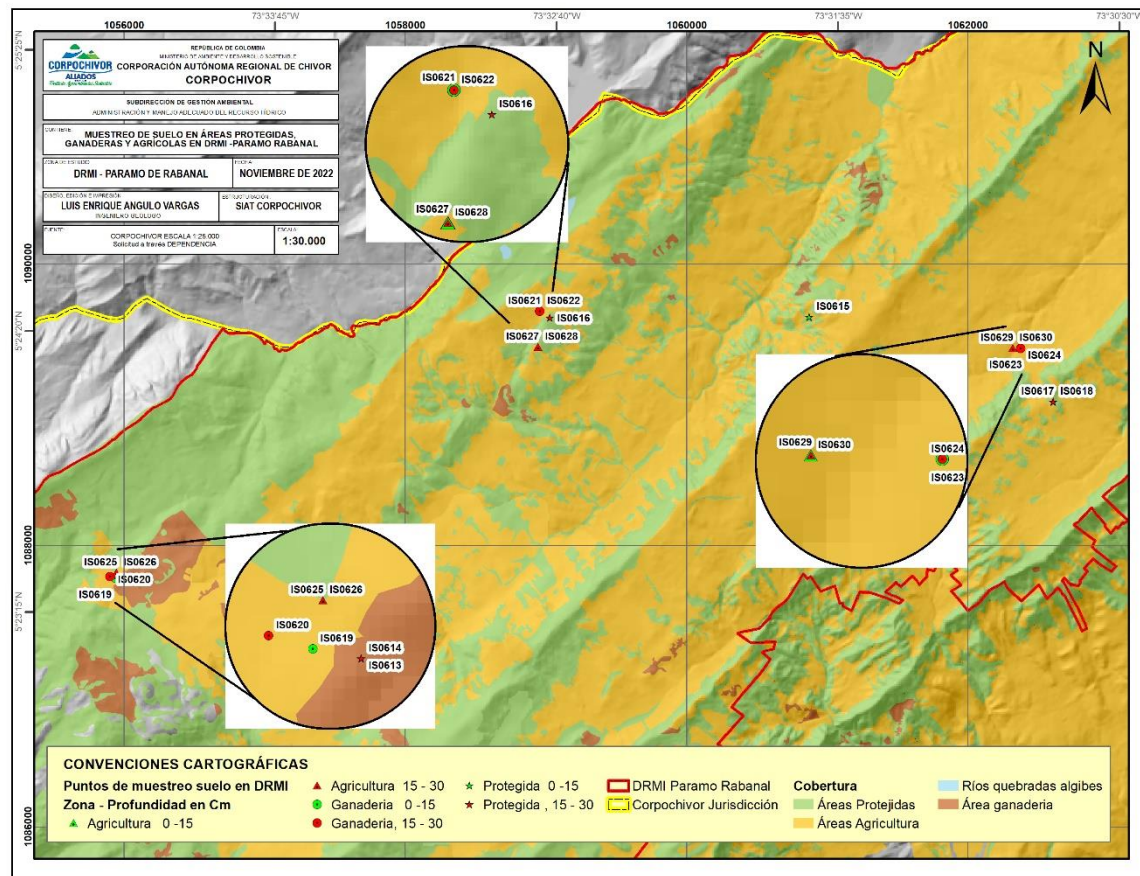


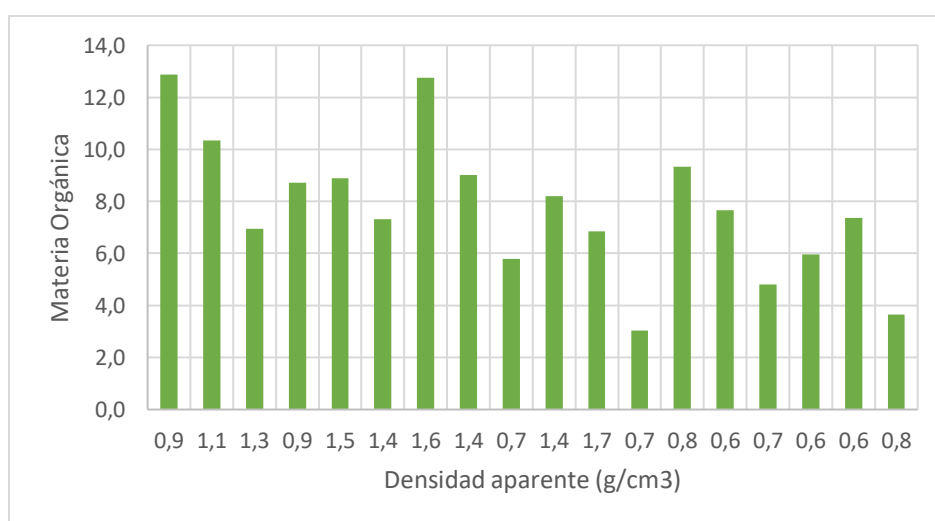
Figura 16. Puntos de muestreo en el DRMI-Páramo Rabanal (Fuente Corpochivor).

De acuerdo con los resultados de CO₂ obtenidos anteriormente, se hizo una extrapolación por área muestreada, de este modo determinar la cantidad de CO₂ en ton/ha está reteniendo cada una de las zonas; datos que se evidencian en la tabla 2:

Tabla 2. Extrapolación de CO₂ por cada área.

Área muestreo	CO ₂ (ton/ha)	Área (ha)	Extrapolación de CO ₂ (ton/ha)	Extrapolación de CO ₂ conjunta (ton/ha)
Área protegida	337,12	1723	580.858,91	1.165.972,77
	339,59		585.113,86	
Área ganadería	397,77	2576	1.024.648,65	1.672.825,21
	251,62		648.176,55	
Área agricultura	159,54	2341	373.492,50	652.229,91
	119,07		278.737,41	

Anteriormente se habló sobre las causas de la captura de CO₂ en las tres áreas muestreadas; añadido a ello, cabe mencionar que el tipo de suelo del DRMI-Páramo Rabanal, es en su mayoría Andisol o andosol; como lo demuestra la figura 15, según (Casabuenas Poveda Liliana H. , Prieto Jimmy, n.d.); este tipo de suelo se caracteriza por su alto contenido de materia orgánica y alta porosidad. Lo que concuerda con los resultados de materia orgánica del estudio realizado; ya que cuanto menor es la densidad aparente mayor es la cantidad de MO, por ende, hay mayor fijación de CO₂. Como nota en la gráfica 6:



Gráfica 6. Relación entre MO y DA.

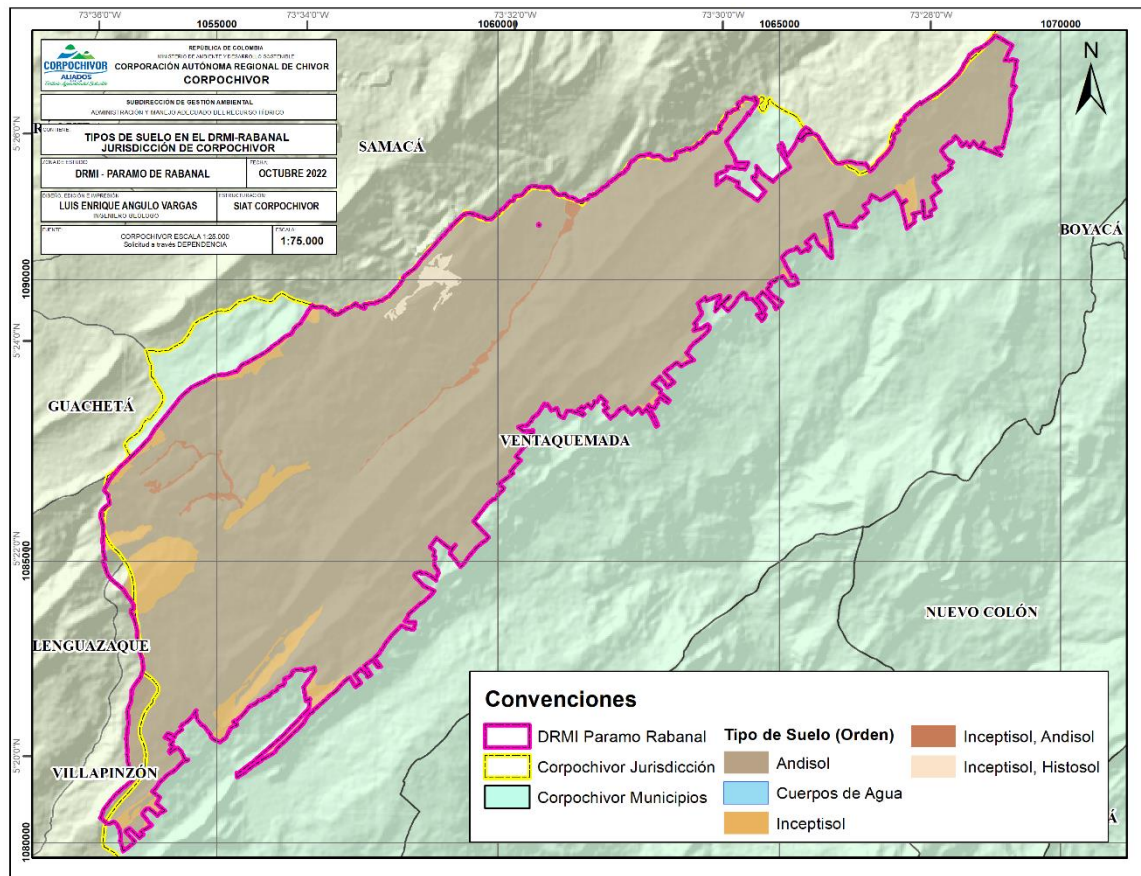
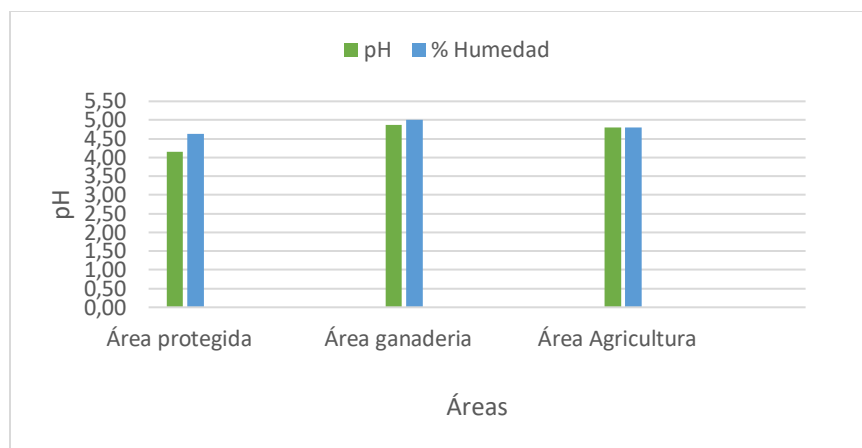


Figura 17. Tipo de suelo del DRMI- Páramo Rabanal (Fuente Corpochivor).

8.5. pH

El pH es una característica importante para el suelo de páramos puesto que es un indicador de fertilidad; por lo general el pH de páramo es de ácido, es decir; por debajo de 5.5.



Gráfica 7. pH por área a diferente profundidad (Fuente propia).

En la grafica 7, se puede evidenciar el pH de las diferentes áreas muestreadas; en cuanto a la agricultura el pH no es apto para cultivar, es por esto que adicionan Cal al suelo durante la preparación del mismo para neutralizar la acidez; sin embargo, el uso de este acondicionador para cultivos trae consigo consecuencias como secado del suelo que a su vez reduce drásticamente la humedad del suelo.

En la tabla 3, se evidencia la variación del % de humedad respecto al pH; en cada zona muestreada; lo que sustenta el análisis anterior.

Tabla 3. Variación de % de humedad respecto a pH (Fuente propia).

Zona de muestreo (ha)	Profundidad (cm)		
		pH	% Humedad
Área protegida	[0 -15]	4,2	18,67
	[15 - 30]	4,6	21,05
Área ganadería	[0 -15]	4,9	14,95
	[15 - 30]	5,0	19,74
Área agricultura	[0 -15]	4,8	16,39
	[15 - 30]	4,8	15,97

8.6. ALTERNATIVAS PARA LA ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMATICO EN EL DRMI-PÁRAMO RABANAL

- El uso de fertilizantes en el cultivo papa (*Solanum tuberosum*) ha sido un factor importante en el creciente nivel de erosión del suelo; hecho que afecta en la pérdida de fertilidad del suelo, al mismo tiempo que ocurre la degradación del mismo; lo que va convirtiendo al suelo en inadecuado para la actividad agrícola. La erosión no solo afecta la agricultura, sino que también causa daños como el deterioro de la fauna, pérdida de biodiversidad que provoca desequilibrio del ecosistema. Una alternativa que puede ayudar a disminuir este efecto en relación con la ejecución de la agricultura; es incentivar a los agricultores en el uso de fertilizantes orgánicos, por ejemplo, el humus de lombriz (*vermicompost*) que se obtiene por digestión natural de las lombrices (en especial la californiana); el cual tiene un efecto homeostático que proporciona defensas al suelo frente a bacterias y fungicidas que representan peligro para las plantas, gracias a su moderación en los cambios de acidez del suelo. Según la investigación hecha por Kumar et al., 2020, sobre el efecto de este biofertilizante sobre la papa (*Solanum tuberosum*) en cuanto al crecimiento y rendimiento; el cual se planteó mediante un diseño al azar de bloques con el fin de evaluar varios parámetros como altura de la planta, número de brotes, diámetro del tubérculo entre otros; de la cual dio como resultado altos valores en número de tubérculos y buen rendimiento. Sumado a esto, ayuda al suelo en la desintoxicación de residuos que han ido dejando productos químicos al mismo tiempo que mejora las condiciones del mismo.
- Eventualmente aun se utiliza la técnica de monocultivo en la agricultura, que se caracteriza por plantación de áreas extensas de cultivo con una misma forma de riego, fertilización y cosecha; lo que resulta ser una alternativa viable a nivel económico, pero acarrea consigo afectaciones a los ecosistemas de los alrededores, sumado a esto la constante recolección

de cultivos no dejan descansar el suelo; con el paso de los años esto a desencadenado un incremento en infertilidad y erosión del suelo. Este tipo de prácticas se podrían ir reemplazando de a poco por unas más sostenibles como lo es los **cultivos rotativos**, consiste uno de los principios que conforma la Agricultura de Conservación (AC) (FAO, 2022), este se desarrolla siembras de distintos cultivos en una misma área; llevando un orden definido, para reducir la oleada de plagas y enfermedades.

- Otra alternativa, es incursionar la biotecnología que permitan recuperar los suelos erosionados, como por ejemplo la biorremediación de suelos Sravya & Sangeetha, 2022; esta técnica consiste en utilizar especies de microbios como bacterias, algas; que se consumen los contaminantes del suelo como parte de su alimentación y de este modo contribuyen a la reducción de la contaminación. Este tipo de procesos contribuyen a la degradación de sustancias químicas en su mayoría tóxicas, de este modo se posiciona como una potencial estrategia en limpieza ecológica.
- Reducir la deforestación y degradación de los bosques resulta ser una acción rentable de gran impacto frente a la problemática de emisión de GEI, ya que los bosques conservados o áreas protegidas juegan un papel importante en la mitigación de cambio climático, ya que capturan CO₂ presente en la atmósfera para fijarlo en la biomasa y suelo.
- Respecto a la actividad ganadera, una alternativa amigable con el suelo y que esta en auge son los sistemas silvopastoriles intensivos, técnica que busca reemplazar el convencional pastoreo intensivo ya que traen beneficio al suelo como protección del agua, aumento de la cobertura vegetal. Según Murgueitio et al., 2014 los sistemas silvopastoriles aparte de mejorar la producción de carne hace que el suelo capture mas ton de CO₂, siendo cerca de 11,896 ton al mismo tiempo se emite menos CH₄. Otros factores importantes a resaltar es que se necesita menos área para la producción de carne y leche al año, también

contribuyen en la acumulación de materia orgánica en el suelo. La plantación de árboles se puede con especies maderables nativas, factor que ayudaría a la reforestación.

9. CONCLUSIONES

- Se evidencio la degradación de los suelos del DRMI-Páramo rabanal intervenido en un 74 % por actividades agrícolas y pecuarias; siendo causada en parte por el masivo uso de fertilizantes químicos a lo largo de muchos años.
- La retención de COS es mayor en suelos dedicados a la ganadería sin embargo estos han perdido su cobertura boscosa, factor que provoca gran pérdida de este y el uso actual del suelo no corresponde con el uso adecuado; es por esto es necesario cambio del pastoreo intensivo por un sistema pastoril más amigable con el ambiente, pero sin dejar de ser rentable.
- La agricultura tiene perdidas de CO₂ superiores al 50%, debido a la extracción de materia orgánica en forma de alimentos y su alto espacio poroso, el cual se presenta cuando la densidad aparente es menor; siendo más propenso a sufrir lixiviación; a razón de ello se podría evaluar con más importancia el cambio de técnica de cultivo y su manera de desarrollarse.
- La falta de orientación acerca de los problemas que pueden causar ciertas técnicas ya sea de uso agrícola o ganadero, también puede ser uno de los factores por los cuales se están presentando año tras año la deficiencia de los suelos.

10. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar más actividades de educación ambiental a lo largo del territorio del DRMI-Páramo Rabanal, con el fin de incentivar al mejoramiento de las actividades sobre todo en la parte de agricultura.
- Se recomienda replicar este estudio en los demás DRMI que hacen parte de la Jurisdicción de Corpochivor, para tener el estimado de la capacidad de retención de CO₂ y con ello ver la importancia de preservar o recuperar los suelos, para contribuir a la mitigación y adaptación del cambio climático e incrementar el interés en conservar áreas protegidas que presten servicios ecosistémicos.
- Se recomienda un estudio al sistema agrícola frente al nivel de producción en los últimos años, para evaluar que tan eficiente o deficiente ha resultado el uso de fertilizantes; no solo en cuanto a la calidad y cantidad de producción de papa sino también en el estado del suelo.
- Se recomienda orientar y capacitar mejor a las personas directamente involucradas en las actividades que están presentando estos conflictos de uso del suelo; para darles a conocer mas de cerca las deficiencias que sufre el componente suelo ha raíz de un mal manejo, que puede no ser intencional sino por falta de información y acompañamiento la realización de sus proyectos.

11. REFERENCIAS

- Acciones en los Distritos Regionales de Manejo Integrado (DRMI) | AES Colombia.* (n.d.). Retrieved September 11, 2022, from <https://www.aescol.com/es/acciones-en-los-distritos-regionales-de-manejo-integrado-drmi>
- Arias Monsalve, A. F., Agustín Chávez, A., Fernández, C. J., Querubín Gonzales, D. J., Arias Burgos, I., Gutiérrez, J. S., Molina Acosta, J. S., Camacho, L. C., Robayo Rocha, L. J., Hernández, R., Caguasango Eraso, S. M., Moreno Torres, Y. M., & Camacho Hilarión, C. A. (2018). Identificación de la hoja de ruta y procedimientos para la estimación del contenido de carbono orgánico en suelos de páramos y humedales. *Instituto de Investigacion de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*, 149. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/34980#.XiuSQP-QxDw.mendeley>
- Benavides, H. O. (2007). Información técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el cambio climático. *Ideam*, 1–102. <https://doi.org/IDEAM-METEO/008-2007>
- Casabuenas Poveda Liliana H. , Prieto Jimmy, E. L. (n.d.). *Efecto de la quema sobre algunas propiedades fisico-químicas del suelo en el Páramo Rabanal, Samacá - Boyacá*. Mayo 24 de 2006.
- Castañeda-Martín, A. E., & Montes-Pulido, C. R. (2017). Carbono almacenado en páramo andino. *Entramado*, 13(1), 210–221. <https://doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25112>
- Chaverri-Polini, A. (n.d.). *Las montañas, la diversidad biológica y su conservación*. Retrieved October 31, 2022, from <https://www.fao.org/3/w9300s/w9300s09.htm#TopOfPage>
- Congreso Colombia. (2018). Ley 1930 de 2018. *Congreso, 1930*, 5. http://www.andi.com.co/Uploads/Ley-2018-No001930_20180727.pdf

Congreso de la República de Colombia. (1993). Ley 99 de 1993. *Diario Oficial*, 1993(diciembre 22), 59.

Corporación Autónoma Regional de Chivor (CORPOCHIVOR). (2018). *Plan de manejo ambiental del Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) Páramo Rabanal. Componente diagnostico*. 1–91. <http://fauna.corpochivor.gov.co/wp-content/uploads/2016/04/PMA-rabanal-Componente-Diagóstico.pdf>

El CICLO DEL CARBONO. (n.d.). Retrieved November 23, 2022, from <https://www.ecologiaverde.com/el-ciclo-del-carbono-que-es-como-funciona-y-su-importancia-2999.html>

El ciclo del carbono lento - Vista al Mar. (n.d.). Retrieved November 23, 2022, from <https://www.vistaalmar.es/medio-ambiente/cambio-climatico/1810-ciclo-carbono-lento.html>

Estupiñán, A. C., Estupiñán, L. H., Gómez, J. E., Barrantes, V. J., & Limas, L. F. (n.d.). *CUNDINAMARCA-COLOMBIA) EFFECT CAUSED BY AGRICULTURAL ACTIVITIES ON SOIL CHARACTERISTICS IN THE PARAMO EL GRANIZO (CUNDINAMARCA-COLOMBIA*.

FAO. (n.d.). *5 razones por las que el suelo es clave para el futuro sostenible del planeta | Objetivos de Desarrollo Sostenible | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. 09 de Febrero de 2015. Retrieved November 1, 2022, from <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/news/detail-news/es/c/277124/>

FAO. (2022a). *La rotación de cultivos, importante para combatir el hambre en el mundo | FAO*. <https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/415583/>

FAO. (2022b). *Secuestro de Carbono en el Suelo | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <https://www.fao.org/soils->

portal/soil-management/secuestro-de-carbono-en-el-suelo/es/

FAO, (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2015). *Los suelos ayudan a combatir y adaptarse al cambio climático Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. 1–4. http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/soils-2015/docs/Fact_sheets/Es_IYS_ClCng_Print.pdf

Gesti, D. E., & Con, A. C. (2018). *Componente de ordenamiento*. 1–25.

Giovana, E., & Caro, R. (2014). *Provincia del Sumapaz*.

Heath, J., Ayres, E., Possell, M., Bardgett, R. D., Black, H. I. J., Grant, H., Ineson, P., & Kerstiens, G. (2005). Atmospheric science: Rising atmospheric CO₂ reduces sequestration of root-derived soil carbon. *Science*, 309(5741), 1711–1713. <https://doi.org/10.1126/science.1110700>

INCONTEC. (2022). *Calidad del suelo. determinación del carbono orgánico*. <https://tienda.icontec.org/gp-calidad-del-suelo-determinacion-del-carbono-organico-ntc5403-2021.html>

Kumar, V., Singh, J., Maniharan, R., Pradesh, U., & Author, C. (2020). Effect of vermicompost and phosphate solubilizing bacteria on growth and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(4), 1454–1456. <https://www.phytojournal.com/archives/2020.v9.i4.11957/effect-of-vermicompost-and-phosphate-solubilizing-bacteria-on-growth-and-yield-of-potato-solanum-tuberosum-l>

Lefevre, C.; Rekik, F.; Alcantara, V.; Wiese, L. (2017). *Potencial Oculto*. <http://www.fao.org/3/b-i6937s.pdf>

Martinez, L. I., Agrónomo ^tr ^, I., De, J. M., Pesca, A., & Alimenta^ion, Y. (n.d.). *EL ESTIERCOL Y LAS PRACTICAS AGRARIAS RESPETUOSAS CON EL MEDIO AMBIENTE*.

Ministerio de Ambiente. (2016). Política para la Gestión Sostenible del Suelo. In *Política para la*

Gestión Sostenible del Suelo.

http://www.andi.com.co/Uploads/Política_para_la_gestión_sostenible_del_suelo_FINAL.pdf

Ministerio de Medio Ambiente, V. y D. S. (2010). Decreto 2372 de 2010. *Diario Oficial No. 47.757*, 23.

http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec_2372_2010.pdf

Murgueitio, E. R., Chará, J. O., Barahona, R. R., Cuartas, C. C., & Naranjo, J. R. (2014). Los Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPI), herramienta de mitigación y adaptación al cambio climatic. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(3), 501–507.

PARRA JAIRO ALBERTO & ORDOÑEZ RODRIGO. (2020). *Estimación De La Captura De Co2 En Los Suelos Del Páramo La Cortadera, Boyacá Colombia*. 179. <https://ciencia.lasalle.edu.co/optometria%oACitación>

Qiu, S., Yu, Q., Niu, T., Fang, M., Guo, H., Liu, H., Li, S., & Zhang, J. (2022). Restoration and renewal of ecological spatial network in mining cities for the purpose of enhancing carbon Sinks: The case of Xuzhou, China. *Ecological Indicators*, 143. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2022.109313>

Quintero, A. P. Y. (2011). Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia. In Á. J. D. Montoya, A. P. Y. Quintero, D. A. N. Encinales, & J. F. P. Bernal (Eds.), *IDEAM*.

Robert, M. (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Informe sobre recursos mundiales de suelos No. 96. In *Fao*. http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=OKZt9agfRksC&oi=fnd&pg=PR3&dq=CAPTURA+DE+CARBONO+EN+LOS+SUELOS+PARA+UN+MEJOR+MANEJO+DE+LA+TIERRA&ots=5xOjDqvtWf&sig=c9-6h5Q4W_qUoxBHudD4IqchYyc

- Silva-parra, A. (2018). *ModelacionDeLosStocksDeCarbonoDelSueloYLasEmisione-7051759*. 22(2).
- Sravya, K., & Sangeetha, S. (2022). Feasibility study on bioremediation techniques to contaminated soils. *Materials Today: Proceedings*, 51, 2556–2560.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.364>
- Uso, S. D. E., & Tierra, D. E. L. A. (n.d.). *Sistemas de uso de la tierra en los trópicos húmedos y la emisión y secuestro de co 2*.