



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE QUÍMICA

**RESPIRACIÓN EDÁFICA EN LA ZONA SUR ORIENTL DE LA
SUBCUENCA DEL RIO CHAMBO.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar al grado académico de:

QUÍMICO

AUTORES: JEFFERSON RAMIRO BAUTISTA JIMÉNEZ

SHIRLEY MARISOL LEMA LEMA

DIRECTORA: Dra. MAGDY MILENI ECHEVERRIA GUADALUPE PhD

Riobamba-Ecuador

2021

©2021, Bautista Jiménez Jefferson Ramiro & Lema Lema Shirley Marisol.

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

Nosotros, Jefferson Ramiro Bautista Jiménez y Shirley Marisol Lema Lema, declaramos que el presente trabajo de integración curricular 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 autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 10, Agosto 2021.



Jefferson Ramiro Bautista Jiménez

CI: 0503802019



Shirley Marisol Lema Lema

CI: 0605216779

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE QUÍMICA

El Tribunal del trabajo de integración curricular certifica que: El trabajo de integración curricular: Tipo: Proyecto de Investigación, **RESPIRACIÓN EDÁFICA EN LA ZONA SUR ORIENTAL DE LA SUBCUENCA DEL RIO CHAMBO**, realizado por el señor **JEFFERSON RAMIRO BAUTISTA JIMÉNEZ** y la señorita **SHIRLEY MARISOL LEMA LEMA**, 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
Mgs. Sofía Carolina Godoy Ponce PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: SOFIA CAROLINA GODOY PONCE	<u>10/08/2021</u>
PhD. Magdy Mileni Echeverría Guadalupe DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 Firmado electrónicamente por: MAGDY MILENI ECHEVERRIA GUADALUPE	<u>10/08/2021</u>
Ing. Norma Soledad Erazo Sandoval MIEMBRO DE TRIBUNAL	NORMA SOLEDAD ERAZO SANDOVAL Firmado digitalmente por NORMA SOLEDAD ERAZO SANDOVAL Fecha: 2021.08.11 18:45:41 -05'00'	<u>10/08/2021</u>

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
1.1. Antecedentes.....	5
<i>1.1.1. Bases Teóricas.....</i>	<i>8</i>
<i>1.1.1.1. Efecto Invernadero.....</i>	<i>8</i>
<i>1.1.2. Gases de Efecto Invernadero (GEI).....</i>	<i>8</i>
<i>1.1.2.1. GEI Indirectos.....</i>	<i>9</i>
<i>1.1.2.2. GEI Directos.....</i>	<i>9</i>
<i>1.1.3. El CO₂ como GEI.....</i>	<i>10</i>
1.2. Calentamiento global.....	11
<i>1.2.1. Calentamiento global en America Latina.....</i>	<i>11</i>
<i>1.2.2. Calentamiento global en Ecuador.....</i>	<i>11</i>
<i>1.2.2.1. Emisiones de CO₂ en el Ecuador.....</i>	<i>11</i>

1.2.2.2. <i>Consecuencias del calentamiento global en Ecuador</i>	11
1.3. Páramos del Ecuador	12
1.3.1. <i>Ecosistemas de Páramo</i>	12
1.3.2. <i>Suelo de Páramo</i>	13
1.3.3. <i>Páramos Ecuatorianos</i>	13
1.3.3.1. <i>Páramos de Chimborazo</i>	14
1.3.3.2. <i>Sub Cuenca del Rio Chambo</i>	14
1.3.3.3. <i>Zona sur oriental de la sub cuenca del Rio Chambo</i>	14
1.3.3.4. <i>Captura de CO₂</i>	14
1.4. Propiedades físico-químicas del suelo	15
1.4.1. <i>Propiedades Físicas</i>	15
1.4.1.1. <i>Densidad Aparente</i>	15
1.4.1.2. <i>Densidad Real</i>	15
1.4.1.3. <i>Textura</i>	16
1.4.1.4. <i>Color</i>	16
1.4.2. <i>Propiedades Químicas</i>	16
1.4.2.1. <i>Conductividad Eléctrica</i>	16
1.4.2.2. <i>pH</i>	16
1.5. Respiración edáfica	17
1.5.1. <i>Factores que afectan la respiración del suelo</i>	17
1.5.1.1. <i>Temperatura</i>	17
1.5.1.2. <i>Crecimiento de cultivos</i>	18
1.5.1.3. <i>Estado Mineral (Litología)</i>	18

1.5.1.4. <i>Humedad</i>	19
1.5.1.5. <i>pH</i>	19
1.5.2. <i>Cuantificación de la respiración edáfica.</i>	19
1.5.2.1. <i>Titulación Química</i>	20
1.5.2.2. <i>Método de Cámara Cerrada</i>	20
1.6. Bases Conceptuales	20
1.6.1. <i>Páramo alto Andino</i>	20
1.6.2. <i>Litología</i>	20
1.6.3. <i>Altitud</i>	20
1.6.4. <i>Respiración Edáfica Heterótrofa microbiana</i>	21
1.6.5. <i>Efecto invernadero</i>	21
1.6.6. <i>Calentamiento Global</i>	21
1.6.7. <i>Suelo de páramo</i>	21
 CAPÍTULO II	
2. MARCO METODÓLIGO	22
2.1. Lugar de estudio	22
2.1.1. <i>Ubicación</i>	22
2.1.2. <i>Limites</i>	22
2.1.3. <i>Altitud</i>	23
2.1.4. <i>Condiciones climáticas</i>	23
2.2. Tipo de Investigación	23
2.3. Diseño de la investigación	24
2.4. Hipótesis	24

2.4.1.	<i>Hipótesis nula</i>	24
2.4.2.	<i>Hipótesis alternativa</i>	24
2.5.	Variables	24
2.5.1.	<i>Variable dependiente</i>	24
2.5.2.	<i>Variable independiente</i>	24
2.6.	Técnicas de recolección de datos	24
2.7.	Unidad de Análisis	24
2.8.	Población de estudio	25
2.9.	Tamaño de muestra	25
2.9.1.	<i>Selección de la muestra (número de conglomerados por estrato)</i>	26
2.10.	Diseño experimental	26
2.11.	Fase de Campo	29
2.11.1.	<i>Identificación del uso del Suelo</i>	29
2.11.2.	<i>Diseño de muestreo</i>	29
2.11.3.	<i>Método para la cuantificación de la respiración edáfica</i>	30
2.12.	Fase de Laboratorio	31
2.12.1.	<i>Preparación de reactivos</i>	31
2.12.2.	<i>Cuantificación de la respiración edáfica</i>	33
 CAPÍTULO III		
3.	MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	38
3.1.	Análisis Estadístico e interpretación de los resultados de la respiración edáfica de los suelos de la Zona Sur Oriental de la Subcuenca de río Chambo	38
3.1.1.	<i>Análisis de Varianza (ANOVA)</i>	39

<i>3.1.2. Validación de Supuestos</i>	39
<i>3.1.3. Graficas de efectos principales</i>	42
<i>3.1.4. Gráficas de efectos de interacción activos</i>	46
<i>3.1.5. Comparación en los diferentes cultivos de las zonas intervenidas</i>	47
<i>3.1.6. Comparación entre zonas intervenidas con pinos, pastos y la zona no intervenida</i>	50
CONCLUSIONES	52
RECOMENDACIONES	53
GLOSARIO	
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Evolución de las emisiones totales de gases de efecto invernadero por tipo de gas y año	9
Tabla 2-1. Valores generalizados para la retención de humedad a 0.3 y 15 bar, según la clase de textura para diferentes suelos.	16
Tabla 1-2. Tamaños muestrales por estrato (litología).....	26
Tabla 2-2. Factores y niveles de estudio.....	27
Tabla 3-2. Diseño experimental factorial mixto aplicado.	27
Tabla 1-3. Resultados de la prueba de anderson darling a los datos de respiración edáfica.....	38
Tabla 2-3. Resumen del anova factorial para las variables altitud, litología e intervención.....	39
Tabla 3-3. Prueba de anderson-darling para determinar normalidad de los residuos	40
Tabla 4-3. Prueba de bartlett para determinar homogeneidad de varianza en los residuos	40
Tabla 5-3. Análisis porcentual de los rangos altitudinales en función del tipo de intervención .	42
Tabla 6-3. Resultados de la comparación entre las zonas intervenidas con pastos y bosques.	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Momentos vibracionales, molécula de dióxido de carbono.....	10
Figura 2-1. Espectro ftir del dióxido de carbono.....	10
Figura 1-2. Ubicación geográfica de la subcuenca del rio chambo.....	22
Figura 2-2. Ubicación geográfica de los 24 conglomerados a estudio.....	29
Figura 3-2. Descripción gráfica del diseño muestral (por conglomerados)	30

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3. Resumen gráfico de los residuos del modelo de efectos fijos	41
Gráfico 2-3. Efecto de la respiración edáfica con respecto a las altitudes en estudio	42
Gráfico 3-3. Efecto de la respiración edáfica con respecto a las litologías en estudio	44
Gráfico 4-3. Efecto de la respiración edáfica con respecto a la intervención de las zonas en estudio.....	45
Gráfico 5-3. Efecto de interacción entre la altitud y la litología	46
Gráfico 6-3. Efecto de interacción entre la intervención y la litología.....	47
Gráfico 7-3. Promedios entre las zonas intervenidas con pastos y bosques	48
Gráfico 8-3. Comparación de medias entre las zonas intervenidas (pastos y bosques) y las zonas no intervenidas.	50

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. resultados de la cuantificación de la respiración edáfica

ANEXO B. cálculos estequiométricos para la preparación de reactivos

ANEXO C. materiales usados para el muestreo

ANEXO D. recolección de muestras

ANEXO E. materiales y reactivos usados para la cuantificación de la respiración edáfica.

ANEXO F. cuantificación de la respiración edáfica.

ANEXO G. solicitudes de ingreso a las comunidades alejadas

ANEXO H. diálogo con los comuneros del área en estudio

RESUMEN

El presente trabajo tiene como área de estudio la zona sur oriental de la subcuenca del río Chambo, la finalidad del mismo es evaluar la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) exhalada por los suelos producto de la respiración edáfica (RE), en función de la litología, altitud y la condición de intervención. Las muestras provienen de 72 parcelas, clasificadas en 6 rangos altitudinales, 7 litologías y 3 condiciones de intervención (Pinos, pastos y no intervenido); la cuantificación es realizada mediante el método indirecto de titulación por neutralización. Los resultados indican que los suelos intervenidos con pinos presentan tasas de RE menores a las de los suelos no intervenidos y estos a su vez menores que los suelos intervenidos con pastizales, esto debido a que los pinos afectan a la población bacteriana y al stock de materia orgánica, por otra parte las labores de labranza y distribución de pastizales aceleran la descomposición de la materia orgánica; los suelos de litologías félsicas, revelan tasas de RE mayores en relación a los suelos de litologías máficas, lo cual podría tener su explicación en la composición química del mismo, los suelos localizados en altitudes entre los 3400-4000 msnm entregan tasas de RE altas, debido a que hasta dicho rango altitudinal existe intervención humana, superado este rango no se encuentra intervención humana y la RE disminuye. Estos resultados nos llevan a concluir que la altitud, litología e intervención producen cambios significativos en la RE; dentro de los tres tipos de intervención los pastos son aquellos que aportan en mayor proporción al efecto invernadero, mientras que las plantaciones de pino lo hacen en menor magnitud, sin embargo ante la posible reducción de la materia orgánica del suelo estos estarían degradando el sistema edáfico, por lo que la no intervención es la condición más idónea.

Palabras Clave: <LITOLOGÍA> <ALTITUD> <INTERVENCIÓN DEL SUELO>
<RESPIRACIÓN EDÁFICA> <EFECTO INVERNADERO> <SUELO DE PÁRAMO>

LUIS
ALBERTO
CAMINOS
VARGAS

Firmado digitalmente por
LUIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Nombre de reconocimiento
(DN): c=EC, l=RIOBAMBA,
serialNumber=0602766974,
cn=LUIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Fecha: 2021.05.12 12:11:28
-05'00'



1135-DBRA-UTP-2021

ABSTRACT

This research was carried out in the southeastern zone of the Chambo river. The objective of this study was to evaluate the amount of carbon dioxide (CO₂) exhaled by soils because of edaphic respiration (RE), depending on the lithology, altitude, and the intervention condition. The results indicate that the soils intervened with pines present lower (RE) rates than those of the non-intervened soils, and these are also lower than the soils intervened with pastures because the pines affect the bacterial population and the stock of organic matter, on the other hand, the work of tillage and distribution of pastures accelerate the decomposition of organic matter; felsic lithology soils reveal higher ER rates. The samples come from 72 plots, classified in 6 altitudinal ranges, 7 lithologies and 3 intervention conditions (Pines, pastures and not intervened); the quantification is carried out using the indirect method of titration by neutralization soils of mafic lithologies, which could have its explanation in its chemical composition. Soils located at altitudes between 3400-4000 masl, deliver high ER rates, because up to this altitudinal range there is human intervention, beyond this range, there is no human intervention and ER decreases. These results lead us to conclude that altitude, lithology, and intervention produce significant changes in ER. Within the three types of intervention, pasture is those that contribute the best proportion to the greenhouse effect, while pine plantations produce at a lower level, however, given the possible reduction in soil organic matter, these would be degrading the edaphic system, so not intervening is the most ideal condition.

Keywords: <LITHOLOGY> <ALTITUDE> <SOIL INTERVENTION> <EDAPHIC RESPIRATION> <GREENHOUSE EFFECT> <PÁRAMO SOIL>

INTRODUCCIÓN

El páramo es: "un ecosistema natural que se encuentra entre el límite continuo del bosque y el de las nieves perpetuas, en la alta montaña tropical húmeda." (LLambí, 2012, p.1), ubicado a una altitud aproximada de 3000-5000 msnm, (Sklenáj et al., 2005). Tiene por características un ambiente frío y húmedo, con temperaturas diarias que oscilan entre los -3°C y $+20^{\circ}\text{C}$ y una precipitación anual que varía desde 500 hasta los 3000 mm, y con litologías que van desde Cuarcita hasta depósitos glaciales (Luteyn,1999). La flora de páramo generalmente está constituida por herbazales que comúnmente son pajonales del género *Calamagrostis effusa*. (Mena y Hofstede, 2006,pp.91-109)

Las características antes descritas hacen de este ecosistema un lugar estratégico para regular el efecto invernadero generado por gases poco densos, entre ellos el dióxido de carbono, quienes absorben y reemiten radiación infrarroja hacia la biosfera aumentando la temperatura del planeta (Mitchell.J,1989), originalmente este efecto es beneficioso para la vida pero el exceso de gases producto de las actividades humanas conlleva a un incremento del efecto invernadero sobrecalentando el planeta, lo cual está causando efectos negativos en el clima, pluviometría e inclusive sobre la economía del mundo, de acuerdo con Pedro (2019) el CO_2 es responsable de $\frac{1}{4}$ parte del efecto invernadero, debido a esto Goetz y Dubayah (2011) afirman que este gas es el principal responsable del calentamiento global.

Los ecosistemas páramo "secuestran" este gas al absorberlo con los estomas de los herbazales e integrarlo mediante la fotosíntesis a sus estructuras como carbohidratos, los cuales después de cumplir su ciclo vital son depositados en el suelo como materia orgánica muerta, humus o turba (Schlesinger,1977, pp.51–81), la microfauna edáfica, siguiendo una cinética de primer orden y una relación exponencial con la temperatura del medio, descompone la materia orgánica, dicho proceso toma el nombre de Respiración Edáfica (Lloyd y Taylor, 1994,p.315). La importancia de monitorear la cantidad de gas exhalado por la respiración edáfica es vital sobre todo en lugares en donde se han llevado a cabo intervenciones agrícolas, forestales, ganaderas y/o de residencia humana, que destruyen los herbazales responsables de la toma del dióxido de carbono (Echeverría et al., 2018: pp. 2-10)

El presente trabajo tiene como finalidad evaluar la cantidad de CO_2 exhalado por los suelos procedentes de la zona sur oriental de la sub cuenca del río Chambo, perteneciente a los cantones Guamote y Alausí de la provincia de Chimborazo-Ecuador, a diferentes altitudes, litologías y condiciones de intervención, en búsqueda de una relación significativa que permita generar evidencia científica objetiva que muestre la importancia de conservar los humedales del sector.

Formulación del problema

¿Cuál es la relación de la cantidad de CO₂ exhalado con la litología, altitud y la condición de intervención, de los suelos pertenecientes a la zona sur oriental de la subcuenca del río Chambo?

Justificación

La vegetación del páramo andino ecuatoriano tiene la capacidad de capturar dióxido de carbono y fijarlo a su estructura para posteriormente integrarlo al suelo, reduciendo así las concentraciones de este gas en la atmósfera lo cual ayuda en la regulación del efecto invernadero, convirtiendo a este ecosistema en uno de los reservorios de carbono más importantes, esto debido a que este elemento es el componente estructural de todas las moléculas orgánicas; este hecho tiene lugar gracias a que los productores primarios fijan el CO₂ mediante el proceso de la fotosíntesis, parte de ese gas absorbido es retornado a la atmósfera en el proceso de respiración celular en ausencia de luz, pero la gran mayoría es integrado a las estructuras vegetales que posteriormente servirán de alimento para los consumidores autóctonos de la zona, estos al morir depositarán en el suelo el carbono tomado e integrado a sus estructuras, paralelamente a esto las plantas que no han sido consumidas, envejecerán hasta convertirse en desechos ricos en carbono que aportan junto con los restos de animales a la materia orgánica del suelo, los microorganismos descomponedores en un proceso de mineralización utilizarán estos desechos para obtener energía y como resultado de esto liberan el carbono a manera de CO₂, este gas reinicia el ciclo antes descrito (Audesirk,2012,p.512), en el ecosistema de páramo gracias a las bajas temperaturas y elevado rango altitudinal la descomposición de la materia orgánica por parte de los microorganismos se ralentiza (Lloyd y Taylor, 1994,p: 315),por lo que este elemento es retenido en el suelo, otorgando a este la típica coloración negruzca de un suelo de páramo.

Los cantones de Guamote y Alausí, pertenecientes a la provincia de Chimborazo, incluyen dentro de sus zonas limítrofes a una parte de la unidad hidrográfica de la sub-cuenca del Río Chambo, cuya superficie es de 12543.3 ha, en dicha área claramente se puede apreciar como la intervención agrícola y ganadera ha tomado fuerza, convirtiendo los páramos andinos en zonas de labranza y crianza de ganado, el uso de maquinaria y utensilios para remover el suelo hace que la materia orgánica originalmente retenida en el suelo sea expuesta a la superficie, acelerando la degradación de la misma y por ende liberando grandes cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera lo que se traduce en un incremento del efecto invernadero y por consiguiente al calentamiento del planeta.

El presente trabajo de integración curricular busca estimar la cantidad de CO₂ que exhalan los suelos de páramo a la atmósfera producto del metabolismo microbiano, los valores a obtenerse se contrastarán con los de sectores en donde ya se han llevado a cabo intervenciones de tipo agrícola,

forestal y/o ganadera; con los resultados de la investigación se espera contar con evidencia científica que permita generar conciencia sobre la importancia de conservar este ecosistema andino e impulsar la creación de una política pública en pro de la conservación.

El presente trabajo forma parte del programa de investigación “Building a Resilient Future for the Andean Paramo Ecosystem of Ecuador”, dentro del cual se encuentra el proyecto “Soil Organic Evaluation and Sequestration in Ecuadorian Paramo Ecosystem”, mismo que está orientado a la conservación de los humedales andinos de la provincia de Chimborazo, liderado por el Grupo de Investigación-desarrollo para el ambiente y cambio climático (GIDAC), mismo que brindará asesoría en técnicas de muestreo, análisis de muestras y procesamiento de datos estadísticos, además de apoyo logístico (equipos y reactivos). Todos los trabajos incluidos dentro de este objetivo se enfocan en técnicas de determinación de compuestos derivados del carbono, así como del mismo elemento, por cual los materiales y reactivos coincidirán con los necesarios para la ejecución de este trabajo, situación que facilitará una mutua cooperación económica ya pactada entre los integrantes de los demás proyectos.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar la cantidad de CO₂ exhalado en función de la litología, altitud y la condición de intervención de los suelos pertenecientes a la zona sur oriental de la sub cuenca del río Chambo.

Objetivos Específicos

- Determinar la concentración de CO₂ emitido por muestras de suelo recogidas a diferentes altitudes pertenecientes a la zona sur oriental de la sub cuenca del río Chambo.
- Valorar la concentración de CO₂ emitido por muestras de suelo en diferentes litologías pertenecientes a la zona sur oriental de la sub cuenca del río Chambo.
- Analizar la concentración de CO₂ emitido por muestras de suelo tomadas en zonas intervenidas y no intervenidas pertenecientes a la zona sur oriental de la sub cuenca del río Chambo.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes.

Tewary et al, (1982:pp.233-238) en la investigación realizada en India, denominada Soil and litter respiration rates in different microhabitats of a mixed oak-conifer forest and their control by edaphic conditions and substrate quality, en un bosque protegido a una altitud de 2050m, constituido principalmente por latifoliados y especies coníferas. Las tasas de respiración tanto del suelo como de la hojarasca se midieron mediante la absorción de álcalis utilizando 13 cm de diámetro y cilindros de aluminio de 23 cm de altura insertados a 10 cm de profundidad en el suelo. Se obtuvieron resultados donde, la respiración del suelo se relacionó inversamente con la densidad aparente, lo que indica la importancia del espacio poroso para la actividad microbiana. Tewary et al, (1982:pp.233-238).

Lloyd y Taylor, (1994:p.315) en su trabajo denominado On the temperature dependence of soil respiration, efectuaron el proceso de incubación con una solución captadora de NaOH a diferentes rangos de temperatura para su posterior titulación, producto de ese análisis estadístico se determinó que las condiciones naturales, específicamente la temperatura en las que se lleva a cabo el proceso puede ser explicada por la ecuación de Arrhenius, en donde se halla una relación de tipo exponencial entre la constante R y la Temperatura de opción, además de ello encontró que las fluctuaciones de temperatura son más críticas para biomas en donde de base la temperatura es relativamente baja. (Lloyd y Taylor,1994:p.315).

En un estudio realizado por Sánchez et al., (2005: pp. 507-534) acerca de la materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud, en la cuenca del río Maracay, estado Aragua, Venezuela, donde se seleccionaron zonas localizadas a 180, 720 y 1000 m.s.n.m, se encontraron que los valores mayores de carbono orgánico y respiración basal se observaron en la zona más elevada (1000 m.s.n.m) y los menores, en la zona intermedia (720 m.s.n.m), ya que a una mayor altitud, se encuentra asociada a diferencias de temperatura, humedad, vegetación, precipitaciones y características de estos suelos.

Kees et al, (2014:pp.508-509) realizaron un estudio enfocado en encontrar una relación entre la cinética de descomposición de carbono orgánico y la cantidad de dióxido carbono liberado según el uso del suelo, a partir de datos de artículos científicos y bases de datos de su propia autoría, ellos encontraron que dicho proceso está regido por una cinética de primer orden, lo que se traduce en una relación directa entre la cantidad de carbono del sumidero y la velocidad en que este es oxidado a CO₂, así también que al aumentar el flujo de este gas aumenta la enriquecimiento

(captura) del mismo por los herbazales, ciclo correspondiente al ciclo del carbono, luego de ello establecen un balance de masas en el que se relaciona los aportes de Carbono, los egresos del mismo y la tasa de enriquecimiento del suelo, se halla que el enriquecimiento tiene tasas más bajas en las tierras de cultivo (10,9%) en comparación con los pastizales (20,1%) y bosques (23,3%) (Kees et al,2014:pp.508-509)

Wei et al (2016:pp.1-9) realizaron una investigación en cuatro bosques subtropicales de la provincia de Guangdong, en el sur de China (temperatura promedio: 22.3°C, precipitación media anual: 1678mm), se midieron zonas de 10x10m² dentro de las cuales se ubicaron 3 parcelas de 1x1m², en las cuales se excavaron trincheras, cuyos bordes fueron cubiertos con nylon de doble capa, cada zona presentaba cantidades de materia orgánica variable, las mediciones de la respiración se efectuaron con un analizador de CO₂ portátil (Li-8100 Auto Soil CO₂ Flux System, Li-Cor Biosciences, NE, US) durante dos años, desde febrero de 2010 hasta enero de 2012, mediante el cual se observó que en estos bosques subtropicales, el CO₂ de descomposición microbiana de materia orgánica en promedio representó el 60% de la respiración total del suelo, que fue de aproximadamente 8,6 Mg C ha⁻¹ Año, existiendo una relación positiva entre el contenido de materia orgánica del suelo con la respiración heterótrofa del suelo, sin embargo esto solo se evidenció en la temporada cálida, en la temporada fría la correlación no fue significativa (Wei et al,2016:pp.1-9).

De acuerdo a los estudios realizados por Farley, K et al., (2004: pp. 729-739) denominado Soil organic carbon and water retention after conversion of grasslands to pine plantations in the Ecuadorian Andes, en donde se compara la diversidad de flora y fauna, en dos tipos de suelo, uno de pastizales de páramo, y otro con la presencia de pino. En este estudio se menciona que, después de la forestación en suelos de páramo, por especies de pino, se pierde la diversidad microbiana del suelo, ya que tiene una marcada influencia en la capacidad de retención de agua de los suelos, reflejando la alteración de las propiedades de suelos, además, alterando el uso del agua. Las pérdidas de carbono del suelo, determinadas principalmente por las pérdidas por descomposición, pueden verse afectadas por cambios en la calidad del sustrato, por cambios en la humedad o temperatura del suelo que afectan la actividad microbiana del suelo.

Sin embargo, en nuestro país existen zonas muchísimo más valiosas en materia de captura de carbono, estas son las consideradas como páramo alto andino, en donde las temperaturas suelen ser menores a la media nacional, de 23° C – 26°C, encontrándose generalmente entre los 2°C y los 10°C (Llambí et al, 2012:pp.29), las altitudes superan fácilmente los 3000msm y la alta pluviometría abundante durante todo el año por lo tanto, dichas zonas sirvieron de zona de estudio para varios proyectos asociados a la captura del dióxido de carbono y el control sobre las

emisiones de este gas a la atmósfera, todos empeñados en generar evidencia científica que demuestre la importancia de conservar los humedales ecuatorianos.

La EPS-Quito también ha elaborado el proyecto de titulación de la autoría de Cárdenas (2015,p.1) quien evaluó la calidad del suelo del páramo de la comuna de Monjas Bajo del cantón Cayambe, sustentando los análisis físicos-químicos en diversos métodos estandarizados, sin embargo, para la respiración edáfica de estos suelos, se utilizó la metodología basal definida por Isemeyer (1952) y descrita por Chiriboga (2008), comparando entre suelos intervenidos y no intervenidos en donde encontraron reducción de 0.9% en la materia orgánica lo que indica una mayor descomposición producto de la respiración edáfica.

Estudios realizados para la cuantificación de carbono orgánico almacenado en el suelo del páramo de Igualata, Provincia de Chimborazo-Ecuador, realizado por Echeverría et al., (2018: pp. 2-10), nos demuestra que el carbono orgánico del suelo en diferentes períodos de tiempo (2012-2013-2014 y 2015) y a diferentes altitudes (4090, 4100, 4110, 4120 y 4130 msnm) no presenta diferencias significativas ($p>0.05$), posiblemente debido a la escasa intervención antropogénica. Sin embargo, se evidenció que a una altura de 4130 m.s.n.m, el contenido promedio de carbono orgánico del suelo fue más alto en comparación a la altitud de 4090 m.s.n.m, lo cual demuestra la importancia de mantener los alto páramos andinos fuera de la actividad humana (pastoreo) debido a su importancia en la capacidad de almacenamiento de carbono.

La respiración edáfica de los páramos dentro de la provincia de Chimborazo han sido estudiados en varios trabajos de pregrado, todos ellos enfocados en los suelos aledaños a las cuencas y microcuencas de los ríos de la provincia, en su mayoría bajo la coordinación del grupo de Investigación GIDAC-ESPOCH, entre los trabajos más destacados tenemos el efectuado en la microcuenca del Rio Chimborazo por Paucar et al (2019,p.1) relacionado con la medición de la actividad microbiana en función de la respiración edáfica, en donde basan sus estudios en 4 tipos de suelo por sus usos (páramo, pastizales, plantaciones forestales y cultivo), evaluando cada uno de ellos mediante el método Anderson (1982); citado en Paucar et al (2019) y obteniendo como resultados, que el suelo de páramo presentó valores máximos de respiración edáfica, además, llegando a la conclusión de que a una altura de 3600 m.s.n.m, la respiración es mucho mayor en comparación con los otros usos que se le brinda al suelo, en esta zona.

También se ha tomado en cuenta el estudio efectuado en la microcuenca del Rio Guano por Morales (2020, p.1) enfocado en relacionar la respiración del suelo con las propiedades físico químicas del mismo, en el cual se usa la metodología implementada por el mismo grupo de investigación GIDAC, tomando como grupo muestral a suelos intervenidos y no intervenidos,

dando como resultado, una correlación significativa entre los parámetros físicos químicos y la respiración edáfica de los suelos no intervenidos.

Las investigaciones antes presentadas en el contexto internacional y nacional todas se enfocaron en la búsqueda de evidencia científica que permita conservar los ecosistemas y específicamente en Ecuador, conservar el páramo alto andino.

1.1.1. Bases Teóricas

1.1.1.1. Efecto Invernadero

El planeta Tierra es irradiado por espectros electromagnéticos de onda corta (0.2-4 μ m), dentro de los cuales se incluyen radiaciones de tipo: ultravioleta, visible e infrarrojo cercano) provenientes del sol, debido a que esta estrella actúa como un emisor perfecto, o cuerpo negro, la radiación recibida por el planeta es absorbida por las nubes, atmósfera y superficie troposférica (Mitchell,1989, p.115-139). La Tierra flota en un inmenso espacio vacío calentada por la radiación solar, la única manera que tiene de liberar energía es emitiendo radiación; “Si no lo hiciese, ¡su temperatura aumentaría unos 800.000 grados cada mil millones de años!” (Pedro, 2016,p1-20).el efecto del albedo terrestre hace que la mayor parte de la radiación sea reemitida por la superficie terrestre de regreso hacia el espacio con longitudes de onda larga (radiación infrarroja) (Pedro, 2016,p1-20).

Los gases de efecto invernadero (GEI) independientemente de su origen son incapaces de absorber la radiación de onda corta emitida por el cuerpo negro, pero si son capaces de absorben la radiación reflejada por la superficie terrestre y la reemiten de nuevo a la biosfera aumentando su temperatura aproximadamente a 15°C, lo que la hace habitable para cualquier ser vivo, a este proceso gobernado por los GEI se lo denomina “Efecto Invernadero” (Mitchell,1989,pp.115-139). Del conjunto de GEI, el Dióxido de carbono (CO₂) es responsable de ¼ parte del efecto invernadero (Pedro, 2016,p1-20).

La ausencia de los GEI haría que la radiación sea reflejada casi en tu totalidad al espacio lo que provocaría que el planeta se enfriase hasta alcanzar los -18°C (Mitchell,1989,pp.115-139). Sin embargo, según la US National Aeronautics and Space Administration (2020,p.1) las actividades humanas como la quema de combustibles fósiles y la deforestación han hecho que el CO₂ aumente sus concentraciones atmosféricas hasta llegar a 414 ppm en el mes de Junio 2020, siendo la cifra normal 280ppm (Roca et al, 2019).

1.1.2. Gases de Efecto Invernadero (GEI)

“Los gases de efecto invernadero (GEI) o gases de invernadero son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de

la Tierra, la atmósfera y las nubes. En la atmósfera de la Tierra, los principales GEI son el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃), además en la atmósfera existen una serie de GEI generados íntegramente por el ser humano, como los halocarbonos y otras sustancias con contenido de cloro y bromo, regulados por el Protocolo de Montreal como el hexafluoruro de azufre (SF₆), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC)” (Benavides y León, 2007: p. 5).

Las concentraciones de estos gases con el pasar de los años han ido en aumento, situación que podemos apreciar en la Tabla 1-1.

Tabla 1-1. Evolución de las emisiones totales de gases de efecto invernadero por tipo de gas y año. C.A. de Euskadi. 1990-2019.

Gases	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Dióxido de carbono (CO₂)	14.391.285	14.234.397	14.526.938	14.488.116	15.139.606	14.624.983
Metano (CH₄)	1.379.766	1.326.717	1.286.086	1.243.112	1.201.464	1.189.729
Óxido nitroso (N₂O)	411.282	426.860	396.903	406.493	415.796	412.005
Gases Fluorados:	515.584	415.114	252.308	266.286	254.817	251.188
HFC's	464.762	368.528	207.971	210.386	202.863	199.029
PFC's	2	2	2	2	1	1
SF ₆	50.820	46.584	44.335	55.898	51.952	52.157
Emisiones totales de GEI's	18.785.687	18.722.184	19.352.084	18.657.271	19.644.790	18.937.998
(*)						

Fuente 1. Gobierno Vasco. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial y Vivienda. Inventario de gases de efecto invernadero.

Realizado por: Bautista, J.; Lema, S. 2021

Los GEI a su vez están clasificados en: indirectos y directos (Benavides y León, 2007: p.5).

1.1.2.1. GEI Indirectos

De acuerdo a Benavides y León (2007, p. 36), son precursores de ozono troposférico, además de contaminantes del aire ambiente de carácter local y en la atmósfera se transforman a gases de efecto invernadero directo. “En este grupo se encuentran: los óxidos de nitrógeno, los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano y el monóxido de carbono” (Benavides y León, 2007: p.5).

1.1.2.2. GEI Directos

“Son gases que contribuyen al efecto invernadero tal como son emitidos a la atmósfera. En este grupo se encuentran: el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso y los compuestos halogenados” (Benavides y León, 2007: pp.1-92).

1.1.3. El CO₂ como GEI

El principal integrante de los GEI es el CO₂. La radiación es absorbida por él y se lleva a cabo debido a que esta molécula cambia de estado cuántico de tres maneras diferentes (Fig. 1-1), impidiendo que una importante proporción de la radiación salga al espacio, emitiéndola después en todas direcciones incluida la superficie de la Tierra e incrementando la temperatura de esta (Mondragón, J.H et al,2019: pp.52-57).

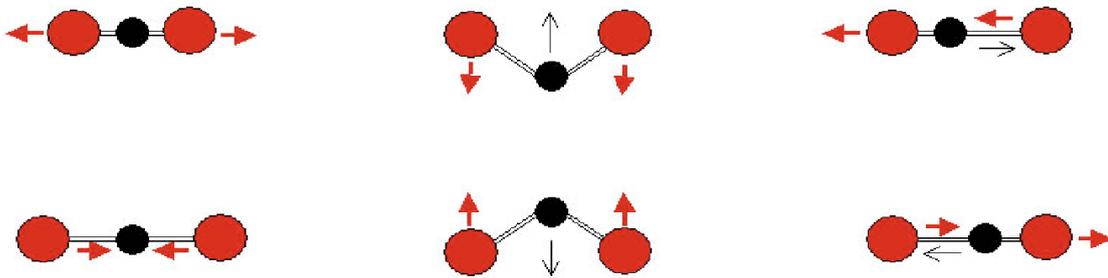


Figura 1-1. Momentos vibracionales, molécula de dióxido de carbono.

Realizado por: Mondragón, J.H et al,2019

El CO₂ debido a su fuerte capacidad de absorber radiación infrarroja se convierte en uno de los gases más influyentes en este fenómeno, esto puede ser evidenciado en la Fig. 2-1. Correspondiente al espectro FTIR del gas, donde se observa el pico intenso que aparece aproximadamente bajo los 2500cm⁻¹ correspondiente al movimiento de tensión asimétrica y el pico menos intenso cercano a los 600 m⁻¹, el pico de tensión simétrica no es activo al IR.

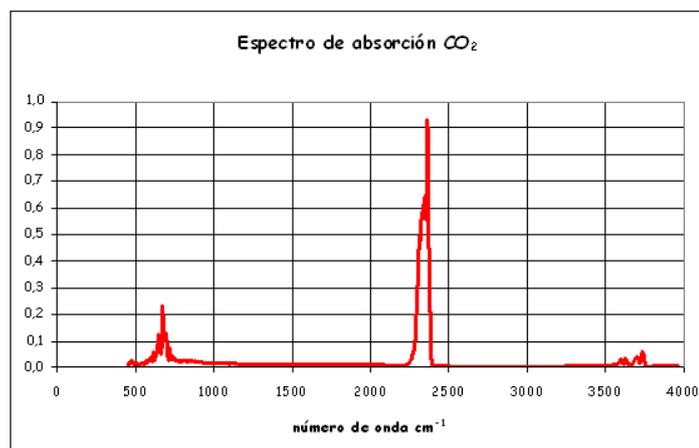


Figura 2-1. Espectro FTIR del dióxido de carbono.

Realizado por: Sánchez Rabat, 2014.

1.2. Calentamiento global

La elevación progresiva y anormal de la temperatura del planeta se denomina “Calentamiento Global” y lleva implícito la influencia del efecto invernadero acentuado por las actividades humanas. La opinión científica en su mayoría coincide que “La mayor parte del calentamiento observado en los últimos 50 años es atribuible a la actividad humana. La principal causa del componente de calor inducido por los humanos se debería al aumento de dióxido de carbono” (Barboza,2013, pp.35-68).

1.2.1. Calentamiento global en America Latina

Estudios realizados en “Evidencias del cambio climático en Ecuador” (Vega et al, 2020:pp.72-76) la región de América Latina y el Caribe generan el 5% de las emisiones mundiales de gases de invernadero. No obstante, es factible recalcar, que entre las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero de América Latina están el sector energético con un 46%, la agricultura con 23%, cambio de uso de suelo y silvicultura con 19%, desechos 6% y procesos industriales con un 4% (Vega et al, 2020:pp.72-76).

1.2.2. Calentamiento global en Ecuador

El Ecuador, un país de origen andino en donde el clima está determinado por dos estaciones: cálida y fría o también conocidas como verano e invierno, por consecuencia de su ubicación en la línea ecuatorial y su influencia de la humedad procedente de la región Amazónica, es que tiene una tendencia vulnerable a alteraciones por el calentamiento global y según proyecciones, la temperatura nacional podría incrementarse en 2°C, con excepción de la región Amazónica e Insular, pues ellas mostrarían incrementos superiores (Vega et al, 2020:pp.72-76).

1.2.2.1. Emisiones de CO2 en el Ecuador

En la investigación realizada por varios autores (Vega et al, 2020:pp.72-76) se han encontrado resultados de las fuentes de emisiones de CO₂ (GEI más importante) en Ecuador; para el año 2010 el sector energético con un 44, 49%, seguido de USCUS (uso de suelo cambio de uso de suelo y silvicultura) con un 30,02%, agricultura con 18,03%. Mientras que los sectores de residuos y procesos industriales registran un 4,16% y el 3,30%, respectivamente (Vega et al, 2020:pp.72-76).

1.2.2.2. Consecuencias del calentamiento global en Ecuador

“En nuestro país, los glaciares ya sufren los efectos del cambio climático de forma drástica” (MAE,2020;citado en Alarcón,2020). El Ecuador dispone de siete coberturas glaciares importantes: Antisana, Cayambe, Ilinizas, Cotopaxi, Chimborazo, El Altar y Carihuayrazo a las cuales las altas temperaturas originadas por el cambio climático, están ocasionando la pérdida del

hielo en sus cumbres y por ende una disminución en la reserva del agua dulce para las cuencas hídricas a las que alimentan (Alarcón,2020).

En el año 1990 la cobertura de hielo en Ecuador correspondía a 97,2 Km², en el año de 1997 pasó a 60,7Km², el 2010 se observó que este valor disminuyó a 48Km² y a la fecha la cobertura no supera los 43,5km² aproximadamente. (MAE,2020;citado en Alarcón,2020)“Los glaciares actúan como reguladores del agua que influye en otros ecosistemas como el páramo, el deshielo tiene efectos en la disponibilidad de agua y en la flora y fauna que habitan esta zona” MAE,2020;citado en Alarcón,2020).

Variaciones en el clima también son evidencia de lo mismo, así lo expresa María Arteaga,(2007) jefa del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología en Manabí (INAMHI), todo esto debido a la deforestación y al uso excesivo de los derivados del petróleo, esto genera calor intenso por las tardes y el fuerte frío al anochecer, según Arteaga (2007) estas situaciones se sienten en Portoviejo al igual que en todas las ciudades y países.

1.3. Páramos del Ecuador

1.3.1. Ecosistemas de Páramo

En los páramos el clima es frío y generalmente húmedo (Luteyn 1999, Rangel 2000; citados en Hofstade, R., 2001) “La descomposición de la materia orgánica en el páramo es muy baja a causa de las bajas temperaturas y la alta humedad. Por esto, en situaciones con poca intervención humana siempre se encuentra un suelo humífero de color negro” (Hofstade, 2001, pp. 161-185). “La amenaza extrínseca más grave para los ecosistemas de alta montaña es el cambio climático. Si bien se discute actualmente cuáles pueden ser sus causas (antrópicas o naturales), los efectos de este fenómeno son evidentes y cada vez cobran mayores proporciones en todo el planeta” (Morales y Estévez, 2006: pp. 39-51).

“Los páramos forman parte de una notable biodiversidad a escala de ecosistemas que se presenta en el Ecuador gracias a tres factores principales: la situación ecuatorial, la presencia de la cordillera de los Andes y otras sierras menores, la existencia de una fuente perhúmeda amazónica y de varias corrientes marinas frías y cálidas frente a las costas. Dada la gran altitud y por esto las bajas temperaturas y la alta incidencia de neblina e irradiación solar, el clima es muy extremo para los seres vivos presentes” (Vascones y Hofstede,2006:pp.91-109).

“En el Ecuador, varios millones de personas dependen directa o indirectamente del páramo y éste se está convirtiendo cada vez más en un ecosistema amenazado” (Hofstede et al,2002:pp.3-18).

“Es conocido que, por la gran altitud, el páramo es un ecosistema frágil que tiene niveles bajos de productividad primaria, crecimiento, descomposición y una sucesión natural lenta. Por tanto, la recuperación del ecosistema tras un disturbio es muy baja” (Hofstede et al,2002:pp.3-18).

1.3.2. Suelo de Páramo

“El páramo puede brindar servicios ambientales gracias a características ecológicas especiales pero ciertas acciones humanas están limitando sus capacidades y las posibilidades de aprovecharlas. Entre estos servicios se pueden mencionar la acumulación de grandes cantidades de carbono orgánico en el suelo la mitigación del cambio climático como sumideros de carbono. Otras funciones, como la regulación hídrica, que es de gran importancia en la zona de estudio, pueden verse favorecidas por los altos contenidos de materia orgánica” (Paucar y Velastegui, 2019: pp.31-81).

“Los suelos de los páramos son una de sus características más sobresalientes, especialmente por la significación que han adquirido en los últimos tiempos como los mantenedores primarios del servicio ambiental más preciado del páramo: la captación y distribución de agua hacia las tierras bajas” (Váscones y Hofstede,2006:pp.91-109).

“El origen volcánico, sumado a la frialdad general del clima de los páramos, que evita que la materia orgánica se descomponga rápidamente, genera una estructura tridimensional especial que funciona como una esponja que cumple con la función hidrológica mencionada. Además, este suelo al contener hasta un 50% de materia orgánica, es un sumidero de carbono y así contribuye, de manera pasiva pero importante, a paliar los efectos del calentamiento global por causa de la acumulación atmosférica de gases como el dióxido de carbono” (Váscones y Hofstede,2006:pp.91-109).

1.3.3. Páramos Ecuatorianos

“Los páramos ecuatorianos son ecosistemas de montaña andina dominados por pajonales, rosetales, arbustales, humedales y pequeños bosquetes, de clima frío, ubicados en las provincias de Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Bolívar y Cañar”.La flora del lugar está dominado del 60-70% por pajonales y cerca de 1500 especies de plantas vasculares” (Mejía,2014). La mayor parte de los páramos ecuatorianos son de origen volcánico “reciente” (Vascones y Hofstede,2006:pp.91-109).

En Ecuador el ecosistema de páramo corresponde a 1'800.000 hectáreas, es decir, aproximadamente el 7% del territorio ecuatoriano (Vasconez,2010,p.107), comúnmente se lo puede hallar a una altitud aproximada de 3.300 msnm, altitud que puede variar según la geología, clima y condición de intervención humana, en algunos sitios del sur del país puede incluso encontrarse desde los 2.800 msnm, (Smith y Cleef, 1988; citados en Acosta-Solis 1984).

1.3.3.1. Páramos de Chimborazo

Los páramos de la provincia ocupan una superficie de 246000 hectáreas que corresponde a un 38% de la superficie total de la provincia, sumado a esto dispone de 49571.16 hectáreas de bosque andino y altoandinos lo que significa 8% de la superficie total de la provincia. A nivel nacional se traduce en un 18% del páramo ecuatoriano. (Beltrán et al,2011)

Como la mayoría de páramos ecuatorianos dispone de una basta capa de materia orgánica, sin embargo, en su mayoría el uso del suelo está dedicado a actividades agrícolas y ganaderas que involucran la quema de pajonales para la labranza o para obtener rebrotes frescos de la gramínea que sirvan de alimento para el ganado ((Hofstede 1995; citado en Beltrán et al,2011)

1.3.3.2. Sub Cuenca del Rio Chambo.

“La unidad hidrográfica de la subcuenca del Rio Chambo forma parte de la demarcación hidrográfica del Pastaza, delimitación creada en 2010 por la SENAGUA y se encuentra limitada por los efluentes de agua que se dirigen hasta el rio Chambo, la superficie de esa zona es de 3580Km² cubriendo el 54.2% de la superficie de la provincia de Chimborazo distribuyéndose en 8 de los 10 cantones de esta prefectura, siendo estos: Alausí, Guamote, Colta, Chambo, Riobamba, Penipe, Guano y una pequeña parte del cantón Pallatanga. De esta manera el 98% de la sub cuenca pertenece a esta provincia y el restante está repartido entre las provincias de Tungurahua, Bolivar y Morona Santiago. El 33% de la subcuenca está constituida por páramo” (CESA,2015,pp.30-31).

1.3.3.3. Zona sur oriental de la sub cuenca del Rio Chambo

“Corresponde a la parte alta de la subcuenca caracterizada por su abundancia de agua, debido a la presencia de dos importantes complejos lacustres: Ozogoche y Atillo, ubicadas a más de 3 500 msnm en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional del Sangay, no existe una alta demanda poblacional, sin embargo las comunidades presentes la ganadería extensiva y producción de cultivos de ciclo corto son muy evidentes en las zonas bajas” (CESA,2015,pp.30-31).

1.3.3.4. Captura de CO₂

La vegetación del páramo andino tiene la capacidad de capturar dióxido de carbono e integrarlo a su estructura vegetal de manera lenta pero continua reduciendo las concentraciones de este gas en la atmósfera y así regular el efecto invernadero, a su vez convirtiéndose en uno de los reservorios de carbono más importantes debido a que este elemento es el componente estructural de todas las moléculas orgánicas, este elemento empieza su ciclo y consecuente captura con los productores primarios del páramo andino que fijan el CO₂ por fotosíntesis, parte del CO₂ absorbido es retornado a la atmósfera en el proceso de respiración celular en ausencia de luz y otra es integrada a sus estructuras lentamente, posteriormente servirán de alimento para

los consumidores herbívoros autóctonos de la zona que al morir depositarán el carbono tomado en el suelo, de no ser así las estructuras de las plantas envejecerán hasta ser descartadas como desechos ricos en carbono que aportan este elemento al suelo, mismo que al encontrarse en un medio rico en microorganismos descomponedores el carbono orgánico será oxidado por una reacción catabólica nuevamente a CO₂ que ingresará nuevamente al ciclo, el proceso de reciclaje de este gas es conocido como respiración edáfica (Audesirk.T,2012,p512), gracias a las bajas temperaturas y elevada pluviometría la tasa de mineralización y reciclaje se ralentiza (Lloyd y Taylor, 1994,p 315).generándose la situación conocida como captura de CO₂.

El color negruzco característico del suelo de páramo está dado por la alta concentración de compuestos húmicos derivados del carbono capturado, las reservas de este elemento en el suelo son considerablemente altas, esto a pesar de que las tasas de mineralización y el stock de biomasa aérea son escasas, la cantidad de carbono capturado puede alcanzar los 60 Kg/m², sin embargo existe heterogeneidad espacial en cuanto a la distribución del carbono capturado, así los andes tropicales pueden almacenar un aproximado de 1,65Gton (Gigatoneladas)de carbono por cada 35000Km² esto sin incluir a los histosoles de las turberas en el alto andino que son capaces de superar la cifra de 60 Kg/m². Esto significa que este ecosistema es capaz de almacenar el 5% de la materia orgánica del planeta en el suelo, a pesar de que los páramos apenas constituyan el 1% de la superficie global terrestre, es importante recalcar que este ecosistema es capaz de almacenar tanto carbono como los ecosistemas de bosque nublado con la diferencia de que la mayor parte de la materia orgánica en el caso de estos últimos se encuentra en la biomasa aérea, sumamente densa, esto se traduce a que en términos de conservación, en el caso de los páramos es de mayor importancia la conservación del suelo que de la biomasa aérea. (Sevink,2009;citando en Marquéz y Cely, 2013:pp.1562-1570).

1.4. Propiedades físico-químicas del suelo

1.4.1. Propiedades Físicas

1.4.1.1. Densidad Aparente

“Es la relación existente entre la masa y el volumen de suelo. en este volumen está considerado todo el espacio poroso existente. Es una característica que nos da a conocer las condiciones en las cuales se encuentra el suelo con respecto a la compactación, la porosidad. la disponibilidad de agua y de oxígeno, etc.” (Ramírez, 1997: pp. 10).

1.4.1.2. Densidad Real

“Es la relación entre el volumen de las partículas de suelo y el volumen de éstas sin considerar el espacio poroso. La densidad real. cuando no se presentan cantidades considerables de materia orgánica fluctúa entre 2.5 y 2.6 g/cc. y alcanza el mayor valor (2.65 g/ cc) en suelos arcillosos o

arenosos con muy poca materia orgánica. En suelos con abundante contenido de hierro se pueden alcanzar valores superiores a 2.7 g/ cc (suelos ferralíticos)” (Ramírez, 1997: pp. 10).

1.4.1.3. Textura

“Es la distribución de las partículas del suelo. expresada en porcentaje. Estas partículas son: la arena (2 - 0.02 mm). el limo (0.02 - 0.002 mm) y la arcilla (0.002). Esta característica Influye sobre la velocidad de infiltración del agua. la facilidad de preparación o laboreo del suelo. el drenaje. etc.” (Ramírez, 1997: pp. 10).

Tabla 2-1. Valores generalizados para la retención de humedad a 0.3 y 15 bar, según la clase de textura para diferentes suelos.

CLASE TEXTURAL	RETENCIÓN DE HUMEDAD %	
	0.3 bars	15 bars
Arenosa	5-15	2-10
Franco arenosa	12-32	5-18
Franca	18-40	10-30
Franco arcillosa	20-50	12-35
Arcillosa	25-75	15-45

Fuente: Ramírez, 1997

1.4.1.4. Color

“Es una de las características que guarda relación directa con la temperatura, la dinámica de los elementos y la movilidad del agua en el suelo. el contenido de materia orgánica. la cantidad de organismos, la evolución de los suelos etc. A simple vista se pueden deducir diferentes procesos y fenómenos que han ocurrido en el suelo a través del tiempo y en épocas actuales” (Ramírez, 1997: pp. 10).

1.4.2. Propiedades Químicas

1.4.2.1. Conductividad Eléctrica

“La CE es la medida de la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica, el valor será más alto cuanto más fácil se mueve la corriente a través del mismo. Esto significa que, a mayor CE, mayor es la concentración de sales. Se recomienda que la CE de un sustrato sea baja, en lo posible menor a 1dS m⁻¹ (1+5 v/v)” (Barbaro et al., 2005: pp. 7).

1.4.2.2. pH

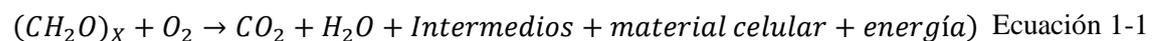
“Es una de las propiedades físico-químicas más importante en los suelos, ya que de él depende la disponibilidad de nutrientes para las plantas, determinando su solubilidad y la actividad de los microorganismos, los cuales mineralizan la materia orgánica. También determina la

concentración de Iones tóxicos, la ele y diversas propiedades Importantes que en últimas apuntan a la fertilidad del suelo” (Ramírez, 1997: pp. 10).

1.5. Respiración edáfica

Según Krebs, (2003), “La respiración es uno de los parámetros más antiguos para cuantificar la actividad microbiana. Ella representa la oxidación de la materia orgánica hasta la formación de CO₂ por organismos aeróbicos del suelo, que por lo tanto utilizan O₂ como aceptor final de electrones, hasta el CO₂”(Krebs, 2003: pp. 15-67)

El carbono comprende aproximadamente del 45 al 50% del peso seco de los tejidos vegetales y animales. Cuando estos tejidos son metabolizados por microorganismos, se consume O₂ y se libera CO₂, de acuerdo con la siguiente reacción general: (Stotzky,1965)



En esta reacción, todo el carbono orgánico debería finalmente liberarse como CO₂. Sin embargo, en condiciones aeróbicas normales, solo del 60 al 80% del carbono se libera como CO₂ debido a la oxidación y síntesis incompletas de materiales celulares e intermedios. Las cantidades de CO₂ desprendido y de O₂ consumido dependen del tipo de sustrato, las condiciones ambientales y los microorganismos involucrados(Stotzky,1965).

La medición de la respiración microbiana en condiciones de campo es complicada, ya que también se genera una cantidad sustancial de CO₂ como resultado de la actividad de la fauna del suelo y las raíces de las plantas. El problema asociado con la cuantificación de la función microbiana puede resolverse hasta cierto punto estimando la biomasa microbiana en el suelo. Pero esto no refleja una estimación real de la actividad microbiana, ya que los microorganismos difieren en su actividad según la etapa de desarrollo y las diversas condiciones climáticas, como la temperatura y la disponibilidad de humedad. Se han utilizado algunos métodos directos e indirectos para medir el consumo de oxígeno o la producción de CO₂ para estudiar la actividad microbiana y las tasas de descomposición de la materia orgánica en el suelo (Singh y Gupta,1977:pp.449-528).

1.5.1. Factores que afectan la respiración del suelo

1.5.1.1. Temperatura

Las tasas de respiración del suelo a menudo se correlacionan positivamente con la temperatura ambiente. Como tal, las temperaturas más altas a menudo se asocian con tasas más altas de respiración del suelo, tanto al acelerar las tasas de ciclo del carbono a través de la respiración autótrofa como al proporcionar una retroalimentación positiva potencialmente poderosa al

calentamiento climático a través de la respiración heterótrofa del carbono del suelo (Tang et al., 2019: pp: 177-178).

El carbono que se encuentra en los suelos minerales de tierras altas bien aireados se descompone típicamente más fácilmente que en los suelos de humedales anaeróbicos o en los suelos de permafrost de latitudes elevadas, lo que genera grandes reservas de carbono en los suelos de humedales y permafrost (Tang et al., 2019: pp: 177-178).

1.5.1.2. Crecimiento de cultivos

Las parcelas cultivadas producen más CO₂ que las parcelas sin cultivar, además, se van a encontrar variaciones en la tasa de producción de CO₂ bajo diferentes cubiertas vegetales. Al comparar las tasas de evolución de CO₂ de parcelas cultivadas y pastizales nativos, se van a encontrar un aumento de la respiración en el último caso. Una planta produce más CO₂ cuando crece en suelo fértil debido a un mayor crecimiento vegetativo (Singh y Gupta, 1977: pp.449-528).

1.5.1.3. Estado Mineral (Litología)

Se encuentra una mayor producción de CO₂ en suelos neutros o ligeramente alcalinos que tienen buena aireación y nutrientes vegetales fácilmente disponibles. Se registraron tasas de respiración más altas en suelos encañados (Singh y Gupta, 1977: pp.449-528).

Para Abramson (1996), la litología se encarga de clasificar a materiales que conforman el suelo de acuerdo a su génesis, formación y naturaleza química.

- Rocas máficas

Son aquellas rocas ricas en silicatos, magnesio y hierro, son de elevada densidad, son procedentes de la corteza oceánica y continental. Las rocas pertenecientes a esta clasificación son: Cuarzita, Esquicito, y Meta. (Maitre, 2003:p.367).

- Rocas Félsicas

Son aquellas rocas ricas en minerales, magmas y rocas poco densas como: sodio, potasio, silicio, oxígeno y sobre todo Aluminio, generalmente son asociadas con rocas de carácter ácido.

Las rocas pertenecientes a esta clasificación son: rocas volcánicas, sedimentarias y lavas, tobas, aglomerados, terrazas; cenizas andesita, porfirítica, riolita, no riolita aglomerado, lava y dacita (Maitre, 2003:p.367).

- Depósitos glaciales

“Los depósitos glaciales son transportados por los glaciales, los cuales, al aumentar la temperatura, se deshuelan y se forman estos depósitos de suelo de origen glacial. Los depósitos

glaciales pueden variar en composición de tamaño de granos, desde grandes cantos hasta las arcillas” (Abramson,1996).

1.5.1.4. Humedad

La humedad del suelo es otro factor abiótico que influye drásticamente en la respiración del suelo. Diferentes estudios refieren que la salida de CO₂ es más reducida en condiciones de sequía, alcanza su valor máximo a valores medios de humedad y disminuye a alta humedad cuando las condiciones anaeróbicas se hacen posibles. La capacidad de campo representa la cantidad de agua a la que funciona la respiración del suelo en condiciones óptimas. En este estado, los macroporos del suelo están llenos de aire y este facilita la difusión de gases mientras los microporos del suelo están llenos de agua haciendo posible la difusión de sustancias solubles del sustrato. La humedad del suelo influye directamente en los procesos fisiológicos de las raíces de las plantas y las células bacterianas, y esto también afecta la respiración del suelo. El agua del suelo también puede influir indirectamente en la respiración, modificando las capacidades de difusión de gases y sustancias. En condiciones de sequía extrema, los microorganismos del suelo se vuelven inactivos, esto reduce la actividad metabólica y por lo tanto la respiración del suelo (Sandor, 2010: pp 54-57).

1.5.1.5. pH

El pH influye en la mayoría de las reacciones bioquímicas que tienen lugar en el suelo, y entre estas enzimas bacterianas, la síntesis puede afectar la respiración. En el suelo, la absorción de enzimas de humus conduce al aumento del pH y conduce a cambios en la estructura de la comunidad. La mayoría de las especies bacterianas conocidas viven a valores de pH dentro del intervalo 4 - 9 mientras que los hongos se consideran acidófilos moderados con un pH óptimo situado dentro del intervalo 4 - 6. Por lo tanto, el pH del suelo tiene un impacto sobresaliente en el crecimiento y la proliferación de los microorganismos edáficos y consecuentemente sobre la respiración del suelo. Por otro lado, las plantas pueden acidificar la rizosfera como resultado de la liberación de ácidos orgánicos en los exudados radiculares. Además, como resultado de la absorción preferencial de los cationes, los iones H⁺ se liberan en el suelo y disminuyen los valores de pH (Sandor, 2010: pp 54-57).

1.5.2. Cuantificación de la respiración edáfica.

La medición precisa del flujo de CO₂ del suelo es uno de los problemas más importantes que surgen al comprender sus procesos y factores. La recolección de datos cuantitativos correctos y la evaluación objetiva de la magnitud de la respiración del suelo en diferentes tipos de ecosistemas y en diferentes momentos no son posibles sin una medición precisa (Sandor, 2010: pp 54-57).

Se han utilizado y desarrollado diferentes métodos para hacer frente a los desafíos encontrados en la medición de la salida de CO₂ a nivel de la superficie del suelo (Sandor, 2010: pp 54-57).

1.5.2.1. Titulación Química

La titulación química para la respiración de CO₂ del suelo es un medio eficaz mediante el cual se puede comparar la actividad microbiana de diferentes suelos. Los suelos se incuban junto con una solución acuosa de KOH o NaOH en un pequeño vial. El álcali reacciona químicamente con CO₂ y BaCl₂ y se puede valorar por retroceso con HCl hasta un punto final de fenolftaleína que es relativo a la cantidad de CO₂ liberado por los microorganismos del suelo. Se incluye un vial de control sin tierra en la incubación para corregir el CO₂ en el recipiente al inicio de la incubación. Luego se emplea una ecuación para llegar a mg CO₂-C kg⁻¹ de suelo (Haney et al., 2008: pp. 171).

1.5.2.2. Método de Cámara Cerrada

El método CC que utiliza IRGA para medir las tasas de emisión de CO₂ de los suelos aún no se ha examinado sistemáticamente, aunque ha habido algunos informes que utilizan cromatografía de gases. Las ventajas de usar IRGA son que el precio del equipo y los costos operativos son bajos, y el equipo se ha vuelto popular recientemente en los laboratorios ecológicos, en comparación con la cromatografía de gases. El objetivo de este estudio es establecer la técnica de cámara cerrada utilizando IRGA para la medición de las tasas de respiración del suelo. En particular, se examinaron el sistema de medición, el volumen de aire muestreado de la cámara y el período de tiempo de medición (Bekku et al., 1995: pp. 370).

1.6. Bases Conceptuales

1.6.1. Páramo alto Andino

Ecosistema de alta nubosidad y permanente humedad debido a las abundantes precipitaciones que fácilmente superan los 1000 mm e incluso 3000mm, dispone de especímenes vegetales autóctonos entre los que destacan las gramíneas (pajonales) del género Calamagrostis, Festuca, Stipa y Agrostis aprovechadas por los herbívoros como alimento, este ecosistema es propio de las zonas altas (>3000msnm) de Colombia y Ecuador. (Chaparro, 2012, citado en Fiallos et al, 2015)

1.6.2. Litología

Rama de la geología que estudia las características de las rocas (Cajilema y Piguabe, 2020: p.15) y divide el área de estudio en: Cuarzita, Esquicito, Meta, Volcánica, Depositos Glaciares, Tobas, Aglomerados, Andesitas, Terrazas; Cenizas, Andecita, Porfírica, Riolita, No Riolita, Aglomerado, Lava, Dacita y SVS

1.6.3. Altitud

Distancia medida en vertical desde la orilla del mar hasta un punto en específico.

1.6.4. Respiración Edáfica Heterótrofa microbiana

Proceso en el cual la microfauna edáfica exhala CO₂ a la atmósfera mediante un proceso metabólico en el cual se cataboliza la materia orgánica, esta puede ser interpretada como la cantidad de oxígeno consumida por los organismos para descomponer la materia orgánica o como la cantidad de CO₂ exhalada por los mismos en el proceso (Norman y Broadbent,1965: pp.832-871).

1.6.5. Efecto invernadero

Proceso generando por gases poco densos, entre ellos el dióxido de carbono, absorben y reemiten radiación infrarroja proveniente del espacio hacia la biosfera aumentando la temperatura del planeta (Mitchell,1989:pp.1)

1.6.6. Calentamiento Global

Fenómeno moderno causado por el incremento del efecto invernadero generando un alza en la temperatura media global, el incremento térmico que experimenta el planeta se vuelve cada vez más alto con el pasar del tiempo y se lo relaciona en mayor proporción al descontrolado aumento de las concentraciones de CO₂ expulsado la atmósfera por las actividades humanas. (Caballero et al, 2007:pp.3-5)

1.6.7. Suelo de páramo

“Es la capa de la corteza terrestre que proporciona servicios ambientales en la cual permite crecimientos de plantas, retiene nutrientes y almacena agua, además es un reservorio de microorganismos” (Conti,2000, citado en Morales,2020)

CAPÍTULO II

2. MARCO METODÓLOGICO

2.1. Lugar de estudio

2.1.1. Ubicación

La zona sur oriental de la sub-cuenca del Rio Chambo se encuentra ubicada dentro de los cantones Guamote y Alausí de la Provincia de Chimborazo, esta parte de la unidad hidrográfica pertenece a la cuenca alta del Rio Pastaza y se origina en la cordillera central de los andes ecuatorianos (CESA,2015,pp.30-31). La zona en estudio tiene una superficie de 12543.3 hectáreas (GIDAC,2020)

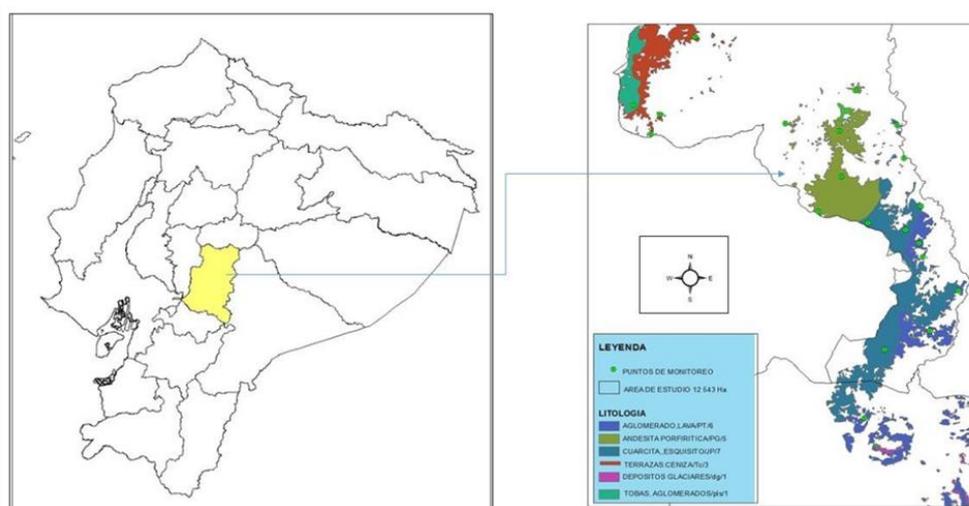


Figura 1-2. Ubicación geográfica de la subcuenca del Río Chambo.

Fuente: GIDAC, 2021

2.1.2. Límites

Los límites de la zona sur oriental de la sub cuenca del rio chambo son:

Norte: Cantones Colta y Riobamba, en la provincia de Chimborazo.

Sur: Cantón Alausí, en la provincia de Chimborazo.

Este: Provincia de Morona Santiago

Oeste Cantones Guamote y Pallatanga, en la provincia de Chimborazo.

(CESA,2015,pp.30-31)

2.1.3. Altitud

La ubicación altitudinal de la zona sur oriental de la subcuenca de río Chambo, provincia de Chimborazo se encuentra a 3000 m.s.n.m. la parte inferior y 5000 m.s.n.m. la parte superior. En la cual el suelo intervenido (pastos y plantaciones de coníferas) se encuentra desde los 3000 m.s.n.m. hasta los 3800 m.s.n.m. y los suelos no intervenidos (páramo mixto) se encuentra desde los 3400 m.s.n.m. hasta los 5000 m.s.n.m.

2.1.4. Condiciones climáticas

Las características climatológicas de la zona sur oriental de la subcuenca del Rio Chambo al igual que en las demás zonas que conforman esta unidad hidrográfica son dependientes de la geografía y la altitud a la cual sean monitoreadas (CESA,2015,p.40).

La temperatura varía ampliamente en toda la subcuenca, desde su punto más alto hasta su punto más bajo, fluctuando desde los -4°C hasta los 16°C respectivamente. (CNRH,2007;citado en CESA,2015:pp.40).

La pluviometría en toda la subcuenca del rio Chambo se ve fuertemente influenciada por las masas de aire húmedo de la Amazonía, razón por la cual las lluvias están presentes todo el año, sin embargo, en la zona oriental existen disminuciones poco significantes en los meses de octubre y diciembre, fuera de estas fechas el sector tiene precipitaciones que superan a las de las otras zonas de la subcuenca, fluctuando desde los 400 hasta los 2000mm, siendo los meses de junio y septiembre aquellos en donde se registran precipitaciones cercanas o iguales al límite superior.(CESA,2015:pp.40).

2.2. Tipo de Investigación

El presente trabajo de acuerdo al método de investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que es secuencial y probatorio. En función de su objetivo esta es de tipo aplicada ya que se aplicarán métodos, técnicas y teorías que sustentarán los resultados obtenido. Según su nivel de profundidad en el objeto de estudio, la investigación es de tipo exploratoria, debido a que se desconoce la litología, altitud y condición de intervención donde se produce la exhalación de CO₂ más significativa. La manipulación de variables indica que esta investigación es de tipo cuasiexperimental pues no se tomarán en cuenta circunstancias de control, pero si se considerará el principio de aleatoriedad de la muestra. Por el lugar de estudio la investigación es de laboratorio. El periodo temporal indica que el trabajo es de tipo transversal. Finalmente, según el tipo de inferencia, la investigación es de carácter deductiva, ya que mediante razonamiento se obtendrán conclusiones, partiendo de generalizaciones encontradas en literatura académica referente a la calidad de suelos a nivel mundial, regional y provincial, para llegar a relacionarla con los resultados obtenidos en las muestras procedentes de la zona sur oriental de la sub cuenca

del río Chambo.

2.3. Diseño de la investigación

El diseño experimental utilizado en la investigación es de tipo cuasiexperimental ya que se obtendrán resultados en una variable dependiente (Cantidad de CO₂) a partir de la interacción de variables independientes (Litología, Altitud y Condición de intervención), considerando el principio de aleatoriedad de la muestra, pero sin tomar en cuenta circunstancias de control.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis nula

La intervención, litologías y altitudes no producen diferencias significativas en la cantidad de CO₂ exhalado por los suelos pertenecientes a la zona sur oriental de la sub cuenca del río Chambo.

2.4.2. Hipótesis alternativa

La intervención, litologías y altitudes producen diferencias significativas en la cantidad de CO₂ exhalado por los suelos pertenecientes a la zona sur oriental de la sub cuenca del río Chambo.

2.5. Variables

2.5.1. Variable dependiente

Respiración Edáfica de la zona sur oriental de la sub cuenca del río Chambo.

2.5.2. Variable independiente

Litología, Altitud y Condición de intervención.

2.6. Técnicas de recolección de datos

El área de estudio fue delimitada con la ayuda de un sistema de información geográfica (SIG) de ESRI®:Arcgis®, con el propósito de conocer con exactitud el área de estudio correspondiente a la zona sur oriental de la subcuenca del río Chambo, provincia de Chimborazo.

2.7. Unidad de Análisis

Se recogió 1kg de muestra compuesta, basado en los puntos teóricos establecidos por el SIG, las muestras proceden de la zona sur oriental de la subcuenca del río Chambo, Cantones Guamote y Alausí, de provincia de Chimborazo, Ecuador.

2.8. Población de estudio

Se considera como población o universo a la zona sur oriental de la unidad hidrográfica de la subcuenca del Rio Chambo cuya superficie es de 12543.3 hectáreas (ha), correspondiente a los cantones Guamote y Alausí de la Provincia de Chimborazo.

2.9. Tamaño de muestra

El diseño muestral se realizó tomando en cuenta un muestreo aleatorio estratificado definiendo a los estratos como las litologías presentes en la zona sur occidental de la sub cuenca del rio chambo. La ecuación 1-2 se utiliza para el cálculo del número de muestras total con un nivel de confianza del 95%:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^L \frac{N_i \cdot p_i \cdot q_i}{a_i}}{N \cdot D + \sum_{i=1}^L N_i \cdot p_i \cdot q_i} \cong 72 \quad \text{Ecuación 1 - 2}$$

Donde:

n = Tamaño de muestra total.

N_i = Área de las litologías.

L = Número de estratos

p_i = Porcentaje de CO₂.

$q_i = 1 - p_i$.

a_i = Afijación proporcional de acuerdo con la litología.

N = Área total de los sectores de análisis los herbazales de páramo de la zona sur occidental de la sub cuenca del rio Chambo

$$D = \frac{B^2}{4}$$

B = Error del experimentador.

Tomando en cuenta la metodología establecida por Ministerio del Ambiente y ONU-REDD+(2012); citados en Morales (2020,pp.25-26), denominada “por conglomerados”, en donde cada conglomerado se compone por 3 parcelas, se necesitarían muestrear 24 conglomerados, dando un total de 72 parcelas a muestrear.

2.9.1. Selección de la muestra (número de conglomerados por estrato)

Determinado el tamaño muestral completo, se procede a la determinación del número de muestras (conglomerados) para cada una de las litologías (estratos), mediante el cálculo de las afijaciones proporcionales para cada zona en el área de análisis correspondiente a la zona sur oriental de la sub cuenca del río Chambo, partiendo de la ecuación 2-2:

$$n_i = n * a_i; \quad a_i = \frac{N_i}{N} \quad \text{Ecuación 2-2}$$

Se determinaron los siguientes tamaños por estrato:

Tabla 1-2. Tamaños muestrales por estrato (litología)

Símbolo	Litología	Superficie (ha)	Número de muestras (conglomerados)
JP	Cuarcita, Esquicito, Meta, Volcánica	3826.7	7
SVS	Rocas volcánicas, sedimentarias y lavas	498.1	1
DG	Depositos Glaciares	339.9	1
PLS	Tobas, Aglomerados, Andesitas	632.4	1
TC	Terrazas; Cenizas (2 Fases)	1563.6	3
PG	Andesita, Porfírica, Riolita, No Riolita	2512	5
PT	Aglomerado, Lava, Dacita	3170.6	6
TOTAL		12543.3	24

Fuente: GIDAC, 2020

Realizado por: Bautista Jefferson & Shirley Lema, 2021

2.10. Diseño experimental

Se utilizó un diseño factorial mixto desbalanceado, el cual corresponde a una situación en donde “los factores en el experimento no tienen el mismo número de niveles”. Se establecieron tres factores (variables independientes), cuyos niveles se detallan a continuación.

Tabla 2-2. Factores y niveles de estudio.

FACTOR 1 R= Rango altitudinal	FACTOR 2 I= Intervención	FACTOR 3 L= Litología
R ₁ = 3000-3200 msnm	I ₁ = Intervenido con pinos	L ₁ =JP
R ₂ = 3200-3400 msnm	I ₂ = Intervenido con pastos	L ₂ =SVS
R ₃ = 3400-3600 msnm	I ₃ =No intervenido (páramo mixto)	L ₃ =Dg
R ₄ = 3600-3800 msnm		L ₄ =PLS
R ₅ = 3800-4000 msnm		L ₅ =TC
R ₆ = 4000-4200 msnm		L ₆ =PG
		L ₇ =PT

Fuente: GIDAC, 2020

Realizado por: Bautista Jefferson & Shirley Lema, 2021

En función a lo expuesto anteriormente se desarrolló el siguiente diseño factorial mixto:

Tabla 3-2. Diseño experimental factorial mixto aplicado.

Conglomerado	Nº de parcela	Parcela	L	R	I	Repeticiones (A)	
1	1	A1	L1	R1	I1	r1	r2
	2	A2	L1	R1	I1	r1	r2
	3	A3	L1	R1	I1	r1	r2
2	4	A1	L1	R2	I1	r1	r2
	5	A2	L1	R2	I1	r1	r2
	6	A3	L1	R2	I1	r1	r2
3	7	A1	L1	R3	I1	r1	r2
	8	A2	L1	R3	I1	r1	r2
	9	A3	L1	R3	I1	r1	r2
4	10	A1	L1	R4	I2	r1	r2
	11	A2	L1	R4	I2	r1	r2
	12	A3	L1	R4	I2	r1	r2
5	13	A1	L1	R5	I2	r1	r2
	14	A2	L1	R5	I2	r1	r2
	15	A3	L1	R5	I2	r1	r2
6	16	A1	L1	R5	I3	r1	r2
	17	A2	L1	R5	I3	r1	r2
	18	A3	L1	R5	I3	r1	r2

Conglomerado	Nº de parcela	Parcela	L	R	I	Repeticiones (A)	
7	19	A1	L1	R6	I3	r1	r2
	20	A2	L1	R6	I3	r1	r2
	21	A3	L1	R6	I3	r1	r2
8	22	A1	L2	R5	I3	r1	r2
	23	A2	L2	R5	I3	r1	r2
	24	A3	L2	R5	I3	r1	r2
9	25	A1	L3	R5	I3	r1	r2
	26	A2	L3	R5	I3	r1	r2
	27	A3	L3	R5	I3	r1	r2
10	28	A1	L4	R6	I3	r1	r2
	29	A2	L4	R6	I3	r1	r2
	30	A3	L4	R6	I3	r1	r2
11	31	A1	L5	R3	I2	r1	r2
	32	A2	L5	R3	I2	r1	r2
	33	A3	L5	R3	I2	r1	r2
12	34	A1	L5	R4	I2	r1	r2
	35	A2	L5	R4	I2	r1	r2
	36	A3	L5	R4	I2	r1	r2
13	37	A1	L5	R5	I3	r1	r2
	38	A2	L5	R5	I3	r1	r2
	39	A3	L5	R5	I3	r1	r2
14	40	A1	L6	R2	I1	r1	r2
	41	A2	L6	R2	I1	r1	r2
	42	A3	L6	R2	I1	r1	r2
15	43	A1	L6	R3	I1	r1	r2
	44	A2	L6	R3	I1	r1	r2
	45	A3	L6	R3	I1	r1	r2
16	46	A1	L6	R4	I2	r1	r2
	47	A2	L6	R4	I2	r1	r2
	48	A3	L6	R4	I2	r1	r2
17	49	A1	L6	R5	I3	r1	r2
	50	A2	L6	R5	I3	r1	r2
	51	A3	L6	R5	I3	r1	r2
18	52	A1	L6	R5	I1	r1	r2
	53	A2	L6	R5	I1	r1	r2
	54	A3	L6	R5	I1	r1	r2
19	55	A1	L7	R3	I3	r1	r2
	56	A2	L7	R3	I3	r1	r2
	57	A3	L7	R3	I3	r1	r2
20	58	A1	L7	R4	I3	r1	r2
	59	A2	L7	R4	I3	r1	r2
	60	A3	L7	R4	I3	r1	r2
21	61	A1	L7	R4	I2	r1	r2
	62	A2	L7	R4	I2	r1	r2

Conglomerado	Nº de parcela	Parcela	L	R	I	Repeticiones (A)	
	63	A3	L7	R4	I2	r1	r2
22	64	A1	L7	R5	I3	r1	r2
	65	A2	L7	R5	I3	r1	r2
	66	A3	L7	R5	I3	r1	r2
	67	A1	L7	R6	I3	r1	r2
23	68	A2	L7	R6	I3	r1	r2
	69	A3	L7	R6	I3	r1	r2
	70	A1	L7	R5	I3	r1	r2
24	71	A2	L7	R5	I3	r1	r2
	72	A3	L7	R5	I3	r1	r2

Fuente: GIDAC, 2021

Realizado por: Bautista, J.; Lema, S.; 2021

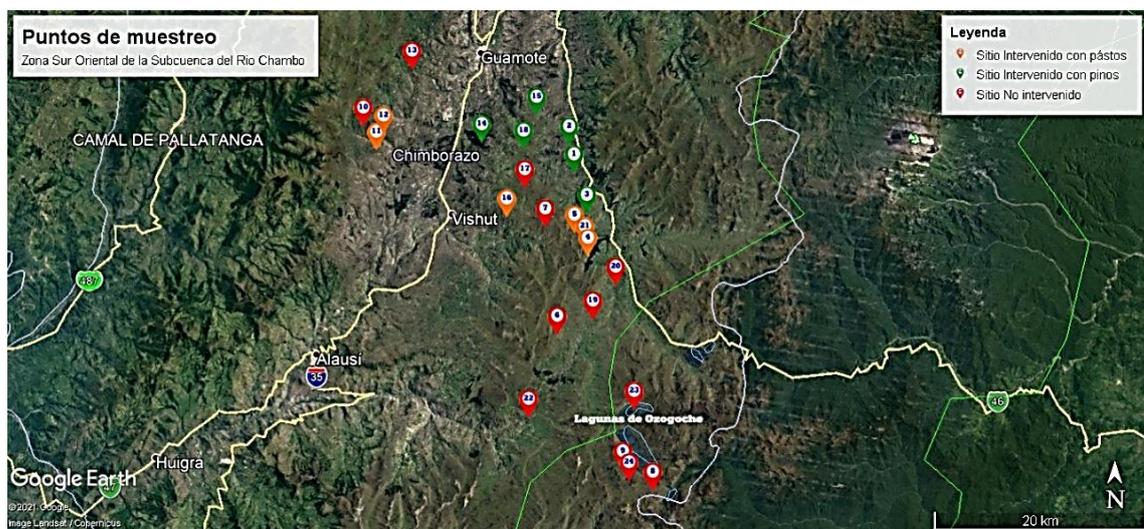


Figura 2-2. Ubicación geográfica de los 24 conglomerados a estudio.

Fuente: GIDAC, 2021

2.11. Fase de Campo

2.11.1. Identificación del uso del Suelo

La plataforma digital Google Earth, sirvió para efectuar un sondeo satelital para identificar el uso de los suelos de la zona sur oriental de la subcuenca del río Chambo, provincia de Chimborazo. Para lo cual se logró identificar que los suelos no intervenidos correspondían a páramo conservado, mientras que las zonas intervenidas comprendían en su mayoría por cultivos de pasto y bosques de pinos.

2.11.2. Diseño de muestreo

La recolección de muestras se llevó a cabo siguiendo la metodología establecida por Ministerio

del Ambiente y ONU-REDD+(2012); citados en Morales (2020,pp.25-26), a la cual los autores antes citados la denominan “por conglomerados” que consiste en ubicar las coordenadas del sitio a muestrear o conglomerado, con la ayuda de un dispositivo GPS, luego de ello sin salir de la unidad litológica y el rango altitudinal dictado en el diseño experimental para el conglomerado en estudio, se procede a establecer tres parcelas, separadas 250metros (m) una de otra, la disposición del conjunto de parcelas será en forma de una letra “L” latina ; dentro de cada parcela se establecen cinco subparcelas y la disposición de este subconjunto será en forma de una letra “X” latina, separadas 20m una de otra, la muestra es extraída de cada esquina y el centro de la “X”.

La extracción de la muestra se la realizó por la técnica de barrenación (equipo de barreno), en la cual se selecciona un monolito que se va a retirar a una profundidad de entre 0- 0.15 m, la cual servirá para realizar su posterior análisis, se tomaron 3 muestras compuestas para la cuantificación de la respiración edáfica.

El proceso se repite para los 24 conglomerados, dando un total de 72 parcelas a muestrear.

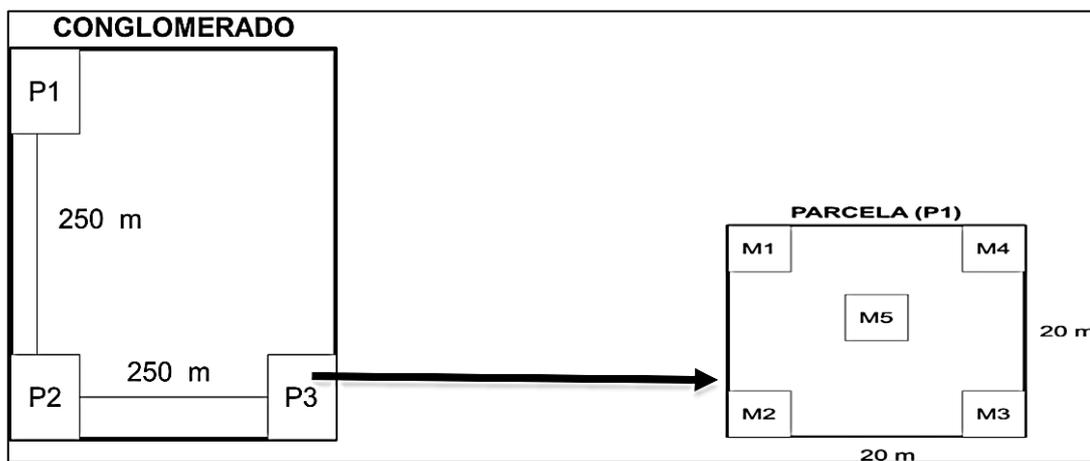


Figura 3-2. Descripción gráfica del diseño muestral (por conglomerados)

Fuente: Morales Gregorio, 2020

2.11.3. Método para la cuantificación de la respiración edáfica

La técnica de barrenación implica la extracción de una monolito cilíndrico mediante giros y presión del instrumento (barreno) sobre la superficie del suelo hasta llegar a la profundidad requerida, para la correcta extracción del monolito primero se debe remover un monolito de suelo cualquiera, ubicado dentro de la subparcela a muestrear, posteriormente se lo desecha y se limpia el instrumento con la ayuda de una espátula de acero inoxidable, esto con el objetivo de acondicionar el instrumento. Luego del proceso de acondicionamiento con la ayuda de un azadón se procede a retirar la capa de biomasa que cubre el suelo, seguido de ello se introduce el barreno

realizando giros en sentido horario y a la vez presionando el instrumento verticalmente hacia abajo, esto hasta que llegue a la profundidad de 0.15m, realizando un giro en sentido antihorario se extrae el barreno y se descarta la parte inferior y superior del monolito extraído, la parte intermedia del mismo es colocada en una funda de halar de 5libras (lb) de capacidad, se limpia el barreno y se procede a extraer otro monolito del siguiente punto de la subparcela, el siguiente monolito extraído también será depositado dentro de la misma bolsa de halar. Una vez culminado el muestreo de la parcela se procede a desintegrar los monolitos recolectados en cada subparcela dentro de la bolsa de halar de 5lb, luego de ello se homogenizan las muestras y se traspasan a una bolsa de sello hermético (ziploc) con el fin de evitar pérdidas de humedad por transpiración. La cantidad de muestra aproximada es de 1 Kg (2 lb). Antes de sellar la bolsa hermética esta es presionada para eliminar el aire que se acumula dentro de ella, para finalizar se etiqueta la bolsa usando una codificación en la que se incluye el número del conglomerado, la litología, el rango altitudinal, la condición de intervención y el número de parcela.

2.12. Fase de Laboratorio

2.12.1. Preparación de reactivos

Los datos de masa y volumen utilizados proceden del cálculo estequiométrico presentado en el Anexo 1. Todos los reactivos fueron preparados con agua desmineralizada ultra pura marca LAB®.

➤ Solución 1 molar (M) de Hidróxido de Sodio (NaOH)

- Se pesó 10.2041 gramos (g) de NaOH una balanza analítica marca Ohaus ® con la ayuda de un vaso de precipitación y una espátula de acero inoxidable limpia.
- Se prediluyó el reactivo pesado en el vaso de precipitación con una pequeña porción de agua destilada con la ayuda de una varilla de agitación.
- El reactivo prediluido fue transvasado a un balón de aforo de 250 mililitros (mL) con la ayuda de un embudo simple y la varilla para evitar derrames.
- El vaso en el que se prediluyó el reactivo es enjuagado con agua destilada para diluir posibles restos del reactivo, el líquido fue trasvasado al balón (este paso se lo ejecutó dos veces).
- El balón de aforo fue enrazado con la ayuda de una piseta con agua destilada.
- Se colocó la tapa del balón y se agitó el mismo 5 veces.
- Finalmente la solución es almacenada en una botella de polietileno de 1 litro (L)

➤ Solución 0.1M de NaOH

- Se pesó 1.0204 gramos (g) de NaOH una balanza analítica marca Ohaus ® con la ayuda de un vaso de precipitación y una espátula de acero inoxidable limpia.
- Se prediluyó el reactivo pesado en el vaso de precipitación con una pequeña porción de agua destilada con la ayuda de una varilla de agitación.
- El reactivo prediluido fue transvasado a un balón de aforo de 250mL con la ayuda de un embudo simple y la varilla para evitar derrames.
- El vaso en el que se prediluyó el reactivo es enjuagado con agua destilada para diluir posibles restos del reactivo, el líquido fue trasvasado al balón (este paso se lo ejecutó dos veces).
- El balón de aforo fue enrazado con la ayuda de una piseta con agua destilada.
- Se colocó la tapa del balón y se agitó el mismo 5 veces.
- Finalmente la solución es almacenada en una botella de polietileno de 1 litro (L)

➤ **Solución 0.05M de Cloruro de Bario dihidratado ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)**

- Se pesó 3.0843 gramos (g) de $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ una balanza analítica marca Ohaus ® con la ayuda de un vaso de precipitación y una espátula de acero inoxidable limpia.
- Se prediluyó el reactivo pesado en el vaso de precipitación con una pequeña porción de agua destilada con la ayuda de una varilla de agitación.
- El reactivo prediluido fue transvasado a un balón de aforo de 250mL con la ayuda de un embudo simple y la varilla para evitar derrames.
- El vaso en el que se prediluyó el reactivo es enjuagado con agua destilada para diluir posibles restos del reactivo, el líquido fue trasvasado al balón (este paso se lo ejecutó dos veces).
- El balón de aforo fue enrazado con la ayuda de una piseta con agua destilada.
- Se colocó la tapa del balón y se agitó el mismo 5 veces.
- Finalmente la solución es almacenada en una botella vidrio Ámbar de 500 mL.

➤ **Solución 0.05M de Ácido Clorhídrico (HCl)**

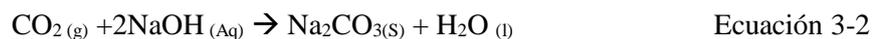
- Se agregaron 20mL de agua destilada en un balón de aforo limpio de 250mL.
- Se procedió a medir exactamente 1,04 mL de HCl con la ayuda de una pipeta graduada.
- Se vertió el HCl medido dentro del balón de aforo que contenía el agua destilada.
- Se adicionó al balón de aforo aproximadamente 20mL de agua destilada con la ayuda de un vaso de precipitación.

- Se terminó de enrazar el balón con la ayuda de una piseta con agua destilada.
- La solución es almacenada en una botella vidrio Ámbar de 500 mL
- **Solución de fenolftaleína 0.1%(p/v) en etanol 60% (v/v)**
- Se pesaron 0,1 g de fenolftaleína químicamente pura en una balanza analítica marca Ohaus®.
- La fenolftaleína pesada fue depositada en un balón de aforo de 100 mL
- Se añade etanol a 60 % con una agitación constante hasta llegar a la línea de aforo.
- Finalmente se almacenó la solución en un gotero de vidrio ámbar.

2.12.2. *Cuantificación de la respiración edáfica*

La cuantificación de la respiración edáfica se la llevo a cabo mediante un método indirecto, denominado titulación por neutralización, se optó por este método debido a su baja complejidad y escaso requerimiento de material y equipamiento.

Bloem, Hopkins y Benedetti (1959); citados en Morales (2020, pp.43-44), describen el principio de esta metodología en donde afirman que el dióxido de carbono (CO₂) exhalado por los microorganismos edáficos es capturado eficazmente por una solución captadora de hidróxido de sodio (NaOH), según la siguiente ecuación estequiométrica:

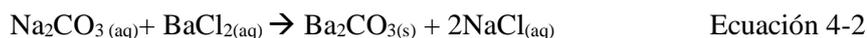


El proceso de captación se lo realiza dentro de una cámara de incubación para evitar fugas de CO₂, la muestra de suelo se encuentra dentro de la cámara junto con un vial que contiene una solución captadora de NaOH.

El NaOH dentro de la cámara reacciona con el CO₂ desprendido por la muestra edáfica para formar Carbonato de sodio (Na₂CO₃) y agua (H₂O), la ecuación estequiométrica muestra también que por cada mol de CO₂ edáfico exhalado reaccionarán 2 moles de NaOH, por tanto se puede determinar la concentración de CO₂ emanada por el suelo al relacionarla con la cantidad de moles de NaOH del vial que reaccionaron, las cuales a su vez se las obtiene por diferencia entre la concentración final de NaOH en el vial (después de captar CO₂) y la concentración inicial de NaOH en el vial (antes de captar CO₂).

El Na₂CO₃ formado en la ecuación 3-2 tiene una solubilidad de 30.7 g por cada 100 g de agua, razón por la cual se encuentra formado parte de la disolución dentro del sistema, lo cual constituye una interferencia al momento de ejecutar la titulación, para eliminar este inconveniente se ejecuta una reacción de desplazamiento dentro del sistema, utilizando cloruro

de bario (BaCl_2), como se observa en la siguiente ecuación:



El Carbonato de Bario (Ba_2CO_3) formado por el desplazamiento del Sodio en la ecuación 4-2, tiene una solubilidad de 0,0024g por cada 100 g de agua, lo que lo hace prácticamente insoluble en el sistema, por lo que precipita, dejando de ser interferencia en la titulación.

Para favorecer el equilibrio hacia la derecha de la ecuación 3-2, la disposición de iones OH^- procedentes del NaOH debe ser alta, al final de la incubación, el excedente de NaOH (que no reaccionó) es determinado por una titulación por neutralización usando un patrón secundario de ácido clorhídrico (HCl) como titulante.

De acuerdo a lo descrito por Bloem, Hopkins y Benedetti (1959); citados en Morales (2020, pp.43-44) se ejecutó el siguiente protocolo de análisis:

1. Preincubación

Se refiere a ingresar la muestra de suelo y un blanco (sin adición de sustrato) dentro de una cámara hermética por 7 días con el fin de disminuir las anomalías causadas por el aumento intempestivo de la actividad microbiana y por ende la excesiva exhalación de CO_2 (Jenkinson, 1988; citado en Ochoa y Urroz, 2011), producto de las perturbaciones que sufre la muestra al ser trasladada del campo al laboratorio, entre las perturbaciones se pueden mencionar: humectación, secado, descongelación, congelación, entre otros (Bloem, Hopkins, 1959; citados en Morales, 2020) y en el caso del blanco capturar el CO_2 ambiental encerrado en el frasco. Es el tratamiento previo a la captación del CO_2 cuantificable.

Procedimiento:

- Se seleccionaron frascos de capacidad 850 mL con tapa.
- En el fondo del frasco se colocó un trozo de papel filtro recortado de acuerdo a la forma de la base del frasco.
- Se humectó el papel filtro del frasco con agua desmineralizada ultra pura marca LAB®, previamente desgasificada mediante tratamiento térmico (agua hervida).
- Se agregaron 40g de muestra de suelo, tratando de colocar la muestra en los extremos del frasco, dejando un espacio suficiente en el centro para colocar un vaso de precipitación, teniendo precaución de que la muestra no contenga hojas, raíces, semillas ni rocas.

- En un vaso de precipitación se colocaron 2mL de la solución de NaOH 1M.
- Con la ayuda de unas pinzas de crisol se introdujo el vaso dentro del frasco, ubicándolo en el lugar dejado cuando se colocó la muestra de suelo.
- Se hermetizó el frasco con una cinta de Parafilm®, sobre la cual se colocó la correspondiente tapa.
- Se ubicaron las muestras preincubadas en un sitio libre de vibraciones y luz solar, durante 7 días contados a partir del momento en el que se hermetiza el frasco.

2. Incubación

Se refiere a ingresar dentro de una cámara hermética un nuevo vial con NaOH, por 24 horas, en esta ocasión la solución captadora será de concentración menor a la de Preincubación.

El objetivo de que este procedimiento es que la solución captadora reaccione con el CO₂ cuantificable emanado por los microorganismos del suelo, para la posterior valoración.

Procedimiento:

- Después de haber transcurrido los 7 días de Preincubación, cada frasco fue abierto cuidadosamente.
- Con la ayuda de unas pinzas de crisol se retiró el vaso con la solución de preincubación, teniendo cuidado de no mover el sustrato.
- Se humectó nuevamente el papel filtro del frasco con agua desmineralizada ultra pura marca LAB®, previamente desgasificada mediante tratamiento térmico (agua hervida).
- En un vaso de precipitación se colocaron 2mL de la solución de NaOH 0.1M.
- Con la ayuda de unas pinzas de crisol se introdujo el vaso dentro del frasco, ubicándolo en el mismo lugar donde estuvo ubicado el vial de preincubación.
- Se hermetizó el frasco con una cinta de Parafilm®, sobre la cual se colocó la correspondiente tapa.
- Se ubicaron las muestras preincubadas en un sitio libre de vibraciones y luz solar, durante 24 horas contadas a partir del momento en el que se hermetiza el frasco.

3. Medición

Se refiere al análisis volumétrico (titulación) por neutralización de las muestras y el blanco (sin sustrato) con el objetivo de determinar la concentración de NaOH restante (sin reaccionar) luego de la incubación.

Procedimiento:

- En un soporte universal se acopló una pinza doble para bureta.
- En los extremos de la pinza se sujetaron dos buretas graduadas de 50mL.
- Se purgó y enceró la primera bureta con la solución de HCl 0,05M.
- La segunda bureta se purgó y enceró con la solución de BaCl 0.05M.
- Con la ayuda de unas pinzas de crisol se retiró el vaso con la solución de incubación.
- Se añadieron en el vial de incubación 4mL de BaCl 0.05M de la segunda bureta.
- Se adicionaron 4 gotas de la solución de fenolftaleína 0.1%.
- Se colocó un papel blanco bond, bajo la llave de la primera bureta, con el objetivo de identificar claramente el cambio de color en el punto de equivalencia.
- Sobre el papel se colocó el vial de incubación a valorar y se abre lentamente la llave de la bureta para comenzar la titulación gota a gota y con agitación constante.
- La titulación se detiene cuando el color de la solución del vial cambia de rosa a incolora.
- Se anota el gasto de la solución de HCl 0,05M durante la titulación.

4. Cálculo

A partir del volumen de HCl patrón secundario gastado durante la titulación se efectuó el cálculo mediante la siguiente fórmula (Bloem, Hopkins y Benedetti, 1959; citados en Morales, 2020):

$$Re = \frac{Mc * (Vb - Vt) * Ct}{Sdw * t * 2} * 10^3 \quad \text{Ecuación 5 - 2}$$

Donde:

Re: Respiración Edáfica en (microgramos de CO₂-Carbono por gramo hora) ugCO₂-Cg⁻¹h⁻¹

Mc: Peso molecular del carbono (12.01 g/mol)

Vb: Volumen en mililitros de HCL patrón secundario consumido durante la titulación del blanco

Vt: Volumen en mililitros del titulante HCL 0,05M consumido durante la titulación de las muestras

Ct= Concentración del titulante [HCl]

Sdw: Peso de la muestra de suelo en gramos (g)

t: Tiempo de incubación en horas (h)

2: Factor estequiométrico de la ecuación 3-2.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el procedimiento de cuantificación de la respiración edáfica se encuentran en el “Anexo A” de este documento.

3.1. Análisis Estadístico e interpretación de los resultados de la respiración edáfica de los suelos de la Zona Sur Oriental de la Subcuenca de río Chambo.

Para determinar la técnica estadística adecuada y percibir las diferencias entre los valores de respiración edáfica en la Zona Sur Oriental de la Subcuenca de río Chambo, se procedió a determinar el comportamiento de los datos obtenidos en el laboratorio, de acuerdo con la ley de probabilidad con la que se distribuyen, obteniendo los resultados de la Tabla 1-3. Luego de aplicar la prueba de Anderson-Darling para muestras grandes (mayores de 50 individuos).

Tabla 1-3. Resultados de la prueba de Anderson Darling a los datos de Respiración Edáfica.

Variable de datos	Respiración edáfica
Valor de A	0.46255
Valor de p	0.254
A: Valor del estadístico Anderson Darling p: Probabilidad	

Fuente: GIDAC, 2021

Realizado por: Bautista, J.; Lema, S. 2021

Los resultados del estadístico (0.46) y valor p (0.25) del test de hipótesis de Anderson-Darling aplicado a los datos de respiración edáfica muestran que no existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, por lo que se puede asumir que los datos se distribuyen con ley Normal de probabilidad, en consecuencia se procede a realizar un análisis de varianza (ANOVA). Se toma en cuenta como variables independientes: Altitud, Litología e Intervención Antrópica; mientras que la variable dependiente son los valores de Respiración Edáfica.

3.1.1. Análisis de Varianza (ANOVA)

Tabla 2-3. Resumen del ANOVA factorial para las variables Altitud, Litología e Intervención.

Factores	GL	SC	CM	F	p
Altitud	5	1,5099	0,3020	17,826	3,20x10 ⁻¹³
Litología	6	0,3141	0,0524	3,091	0,00751
Intervención	1	0,1601	0,1601	9,448	0,00261
Altitud: Litología	8	0,8330	0,1041	6,147	1,21 x10 ⁻⁶
Litología: Intervención	2	0,7118	0,3559	21,009	1,47x10 ⁻⁸
Residuos	121	2,0498	0,0169		
GL: Grados de libertad SC: Suma de cuadrados CM: Cuadrados medios F: Valor del estadístico de Fisher P: Probabilidad					

Fuente: GIDAC, 2021

Realizado por: Bautista, J.; Lema, S. 2021

El ANOVA aplicado determina que las variables Altitud, Litología e Intervención rechazan la hipótesis nula, es decir, cada una de sus categorías presentan diferencias altamente significativas en cuanto al contenido de respiración edáfica del suelo. De igual manera, las interacciones entre las variables Litología y Altitud, y las variables Litología e Intervención muestran un efecto activo en la respiración edáfica.

3.1.2. Validación de Supuestos

Si bien se han determinado los efectos principales y de interacción de las variables Altitud, Litología e Intervención frente a la variable de respuesta de Respiración Edáfica, es necesario validar los resultados del análisis realizado, por lo que se procede a realizar la determinación de la normalidad, homogeneidad de varianza e independencia de los residuos del modelo de efectos fijos calculado para las variables mencionadas.

1. Normalidad de los residuos

Tabla 3-3. Prueba de Anderson-Darling para determinar Normalidad de los residuos

Variable de datos	Respiración edáfica
Valor de A	0.50514
Valor de p	0.1997

Fuente: GIDAC, 2021

Realizado por: Bautista, J.; Lema, S. 2021

En la Tabla 3-3 se observa que el valor p del test de normalidad (0.1997) es mayor al nivel de significancia de 0.05. Por esta razón se concluye que no se debe rechazar la hipótesis nula, por lo que se puede asumir que los residuos cumplen con el supuesto de Normalidad.

2. Homocedasticidad de los residuos

Para probar el supuesto de homocedasticidad se utilizó la prueba de Bartlett

Tabla 4-3. Prueba de Bartlett para determinar Homogeneidad de Varianza en los residuos

Datos analizados:	RE y Altitud :Litología: Intervención
K cuadrados de Bartlett	61,913
df	22
p	$1,159 \times 10^{-5}$

Fuente: GIDAC, 2021

Realizado por: Bautista, J.; Lema, S. 2021

De acuerdo con la Tabla 4-3 donde se realizó un test de Bartlett, se calculó un valor p de aproximadamente 0, motivo por el cual se concluye un rechazo de la hipótesis nula de homocedasticidad. Es decir, se puede decir que las varianzas no son constantes u homogéneas en los residuos, fallando en el cumplimiento de este supuesto para los residuos.

3. Independencia de los residuos

En cuanto al supuesto de independencia de los residuos, para este caso se asume el cumplimiento de dicho supuesto. Esto se puede determinar porque los datos con los cuales se realiza la presente investigación fueron obtenidos mediante un muestreo probabilístico.

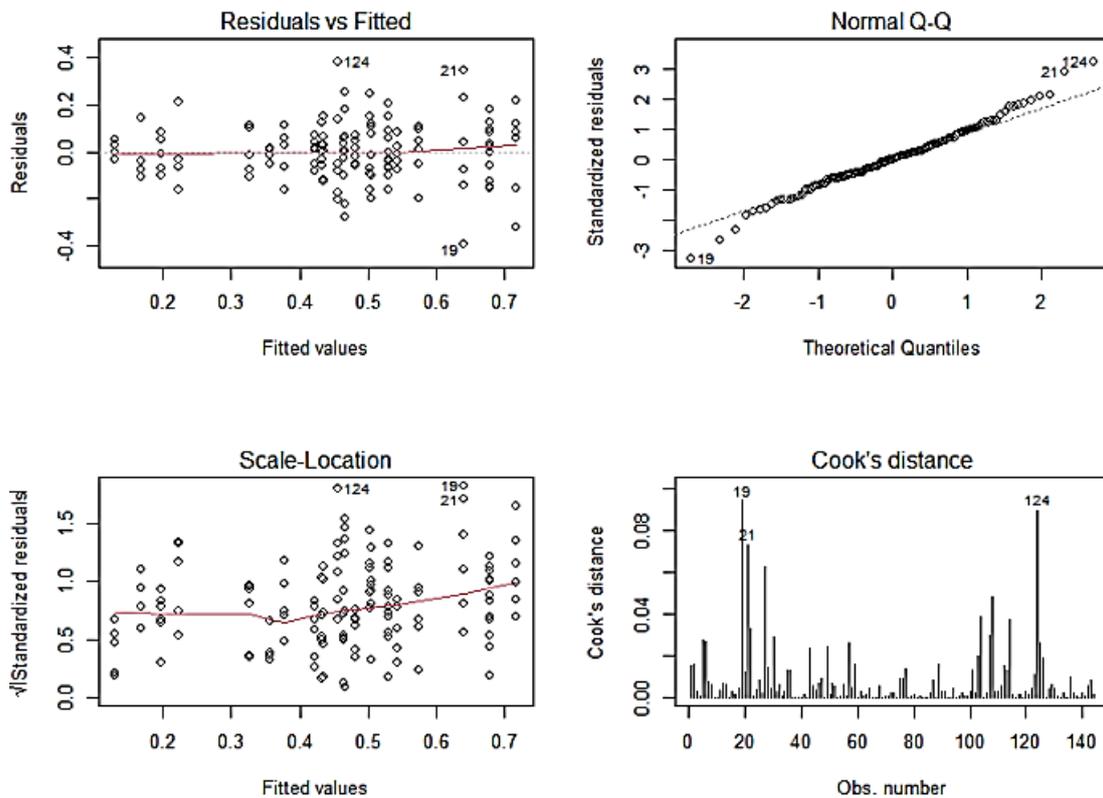


Gráfico 1-3. Resumen gráfico de los residuos del modelo de efectos fijos

Fuente: GIDAC, 2021

Realizado por: Bautista, J.; Lema, S. 2021

Para complementar lo antes mencionado, en el Gráfico 1-3, particularmente en las gráficas de Residuos frente a Valores Ajustados (Residuals vs Fitted) y en la de Residuos Estandarizados frente a Valores Ajustados (Scale-Location), no se observan patrones, tendencias ni rachas de los residuos, por lo que se ratifica el cumplimiento de la independencia de este supuesto.

Debido a que dos de los tres supuestos se cumplen de manera estadísticamente significativa, se puede concluir que los resultados obtenidos por el ANOVA realizado son válidos.

3.1.3. Gráficas de efectos principales

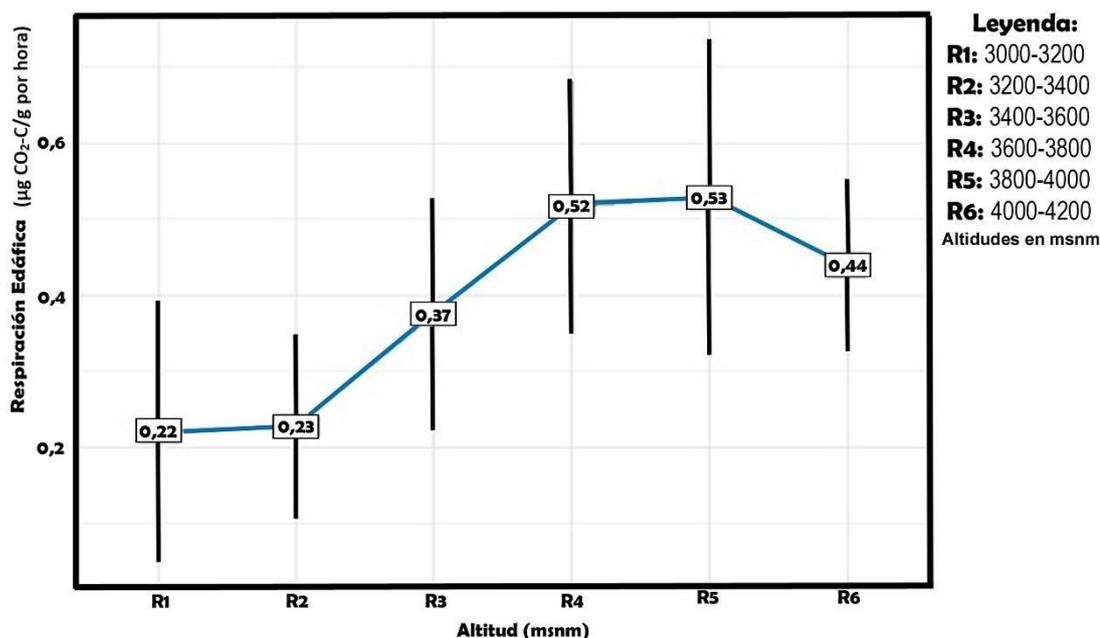


Gráfico 2-3. Efecto de las Altitudes en estudio en la Respiración Edáfica.

Fuente: GIDAC, 2021

Realizado por: Bautista, J.; Lema, S. 2021

En la Gráfica 2-3 se determina que las Altitudes R5 (3800-4000) y R4 (3600-3800) son las que presentan mayor contenido de respiración edáfica del suelo, con poco más de 0.5, seguidas de cerca la altitud R6, con 0.44. Las altitudes en las que el suelo presenta menor respiración edáfica son las R1 (3000-3200) y R2 (3200-3400), con 0.22 y 0.23 respectivamente. Se observa una desviación estándar intragrupal considerable, sin embargo, no parece afectar para la determinación de las diferencias entre las diferentes altitudes en estudio.

Tabla 5-3. Análisis porcentual de los rangos altitudinales en función del tipo de intervención

	I1	%	I2	%	I3	%
R1	3	16,6666	0	0	0	0
R2	6	33,3333	0	0	0	0
R3	6	33,3333	3	16,6666	3	8,3333
R4	0	0	12	66,6666	3	8,3333
R5	3	16,6666	3	16,6666	21	58,3333
R6	0	0	0	0	9	25
	18	100	18	100	36	100

Fuente: GIDAC, 2021

Realizado por: Bautista, J.; Lema, S. 2021

Las altitudes R1 (3000-3200) y R2 (3200-3400) presentan tasas de respiración edáfica bajas, si observamos la tabla 5-3 podremos notar que en dichas altitudes se encuentran localizadas el 50% de las parcelas correspondientes a plantaciones de pinos, que como se explicará posteriormente tiene las tasas de respiración edáfica más bajas del estudio, cuya explicación radica en la escases de sustrato y población bacteriana; las altitudes de R4 (3600-3800) y R5 (3800-4000) donde se nota una mayor producción de $C. CO_2$, están precisamente compuestas por el 83,33% (suma 66,66% +16,66%) de parcelas intervenidas con pastos que como se explicará posteriormente tiene las tasas de respiración edáfica más altas del estudio, cuya explicación radica en la labranza de suelos que favorece la degradación de la materia orgánica, es importante mencionar también que dentro de estas altitudes también se encuentran localizadas el 66,66 % (suma 58,33% +8,33%) de parcelas que no han sufrido intervención alguna, esto quiere decir que el aumento en la respiración edáfica se debe a que estos suelos son ricos en microfauna (protozoarios, nematodos y rotíferos) descomponedores de materia orgánica, así como también la presencia de pequeños animales silvestres, entre otros, debido a las favorables condiciones para el desarrollo de vida, además a la conservación de la humedad de estos suelos, y la abundancia de residuos orgánicos fácilmente degradables. Esto se verifica también gracias a los estudios realizados por Sánchez et al., (2005: pp. 507-534) y Echeverría et al., (2018: pp. 2-10). La altitud R6 (4000-4200) presenta una disminución en la tasa de respiración edáfica en comparación con las altitudes R4 y R5 a pesar de estar compuesta en su totalidad de parcelas que no han sufrido intervención, esto quiere decir que las condiciones climatológicas a dicha altitud se vuelven más drásticas e impiden la degradación de la materia orgánica, la elevación altitudinal provoca una disminución en la presión atmosférica que a su vez tiene una repercusión en la disponibilidad de oxígeno para la oxidación de la materia orgánica y en la temperatura (de acuerdo a la ley de Gay Lussac), en torno a lo último podemos respaldar nuestra idea en el trabajo de Lloyd y Taylor, (1994:p.315) denominado *On the temperature dependence of soil respiration*, en donde se encontró que las fluctuaciones de temperatura son más críticas para biomas en donde de base la temperatura es relativamente baja. (Lloyd y Taylor,1994:p.315).

Las altitudes desde los 3000 msnm hasta los 4000 msnm presentan asensos en la respiración edáfica, coincidentemente en estas zonas se halla las zonas intervenidas con pinos y con pastizales, por otra parte posterior a los 4000msnm ya no se hallan intervenciones humanas y a su vez se observan reducciones en la respiración edáfica.

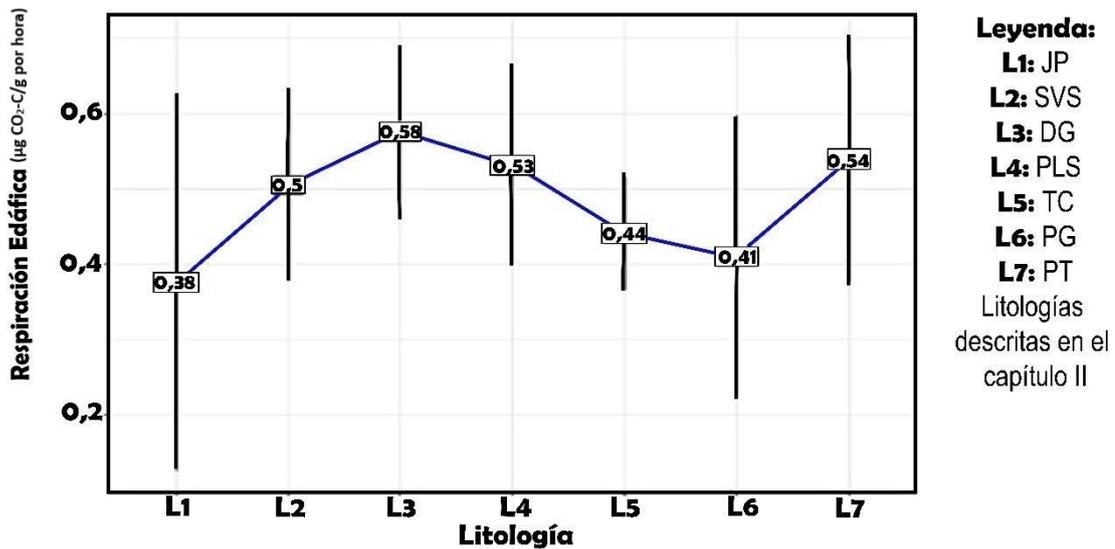


Gráfico 3-3. Efecto de las Litologías en estudio en la Respiración Edáfica.

Fuente: GIDAC, 2021

Realizado por: Bautista, J.; Lema, S. 2021

Para el Gráfico 3-3, se observa que existen dispersiones intragrupales considerables (en L1 y L6) de los datos de respiración edáfica. Se determinó que los valores más altos de respiración edáfica se encuentran en las litologías L3 (0.58), L7 (0.54) y L4 (0.53), en el orden mencionado. Mientras que en las litologías L5 (0.44), L6 (0.41) y L1 (0.38), son las que presentan menores contenidos de respiración edáfica. La situación antes descrita podría deberse a que las litologías L7, L4, L5 y L6, todas son de naturaleza félsica, es decir ricas en Aluminio, Ibáñez y Manríquez, (2011), mencionan que este ion al ser de baja movilidad y disponer de cargas positivas, se junta electrostáticamente con la materia orgánica del suelo, por lo tanto se forma una capa considerable de materia orgánica y como lo menciona Wei et al (2016:pp.1-9), existe una relación positiva entre el contenido de materia orgánica del suelo con la respiración heterótrofa; en el caso de la litología L1, la cual es de naturaleza máfica, su bajo contenido de Aluminio podría generar una escases en la materia orgánica del suelo traducida en bajas tasas de respiración edáfica ; la interpretación del resultado de la litología L3 es un tanto particular, debido a que al corresponder a depósitos glaciares, implica que, los minerales que conforman la litología son producto de la dinámica de desplazamiento del glaciar, mediante la cual se pueden haber arrastrado partes de diferentes litologías hasta el sitio donde se formó el depósito, por la alta respiración edáfica presente en esta litología se puede asumir que los depósitos glaciares de la zona sur oriental de la subcuenca del río Chambo en su mayoría están compuestos por componentes de naturaleza félsica, basado en la explicación dada para las litologías de este origen.

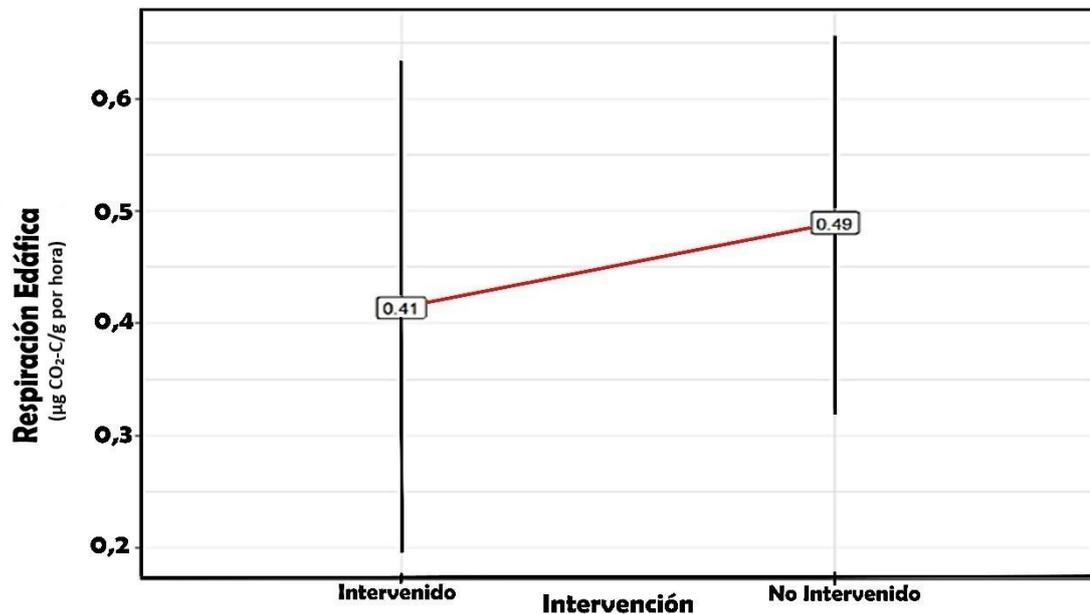


Gráfico 4-3. Efecto de la Intervención de las zonas en estudio en la Respiración Edáfica.

Fuente: GIDAC, 2021

Realizado por: Bautista, J.; Lema, S. 2021

En el gráfico 4-3 se observó diferencias claras entre la condición de intervención del suelo, en donde los suelos con menor contenido de respiración edáfica son aquellos con intervención antrópica (I1;I2); frente a los suelos sin intervención (I3; páramo mixto) que presentan mayores contenidos de respiración edáfica, esto debido a que dentro del factor intervención se considera a los bosques no autóctonos de pino y según Magdalena (2013,p.175); citado en Morales (2020,pp.40) este tipo de actividades altera el metabolismo microbiano, quizá debido a que se reduce la cantidad de sustrato, según lo expone Cargua et al (2014,pp.83-92) el contenido de carbono orgánico disminuye “en una plantación arbórea por una alta pérdida de biodiversidad debido a la perturbación del medio y degradación de servicios ecosistémicos” Cargua et al (2014,pp.83-92). Las conclusiones de dicho gráfico no se ven afectadas, a pesar de la dispersión presentada por la respiración edáfica de acuerdo a las diferentes intervenciones presentadas en el suelo muestreado.

3.1.4. Gráficas de efectos de interacción activos

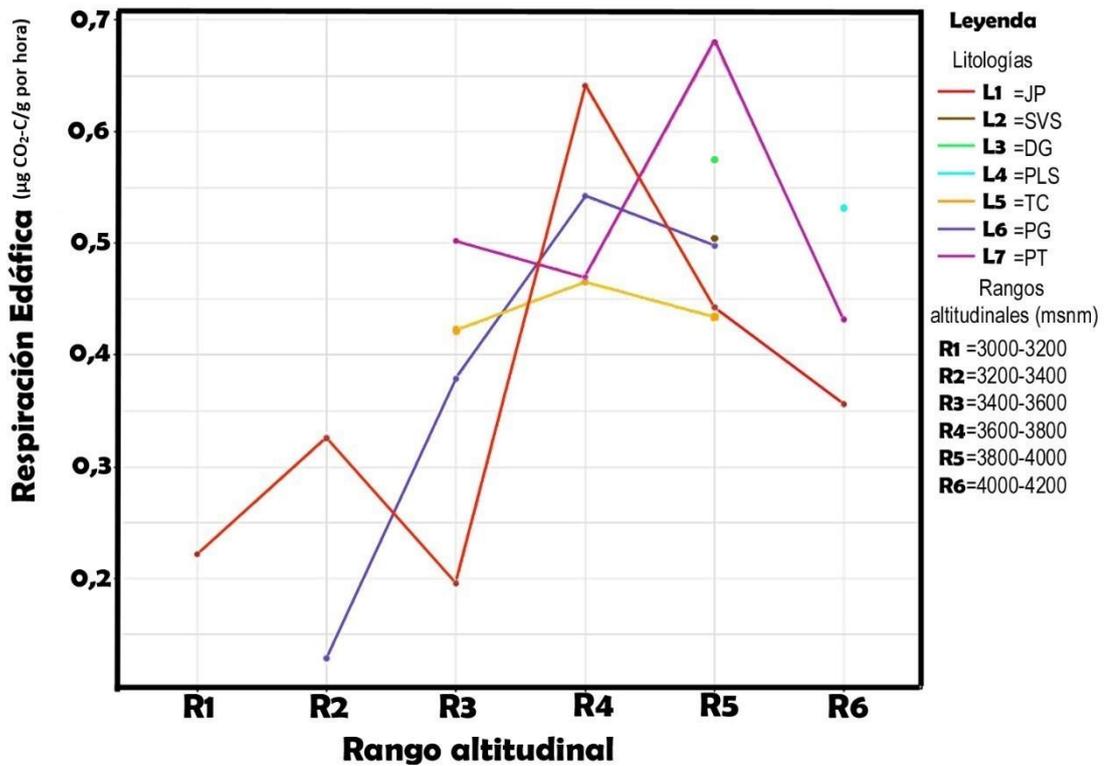


Gráfico 5-3. Efecto de Interacción entre la Altitud y la Litología

Fuente: GIDAC, 2021

Realizado por: Bautista, J.; Lema, S. 2021

De acuerdo con el gráfico 5-3 se puede concluir que, de manera conjunta la interacción de todas las litologías, en las altitudes R3 y R5, no presentan un efecto activo de cambio para la respiración edáfica, pero si se las comparan, con el comportamiento de las litologías con las demás altitudes (R1, R2, R4 y R6), se pueden observar cambios significativos. El más notorio se presenta entre el comportamiento de la respiración edáfica en todas las litologías comparables de la altitud R2, frente a las antes mencionadas, pues se observa una relación inversamente proporcional clara en las Litologías L1 y L6.

Los cambios significativos de la respiración edáfica, se dan en los rangos altitudinales R4 y R5, y las litologías L1 y L7, siendo la litología L7 predominante, lo cual, se debe posiblemente a la naturaleza félsica de la misma, que como se lo detalló: Ibáñez y Manríquez (2011), contiene un altas proporciones de Aluminio, la misma que se encuentra en un rango altitudinal de R5 (3800-3400) altitud en la cual, existe una escasa intervención antropogénica, Echeverría et al., (2018:pp. 2-10)

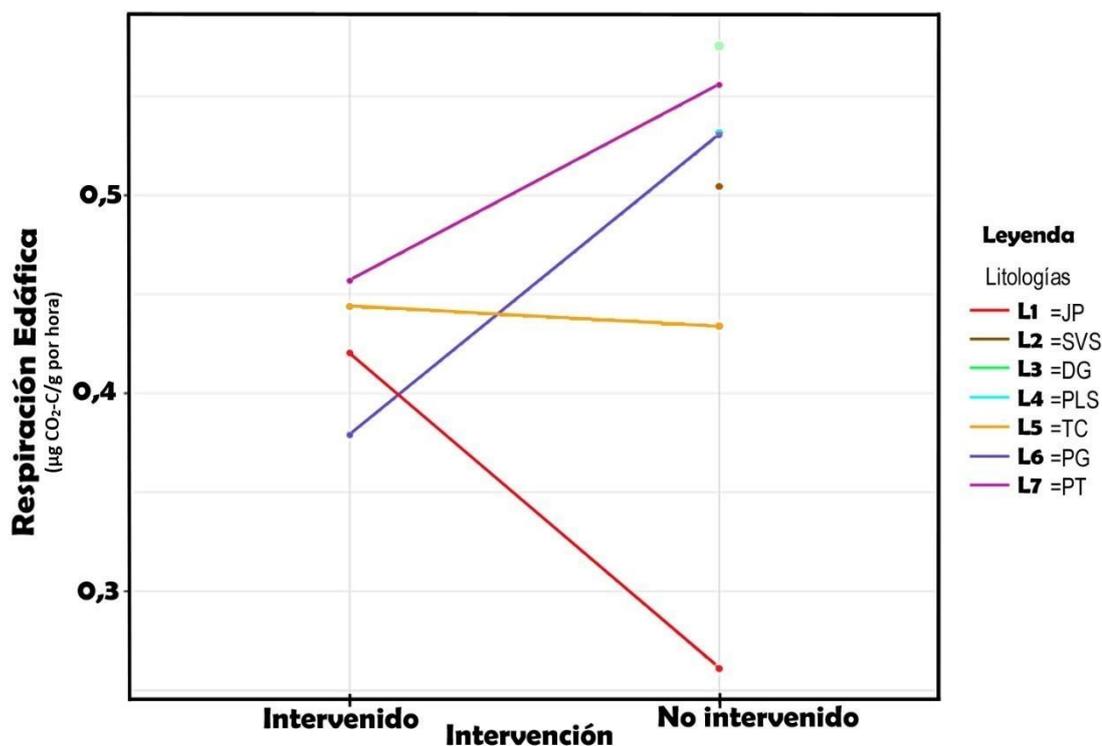


Gráfico 6-3. Efecto de Interacción entre la Intervención y la Litología

Fuente: GIDAC, 2021

Realizado por: Bautista, J.; Lema, S. 2021

El gráfico 6-3 muestra un efecto de interacción evidente, para la zona no intervenida, la cual presenta sus valores más bajos de respiración edáfica en las litologías L1 y L6, mientras que los valores más altos se encuentran en las zonas intervenidas de las litologías L3 y L7. Además, se determina que las litologías L6 y L7 no parecen mostrar un efecto de interacción activo, sin embargo, la interacción entre cada una de las litologías mencionadas y las litologías L1 y L5 muestran una interacción activa.

Tomando como referencia a la litología L7, se puede observar un cambio abrupto en cuanto al incremento de la respiración edáfica, en la zona intervenida con respecto a la no intervenida, en donde, el valor mayor se da en la zona no intervenida, posiblemente a la naturaleza de la misma, a su vez, se observa que la litología L4, posee el más alto valor en comparación con las demás litologías, debido a que también pertenece a la naturaleza félsica, en conjunto con la litología L7. (Ibáñez y Manríquez, 2011).

3.1.5. Comparación en los diferentes cultivos de las zonas intervenidas

Es de interés del estudio, determinar en la zona intervenida, la diferencia producida entre las zonas donde dicha intervención está compuesta por Bosques y la que está compuesta por Pastos.

Entonces, se realizó una prueba t de student para muestras independientes, para comparar las concentraciones de respiración edáfica en ambas zonas intervenidas.

Tabla 6-3. Resultados de la comparación entre las zonas intervenidas con Pastos y Bosques.

Variable dependiente	Respiración edáfica
Variable independiente	Intervención : Pastos y Pinos
Valor de t	6,042
Valor df	68,873
Valor p	$6,19 \times 10^{-8}$
Intervalo de confianza	[0,1704317 ; 0,3384627]
Medida x	0,548194
Medida y	0,2863722

Fuente: GIDAC, 2021

Realizado por: Bautista, J.; Lema, S. 2021

La comparación de medias entre los valores de respiración edáfica entre las zonas intervenidas con Pastos y Bosques definió un valor p de aproximadamente 0, por tal motivo se rechaza la hipótesis nula, con lo que se puede afirmar que existen diferencias significativas entre el contenido de CO₂ para las zonas con Pastos y con Bosques.

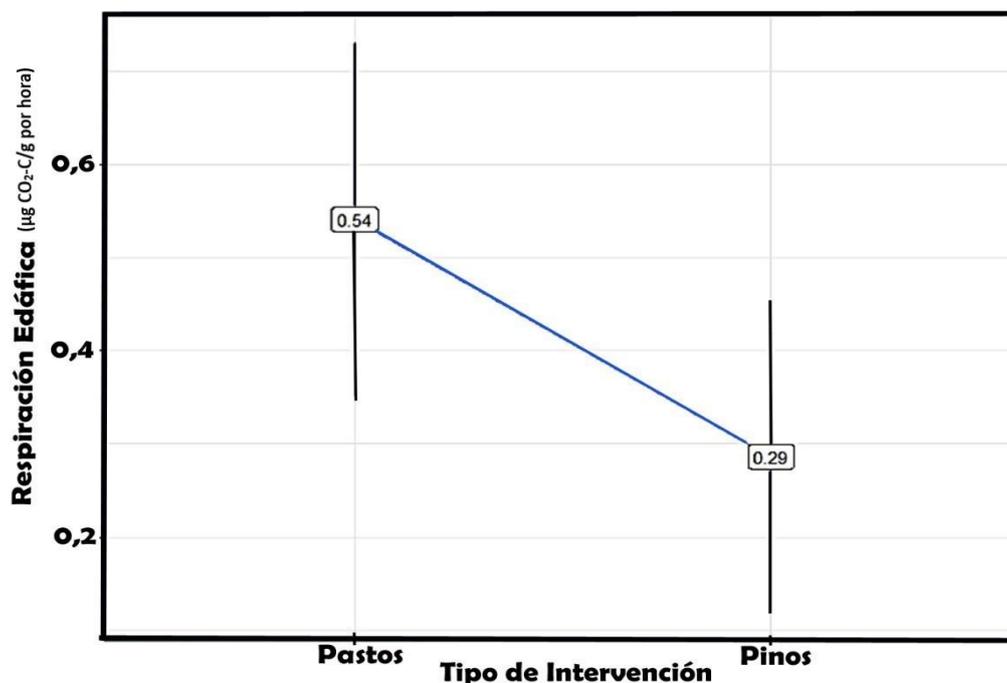


Gráfico 7-3. Promedios entre las zonas intervenidas con pastos y bosques

Fuente: GIDAC, 2021

Realizado por: Bautista, J.; Lema, S. 2021

Con relación a los resultados obtenidos en el gráfico 7-3 se puede concluir que la cantidad de respiración edáfica en las zonas de pastos es mayor que la concentración en las zonas intervenidas con pinos. También, se puede definir que existe un grado leve de dispersión entre los datos de cada zona intervenida, por lo que se puede definir datos adecuados que no afecten a los promedios en análisis.

De acuerdo a los estudios realizados por Farley, K. et al., 2004: pp. 729-739, nos dice que al forestar suelos de páramo con especies de pino, éste empieza a secarse, debido a la gran capacidad de absorción de este tipo de bosque, lo cual provoca la reducción de actividad microbiana, por ende, al analizar la gráfica, se puede ver que efectivamente, los suelos con presencia de pino produce una cantidad de 0,29 C.CO₂, en comparación con los suelos de pasto, en donde nos da un valor de 0,54 C.CO₂.

Los resultados también pueden ser sostenidos con la investigación de Calderón et al (2016, pp.23-30) quienes encontraron en su investigación que la población edáfo-bacteriana es sumamente abundante en los suelos de páramo andino y más escasa en las zonas de cultivo de *Pinus Radiata* debido a la escases de nutrientes y materia orgánica.

Yannarell y col (2014) ; citados en McKnight (2015) mencionan que la introducción de especímenes arbóreas en el medio oeste de los Estados Unidos causa una alteración en la comunidad de hongos micorrizicos del suelo, que se aprovechan indiscriminadamente del stock de carbono del suelo, sumado a esto se sabe que los ecosistemas boscosos tienen mayor actividad enzimática microbiana de adquisición de carbono en el suelo (García-Morote et al,2012; citado en McKnight, 2015), lo que conlleva a que se incremente la exhalación de CO₂ del suelo y por ende empiece a disminuir del contenido de carbono orgánico del suelo a lo largo del desarrollo del bosque (Creamer et al, 2013; citado en McKnight, 2015).

El stock de materia orgánica en las plantaciones de pino se verá afectada notablemente por las alteraciones en la población bacteriana, según menciona Linderman (1994) los hongos que forman asociaciones del tipo micorriza secretan antibióticos que inhiben la actividad microbiana, en su lugar los hongos son aquellos que degradan la materia orgánica del suelo, Manzanares y Navarro (2004:pp.118-131) sostienen que la escases de materia orgánica en los suelos intervenidos de pinos es una condición que explica claramente las tasas bajas de respiración edáfica, ya que este es el sustrato limitante para el metabolismo microbiano que produce CO₂ como desecho a la atmósfera, Manzanares y Navarro (2004:pp.118-131) dicen que esto se debe a que en los bosques de coníferas los únicos restos vegetales que se pueden hallar en descomposición son tejidos leñosos o estructuras secundarias ricas en compuestos fenólicos que pueden ser principalmente lignina, este compuesto es muy estable por lo que se degrada

lentamente, para Barros et al (2015) una planta arbórea puede llegar a tener entre 20 a 30 % de lignina comparado con la hiervas de pasto que tendrás menos del 20% de este polímero, lo que hace a las estructuras primarias de los pastizales fácilmente degradables y por ende una fuente de materia orgánica para el suelo.

3.1.6. Comparación entre las zonas intervenidas con pinos, pastos y la zona no intervenida.

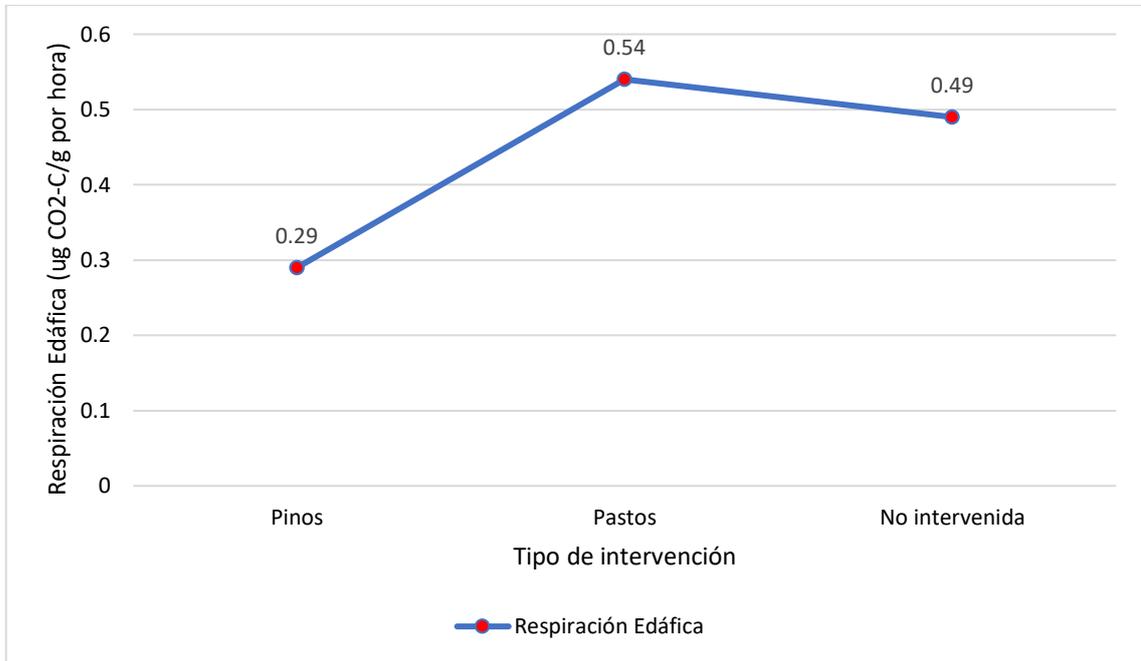


Gráfico 8-3. Comparación de medias entre las zonas intervenidas (pastos y bosques) y las zonas no intervenidas.

Fuente: GIDAC, 2021

Realizado por: Bautista, J.; Lema, S. 2021

Según el gráfico 8-3, las zonas intervenidas con pastos tienen en promedio mayor tasa de respiración que las zonas intervenidas con pinos y las zonas no intervenidas, esta situación es preocupante ya que indica que el stock de materia orgánica disponible en las zonas intervenidas por bosques de pinos se redujo dramáticamente llegando incluso a niveles tan bajos que limita el metabolismo microbiano, la gráfica muestra también que en las zonas intervenidas con pastizales la tasa de respiración edáfica es mayor en comparación con las zonas no intervenidas, esto coincide con las investigaciones de Quemba y Sanabria (2016, pp.164); citados en Morales (2020,pp.40), quienes encontraron que en zonas agrícolas ganaderas la respiración edáfica aumentaba a comparación con las zonas conservadas, esto se debe a la introducción de material agrícola que expone a la materia orgánica a luz solar ya que según Zimmermann, 2010 &

Tonneijck et al., 2010, una vegetación autóctona de briofitas y arbustos protegerán de mejor manera el suelo de la radiación solar, lo que reduciría la descomposición del carbono orgánico del suelo elevando así las reservas de carbono dentro del sistema edáfico, comparado con los pastizales que al distribuirse de manera dispersa exponen más fácilmente la superficie edáfica a la radiación solar, sumado a esto este tipo de vegetación tiene sistemas radiculares profundos que favorecen la descomposición del carbono capturado aumentando así las tasas de respiración edáfica.

El trabajo de Martín y Rivera, 2002; citados en Castro et al, 2018 mencionan que la relación carbono-nitrógeno es un factor importante para poder determinar la capacidad de degradabilidad de los restos orgánicos y a su vez limita la capacidad de los microorganismos para utilizar minerales, según el autor aquellos residuos con una relación C:N menor serán fácilmente degradables y por otra parte aquellos con mayor relación C:N se degradarán lentamente e inmovilizarán minerales utilizables por los microorganismos, Nziguheba et al., 2005 Palm y Sanchez, 1991, Barrios et al., 1997 y Sakala et al., 2000; citados en Castro et al, 2018 mencionan que “las leguminosas se degradan más rápidamente y producen una gran cantidad de CO₂, y consecuentemente dan poca materia orgánica para el suelo” (Nziguheba et al., 2005 Palm y Sanchez, 1991, Barrios et al., 1997 y Sakala et al., 2000; citados en Castro et al, 2018), debido a que tiene una relación C:N de aproximadamente 9.0, las zonas intervenidas con pastos presentan en su mayoría sembríos de trébol forrajero, perteneciente a las leguminosas, sin embargo según mencionan los autores esto también dependería de la presencia o ausencia de taninos, en ausencia de taninos esta relación aumentaría y la degradación disminuiría; los autores también mencionan que para el caso de las gramíneas están tendrían una relación de aproximadamente 20, lo que hace que tengan una degradación más baja por ende su residuos produzcan menores cantidades de CO₂, las zonas no intervenidas en su mayoría estaban dominadas por las especies *calamagrostis effusa* o pajonal de páramo, perteneciente a la gramíneas y finalmente según Castro et al, 2019, los residuos de pino son los que presentan mayor relación C:N, siendo esta de aproximadamente 613, lo que la hace muy difícil de degradar y poco utilizable por los microorganismos, por lo tanto los minerales, carbono y nitrógeno estarán inmovilizados dentro la biomasa arbórea, sin poder ser incorporados al suelo, generando escasas y casi nulas emisiones de CO₂ producto de las pobres concentraciones de materia y carbono orgánico del suelo.

CONCLUSIONES

La intervención, litologías y altitudes producen diferencias significativas en la cantidad de CO₂ exhalado por los suelos pertenecientes a la zona sur oriental de la sub cuenca del río Chambo.

La concentración de la respiración edáfica aumenta hasta el rango altitudinal R4 (3800-4000msnm) debido a que a dichas altitudes la intervención humana es alta; la respiración edáfica disminuye considerablemente a partir de la altitud R5 (4000-4200), posiblemente debido a que en dicha altitud no se registran actividades humanas.

Las litologías de composición félsica, incluidas dentro de ellas los depósitos glaciales son las que emanan mayor cantidad de dióxido de carbono, a diferencia de las litologías de composición máfica que emanan cantidades menores del gas.

Los suelos procedentes de bosques de pinos y las zonas no intervenidas tienen las tasas de respiración edáfica más bajas del estudio, siendo las zonas intervenidas con pastos aquellas que presentan las tasas de respiración edáfica más altas.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda diseñar y desarrollar equipamiento (barrenos) de muestreo especializado en zonas intervenidas con pinos, esto facilitará la toma de muestras de suelo en donde el estado de agregación haya sido modificado producto de la escasa humedad presente.
- Se recomienda llevar a cabo estudios acerca de la concentración de Aluminio en los suelos de páramo, debido a que es un factor importante para el análisis de la respiración edáfica.
- Se recomienda realizar estudios que determinen la cantidad de materia orgánica y carbono orgánico de manera que puedan ser relacionados con los resultados de este estudio.
- Se recomienda ejecutar un análisis de la relación C:N presente en la biomasa aérea y subterránea presente en la zona para poder determinar la biodegradabilidad y a su vez relacionarla con los resultados obtenidos en este estudio.
- Se recomienda estudiar la concentración de taninos presentes en la biomasa aérea presente en la zona para poder determinar la biodegradabilidad y a su vez relacionarla con los resultados obtenidos en este estudio.
- Se recomienda la reforestación con especies nativas del sector.
- Se recomienda el desarrollo de proyectos de ley que regulen el uso del suelo de páramo.

GLOSARIO

Litología: Rama de la geología que estudia las características de las rocas (Cajilema y Piguabe,2020:p.15)

Altitud: Distancia medida en vertical desde la orilla del mar hasta un punto en específico.

Intervención del suelo: Alteración de origen antrópica del suelo, mediante: labranza, cultivo, asentamiento de estructuras para vivienda y demás fines, pastura de herbívoros no autóctonos del sitio con fines económicos y otras actividades que involucren el uso directo del suelo.

Respiración Edáfica: Proceso en el cual la microfauna edáfica exhala CO₂ a la atmósfera mediante un proceso metabólico en el cual se cataboliza la materia orgánica, esta puede ser interpretada como la cantidad de oxígeno consumida por los organismos para descomponer la materia orgánica o como la cantidad de CO₂ exhalada por los mismos en el proceso (Norman y Broadbent,1965: pp.832-871).

Suelo de páramo: “Es la capa de la corteza terrestre que proporciona servicios ambientales en la cual permite crecimientos de plantas, retiene nutrientes y almacena agua, además es un reservorio de microorganismos” (Conti,2000, citado en Morales,2020)

BIBLIOGRAFÍA

ABRAMSON. “*Litología y Estructura Geológica*”, 1996, (Guatemala). [Consulta: 13 Diciembre 2020]. Disponible en: <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0101/doc0101-parte05.pdf>

ACOSTA-SOLÍS, M. “Los páramos andinos del Ecuador”. *Publicaciones Científicas MAS* [En línea], 1984, (Ecuador). [Consulta: 13 Noviembre 2020]. Disponible en: <<https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2015012222>>

ALARCÓN, I. “Ecuador ha perdido más de la mitad de su cobertura glaciar”. *EL Comercio* [en línea], 2020, (Ecuador). [Consulta: 25 Diciembre 2020]. Disponible en: <<https://www.elcomercio.com/tendencias/ecuador-perdida-mitad-cobertura-glaciar.html>>

ARTEAGA, M. “Portoviejo también sufre efectos de calentamiento global”. *El Diario* [En línea], 2007, (Ecuador) [Consulta: 25 Diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/43053-portoviejo-tambien-sufre-efectos-de-calentamiento-global/>

AUDESIRK, T. AUDESIRK, G. & BYERS, B. *Biología. La vida en la Tierra con Fisiología*. México: Pearson, 2012, p512

BÁRBARO, L et al. *Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica en los sustratos para plantas* [en línea]. Ciudad Autónoma de Buenos Aires-Argentina: Instituto de Floricultura CIRN, 2005. [Consulta: 30 diciembre 2020]. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_elctrica.pdf.

BARBOZA, O. “Calentamiento global : “la máxima expresión de la civilización petrofósil”. *Revista del CESLA* [en línea], 2013, (Polonia) 1(16), pp.35-68. [Consulta: 25 Diciembre 2020]. ISSN 1641-4713. Disponible en: <<https://www.redalyc.org/pdf/2433/243329724003.pdf>>

BEKKU, Y et al. Measurement of soil respiration using closed chamber method: An IRGA technique. *Ecological Research* [en línea], 1995, (Japón) 10(33), pp. 369-373 [Consulta: 01 diciembre 2020]. ISSN 09123814. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/BF02347863>

BELTRÁN, K et al. . *Los páramos de Chimborazo. Un estudio socioambiental para la toma de decisiones* [en línea]. Quito-Ecuador: M Bustamante M . M Albán y M. Argüello (Eds.). 2011. [Consulta: 13 Noviembre 2020]. 1951 Disponible en: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/shared/biblio_view.php?bibid=135976&tab=opac>

BENAVIDES,H & LEÓN,G. “Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático”. *IDEAM:METEO* [En línea], 2007, (Colombia), pp.1-99. [Consulta: 25 Diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf/7fabbbd2-9300-4280-befe-c11cf15f06dd>

CABANEIRO et al. “Soil CO₂ Emissions from Northern Andean Páramo Ecosystems: Effects of Fallow Agriculture”. *Environmental Science & Technology* [en línea],2007,(España) 42(5), pp.1408–1415. [Consulta:21 Diciembre 2020].ISSN. 0013936X, 15205851. Disponible en: doi:10.1021/es071392d

CABALLERO et al. Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista Digital Universitaria* [en línea],2007,(México)8(10),pp.3-5. [Consulta:21 Diciembre 2020].ISSN 1067-6079.Disponible en: [oct_art78.pdf \(unam.mx\)](http://www.unam.mx/oct_art78.pdf)

CAJILEMA MULLO Elsa Marivel & PIGUABE HINOJOSA Catherine Juliana. Estimación de materia orgánica en el suelo y biomasa del páramo de Quimiag (trabajo de titulación)(pregrado)[en línea]Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,Facultad de Ciencias,Escuela de Química.Riobamba,Ecuador.2020.p.14-15.[Consulta:21 Diciembre 2020].Disponible en: [156T0008.pdf \(esPOCH.edu.ec\)](http://www.esPOCH.edu.ec/156T0008.pdf)

CALDERÓN et al. Monitoring of microbial population of the páramo soil of the charge zone of lake mapahuña in chimborazo-ecuador. *Perfiles* [en línea],2016,(Ecuador)1(15),pp.23-30. [Consulta:21 Diciembre 2020].ISSN 2477-9105.Disponible en: <http://ceaa.esPOCH.edu.ec:8080/revista.perfiles/faces/Articulos/Perfiles15Art4.pdf>

CÁRDENAS FONSECA, Myriam Stephanie. Evaluación de la calidad de los suelos de Páramo intervenidos y no intervenidos en la comuna Monjas Bajo, Parroquia Juan Montalvo, cantón Cayambe [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Escuela de Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales. (Quito-Ecuador). 2015. pp. 5-145. [Consulta: 10 julio 2020]. Disponible en:<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/9368/1/UPS-QT07111.pdf>

CARGUA et al. Cuantificación del Contenido de Carbono en una Plantación de Pino Insigne (*Pinus radiata*) y en Estrato de Páramo de Ozogoché Bajo, Parque Nacional Sangay, Ecuador. *Información tecnológica* [en línea],2014, (Ecuador) 25(3),pp.83-92. [Consulta:21 Diciembre 2020].ISSN 0718-0764 .Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642014000300011>

CASTRO et al. Abonos verdes de leguminosas: integración en sistemas agrícolas y

ganaderas del trópico. *Agronomía Mesoamericana* [en línea], 2018, (Costa Rica) 29(3), pp. 711-729. [Consulta: 21 Diciembre 2020]. ISSN 2215-3608. Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/437/43756297016/html/index.html#:~:text=Las%20leguminosas%20se%20degradan%20en,et%20al.%2C%202000>).

CASTRO et al. Caracterización física y química de sustratos con base en corteza y aserrín de pino. *Madera y bosques* [en línea], 2018, (México) 25(2), pp. 711-729. [Consulta: 21 Diciembre 2020]. ISSN 1405-0471. Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/617/61762610013/html/index.html>

CENTRAL ECUATORIANA DE SERVICIOS AGRÍCOLAS CESA. “Aportes a la planificación para la gestión integral de los recursos hídricos” [en línea]. Riobamba-Ecuador: Imprefepp, 2015. [Consulta: 17 Diciembre 2020]. Disponible en: aportes-a-la-planificac3b3n-para-la-girrh-presentado-3.pdf (wordpress.com)>

ECHEVERRÍA, M et al. Quantification of organic carbon stored in the soil in the paramo of Igualata, Chimborazo province-Ecuador. *AIP Conference Proceedings* [en línea], 2018, (Ecuador) [Consulta: 15 diciembre 2020]. ISSN 15517616. Disponible en: <https://doi.org/10.1063/1.5050356>

FARLEY, K et al. “Soil organic carbon and water retention after conversion of grasslands to pine plantations in the Ecuadorian Andes” *Ecosystems*, [en línea], 2004, (German) 7, pp. 729-739. [Consulta: 9 agosto 2020]. ISSN: 14329840, 14350629. Disponible en: https://www.portalces.org/sites/default/files/references/161_Farley%20et%20al%202004%20SOC%20pine.pdf

FIALLOS et al. “Flora diversity in the Ecuadorian Páramo grassland ecosystem”. *Cuban Journal of Agricultural Science* [en línea], 2015, (Cuba) 49(3), pp. 399-405. [Consulta: 21 Diciembre 2020]. ISSN 0034-7485. Disponible en: [Redalyc.Flora diversity in the Ecuadorian Páramo grassland ecosystem](http://Redalyc.Flora%20diversity%20in%20the%20Ecuadorian%20P%C3%A1ramo%20grassland%20ecosystem)

GOETZ, S. J., & DUBAYAH, R. O. “Advances in remote sensing technology and implications for measuring and monitoring forest carbon stocks and change”. *Carbon Management* [en línea], 2011, (Brasil) 2(3), pp. 231-244. [Consulta: 9 agosto 2020]. ISSN: 17583012, 17583004. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.4155/cmt.11.18>

GUPTA, S et al. Plant Decomposition and Soil Respiration in Terrestrial Ecosystems. *The Botanical Review* [en línea], 1977, (India) 43(4), pp 449-528 [Consulta: 01 diciembre 2020]. Disponible en: doi:10.1007/bf02860844

HANEY, R.L et al. “Soil CO₂ respiration: Comparison of chemical titration, CO₂ IRGA analysis and the Solvita gel system”. *Renewable Agriculture and Food Systems* [en línea], 2008, (USA)

23(2), pp.171-176. [Consulta: 14 Diciembre 2020]. ISSN 17421705. Disponible en: <
<https://doi.org/10.1017/S174217050800224X>>

HOFSTEDE, R. *El impacto de las actividades humanas sobre el páramo* [en línea]. Quito-Ecuador: Editorial Abya Yala, 2001. [Consulta: 24 diciembre 2020]. Disponible en: [LOS PRAMOS DEL ECUADOR \(portalces.org\)](#)

HOFSTEDE; et al. “El estado de conservación de los páramos de pajonal en el Ecuador”. *Ecotrópicos*[En línea],2002,(Venezuela)15(1),pp.3-18.[Consulta: 25 Diciembre 2020].ISSN: 10121692 .Disponible en:https://www.researchgate.net/profile/Jan_Wolf2/publication/254770114_The_conservation_status_of_tussock_grass_paramo_in_Ecuador/links/02e7e5241aab515c20000000/The-conservation-status-of-tussock-grass-paramo-in-Ecuador.pdf

IBAÑEZ,J & MANRÍQUEZ,F. “Los Andosoles (WRB 1998): Suelos Volcánicos”. [en línea].Madrid-España: madrimasd,2011.[Consulta:17 Diciembre 2020].Disponible en: <<http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2011/11/23/140258>>

KEES. J et al. “Faster Decomposition Under Increased Atmospheric CO₂ Limits Soil Carbon Storage”.*Science* [en línea] ,2014,(USA)344,(6183),pp.508-509 [Consulta:14 Diciembre 2020].ISSN 1095-9203. Disponible en: <
<https://doi.org/10.1126/science.1249534>>

KREBS REGINATTO, Luciano. Respiración del suelo como herramienta para evaluar calidad de fondos en acuicultura. I. Desarrollo de un protocolo estándar para medir dióxido de carbono [En línea] (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica del Litoral. (Guayaquil-Ecuador). 2003. pp. 15-67. [Consulta: 7 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/870/87024179004.pdf>

LINDERMAN, R. 1994. General summary. P. 1-26 Linderman, R. G. In: Mycorrhizae and Plant Health. F.L. Pflieger and R.G. Linderman (Eds.), APS Press, St. Paul.

LLAMBÍ, L et al. *Ecología, hidrología y suelos de páramos* [en línea]. Venezuela: *Proyecto Páramo Andino, CONDESAN, GEF-UNEP* , 2012, [Consulta: 01 Diciembre 2020]. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/263280481_Ecologia_Hidrologia_y_Suelos_del_Parame

LLOYD, J., & TAYLOR, J. A. On the Temperature Dependence of Soil Respiration. *Functional Ecology* [en línea], 1994, (Australia) 8(3), pp. 315-323. [Consulta: 9 agosto 2020].ISSN 02698463, 13652435. Disponible en: Doi:10.2307/2389824.

LUTEYN, J (ED). Páramos: A checklist of plant diversity, geographical distribution, and botanical literature. *Memoirs of The New York Botanical Garden* [en línea]. New York-USA,1999. [Consulta: 9 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.nybgshop.org/paramos-a-checklist-of-plant-diversity-geographical-distribution-mem-84>).

MAITRÉ.R. “Igneous Rocks. A Classification and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks”. *Geological Magazine* [en línea] ,2003,(UK)140,(3),p.367 [Consulta:14 Diciembre 2020].ISSN 1095-9203. Disponible en: <https://pubs.geoscienceworld.org/geomag/article-abstract/140/3/367/65447>

MARQUÉZ,L &CELY,G. “El páramo y su potencial de captura de carbono; experiencia páramo La Cortadera-Boyacá”. *Memorias Congreso Investigación y Pedagogía. Tunja*[en línea], 2013,(Colombia)1(2),pp.1562-1570.[Consulta: 13 Noviembre 2020].ISSN 2256-1951 Disponible en:<http://sired.udenar.edu.co/200/1/memoriasfinal.pdf#page=1562>

MCKNIGHT Julie Yvette. Linking soil moisture and carbon-cycle processes in two understudied terrestrial ecosystems: Ecuadorian páramo grasslands and constructed agricultural wetlands [En línea] (Trabajo de titulación). (Doctorado) University of Tennessee. (Knoxville-USA). 2015. pp. 1-32. [Consulta: 30 julio 2020]. Disponible en: https://trace.tennessee.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=4706&context=utk_graddiss

MEJIA,J.*Ven a conocer los páramos ecuatorianos*[blog]. 17 de Julio, 2014. .[Consulta: 13 Noviembre 2020]. Disponible en:< <http://vivirecuador.com/blog/206/ven-a-conocer-los-paramos-ecuatorianos>>

MENA, P & HOFSTEDE, R. “Los páramos ecuatorianos”. *Botánica Económica de los Andes Centrales* [en línea], 2006, (Ecuador) 8(3), pp. 91-109. [Consulta: 9 agosto 2020]. Disponible en: <https://beisa.au.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdfer/Capitulo%2006.pdf>

MITCHELL, J. The “Greenhouse” effect and climate change. *Reviews of Geophysics* [En línea],1989,(USA)27(1), pp.115. [Consulta 25 de Julio 2020]. ISSN 87551209.Disponible en: 10.1029/rg027i001p00115

MONDRAGÓN,S;et al. “Calentamiento global: una secuencia didáctica”.*Revista Mexicana de Física E*[en línea],2019,(México)1(65),pp.52-57.[Consulta:25 Diciembre 2020].ISSN 18703542.Disponible en:<<https://rmf.smf.mx/ojs/rmf-e/article/view/467/1213>>

MORALES, J. & ESTÉVEZ, J. “El páramo: ¿Ecosistema en vía de extinción?”. *Luna Azul* [en línea], 2006, (Colombia) 1(22), pp. 39-51. [Consulta: 24 diciembre 2020]. Disponible en: <[Vista de El páramo: ¿ecosistema en vía de extinción? \(ucaldas.edu.co\)](#)>

MORALES MORALES Segundo Gregorio. Relación de la respiración edáfica con las propiedades físico-químicas de los suelos de la microcuenca del río Guano, provincia de Chimborazo[En línea] (Trabajo de titulación). (Química) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. (Riobamba-Ecuador). 2020. pp. 31-32. [Consulta: 30 julio 2020]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/14255?mode=full>

NORMAN, A. G., & BROADBENT, F. E. “Soil Respiration”. *Agronomy* [en línea],1965, (West Germany)41(2), pp. 831-871. [Consulta: 8 agosto 2020]. ISSN 1435-0645.Disponible en:<10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c41>

OCHOA MORALES Clarisa Naret & URROZ GUTIERREZ Francisco Alberto. Determinación de la actividad microbiana como indicador biológico en suelos agrícolas del occidente de nicaragua (Trabajo de Titulación)(pregrado)[en línea]Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-León. Facultad de Ciencia y tecnologías. Departamento de agroecología. León, Nicaragua.2011.pp.34-51. [Consulta:21 Enero 2021].Disponible en: <<http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/3596/1/219852.pdf> >

PAUCAR LALAMA, Paola Catalina., & VELASTEGUI MAZÓN, Juan Diego. Cuantificación de la Respiración Edáfica como medida de la actividad microbiana en suelos de la microcuenca del rio Chimborazo [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería en Biotecnología Ambiental. (Riobamba-Ecuador). 2019. pp. 31-81. [Consulta: 31 julio 2020]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/11137/1/236T0439.pdf>

PEDRO,J. *La física del efecto invernadero*[blog].22 Julio ,2016. .[Consulta: 18 Noviembre 2020]. Disponible en:<https://xclima.wordpress.com/2016/07/22/la-fisica-del-efecto-invernadero/>

RAMÍREZ, C. *Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos* [en línea]. Santafé de Bogotá-Colombia: CONVENIO FENALCE - SENA – SAC, 1997. [Consulta: 01 Diciembre 2020]. Disponible en: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6636/1/083.pdf>

ROCA, B et al. “Change climate and health”. *Revista Clínica Española* [En línea], 2019, (España) 219(5), p.1. [Consulta: 21 de Julio 2020]. ISSN: 00142565, 15781860. Disponible en: doi:10.1016/j.rceng.2019.02.009

ROMERO et al. “Soil Respiration for Four Vegetation uses in the University of Sucre –

Colombia”. *Indian Journal of Science and Technology*[en línea], 2018, (Colombia) 11 (40), pp. 1-10. [Consulta: 15 Febrero 2021]. ISSN 09746846, 09745645. Disponible en: <https://sciresol.s3.us-east-2.amazonaws.com/IJST/Articles/2018/Issue-40/Article3.pdf>

SÁNCHEZ, B et al. “Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud, en la cuenca del río Maracay, estado Aragua”. *Agronomía Tropical* [en línea], 2005, (Venezuela) 55 (4), pp. 507-534. [Consulta: 15 Febrero 2021]. ISSN 0002-192X. Disponible en: <http://ve.scielo.org/pdf/at/v55n4/art04.pdf>

SANDOR, M. “Soil Respiration: Concept and Measurement Methods”. *ProEnvironment/ProMediu* [en línea], 2010, (Romania) 3(5), pp 54-57. [Consulta: 01 Diciembre 2020]. ISSN 2066-1363. Disponible en: <http://journals.usamvcluj.ro/index.php/promediu/article/viewFile/4838/4492>

SCHLESINGER, W. H. “Carbon Balance in Terrestrial Detritus”. *Annual Review of Ecology and Systematics* [en línea], 1977, (United State of America) 8(1), pp. 51–81. [Consulta: 9 agosto 2020]. ISSN 1543592X. Disponible en: Doi:10.1146/annurev.es.08.110177.000411.

SCHLESINGER, WH & ANDREWS, JA. “Soil respiration and the global carbon cycle”. *Biogeochemistry* [en línea], 2000, (United State of America) 48 (1), pp. 7-20 [Consulta: 7 agosto 2020].ISSN: 01682563, 1573515X. Disponible en: Doi:10.1023.

SINGH,J & GUPTA.S. “Descomposición vegetal y respiración del suelo en ecosistemas terrestres”.*The botanical review*[en línea],1977,(India)43(4),pp.449-528.[Consulta: 25 Diciembre 2020].ISSN: 18749372, 00068101 . Disponible en:<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02860844>

SKLENÁJ, P et al. “A guide to the plants of islands in the clouds”. The New York Botanical Garden Press [en línea], 2005, (UK) 8(3), p. 609. [Consulta: 9 agosto 2020]. ISSN 077-8931. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/313765300_Flora_generica_de_los_paramos_Guia_ilustrada_de_las_plantas_vasculares/link/5d41ae89299bf1995b5b5338/download

STOTZKY. G. “*Métodos de análisis del suelo: Parte 2 Propiedades químicas y microbiológicas*”[en línea].Estados Unidos : A. G. Norman,1965. .[Consulta: 25 Diciembre 2020].Disponible en:<<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2134/agronmonogr9.2.c62>>

TANG, J et al. Ecosystem Consequences of Soil Warming: *Microbes, Vegetation, Fauna and Soil Biogeochemistry* [en línea]. Georgia-United States: Elsevier, 2019. [Consulta: 01 Diciembre 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813493-1.00009-0>

TEWARY et al. “Soil and litter respiration rates in different microhabitats of a mixed oak-conifer forest and their control by edaphic conditions and substrate quality”. *Plant and soil* [en línea], 1982, (Netherlands) 65, pp. 233-238. [Consulta: 9 agosto 2020]. ISSN: 15735036, 0032079X. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/BF02374653>

US National Aeronautics and Space Administration. Carbon Dioxide. *NASA* [En línea] (USA),pp1. Disponible en: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>

VASCONEZ,P. “Los páramos ecuatorianos: Paisajes diversos, frágiles y estratégicos”.*AFESE*[En línea],2010,(Ecuador)1(54),pp.97-122. [Consulta: 13 Noviembre 2020]. Disponible en:< <https://afese.com/img/revistas/revista54/paramos.pdf>>

VASCONES,P & HOFSTEDE,R. “Los páramos ecuatorianos”.*Botánica económica de los andes centrales*[blog].San Andres-La Paz:Morales et al, 2006. [Consulta: 25 diciembre 2020]. Disponible en: <https://beisa.au.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdfer/Capitulo%2006.pdf>

VEGA,S et al.”Evidencias del cambio climático en el Ecuador”. *Revista para la transformación agraria sostenible*[En línea], 2020,(Ecuador)8(1),pp.72-76.[Consulta: 25 Diciembre 2020].ISSN 2415-2862. Disponible en: <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/388/367>

WEI, H., CHEN, X., XIAO, G. et al. “variations in heterotrophic soil respiration related to changes in substrate availability and microbial biomass carbon in the subtropical forests”. *Sci Rep* [en línea], 2016, (China)5, (18370),pp.1-9.[Consulta:13 Diciembre 2020]. ISSN 20452322. Disponible en:< <https://doi.org/10.1038/srep18370>>

ZIMMERMANN, M et al..No differences in soil carbon stocks across the tree line in the Peruvian Andes. In: *Ecosystems*. 2010, 13 (1), 62-74.

ANEXOS

ANEXO A. Resultados de la cuantificación de la Respiración Edáfica

N° de Conglomerado	N° de parcela	Parcela	L	R	I	RE (ugCO ₂ -Cg ⁻¹ h ⁻¹)	
1	1	A1	L1	R1	I1	0,0625	0,0619
	2	A2	L1	R1	I1	0,1552	0,1872
	3	A3	L1	R1	I1	0,4342	0,4306
2	4	A1	L1	R2	I1	0,4366	0,4292
	5	A2	L1	R2	I1	0,3118	0,3103
	6	A3	L1	R2	I1	0,2489	0,2189
3	7	A1	L1	R3	I1	0,0931	0,1852
	8	A2	L1	R3	I1	0,1243	0,2500
	9	A3	L1	R3	I1	0,2458	0,2795
4	10	A1	L1	R4	I2	0,2490	0,4954
	11	A2	L1	R4	I2	0,9851	0,8729
	12	A3	L1	R4	I2	0,6784	0,5626
5	13	A1	L1	R5	I2	0,8357	0,7762
	14	A2	L1	R5	I2	0,3979	0,5617
	15	A3	L1	R5	I2	0,8016	0,9356
6	16	A1	L1	R5	I3	0,0938	0,0626
	17	A2	L1	R5	I3	0,1251	0,0938
	18	A3	L1	R5	I3	0,3128	0,3128
7	19	A1	L1	R6	I3	0,3438	0,3744
	20	A2	L1	R6	I3	0,3740	0,3687
	21	A3	L1	R6	I3	0,3056	0,3723
8	22	A1	L2	R5	I3	0,3086	0,4053
	23	A2	L2	R5	I3	0,5816	0,6145
	24	A3	L2	R5	I3	0,6255	0,4918
9	25	A1	L3	R5	I3	0,3752	0,5209
	26	A2	L3	R5	I3	0,6808	0,6722
	27	A3	L3	R5	I3	0,5821	0,6193
10	28	A1	L4	R6	I3	0,4300	0,4982
	29	A2	L4	R6	I3	0,7381	0,6229
	30	A3	L4	R6	I3	0,3703	0,5276
11	31	A1	L5	R3	I2	0,4942	0,4627
	32	A2	L5	R3	I2	0,3683	0,3389
	33	A3	L5	R3	I2	0,4303	0,4368
12	34	A1	L5	R4	I2	0,4354	0,3665
	35	A2	L5	R4	I2	0,4673	0,5000
	36	A3	L5	R4	I2	0,4970	0,5264
13	37	A1	L5	R5	I3	0,4979	0,4377
	38	A2	L5	R5	I3	0,3124	0,3122
	39	A3	L5	R5	I3	0,5848	0,4594
14	40	A1	L6	R2	I1	0,0931	0,1834
	41	A2	L6	R2	I1	0,1239	0,0935

N° de Conglomerado	N° de parcela	Parcela	L	R	I	RE (ugCO ₂ -Cg ⁻¹ h ⁻¹)	
	42	A3	L6	R2	I1	0,1564	0,1250
15	43	A1	L6	R3	I1	0,4065	0,4373
	44	A2	L6	R3	I1	0,4936	0,4057
	45	A3	L6	R3	I1	0,2150	0,3119
16	46	A1	L6	R4	I2	0,4691	0,5317
	47	A2	L6	R4	I2	0,5630	0,6255
	48	A3	L6	R4	I2	0,5630	0,5004
17	49	A1	L6	R5	I3	0,4657	0,4935
	50	A2	L6	R5	I3	0,4970	0,4585
	51	A3	L6	R5	I3	0,6787	0,5876
18	52	A1	L6	R5	I1	0,6486	0,7187
	53	A2	L6	R5	I1	0,4675	0,5313
	54	A3	L6	R5	I1	0,2464	0,1864
19	55	A1	L7	R3	I3	0,4334	0,4324
	56	A2	L7	R3	I3	0,4064	0,3437
	57	A3	L7	R3	I3	0,6514	0,7486
20	58	A1	L7	R4	I3	0,5284	0,4611
	59	A2	L7	R4	I3	0,4276	0,4272
	60	A3	L7	R4	I3	0,4960	0,5505
21	61	A1	L7	R4	I2	0,4034	0,3728
	62	A2	L7	R4	I2	0,5941	0,8396
	63	A3	L7	R4	I2	0,2498	0,2812
22	64	A1	L7	R5	I3	0,6749	0,8072
	65	A2	L7	R5	I3	0,5230	0,5530
	66	A3	L7	R5	I3	0,6240	0,7160
23	67	A1	L7	R6	I3	0,3738	0,4289
	68	A2	L7	R6	I3	0,4617	0,5577
	69	A3	L7	R6	I3	0,3719	0,3996
24	70	A1	L7	R5	I3	0,7036	0,7754
	71	A2	L7	R5	I3	0,6200	0,5309
	72	A3	L7	R5	I3	0,8626	0,7647

ANEXO B. Cálculos estequiométricos para la preparación de reactivos

B1. Cálculo de la masa de NaOH necesaria para preparar 250mL de solución 1M.

$$\frac{1\text{molNaOH}}{1000\text{mL de solución}} \times \frac{40.00\text{g NaOH}}{1\text{molNaOH}} \times \frac{100\text{ g NaOH}}{98\text{g NaOH}} \times \frac{250\text{mL de solución}}{1000\text{mL de solución}}$$

$$= 10.2041\text{g de NaOH}$$

Nota: Los valores correspondientes a: masa molar y pureza fueron extraídos de la etiqueta del producto perteneciente al laboratorio de reactivos y química fina LOBA CHEMIE PVT. LTD ®

B2. Cálculo de la masa de NaOH necesaria para preparar 250mL de solución 0.1M.

$$\frac{0.1\text{molNaOH}}{1000\text{mL de solución}} \times \frac{40.00\text{g NaOH}}{1\text{molNaOH}} \times \frac{100\text{ g NaOH}}{98\text{g NaOH}} \times \frac{250\text{mL de solución}}{1000\text{mL de solución}}$$

$$= 1.0204\text{g de NaOH}$$

Nota: Los valores correspondientes a: masa molar y pureza fueron extraídos de la etiqueta del producto perteneciente al laboratorio de reactivos y química fina LOBA CHEMIE PVT. LTD ®

B3. Cálculo de la masa de BaCl₂ necesaria para preparar 250mL de solución 0.05M.

$$\frac{0.05\text{molBaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}{1000\text{mL de solución}} \times \frac{244.28\text{g BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}{1\text{mol BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} \times \frac{100\text{ g BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}{98\text{g BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} \times \frac{250\text{mL de solución}}{1000\text{mL de solución}}$$

$$= 3.0843\text{g de BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$$

Nota: Los valores correspondientes a: masa molar y pureza fueron extraídos de la etiqueta del producto perteneciente al laboratorio de reactivos y química fina LOBA CHEMIE PVT. LTD ®

B4. Cálculo de la masa de fenolftaleína necesaria para preparar 100mL de solución 0.1% p/v.

$$\frac{0.1\text{g de fenolftaleína}}{100\text{mL de solución etanolica 60\%}} \times \frac{100\text{mL de solución etanolica 60\%}}{100\text{mL de solución etanolica 60\%}}$$

$$= 0.1\text{g de Fenolftaleína}$$

B5. Cálculo del volumen de ácido clorhídrico necesario para preparar 250mL de solución aparentemente 0.05M

$$\frac{0,05\text{ mol de HCl}}{1000\text{mL de solución}} \times \frac{36,46\text{ g de HCl}}{1\text{mol HCl}} \times \frac{100\text{g de HCl}}{37\text{g de HCl}} \times \frac{1\text{mL de HCl}}{1,19\text{g de HCl}} \times \frac{250\text{mL}}{1000\text{mL de solución}}$$

$$= 1,04\text{ mL de HCl}$$

ANEXO C. Materiales usados para el muestreo

	
<p>C1. Equipo de barrenación</p>	<p>C2. Equipo de georreferenciación (gps)</p>
	
<p>C3. Rotulador</p>	<p>C4. Espátula de mano</p>
	
<p>C5. Bolsas de halar</p>	<p>C6. Bolsas de sello hermético</p>

ANEXO D. Recolección de muestras



D1. Recolección de muestras dentro de un bosque de pinos.



D2. Recolección de muestras dentro de un pastizal.



D3. Recolección de muestras dentro de una zona no intervenida



D4. Homogenización de muestras



D5. Etiquetado de muestras y envasado dentro de las bolsas de sello hermético



D6. Sitio después del muestreo

ANEXO E. Materiales y reactivos usados para la cuantificación de la respiración edáfica.

	
<p>E1. Cámaras de incubación.</p>	<p>E2. Papel filtro</p>
	
<p>E3. Vasos de precipitación</p>	<p>E4. Balanza analítica</p>
	
<p>E5. Parafilm ®</p>	<p>E6. Pizeta con agua destilada desgasificada</p>
	
<p>E7. Buretas de 50mL</p>	<p>E8. Soporte universal y pinzas para bureta</p>



E9. Cloruro de bario grado reactivo



E10. Ácido clorhídrico



E11. Fenoptaleina



E12. Hidróxido de sodio grado analítico

ANEXO F. Cuantificación de la respiración edáfica.

	
<p>F1. Reactivos de solución captadora: concentrada 1M y de análisis 0.1M</p>	<p>F2. Lavado de cámaras de incubación</p>
	
<p>F3. Incorporación del papel filtro a la cámara</p>	<p>F4. Humectación de la cámara</p>
	
<p>F5. Pesaje de la muestra</p>	<p>F6. Adición de la muestra a la cámara</p>



F7. Ingreso de la solución captadora concentrada a la cámara de pre incubación-blanco



F8. Ingreso de la solución captadora concentrada a la cámara de pre incubación-muestra



F9. cámaras de pre incubación hermetizadas y etiquetadas



H10. cámaras de pre incubación en reposo por 7 días



F11. Destapado de cámaras después de 7 días



F12. Extracción de la solución captadora concentrada



F13. Desecho de la solución captadora concentrada



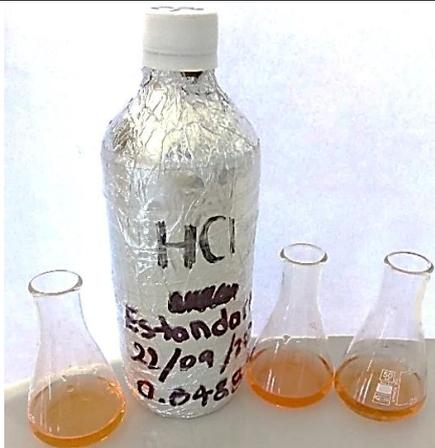
F14. Ingreso a la cámara de la solución captadora (0.1M) para análisis.



F15. Hermetización de cámaras.



F16. Cámaras a reposo por 24h



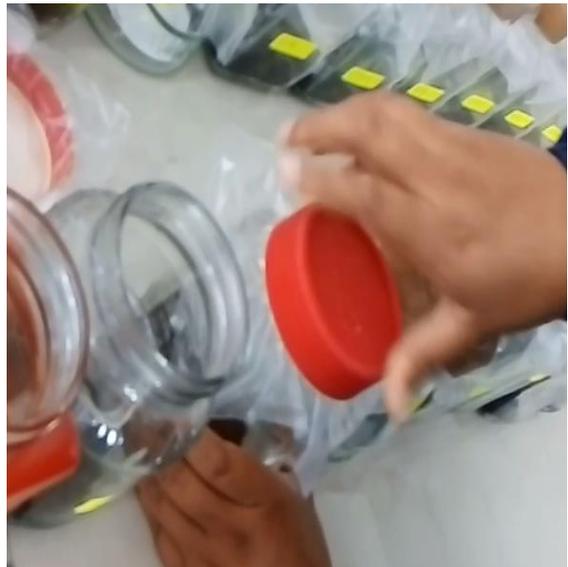
F17. Titulante estandarizado



F18. Solución de Cloruro de bario



F19. Llenado de buretas con la solución de titulante estandarizado (bureta izquierda) y cloruro de bario (bureta derecha)



F20. Destapado de cámaras



F21. Extracción de la solución captadora para análisis fuera de la cámara



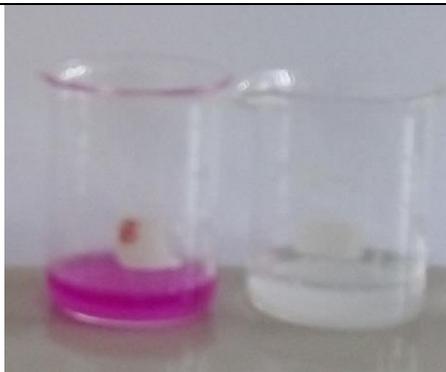
F22. Solución captadora para análisis con cloruro de bario (formación de precipitado blanco insoluble de carbonato de bario)



F23. Solución captadora para análisis con cloruro de bario y fenolftaleína



F24. Inicio de la titulación



F25. Cambio de color al punto de equivalencia



F26. Resumen de cambios de color durante la cuantificación: de izquierda a derecha: cámara con la muestra, solución captadora, solución captadora con cloruro de bario, solución captadora con cloruro de bario y Fenolftaleína, solución captadora titulada con HCl patrón secundario y finalmente solución titulada después de 5 min en reposo (todo el carbonato de bario precipitado).

ANEXO G. Solicitudes de ingreso a las comunidades alejadas

G1. Oficio para la aprobación de ingreso a la comunidad Ozogoché Alto.

ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

GRUPO DE INVESTIGACIÓN PARA EL AMBIENTE Y CAMBIO CLIMÁTICO

Of. No. 138-GIDAC-CEAA-ESPOCH-2020

Riobamba, 05 de agosto de 2020

Señor
Francisco Bejarano
PRESIDENTE
COMUNIDAD OZOGOCHÉ ALTO
Presente. -

De mi consideración:

Por la presente queremos informar que el Grupo de Investigación para el Ambiente y Desarrollo GIDAC de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH se encuentra desarrollando una investigación referente al estado actual de los suelos de páramo y de los sistemas lacustres en los lagos y lagunas del centro del país.

Dentro del área que será estudiada se encuentra el sector de Ozogoché, por lo que diferentes técnicos y estudiantes realizarán actividades en la zona cercana a la comunidad que usted representa, por lo que estaremos agradecidos de contar con su apoyo y el de su comunidad. Cabe recalcar que estas actividades serán únicamente con fines académicos.

En caso de ser necesario, puede contactarse con los siguientes números telefónicos:

Técnico 1: Ing. Jorge Ilvay - 0998600395
Técnico 2: Ing. Diego Damián - 0998172874
Técnico 3: Ing. Freddy Armijos - 0992715721

Por la favorable atención, anticipo mi agradecimiento.

Atentamente,
"Saber para Ser"

MAGDY
MILENI
ECHEVERRÍA

Presente digitalizada por MAGDY
MILENI ECHEVERRÍA
DRA. MAGDY MILENI
ECHEVERRÍA - ESC. SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO - GIDAC - GRUPO DE INVESTIGACIÓN
PARA EL AMBIENTE Y CAMBIO CLIMÁTICO
GIDAC

Dra. Magdy Echeverría
DIRECTORA GIDAC

*Resado -
06.08.2020
Hs-10.56*

[Firma]

7/20

G2. Oficio para la aprobación de ingreso a la comunidad Ozogoche bajo.

**ESPOCH**
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN PARA EL AMBIENTE Y CAMBIO CLIMÁTICO

Of. No. 139-GIDAC-CEAA-ESPOCH-2020

Riobamba, 05 de agosto de 2020

Señor
Segundo Marcatoma
PRESIDENTE
COMUNIDAD OZOGOCHÉ BAJO
Presente. -

De mi consideración:

Por la presente queremos informar que el Grupo de Investigación para el Ambiente y Desarrollo GIDAC de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH se encuentra desarrollando una investigación referente al estado actual de los suelos de páramo y de los sistemas lacustres en los lagos y lagunas del centro del país.

Dentro del área que será estudiada se encuentra el sector de Ozogoche, por lo que diferentes técnicos y estudiantes realizarán actividades en la zona cercana a la comunidad que usted representa, por lo que estaremos agradecidos de contar con su apoyo y el de su comunidad. Cabe recalcar que estas actividades serán únicamente con fines académicos.

En caso de ser necesario, puede contactarse con los siguientes números telefónicos:

Técnico 1: Ing. Jorge Ilvay - 0998600395
Técnico 2: Ing. Diego Damián - 0998172874
Técnico 3: Ing. Freddy Armijos - 0992715721

Por la favorable atención, anticipo mi agradecimiento.

Atentamente,
"Saber para Ser"

MAGDY
MILENI
ECHEVERRI
A

Formato digitalizado por MAGDY
MILENI ECHEVERRI
DIV. AMBIENTE MILENI
ECHEVERRI PÉC
INSTITUCIÓN: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICACIÓN ESPOCH DTIC
Magdy Echeverría en esta
ocasión
Usuario:
Fecha: 2020-08-05 16:34:51:00

Dra. Magdy Echeverría
DIRECTORA GIDAC

Sra. María Juana Bustos

*Despedimos a sus
Hijos y Esposa*

[Signature]

ANEXO H. Diálogo con los comuneros del área en estudio



I1. Diálogo con los comuneros de Ozogoche alto



I2. Diálogo con los comuneros de Ozogoche bajo

Urkund Analysis Result

Analysed Document: jefferson bautista-shirley lema.docx (D104479047)
Submitted: 5/11/2021 2:42:00 AM
Submitted By: magdy.echeverria@epoch.edu.ec
Significance: 4 %

Sources included in the report:

TIC COMPLETA_compressed.pdf (D102482157)
SEGUNDO GREGORIO MORALES MORALES.docx (D63704027)
CUANTIFICACIÓN DE LA RESPIRACIÓN EDÁFICA COMO MEDIDA DE LA ACTIVIDAD MICROBIANA
E N SUELOS DE LA MICROCUENCA DEL RIO CHIMBORAZO.docx (D47949879)
ESTIMACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO Y BIOMASA DEL PÁRAMO DE QUIMIAG.pdf
(D61006781)
<http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0101/doc0101-parte05.pdf>
<https://beisa.au.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdfer/Capitulo%2006.pdf>
<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2014-025.pdf>

Instances where selected sources appear:

20



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 13 / 08 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTORA (S)
Nombres – Apellidos: <i>Jefferson Ramiro Bautista Jiménez Shirley Marisol Lema Lema</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Química</i>
Título a optar: <i>Químico</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.</i>

**LUIS
ALBERTO
CAMINOS
VARGAS**

Formato digitalizado por
LUIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Número de inscripción
DPO - U.T.C. LA ALDEANITA,
sección 2002700119,
ANÁLISIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Fecha: 2021.08.11 11:00:01
-0100



1135-DBRA-UTP-2021