



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DE LA RESPIRACIÓN EDÁFICA DEL SUELO
DEL BOSQUE DE RIBERA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO
CEBADAS**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: SUSANA CAROLINA VELASTEGUI ACHANCE

DIRECTOR: Ing. ANDRÉS AGUSTÍN BELTRÁN DÁVALOS, MSc.

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Susana Carolina Velastegui Achance

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.

Yo, Susana Carolina Velastegui Achance, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 23 de agosto de 2023

A handwritten signature in blue ink that reads "Susana Velastegui". The signature is written in a cursive style with a large initial 'S' and 'V'.

Susana Carolina Velastegui Achance

060431781-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACIÓN DE LA RESPIRACIÓN EDÁFICA DEL SUELO DEL BOSQUE DE RIBERA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CEBADAS**, realizado por la señorita: **SUSANA CAROLINA VELASTEGUI ACHANCE**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Silvana Paola Ocaña Coello.



2023-08-23

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Andrés Agustín Beltrán Dávalos MSc.



2023-08-23

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Ing. Sofía Carolina Godoy Ponce MSc.



2023-08-23

**ASESORA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía y mi inspiración en cada paso que doy, por darme la fuerza necesaria para culminar esta meta y por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación académica.

A Carmita Achance, mi madre, por su amor incondicional, su apoyo constante y sus sacrificios para darme la mejor educación y las herramientas necesarias para triunfar.

A Luis Achance y Marlene Vallejo, que desde pequeña han sido mi mayor guía y ejemplo de amor, pero sobre todo por fortalecer mi carácter para enfrentar cualquier adversidad que se me presente.

A Tania Lizeth, por nunca dejarme sola y ser la perfecta descripción de la palabra incondicional en mi vida.

A Daniel, por su amor, su paciencia y por ser la compañía ideal a lo largo de todo este camino, tenerte en mi vida es una gran bendición.

A mis tíos Luis, Francisco y Lorena, por su sabiduría y ser un importante apoyo siempre a pesar de cualquier circunstancia.

Finalmente quiero dedicar este trabajo de titulación a mis primos Samantha, Francisco Alessandro y Daniel por ser una inagotable fuente de ternura, alegría y diversión.

Susy

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por brindarme el conocimiento, las habilidades y los recursos necesarios para culminar con éxito mi carrera universitaria.

Al Grupo de Investigación para la Sostenibilidad de Cuencas Hidrográficas (GISOCH) por darme la oportunidad de participar en sus proyectos y por los recursos que generosamente pusieron a mi disposición, su compromiso con el medio ambiente ha sido una gran fuente de inspiración.

Al Ing. Andrés Beltrán, director de este trabajo de titulación por su invaluable orientación, apoyo y paciencia. Su experiencia y conocimiento han sido fundamentales para poder culminar con esta investigación.

A mis amigos Quím. Jefferson Bautista y Quím. David Espín por acompañarme durante este proceso, darme tanta motivación en los momentos más precisos, pero sobre todo por ser ese lugar seguro al que siempre pude acudir.

Al Ing. Luis Patiño e Ing. Edgar Uquillas técnicos del GISOCH, por su valioso tiempo, por compartir conmigo sus conocimientos y por su excelente disposición para ayudarme a alcanzar cada objetivo trazado.

Susy

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. Antecedentes.....	5
1.2. Bases teóricas.....	6
1.2.1. <i>Suelo</i>	6
1.2.1.1. <i>Clasificación taxonómica de los suelos</i>	6
1.2.2. <i>Actividad microbiana</i>	7
1.2.3. <i>Carbono en el suelo</i>	8
1.2.3.1. <i>Carbono</i>	8
1.2.3.2. <i>Carbono orgánico del suelo (COS)</i>	9
1.2.3.3. <i>Secuestro de carbono en el suelo</i>	10
1.2.3.4. <i>Carbono orgánico del suelo (COS) y el cambio climático</i>	10
1.2.4. <i>Respiración edáfica</i>	10
1.2.4.1. <i>Componentes de la respiración edáfica</i>	11
1.2.4.2. <i>Métodos para la cuantificación de la respiración edáfica</i>	12
1.2.4.3. <i>Procesos de la respiración edáfica</i>	13
1.2.4.4. <i>Incidencia de la cobertura vegetal en la respiración edáfica</i>	14
1.2.4.5. <i>Incidencia de la estación en la respiración edáfica</i>	14
1.2.4.6. <i>Factores inherentes que afectan la respiración del suelo</i>	15

1.2.4.7.	<i>Propiedades que interfieren en la respiración del suelo</i>	15
1.2.4.8.	<i>Importancia de la respiración edáfica en los ecosistemas forestales</i>	19
1.2.4.9.	<i>Importancia de la respiración edáfica a nivel global</i>	19
1.2.5.	<i>Bosque de Ribera</i>	20
1.2.5.1.	<i>Funciones de los Bosques de Ribera</i>	20
1.2.5.2.	<i>Importancia de los Bosques de Ribera</i>	21
1.2.5.3.	<i>Amenazas a los Bosques de Ribera</i>	22
1.2.6.	<i>Índice de Calidad de Bosque de Ribera (QBR)</i>	22
1.2.6.1.	<i>Índice QBR-And</i>	23
1.2.7.	<i>Páramos del Ecuador</i>	24
1.2.7.1.	<i>Ecosistema de páramo</i>	24
1.2.7.2.	<i>Suelos de páramo</i>	25
1.2.7.3.	<i>Páramos en el Ecuador</i>	25
1.2.7.4.	<i>Páramos en la provincia de Chimborazo</i>	26
1.2.8.	<i>Cuencas Hidrográficas en el Ecuador</i>	26
1.2.8.1.	<i>Cuenca Hidrográfica</i>	26
1.2.8.2.	<i>Clasificación de las cuencas hidrográficas</i>	27
1.2.8.3.	<i>Cuencas hidrográficas del Ecuador</i>	28
1.2.8.4.	<i>Microcuenca del río Cebadas</i>	28
1.3.	Bases conceptuales	28
1.3.1.	<i>Suelo</i>	28
1.3.2.	<i>Respiración edáfica</i>	28
1.3.3.	<i>Microorganismos del suelo</i>	29
1.3.4.	<i>Actividad microbiana</i>	29
1.3.5.	<i>Carbono orgánico del suelo</i>	29
1.3.6.	<i>Bosque de ribera</i>	29
1.3.7.	<i>QBR (Calidad del Bosque de Ribera)</i>	29
1.3.8.	<i>Páramo alto Andino</i>	30
1.3.9.	<i>Cuenca hidrográfica</i>	30

1.3.10.	<i>Cambio climático</i>	30
1.3.11.	<i>Efecto invernadero</i>	30
1.3.12.	<i>Calentamiento global</i>	31

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	32
2.1.	Lugar de estudio	32
2.1.1.	<i>Ubicación</i>	32
2.1.2.	<i>Zonas latitudinales</i>	33
2.1.3.	<i>Condiciones climáticas</i>	34
2.2.	Tipo de Investigación	34
2.3.	Diseño de la investigación	35
2.4.	Hipótesis	35
2.4.1.	<i>Hipótesis nula</i>	35
2.4.2.	<i>Hipótesis alterna</i>	35
2.5.	Variables	35
2.5.1.	<i>Variable dependiente</i>	35
2.5.2.	<i>Variable independiente</i>	35
2.6.	Selección de los puntos de monitoreo	36
2.6.1.	<i>Selección de la muestra</i>	36
2.6.2.	<i>Criterios de selección</i>	36
2.6.3.	<i>Diseño de muestreo</i>	37
2.6.4.	<i>Método para pH, conductividad eléctrica y materia orgánica</i>	37
2.7.	Etapas de investigación	38
2.7.1.	<i>Determinación de Temperatura (°C)</i>	38
2.7.2.	<i>Determinación de Humedad (%H)</i>	38
2.8.	Determinación de la respiración edáfica	38
2.8.1.	<i>Cuantificación de la respiración edáfica</i>	41

2.9.	Determinación del índice QBR-And (Calidad del Bosque de Ribera)	45
------	---	----

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	47
3.1.	Puntos de muestreo.....	47
3.2.	Respiración edáfica de las zonas Ozogoche, Atillo y Cebadas.....	47
3.3.	Comparación de los flujos de CO ₂ (FCO ₂) en las zonas de Ozogoche, Atillo y Cebadas	50
3.3.1.	<i>ANOVA para FCO₂ por zonas</i>	51
3.4.	Comparación de la temperatura en las zonas de Ozogoche, Atillo y Cebadas	51
3.5.	Comparación del porcentaje de humedad en las zonas de Ozogoche, Atillo y Cebadas.....	52
3.6.	Correlación entre el Índice de Calidad de Bosque de Ribera y la respiración edáfica en las zonas de Ozogoche, Atillo y Cebadas.....	53

CONCLUSIONES.....	55
-------------------	----

RECOMENDACIONES.....	56
----------------------	----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Clasificación taxonómica de los suelos.....	7
Tabla 1-2: Clasificación de los suelos según su pH.....	17
Tabla 1-3: Niveles de calidad del índice QBR.....	22
Tabla 1-4: Índice QBR-And.....	23
Tabla 1-5: Niveles de calidad del índice QBR-And.....	24
Tabla 1-6: Cuencas hidrográficas por su tamaño.....	27
Tabla 2-1: Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo	32
Tabla 2-2: Materiales y equipos.....	39
Tabla 2-3: Niveles de calidad del índice QBR-And.....	46
Tabla 3-1: División por zonas de los puntos de monitoreo.....	47
Tabla 3-2: Resumen estadístico para FCO ₂	50
Tabla 3-3: ANOVA para FCO ₂ por zonas	51
Tabla 3-4: Resumen estadístico para Temperatura	51
Tabla 3-5: Resumen estadístico para porcentaje de humedad.....	52
Tabla 3-6: Índice QBR-And.....	53

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1:	Ciclo del carbono	8
Ilustración 1-2:	Carbono orgánico del suelo	9
Ilustración 1-3:	Componentes de la respiración edáfica.....	12
Ilustración 1-4:	Delimitación bosque de ribera	20
Ilustración 1-5:	Zona de aplicación del QBR.....	22
Ilustración 1-6:	Páramo de Ozogoche	26
Ilustración 1-7:	Estructura de una cuenca hidrográfica	27
Ilustración 2-1:	Ubicación de los puntos de muestreo.....	33
Ilustración 2-2:	Diseño muestral en X.....	37
Ilustración 2-3:	Procedimiento de preparación de NaOH	39
Ilustración 2-4:	Procedimiento de preparación del BaCl ₂ .2H ₂ O	40
Ilustración 2-5:	Procedimiento de preparación del HCl	40
Ilustración 2-6:	Procedimiento de preparación de fenolftaleína en etanol	41
Ilustración 2-7:	Procedimiento de incubación en Campo.....	43
Ilustración 2-8:	Procedimiento de medición en Laboratorio	44
Ilustración 3-1:	Comportamiento del CO ₂ en cada punto de muestreo por zonas.....	48
Ilustración 3-2:	Comparación de los flujos de CO ₂ (FCO ₂) en las 3 zonas	50
Ilustración 3-3:	Temperatura por zonas.....	52
Ilustración 3-4:	Porcentaje de humedad por zonas.....	53
Ilustración 3-5:	Correlación QBR vs. FCO ₂	54

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: CÁLCULOS ESTEQUIOMÉTRICOS DE LA PREPARACIÓN DE REACTIVOS

ANEXO B: RESULTADOS DE LA CUANTIFICACIÓN DEL FCO_2

ANEXO C: HOJAS DE CAMPO PARA LA EVALUACIÓN DEL ÍNDICE QBR ANDINO

ANEXO D: PREPARACIÓN DE REACTIVOS

ANEXO E: INCUBACIÓN EN CAMPO

ANEXO F: CUANTIFICACIÓN DE LA RESPIRACIÓN EDÁFICA

RESUMEN

Los bosques de ribera desempeñan un papel crucial en la conservación del agua, la biodiversidad y el bienestar humano, particularmente en la provincia de Chimborazo, Ecuador, han sufrido graves alteraciones por actividades antropogénicas como la agricultura y la ganadería generando un impacto negativo en la respiración del suelo y en el secuestro de dióxido de carbono (CO₂); por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la respiración edáfica del suelo del bosque de ribera de la microcuenca del río Cebadas a través de la medición de la cantidad de CO₂ exhalada por sus suelos y expresada como flujo de dióxido de carbono (FCO₂). La metodología implementada determinó nueve puntos de monitoreo distribuidos en tres zonas: Ozogoche, Atillo y Cebadas, los cuales se muestrearon en el período marzo-mayo 2023 correspondiente a la época lluviosa. La cuantificación se realizó empleando el método de titulación modificado para ser aplicado *in situ*, por lo que se desarrolló en dos fases: fase de campo y fase de laboratorio. Finalizada la investigación se determinó que el FCO₂ presenta un mayor valor en el bosque de ribera de la zona de Ozogoche con 487,7±35,66 mg de CO₂ m⁻² h⁻¹, un valor menor en la zona de Atillo con 335,74±7,78 mg de CO₂ m⁻² h⁻¹ y un valor intermedio en la zona de Cebadas con 390,18±36,27 mg de CO₂ m⁻² h⁻¹, evidenciando una importante tasa de respiración edáfica en los suelos no intervenidos pertenecientes a los suelos de páramo. Así se concluye que este recurso se debe mantener sin alteración debido a que de lo contrario se prevé una remoción de la materia orgánica nativa y una descomposición acelerada de la misma, que resultaría en emisiones de CO₂ a gran escala, contribuyendo a la intensificación del efecto invernadero y por lo tanto al calentamiento global.

Palabras clave: <RESPIRACIÓN EDÁFICA>, <BOSQUE DE RIBERA>, <MICROCUEENCA>, <DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)>, <SUELO DE PÁRAMO>, <EFECTO INVERNADERO>.

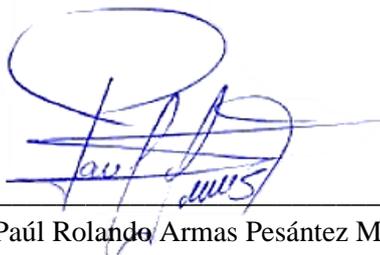
1779-DBRA-UPT-2023



ABSTRACT

Riparian forests play a crucial role in water conservation, biodiversity and human welfare, particularly in the province of Chimborazo, Ecuador, they have suffered serious alterations due to anthropogenic activities such as agriculture and livestock which generate a negative impact in the soil respiration and carbon dioxide (CO₂) retention; Therefore, the current research was aimed to evaluate the soil respiration in the riparian forest of the Cebadas River micro-watershed by measuring the amount of CO₂ exhaled by its soils and expressed as carbon dioxide flux (FCO₂). The methodology implemented determined nine monitoring points distributed in three zones: Ozogoche, Atillo and Cebadas, which were sampled from March to May 2023, period corresponding to the rainy season. The quantification was carried out using the modified titration method to be applied in situ, so it was developed in two stages: field stage and laboratory stage. At the end of the research, it was determined that FCO₂ shows a higher value in the riparian forest of the Ozogoche area with 487.7 ± 35.66 mg of CO₂ m⁻² h⁻¹, a lower value in the Atillo area with 335.74 ± 7.78 mg of CO₂ m⁻² h⁻¹ and an intermediate value in the Cebadas area with 390.18 ± 36.27 mg of CO₂ m⁻² h⁻¹, showing an important rate of edaphic respiration in non-intervened soils belonging to the páramo soils. Thus, this resource must be kept without any alteration, otherwise a removal of native organic matter and an accelerated decomposition is expected, resulting in large emissions of CO₂ which contribute to the intensification of the greenhouse effect and consequently global warming.

Keywords: <EDAPHIC RESPIRATION>, <RIPARIAN FOREST>, <MICRO-WATERSHED>, <CARBON DIOXIDE (CO₂)>, <PARAMO SOIL>, <GREENHOUSE EFFECT>.



Lic. Paúl Rolando Armas Pesántez Mgs.
060328987-7

INTRODUCCIÓN

Los bosques de ribera son ecosistemas que desempeñan un papel crucial en la conservación del agua, la biodiversidad y el bienestar humano, constituyen el lugar de transición entre el medio acuático y el terrestre, que actúa como un filtro natural, evitando el desbordamiento de los cuerpos de agua y ayudando a reducir la contaminación y la erosión del suelo. Estos bosques garantizan hábitats vitales para una amplia variedad de especies de plantas y animales, además, cumplen la función de corredores que conectan diferentes áreas naturales, permitiendo el movimiento de especies y promoviendo la diversidad biológica (Yáñez et al., 2011, p. 125).

Aunque estos ecosistemas son de gran importancia, hasta la actualidad en la provincia de Chimborazo han sufrido graves alteraciones debido a: la explotación forestal, el sobrepastoreo, la compactación del suelo, el crecimiento poblacional, la presencia de carga de contaminantes orgánicos y de origen fitosanitario, la práctica de la agricultura no sostenible y el avance de la frontera agrícola; dichas actividades generan un impacto negativo en la respiración del suelo de este ecosistema forestal, ocasionando así la disminución del secuestro de CO₂, lo que se traduce en un incremento de las emisiones locales de gases de efecto invernadero (Pérez, 2019, p. 2-3).

La respiración edáfica mencionada es el principal evento de los cambios ecológicos globales debido a su papel controversial en los procesos de calentamiento del planeta, lo que convierte a esta temática en un punto focal de estudio para determinar si los ecosistemas de la microcuenca se comportan como fuentes o sumideros de CO₂. Ya que a nivel mundial se conoce que el suelo almacena una mayor cantidad de carbono (C) que la atmósfera, liberando anualmente entre 75 y 80 Gt de carbono, es decir, mucho más de lo que se libera por la quema de combustibles fósiles (Giardina et al, 2014, p. 2; Lei et al, 2021, p.1).

El páramo ecuatoriano ocupa aproximadamente el 5% del territorio nacional, por lo que es de gran importancia ecológica al ser considerado de alta efectividad en la absorción del carbono atmosférico (Rondón, 2000, p. 73). Sin embargo, debido al cambio del uso de suelo originado por la intervención antropogénica, existe el riesgo de que las reservas de este elemento sean liberadas nuevamente de manera inmediata (Yi et al, 2016, p. 6).

Es por lo anteriormente mencionado que en la presente investigación se ha estudiado la microcuenca del río Cebadas, ya que esta juega un papel crucial en el mantenimiento del equilibrio ecológico de la zona, se origina en las faldas de los ríos Atillo y Ozogoche y es alimentada aguas abajo por el río Yasepán. A lo largo de su curso, el caudal aumenta debido a otros afluentes que posteriormente forman la cuenca del río Chambo, que a su vez es parte del río Pastaza perteneciente a la cuenca del río Amazonas, que se encuentra en la selva tropical más

grande del mundo y tiene un gran significado en la lucha contra el cambio climático (Souza et al., 2013, p. 59).

Evaluar la respiración edáfica del suelo del bosque de ribera de la microcuenca del río Cebadas permite la observación y el establecimiento de la situación actual, a la vez que es posible proponer acciones pertinentes en cuanto tiene que ver a la intervención en la zona de estudio. En el ámbito social y científico, este entorno natural es de gran relevancia, ya que alberga principalmente ecosistemas de páramo, los cuales actúan como un reservorio natural que contribuye al control del dióxido de carbono (Ruiz, 2009, p. 14).

❖ **Formulación**

¿Qué grado de incidencia tiene la respiración edáfica en la calidad del suelo del bosque de ribera de la microcuenca del río Cebadas?

❖ **Justificación**

Los bosques de ribera tienen un papel fundamental en el equilibrio ecológico, debido a que ofrecen protección tanto para el recurso agua como para el recurso suelo, poseen capacidades como la absorción y fijación de dióxido de carbono, el cual es uno de los principales gases responsables del cambio climático que afecta al planeta. Además, actúan como filtros naturales, evitando el desbordamiento de los cuerpos de agua y ayudando a reducir la contaminación y la erosión del suelo. También garantizan hábitats vitales para una amplia variedad de especies de plantas y animales, y cumplen la función de corredores que conectan diferentes áreas naturales, permitiendo el movimiento de especies y promoviendo la diversidad biológica. Estos bosques por su fertilidad son generalmente los más intervenidos por el ser humano, lo que los convierte en un objetivo de estudio para evaluar el impacto que tienen sus alteraciones en el medio ambiente.

El presente proyecto busca conocer la variabilidad de las concentraciones de CO₂ derivadas del proceso de respiración edáfica, conocer el impacto que ocasionan las actividades agropecuarias y la baja diversidad florística, y valorar las zonas protegidas de páramo como Atillo, Ozogoché y Yasepan que integran el Parque Nacional Sangay, su importancia e interés ecológico en el secuestro de CO₂, ya que con el avance del tiempo la estructura natural de las zonas anteriormente mencionadas han sufrido de forma directa o indirecta por las actividades antrópicas llevadas a cabo, ocasionando variaciones notables a corto y largo plazo que impactan de manera negativa el ambiente.

Para lograr el objetivo de este trabajo de investigación se prevé realizar un muestreo a lo largo de la microcuenca del río Cebadas durante la estación lluviosa en 9 puntos ya establecidos, dicho muestreo se realizará por parcelas para posteriormente analizar las muestras recolectadas en el laboratorio de investigación del GISOCH y con los resultados obtenidos evaluar la respiración edáfica del suelo del bosque en estudio.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

❖ Objetivo General

Evaluar la respiración edáfica del suelo del bosque de ribera de la microcuenca del río Cebadas.

❖ Objetivos específicos

- Cuantificar la respiración edáfica del suelo del bosque de ribera de la microcuenca del río Cebadas.
- Analizar la correlación que existe entre el QBR (Índice de Calidad de Bosque de Ribera) y la respiración edáfica del bosque de ribera de la microcuenca del río Cebadas.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

(Pramod & Mohapatra, 2011, p. 1414) realizaron un estudio en la India en árboles de *Jatropha curcas* (piñón), *Leucaena leucocephala* (guaje), *Acacia nilótica* (goma arábica), *Azadirachta indica* (nim) y *Prosopis juliflora* (aipia), se midió la respiración del suelo (SR) en una zona ribereña y examinó el efecto de la temperatura y la humedad del suelo sobre la SR en cinco especies forestales de la región semiárida. La tasa media diaria de SR fue de 1,82; 2,08; 2,35; 2,27 y 2,07 g C m⁻² d⁻¹. Un modelo univariado de la humedad del suelo debajo de la superficie podría explicar el 77% de la variación temporal en la salida de CO₂ del suelo, independientemente de las especies y los sitios. El modelo logarítmico podría explicar mejor la relación entre la SR y la humedad del suelo a 10-20 cm de profundidad del suelo (P <0,001). Existieron correlaciones negativas entre la SR y la temperatura del suelo en la mayoría de las especies. En general, en todas las especies, la temperatura del suelo explicó mal la variación del 26% en la RS como variable independiente. Para la relación velocidad-temperatura SR, una función en forma de campana dio el mejor ajuste en este ecosistema.

(Tufekcioglu et al., 2010, p. 118) en su estudio “Respiración del suelo dentro de zonas de amortiguamiento ribereñas y campos de cultivo adyacentes” cuantifica las tasas de respiración del suelo en zonas de amortiguamiento de pastos ribereños de estación fría, en zonas de amortiguamiento ribereñas de múltiples especies restablecidas y en campos de cultivos adyacentes. Los objetivos eran determinar la variabilidad en la respiración del suelo entre los tipos de amortiguamiento y los campos de cultivo dentro de un paisaje ribereño, e identificar los factores que se correlacionan con las diferencias observadas. La respiración del suelo se midió aproximadamente mensualmente durante un período de dos años utilizando la técnica de cal sodada. La respiración media diaria del suelo en todos los tratamientos varió de 0,14 a 8,3 g C m⁻² d⁻¹. No hubo diferencias significativas entre los amortiguadores de pastos de estación fría y los amortiguadores forestales restablecidos, pero las tasas de respiración debajo del pasto varilla fueron significativamente más bajas que aquellas debajo del pasto de estación fría. La respiración del suelo fue significativamente mayor en ambos sistemas de amortiguación que en los campos cultivados.

En el proyecto de investigación titulado “Relación de la respiración edáfica con las propiedades físico-químicas de los suelos de la microcuenca del río Guano, provincia de Chimborazo” su autor (Morales, 2020, p. 49) observa que en suelos no intervenidos (como los páramos), la tasa promedio de emisión de CO₂ es de 0,57 ug de CO₂-C por hora, mientras que en suelos intervenidos esta tasa aumenta a 0,80 ug de CO₂-C por hora indicando que, a pesar de tener una alta cantidad de materia orgánica, los suelos no intervenidos presentan una respiración edáfica menor debido a que la biomasa aérea contrarresta las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. Por otro lado, en los suelos intervenidos donde el manejo del suelo es deficiente, la respiración edáfica es mayor debido a la alteración de los microorganismos presentes en el suelo.

En la actualidad el Grupo de Investigación para la Sostenibilidad de Cuencas Hidrográficas (GISOCH) de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ha logrado un gran avance en la investigación de las propiedades físicas y bioquímicas del suelo del bosque de ribera de la microcuenca del río Cebadas, esta información mencionada es de suma importancia para el presente trabajo de investigación debido a que en cuanto a este tema no existe información documentada disponible, causa por la cual se ha despertado el interés por esta zona.

1.2 Bases teóricas

1.2.1 Suelo

Según (Brown et al., 2021, p. 1) el suelo es el medio poroso biológicamente activo que se ha desarrollado en la capa superior de la corteza terrestre, es uno de los principales sustratos de vida en la Tierra, sirve como depósito de agua y nutrientes, como medio para la filtración y descomposición de desechos nocivos y como participante en el ciclo del carbono y otros elementos a través del ecosistema global. Ha evolucionado a través de procesos de meteorización impulsados por influencias biológicas, climáticas, geológicas y topográficas.

1.2.1.1 Clasificación taxonómica de los suelos

La Taxonomía de los suelos es un sistema de clasificación desarrollado por el personal de estudios de suelos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos que se basa en las propiedades medibles y observables del suelo diseñado para facilitar el estudio detallado del suelo. Aunque no es el único sistema de clasificación de suelos se utiliza ampliamente en todo el mundo y muchas de sus características se han adoptado en otros sistemas. En el nivel más alto de clasificación, la Taxonomía del Suelo sitúa los suelos en una de las 12 categorías conocidas como "órdenes". Cada

uno de estos órdenes representa una agrupación de suelos con características e importancia ecológica distintas (USDA, 2014, p. 45).

Tabla 1-1: Clasificación taxonómica de los suelos.

	Orden	Características
1	Entisoles	Están presentes en el horizonte de la capa superior del suelo y ocurren en áreas donde hay un clima muy seco o frío que limita el desarrollo del perfil del suelo y ocupan aproximadamente el 18% del área terrestre libre de hielo global.
2	Inceptisoles	Son suelos de ambientes semiáridos a húmedos que generalmente exhiben solo grados moderados de desarrollo del suelo, un porcentaje considerable se encuentran en áreas montañosas y ocupan aproximadamente el 15% del área terrestre libre de hielo global.
3	Molisoles	Son suelos altamente fértiles con deposición de calcio y magnesio, se encuentra en los pastizales, por lo tanto, también se denomina suelo de pastizales y ocupan aproximadamente el 7% del área terrestre libre de hielo.
4	Alfisoles	Este tipo de suelo se encuentra bajo la vegetación forestal en una región climática similar. Son suelo extendido y ocupan aproximadamente del 15 al 18% de la cubierta libre de glaciares de la Tierra.
5	Ultisoles	Son suelos ácidos, rojizos, ricos en arcilla que soportan una vegetación forestal mixta antes del cultivo, y ocupan un poco más del 8% de la superficie continental no polar de la Tierra,
6	Oxisoles	Este tipo de suelo se encuentra en las regiones tropicales y subtropicales. Son grandes yacimientos de óxidos de hierro y cuarzo, no son aptos para cultivos ya que son muy pobres en nutrientes y tienen baja fertilidad.
7	Vertisoles	Este es un tipo de suelo arcilloso que tiene la capacidad de encogerse y expandirse, posee grietas profundas cuando el suelo está seco se torna de color oscuro.
8	Aridisoles	Se forma a partir de una mezcla de sal, yeso o carbonatos. Se encuentran en los desiertos cálidos y fríos, que ocupan alrededor del 10 al 12% del área terrestre libre de glaciares, incluidos los valles secos de la Antártida.
9	Esodosoles	Son suelos caracterizados por la acumulación de mezclas disformes de materia orgánica, aluminio y en ocasiones con hierro. Generalmente de color gris, poseen poca arcilla de silicato y cubren alrededor del 3,5% de la superficie terrestre continental no polar.
10	Histosoles	Son suelos que contienen al menos 20-30% de materia orgánica en peso, son ecológicamente importantes por las grandes cantidades de carbono que contienen y ocupan aproximadamente el 1,2% de la superficie terrestre libre de hielo.
11	Andisoles	Son suelos que se han formado de cenizas volcánicas, tienen propiedades ándicas, propiedades químicas y físicas únicas que incluyen una alta capacidad de retención de agua y la capacidad de fijar grandes cantidades de fósforo. Son el orden de suelo menos extenso y solo representan aproximadamente el 1% del área terrestre libre de hielo.
12	Gelisoles	Son suelos de climas muy fríos que contienen permafrost a dos metros de la superficie, muestran un desarrollo morfológico relativamente pequeño, la mayoría de los gelisoles almacenan grandes cantidades de carbono orgánico y se estima que ocupan aproximadamente el 9,1% de la superficie terrestre libre de hielo del planeta.

Fuente: (USDA, 2014).

Realizado por: (Velastegui S., 2023).

1.2.2 Actividad microbiana

Es la actividad que desarrollan los microorganismos que habitan el suelo, llevan a cabo la descomposición de la materia orgánica y que da como producto dióxido de carbono. La actividad

depende de muchos factores, incluida la humedad del suelo (en suelos secos, la biomasa microbiana no está activa), la temperatura (cuando hay humedad del suelo, la actividad microbiana aumenta a medida que aumenta la temperatura dentro del rango de valores experimentados a través de la zona agrícola), el carbono orgánico (como una fuente de alimento) y pH (alrededor de neutro) (Paolini Gómez, 2018, p. 15). La descomposición de la materia orgánica del suelo está controlada por la biomasa microbiana activa y conduce a la liberación de nitrógeno y otros nutrientes que pueden estar disponibles para las plantas (Ding et al., 2014, p. 2).

Las prácticas de manejo influyen en la actividad microbiana al alterar la disponibilidad de carbono orgánico, el pH y otras condiciones del suelo y, por lo tanto, reflejan cambios rápidos en la función biológica del suelo (Zeyan et al., 2014, p. 2). Aunque la actividad microbiana puede verse influenciada por factores de gestión, estos cambios solo se expresarán cuando haya suficiente humedad en el perfil del suelo: un suelo seco no está activo (Zhihua et al., 2014, p. 135).

1.2.3 Carbono en el suelo

1.2.3.1 Carbono



Ilustración 1-1: Ciclo del carbono

Fuente: (Evans y Perlman, 2019).

El carbono (C) es el principal elemento presente en la materia orgánica del suelo, con una media del 58% en peso. Una característica general del suelo es la acumulación de este elemento en forma de materia orgánica e incluso en desechos de lombrices e insectos (FAO, 2017, p. 13).

Las plantas intercambian constantemente carbono con la atmósfera ya que absorben dióxido de carbono durante la fotosíntesis y gran parte de este se almacena en las raíces, el permafrost, los pastizales y los bosques, después al descomponerse las plantas y el suelo liberan CO₂. Otros organismos también liberan dióxido de carbono mientras viven y mueren, como, por ejemplo, los animales exhalan dióxido de carbono cuando respiran y lo liberan cuando se descomponen. Los océanos también intercambian carbono con la atmósfera mediante su absorción, que luego se hunde a medida que se enfría. Además, este elemento se almacena en rocas y otros depósitos geológicos, así como el carbón y otros combustibles fósiles están hechos de C de plantas que se ha almacenado bajo la superficie de la Tierra durante millones de años (Evans y Perlman, 2019, p. 4).

1.2.3.2 Carbono orgánico del suelo (COS)

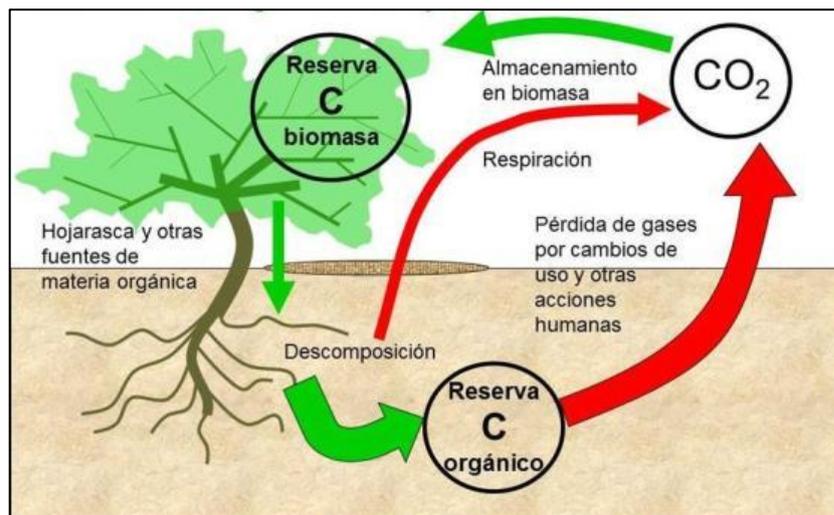


Ilustración 1-2: Carbono orgánico del suelo

Fuente: (ECOTICIAS, 2014).

De acuerdo con (Lehmann et al., 2020, p. 531) el carbono orgánico es un componente medible de la materia orgánica del suelo, dicha materia orgánica constituye solo del 2 al 10% de la masa del suelo y ejerce un papel principal en sus funciones físicas, químicas y biológicas. Es importante mencionar que la materia orgánica contribuye a la retención y renovación de nutrientes, de la estructura del suelo, la retención y disponibilidad de humedad, la degradación de contaminantes y el secuestro del carbono, además de que es difícil de medir directamente por lo que los laboratorios tienden a medir el carbono orgánico del suelo (COS).

1.2.3.3 Secuestro de carbono en el suelo

El carbono es secuestrado en el suelo por las plantas a través de la fotosíntesis y puede almacenarse como carbono orgánico del suelo (COS), este secuestro de carbono asegura el dióxido de carbono para así evitar que sea liberado a la atmósfera terrestre. El secuestro de carbono en el suelo es una opción muy viable para la eliminación del dióxido de carbono (CO₂) ya que depende de la gestión intencional de la tierra con la finalidad de mejorar el almacenamiento de carbono como materia orgánica del suelo y en formas inorgánicas fáciles de descomponer. El secuestro del carbono en el suelo es la consecuencia de la alteración de las prácticas de gestión de la tierra los que aumenta el contenido de este elemento en el suelo, lo que resulta en una sustracción del dióxido de carbono de la atmósfera (Kwacho et al., 2022, p. 3442). En términos generales el secuestro de carbono es un valioso servicio ambiental del suelo especialmente en las zonas climáticas frías, ya que en las cálidas la biomasa vegetal es la responsable de este secuestro (Ayala, Maya y Enrique, 2018, p. 8).

1.2.3.4 Carbono orgánico del suelo (COS) y el cambio climático

El COS es crucial en el ciclo global del carbono por lo tanto para la salud de suelo, la fertilidad, los servicios ecosistémicos y la producción de alimentos. El cambio climático, especialmente el calentamiento global puede afectar directa o indirectamente la descomposición del carbono orgánico del suelo a través del control de las actividades enzimáticas, los microbios y la respiración del suelo. En los últimos años algunos estudios han demostrado que el calentamiento global podría estimular la pérdida de C del suelo a la atmósfera debido a que los efectos más fuertes del calentamiento se dan en la fotosíntesis, lo que lleva a una retroalimentación negativa del carbono con el clima de la Tierra (Zhao et al., 2021, p. 16).

De acuerdo con (García-Palacios et al., 2021, p. 510) la degradación de un tercio de los suelos del mundo ha liberado hasta 78 Gt de carbono a la atmósfera, el daño adicional a las reservas de carbono del suelo a través de la mala gestión de la tierra obstaculiza los esfuerzos para limitar el aumento de la temperatura global, para evitar mayores inundaciones, sequías y otros impactos negativos en el cambio climático.

1.2.4 Respiración edáfica

La respiración es una medida directa de la actividad biológica, que integra la abundancia y la acción de la vida microbiana (Ayala, 2016, p. 5). Por lo tanto, es un indicador del estado biológico de la comunidad del suelo, que puede dar una idea de la capacidad de los microorganismos para

aceptar y usar residuos o enmiendas, para mineralizar y hacer que los nutrientes estén disponibles a partir de ellos para las plantas y otros organismos, para almacenar nutrientes y así amortiguar su disponibilidad a lo largo del tiempo, y desarrollar una buena estructura del suelo, entre otras funciones importantes. La actividad biológica del suelo influye en los procesos físicos, biológicos y químicos clave de este (Vásquez et al., 2015, p. 176).

La respiración del suelo es una medida de la actividad metabólica de su comunidad microbiana, se mide capturando y cuantificando el dióxido de carbono (CO₂) liberado de una muestra en ciertas condiciones y durante un tiempo determinado. Una mayor liberación de CO₂ es indicativo de una comunidad microbiana del suelo más activa (Placella et al., 2012, p. 10932). Por lo que la reacción general de la respiración del suelo como lo menciona (Stotzky, 1994, p. 865) es:



De acuerdo con esta reacción el 100% del carbono orgánico debería terminar liberándose como dióxido de carbono, pero por el contrario en condiciones aeróbicas normales solo se libera del 60 al 80% de este carbono como CO₂ debido a que la oxidación y la síntesis celular se llevan a cabo de manera incompleta. Sin embargo, los microorganismos del suelo y las condiciones ambientales son los principales factores de los cuales depende la cantidad de CO₂ liberado y de O₂ consumido (Stotzky, 1994, p. 865).

1.2.4.1 Componentes de la respiración edáfica

La respiración del suelo representa la mayor fuente potencial de carbono atmosférico; por lo tanto, incluso pequeños cambios en la respiración del suelo pueden aumentar o disminuir el nivel de dióxido de carbono atmosférica (Schimel et al., 2015, p. 1763). La respiración del suelo es la emisión de dióxido de carbono de la superficie del suelo que controla el ciclo primario del carbono en los ecosistemas (Jin et al., 2021, p. 2), y consta de dos componentes:

- **Respiración autótrofa:** es el dióxido de carbono liberado por las raíces de las plantas (Wei et al., 2015, p. 3).
- **Respiración heterótrofa:** es el dióxido de carbono liberado por la actividad microbiana asociada con la descomposición de la materia orgánica del suelo y constituye el 54% de la respiración total en el bosque (Wei et al., 2015, p. 3).

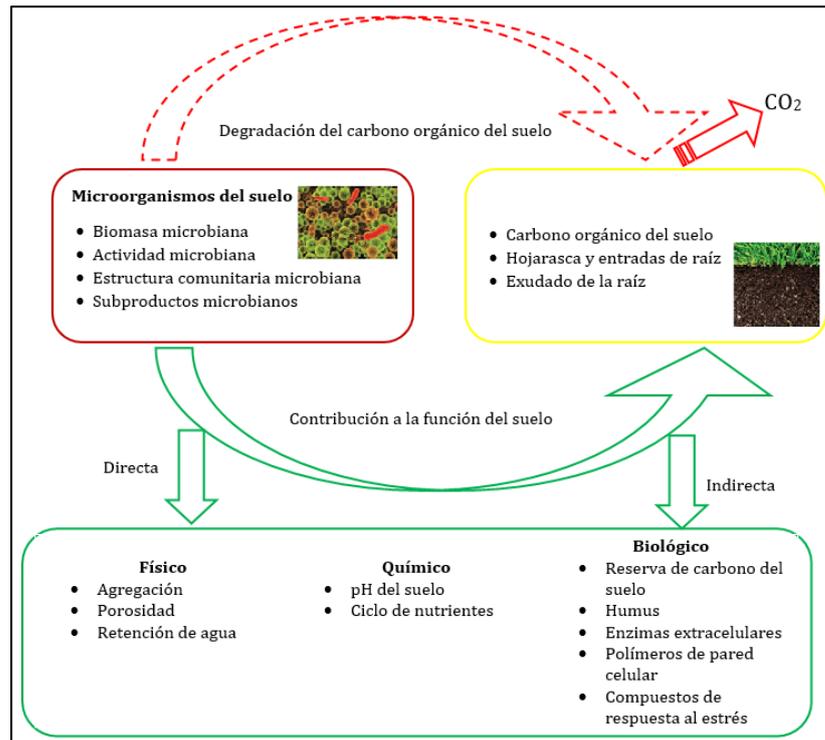


Ilustración 1-3: Componentes de la respiración edáfica

Fuente: (Xu et al., 2018).

La fotosíntesis y la respiración heterótrofa son los procesos clave que regulan el balance de carbono terrestre (Xu et al., 2018, p. 165). La respiración y descomposición heterótrofa del suelo están asociadas principalmente con la actividad microbiana (Hanson et al., 2015, p. 45). Las enzimas del suelo catalizan muchos procesos biológicos importantes involucrados en la mejora de la tasa de metabolismo del suelo y promueven la circulación de elementos nutritivos (Li et al., 2015, p. 2).

1.2.4.2 Métodos para la cuantificación de la respiración edáfica

Considerando la complejidad detrás de los procesos del CO₂ del suelo, su heterogeneidad tanto en el espacio como en el tiempo, y las interacciones con la superficie, una estimación del dióxido de carbono total que sale del suelo y sus componentes no es fácil de obtener (Campbell et al., 2013, p. 67).

Para determinar la respiración del suelo existen numerosos métodos, pero los que describen (Renault et al., 2013, p. 83) son los siguientes:

- **Método de titulación:** también llamado como método por sustrato inducido, es llevado a cabo en un laboratorio, presenta una ligera variación en cuanto a las concentraciones y volumen de los reactivos que se utilizan, el tiempo de duración de la incubación y la cantidad de suelo

estudiado (Renault et al., 2013, p. 83). Es el método más popular debido a su simplicidad y eficiencia, por lo cual es el favorito en los diferentes laboratorios de investigación. La base de este método es la incubación de la muestra de suelo dentro de un vial de gran tamaño, dentro del cual se encuentra uno más pequeño que contiene una solución acuosa de ya sea hidróxido de sodio o hidróxido de potasio, que posteriormente es incubado por determinado tiempo y titulado con ácido clorhídrico. Para realizar correcciones en cuanto al dióxido de carbono se incluye un vial control. Finalmente, para estimar la cantidad de dióxido de carbono producida se aplica la ecuación correspondiente a este método (Sciarappa et al., 2016, p. 328).

- **Método del analizador de gases infrarrojos de flujo abierto (IRGA):** Este método emplea un cromatógrafo de gases, cuyo funcionamiento se basa en el flujo del aire ambiente a través de la cámara y el flujo del dióxido de carbono es calculado por la diferencia de concentración que existe entre el aire entrante y el saliente (Renault et al., 2013, p. 84).
- **Método de gel Solvita:** Este método determina la respiración edáfica sin el uso de reactivos, de manera eficiente y rentable, además de caracterizarse por su rapidez y simplicidad. Fue diseñado específicamente para tasar las diferencias que existen entre los tipos de compost (Renault et al., 2013, p. 84).

Por otro lado (Norris et al., 2018, p. 1430) menciona que la cuantificación de la respiración edáfica o respiración del suelo (RS) es el análisis del consumo de oxígeno o a su vez de la producción del dióxido de carbono (CO₂), que se puede determinar por dos métodos que son:

- **Método estático:** El principio de este método es la incubación cerrada de una muestra de gases, que permite capturar sus gases permitiendo cuantificarlos mediante la metodología planteada por (Bond-Lamberty et al., 2018, p. 81).
- **Método dinámico:** Este método consiste en el flujo continuo de aire libre de dióxido de carbono en una incubadora, de la cual salen gases que posteriormente deben ser analizados (Bond-Lamberty et al., 2018, p. 81).

1.2.4.3 Procesos de la respiración edáfica

(Pérez et al., 2017, p. 173) mencionan que la respiración del suelo conlleva tres tipos de procesos diferentes que son:

- **Procesos físicos:** Desgasificación de dióxido de carbono del suelo y su transporte hacia la superficie (Pérez et al., 2017, p. 173).

- **Procesos químicos:** Oxidación de los minerales del suelo (Pérez et al., 2017, p. 173).
- **Procesos biológicos:** Respiración de las raíces, respiración microbiana y respiración de la fauna (Pérez et al., 2017, p. 173).

1.2.4.4 *Incidencia de la cobertura vegetal en la respiración edáfica*

Mientras que la temperatura y la humedad del suelo son los factores ambientales más influyentes que controlan la variación temporal de la respiración del suelo, son inadecuados para explicar las variaciones espaciales de la misma dentro de un sitio debido a que la vegetación juega un papel importante en el ciclo de nutrientes del suelo (Maestre y Cortina, 2003, p. 210). Los suelos con vegetación reflejan una respiración edáfica mayor que la del suelo desnudo, pero la vegetación irregular puede introducir incertidumbres en las estimaciones de los modelos de respiración edáfica diseñados para ampliar las mediciones de campo a niveles de ecosistema (Dias, Van Ruijven y Berendse, 2010, p. 809). De acuerdo con (Cable et al., 2012, p. 117) la cobertura vegetal influye en la respiración edáfica ya que se han observado correlaciones positivas con la biomasa radicular y la riqueza de especies.

La perturbación de los suelos y las alteraciones en la cubierta vegetal pueden afectar la distribución, el tamaño y la actividad de los microorganismos del suelo y su capacidad para reciclar biogeoquímicamente los nutrientes esenciales (Zhang y Yu, 2020, p. 586). Los suelos intervenidos pueden tener diferentes características y condiciones dependiendo del tipo de intervención que hayan experimentado. En general, los suelos no intervenidos tienden a tener una mayor capacidad para respirar, ya que conservan su estructura natural y su porosidad, lo que permite el intercambio de aire y la circulación de agua y nutrientes de manera más eficiente (Gaspar et al., 2019, p. 303). Además, (Zhang et al., 2016, p. 171) menciona que la respiración edáfica en tierras de cultivo es de 2 a 3 veces menor que en suelos naturales o forestados.

1.2.4.5 *Incidencia de la estación en la respiración edáfica*

Los diferentes suelos están influenciados por eventos transitorios estacionales de desecación-humectación que regulan fuertemente la dinámica de los procesos biogeoquímicos del suelo (Austin et al., 2004, p. 225). Así, por ejemplo, durante la estación seca se producen altas tasas de caída de hojarasca, lo que da lugar a un suelo forestal con lentas tasas de descomposición y una baja liberación de CO₂ (Schimel, 2018, p. 411). Al comienzo de la estación húmeda, la caída de hojarasca promueve la rápida descomposición y mineralización del suelo forestal de las estaciones de crecimiento anteriores (Kuznyakov, 2010, p. 1364) y, junto con la actividad microbiana y la

transformación de nutrientes, desencadena un "efecto abedul", en el que se libera un gran pulso de CO₂ al humedecerse de nuevo el suelo.

1.2.4.6 Factores inherentes que afectan la respiración del suelo

Los factores inherentes que afectan la respiración del suelo como el clima de acuerdo con (Smukler et al., 2012, p. 17) no se pueden cambiar. Las tasas de respiración del suelo dependen de la cantidad y calidad de materia orgánica, temperatura, humedad, salinidad, pH y aireación. La actividad biológica de los organismos del suelo varía estacionalmente, así como a diario. La respiración microbiana se duplica con creces por cada 10 ° C (18 ° F), la temperatura del suelo aumenta hasta un máximo de 35 a 40 ° C (95 a 104 ° F), más allá del cual la temperatura del suelo es demasiado alta, lo que limita el crecimiento de las plantas, la actividad microbiana y la respiración del suelo.

La respiración del suelo aumenta con la humedad hasta el nivel en que los poros se llenan con agua, lo que limita la disponibilidad de oxígeno, lo que interfiere con la capacidad del microorganismo del suelo para respirar (Ferreira et al., 2018, p. 2).

Los suelos de textura media (suelos limosos y francos) según (De Figueiredo et al., 2015, p. 78) son a menudo favorables a la respiración del suelo debido a su buena aireación y alta capacidad de agua disponible. En suelos arcillosos, una cantidad considerable de materia orgánica está protegida de la descomposición por partículas de arcilla y otros agregados que limitan la respiración edáfica y la mineralización asociada (amonificación) de Nitrógeno.

La vegetación afecta la respiración del suelo, indirectamente, modificando el microclima y la estructura del suelo, y también por la cantidad y calidad de los materiales orgánicos que aporta. La calidad está determinada por el contenido de compuestos lábiles y recalitrantes de la cama (relación C:N); la descomposición rápida indica una mayor concentración de componentes lábiles en relación con el recalitrante (C:N bajo), lo que promueve la tasa de descomposición y, por lo tanto, conduce a altas tasas de respiración; y, directamente, dado que la respiración de las raíces es uno de los principales contribuyentes al CO₂ (Raich y Tufekcioglu, 2000, p. 72).

1.2.4.7 Propiedades que interfieren en la respiración del suelo

El flujo que genera la respiración del suelo es significativo a nivel mundial, ya que influye en el ciclo global del carbono, como un poderoso regulador del efecto invernadero y del clima global. La respiración del suelo a menudo se ve afectada de manera interactiva por varios factores, aunque

a menudo es difícil separar sus interacciones; sin embargo, como muchos otros procesos fisiológicos de plantas y microbios, suele responder al factor más limitante, algunos de estos factores o propiedades son la temperatura, la humedad, el pH y la conductividad eléctrica del suelo (Yiqi y Zhou, 2010, p. 256).

- **Temperatura.** – (Onwuka y Mang, 2018, p. 2) definen a la temperatura como la función de la energía interna del suelo, las principales causas de su variación son la transferencia de calor en el suelo y los intercambios de calor latente en la superficie. La principal fuente de temperatura del suelo es la radiación solar, por lo que varía de forma estacional y diariamente, es uno de los factores importantes que influyen en los procesos de propiedades del suelo involucrados en el crecimiento de las plantas, además gobierna los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo e influye en los procesos interesféricos de intercambio de gases entre la atmósfera y el suelo.

En suelos fríos, la actividad de la respiración edáfica tiende a ser más baja debido a las condiciones desfavorables para la actividad microbiana. Sin embargo, existen organismos adaptados a estas condiciones y pueden llevar a cabo la destrucción de la materia orgánica a dichas temperaturas. Las temperaturas más altas (10°C - 30°) a menudo se asocian con tasas más altas de respiración del suelo, acelerando los procesos del ciclo del carbono a través de la respiración autótrofa y liberando así más dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera. Por otro lado, cuando las temperaturas son más bajas (>10°), la actividad de los microorganismos del suelo disminuye por lo que la respiración edáfica sigue este mismo patrón (Carey et al., 2016, p. 13800).

- **Humedad.** – La humedad del suelo es la cantidad de agua en la capa activa del suelo, generalmente en los 1-2 m superiores. Esta humedad cerca de la superficie también controla la partición de la energía disponible para el intercambio de calor sensible y latente con la atmósfera, vinculando así los balances de agua y energía a través de los estados de humedad y temperatura del suelo. Esta propiedad es la fuente de agua que se evapora y transpira del suelo y la vegetación hacia la atmósfera, lo que afecta la distribución de las nubes y la precipitación (Bourletsikas et al., 2023, p.2).

La humedad del suelo puede afectar de forma parabólica la respiración del suelo limitando la actividad radicular y microbiana en el suelo a bajos niveles y restringiendo la difusividad del dióxido de carbono a altos niveles (Orchard y Cook, 1983, p. 450; Maier et al., 2011, p. 1725). La humedad ideal del suelo es cuando aproximadamente el 60% del espacio de los poros está lleno de agua. La respiración disminuye en suelos secos debido a la falta de humedad y otras

actividades biológicas (McGowen et al., 2018, p. 2). A medida que el espacio poroso lleno de agua del suelo excede el 80%, la respiración del suelo disminuye a un nivel mínimo y la mayoría de los microorganismos aeróbicos "cambian de pista" y usan nitrato (NO₃), en lugar de oxígeno, lo que resulta en una pérdida de nitrógeno, emisión de potentes gases de efecto invernadero (Smukler et al., 2012, p. 17).

- **pH.** – Es una medida de la actividad de los iones H⁺ y es una propiedad química importante que afecta el crecimiento de la vegetación, la actividad microbiana, las tasas de descomposición y la disponibilidad de nutrientes. El pH del suelo está influenciado por el material original del suelo, las reacciones REDOX y la fuente de agua dominante. El pH del suelo mantiene un patrón decreciente a medida que envejecen las comunidades de suelo y plantas, pero puede ser más variable (Vásquez, Macías y Menjivar, 2013, p. 176). Los suelos de páramo de acuerdo con (Mena, Josse y Medina, 2000, p. 16) suelen ser ácidos con un rango de pH entre 3,9 y 6,5; dependiendo también de su grado de intervención.

Tabla 1-2: Clasificación de los suelos según su pH

Tipo de suelo	pH
Ultra ácido	< 3.5
Extremadamente ácido	3.5 – 4.4
Ácido muy fuerte	4.5 – 5.0
Fuertemente ácido	5.1 – 5.5
Moderadamente ácido	5.6 – 6.0
Ligeramente ácido	6.1 – 6.5
Neutro	6.6 – 7.3
Ligeramente alcalino	7.4 – 7.8
Moderadamente alcalino	7.9 – 8.4
Fuertemente alcalino	8.5 – 9.0
Alcalino muy fuerte	>9.0

Fuente: (USDA, 2022)

Los suelos con pH alcalino generalmente tienen una menor respiración edáfica que los suelos con pH neutro o ligeramente ácido. Esto se debe a que, en estos suelos, las condiciones no son óptimas para la actividad microbiana, lo que puede limitar el proceso de respiración y descomposición de la materia orgánica. Además, la disponibilidad de nutrientes también puede verse afectada en suelos con pH alcalino, lo que a su vez puede influir en la tasa de respiración edáfica. Por otro lado, la actividad microbiana en los suelos ácidos es mayor ya que existe una mayor disponibilidad de nutrientes para los microorganismos y estos suelos tienden a tener menos calcio y magnesio que aumentan la actividad de los microorganismos encargados de la descomposición de la materia orgánica y por lo tanto se libera más dióxido de carbono a la atmósfera (Delgado-Baquerizo et al., 2017, p. 1300).

- **Conductividad eléctrica.** – Esta propiedad es una medida del contenido de sal en el suelo, es un indicador importante de la salud de este. Influye directamente en la disponibilidad de nutrientes para las plantas y la actividad microbiana los cuales están relacionados con los procesos clave del suelo, incluidas las emisiones de gases de efecto invernadero como los óxidos de nitrógeno, el metano y el dióxido de carbono (Ko, Choo y Ji, 2023, p. 322).

En general, (Hursh et al., 2017, p. 2095) menciona que se ha observado que niveles altos de conductividad eléctrica en el suelo tienden a afectar negativamente la respiración edáfica debido a que las altas concentraciones de sales pueden tener un efecto tóxico sobre los microorganismos del suelo, reduciendo su actividad metabólica y, por lo tanto, disminuyendo la tasa de respiración edáfica. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la relación entre la conductividad eléctrica y la respiración edáfica puede variar dependiendo de otros factores, como la composición del suelo, la disponibilidad de nutrientes y la temperatura (Ebrahimi et al., 2019, p. 379).

- **Materia orgánica.** – Es el componente orgánico del suelo que consiste en materia orgánica procedente de plantas y animales, y material que ha sido transformado por microorganismos del suelo en diferentes fases de descomposición. La materia orgánica del suelo brinda beneficios directos para la producción agrícola y forestal, además desempeña mejoras en la fertilidad y la calidad del suelo a nivel químico, físico y biológico (Kotroczó et al., 2023, p. 12). Según (Yavitt et al., 2021, p. 9) la materia orgánica del suelo (MOS) juega un papel sumamente importante en los procesos de funcionamiento y regulación de los ecosistemas debido a que se desempeña como una reserva de carbono (C) y nitrógeno (N), participa en el intercambio catiónico, el control del pH del suelo y la formación de la estructura del suelo, y es el sustrato más importante para los microorganismos heterótrofos.

De acuerdo con varios estudios la materia orgánica del suelo juega un papel crucial en la respiración edáfica debido a que mientras los microorganismos descomponen los residuos orgánicos, liberan CO₂ como subproducto de su metabolismo. La presencia de una mayor cantidad de materia orgánica en el suelo generalmente aumenta la actividad de los microorganismos y, por lo tanto, la tasa de respiración edáfica (Vásquez, Macías, y Menjivar, 2013, p. 179). Varios estudios respaldan la relación entre la materia orgánica y la respiración edáfica. Es así como un estudio realizado por (Smith et al., 2016, p. 22) demostró que los suelos con una mayor concentración de materia orgánica poseen tasas más altas de respiración edáfica en comparación con los suelos con una menor concentración de materia orgánica. Por otro lado, (Chen et al., 2017, p. 51) en su estudio describe una relación positiva entre la materia

orgánica y la respiración edáfica, debido a que los suelos con mayor cantidad de materia orgánica presentan una mayor liberación de dióxido de carbono.

1.2.4.8 Importancia de la respiración edáfica en los ecosistemas forestales

El suelo tiene un papel importante en la fertilidad y estabilidad de los ecosistemas forestales (Estrada-Villegas et al., 2000, p. 161) Los microorganismos presentes en el suelo son responsables de la descomposición y conversión de la materia orgánica para el desarrollo de la vegetación y el crecimiento de las plantas (Toledo et al., 2015, p. 152). La biomasa microbiana del suelo puede actuar como fuente o sumidero de los nutrientes disponibles (Singh et al., 2017, p. 499) y los cambios en la biomasa microbiana también afectan la renovación de la materia orgánica del suelo (Yang et al., 2010, p. 176). El principal componente de la biomasa del suelo es el carbono de la biomasa microbiana (CBM), es responsable de controlar los flujos de carbono y nutrientes en los sistemas ecológicos (Shao et al., 2015, p. 2). El carbono de la biomasa microbiana viva y la biomasa microbiana muerta contribuyen al depósito de carbono de la biomasa microbiana (Xu et al., 2018, p. 165). La necromasa de microorganismos muertos representa una gran cantidad de carbono en el suelo y puede actuar como una fuente de carbono fácilmente disponible para los microorganismos vivos (Xu et al., 2018, p. 165).

Es bien sabido que la acumulación y descomposición del carbono orgánico del suelo (COS) tiene un efecto directo sobre el almacenamiento de carbono en el ecosistema terrestre y el balance global de carbono (Liu et al., 2016, p. 502). Por lo tanto, las propiedades microbianas del suelo tales como la respiración del suelo, la actividad enzimática, y la biomasa microbiana se consideran importantes en la predicción de la dinámica del SOC en muchos estudios recientes (Memoli et al., 2017, p. 119; Panico et al., 2020, p. 2).

1.2.4.9 Importancia de la respiración edáfica a nivel global

A escala mundial, la respiración del suelo genera de 68 a 77×10^{15} g C por año (Raich y Schlesinger, 2015, p. 3); alrededor de un tercio de este C proviene de la respiración de las raíces y el resto de la actividad de los microorganismos durante el proceso de descomposición de la materia orgánica muerta (Noh et al., 2016, p. 505), por lo que este proceso juega un papel importante en el ciclo global del carbono y en la concentración de CO₂ en la atmósfera. Por tanto, es de gran importancia por sus implicaciones sobre el cambio climático y las políticas medioambientales (Latimer y Risk, 2016, p. 2112).

1.2.5 *Bosque de Ribera*

El bosque de ribera también conocido como bosque de galería es un área adyacente a un río, lago o humedal que contiene una combinación de árboles, arbustos y otras plantas perennes y se maneja de manera diferente al paisaje circundante, principalmente para brindar beneficios de conservación. Además, se pueden administrar para incluir árboles y arbustos que producen un cultivo cosechable junto con los beneficios de conservación, aunque esto es menos común, se utilizan en entornos agrícolas, cultivos en hileras, pastizales, suburbanos y urbanos (McGowen et al., 2018, p. 2).

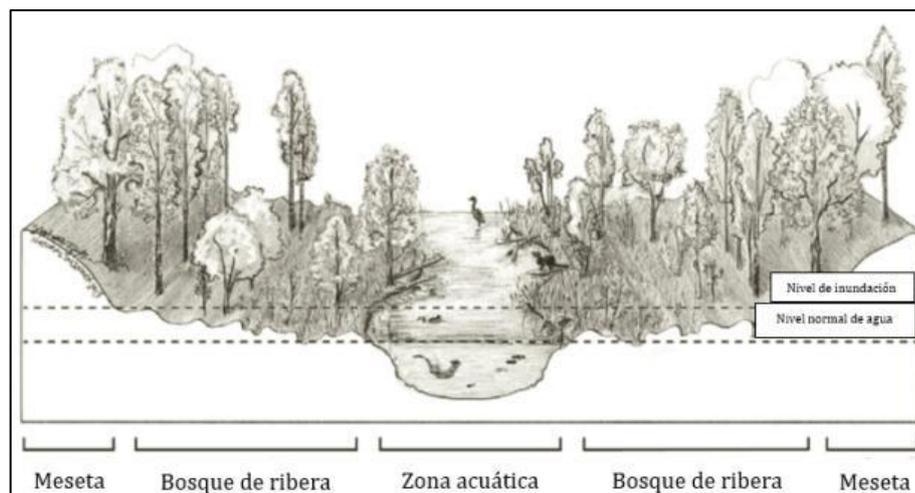


Ilustración 1-4: Delimitación bosque de ribera

Fuente: (Smith y Finch, 2013).

Las zonas de amortiguamiento de los bosques de ribera pueden ofrecer una serie de beneficios que incluyen el filtrado de nutrientes, pesticidas y desechos animales de la escorrentía de tierras agrícolas; estabilizar los bancos en erosión; filtrar sedimentos de la escorrentía; proporcionar sombra, refugio y alimento para peces y otros organismos acuáticos; proporcionar hábitat de vida silvestre y corredores para organismos terrestres; proteger las tierras de cultivo y las comunidades río abajo de los daños causados por las inundaciones; generar ingresos a partir de tierras agrícolas que se inundan con frecuencia o tienen bajos rendimientos; proporcionar espacio para la recreación; y diversificación de los ingresos de los propietarios de tierras (Wei et al., 2015, p. 3).

1.2.5.1 *Funciones de los Bosques de Ribera*

De acuerdo con (Riis et al., 2020, p. 510) la zona ribereña se caracteriza por una alta variabilidad espacial y temporal impulsada principalmente por condiciones bioclimáticas, geomorfológicas y de uso de la tierra, que cambian a través del tiempo bajo influencias naturales y humanas. La vegetación ribereña se define como la vegetación establecida en la planicie de inundación, es

decir, la porción del paisaje terrestre desde la marca de la orilla alta hacia las tierras altas, donde los niveles freáticos elevados influyen en la vegetación y el suelo. Es así como los bosques de ribera cumplen con diferentes funciones como:

- Funciones Biológicas
 - Proteger el hábitat de la vida silvestre y acuática.
 - Proporcionar un corredor para la vida silvestre.
 - Resguardar a los depredadores de plagas de roedores e insectos.
 - Reciclar nutrientes.
 - Almacenar el exceso de sedimentos.
 - Atrapar el exceso de dióxido de carbono (CO₂).

- Funciones Sociales
 - Proporcionar cercas naturales, pantallas visuales y control de ruido.
 - Mejorar la calidad del aire.
 - Proporcionar laboratorios al aire libre para la enseñanza y la investigación.
 - Contener metales pesados y toxinas.

- Funciones económicas
 - Acuíferos de recarga.
 - Proteger a la población cercana contra la pérdida de propiedad por daños por inundación y erosión
 - Proteger la calidad de los suministros públicos de agua potable.
 - Apoyar los rendimientos sostenibles de la madera.

1.2.5.2 Importancia de los Bosques de Ribera

Los bosques de ribera son un aspecto importante de las ecorregiones, ya que aumentan la biodiversidad de un bioma. En algunas regiones los bosques de galería actúan como un hábitat secundario para los mamíferos, sirven como un corredor de dispersión para las especies de fauna que permite a los animales moverse libremente en un paisaje dominado por los humanos (Hanson et al., 2015, p. 45). Además, las especies de avifauna utilizan los bosques no solo para moverse sino también para alimentarse y reproducirse, por lo que estos bosques tienen un alto valor de conservación (Ayala, 2016, p. 11).

1.2.5.3 Amenazas a los Bosques de Ribera

Estos bosques se han ido reduciendo en varias partes del mundo. Esta situación ha sido provocada por varias actividades humanas como la construcción de presas que han provocado inundaciones e interferido con el flujo natural del agua. Los bosques de galería también han sufrido la destrucción de los incendios y se han visto afectados por el pastoreo de ganado, la deforestación, el cambio climático y las especies exóticas (Pérez, 2019, p. 173).

1.2.6 Índice de Calidad de Bosque de Ribera (QBR)

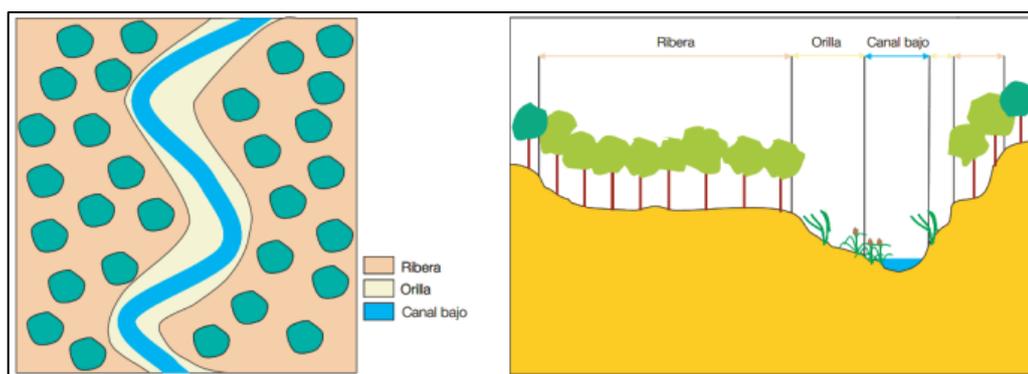


Ilustración 1-5: Zona de aplicación del QBR

Fuente: (Agencia Catalana del Agua, 2006).

El índice, denominado QBR, se basa en cuatro componentes del hábitat ribereño: cobertura vegetal ribereña total, estructura de la cobertura, calidad de la cobertura y alteraciones de los canales. También tiene en cuenta las diferencias en la geomorfología del río desde sus cabeceras hasta los tramos más bajos. Estas diferencias se miden de forma simple y cuantitativa. La puntuación del índice varía entre 0 (mínima calidad) y 100 (máxima calidad) puntos (Bond-Lamberty et al., 2018, p. 81).

Tabla 1-3: Niveles de calidad del índice QBR

Valor QBR	Nivel de calidad	Color
≥ 95	Sin alteraciones, estado natural. Calidad muy buena.	Azul
75 – 90	Bosque ligeramente perturbado. Calidad buena.	Verde
55 – 70	Inicio de alteración importante. Calidad moderada.	Amarillo
30 - 50	Alteración fuerte. Calidad deficiente.	Naranja
≤ 25	Degradación extrema. Calidad mala.	Rojo

Fuente: (Bond-Lamberty et al., 2018).

Pasos para seguir

- 1. Selección del área de observación:** Se debe considerar toda el área potencial de desarrollo del hábitat ribereño para calcular el índice QBR. El canal principal y las áreas ribereñas deben diferenciarse (Latimer y Risk, 2016, p. 237).
- 2. Cada parte se analiza de forma independiente:** El QBR es un índice de suma de cuatro partes. Cada parte se calcula de forma independiente y la puntuación individual de cada parte no puede ser negativa ni superior a 25 (Latimer y Risk, 2016, p. 237).
- 3. Calculando cada parte:** Cada parte tiene 4 opciones medias. Solo uno de estos podría seleccionarse comenzando desde el puntaje alto superior. La puntuación inicial obtenida se puede modificar según la puntuación positiva o negativa de las condiciones que se indican a continuación de cada parte. Se pueden considerar todas las condiciones (Latimer y Risk, 2016, p. 237).
- 4. Puntuación final:** La puntuación final es la suma de las 4 partes, por lo que debe variar entre 0 y 100 (Latimer y Risk, 2016, p. 237).
- 5. Observaciones:** Las brigadas y las carreteras que cruzan el río y se utilizan para acceder al muestreo no deben considerarse para calcular el índice QBR. Si es posible, el QBR debe analizarse aguas arriba o aguas abajo de esas instalaciones. Siempre se considerarán otros puentes o caminos (Latimer y Risk, 2016, p. 237).

1.2.6.1 Índice QBR-And

Tabla 1-4: Índice QBR-And

BLOQUE	DESCRIPCIÓN
Grado de cobertura vegetal	Se refiere al porcentaje de vegetación que cubre el área, excluyendo las plantas que crecen solo durante un año y considera los dos lados del río de manera conjunta.
Estructura vertical de la vegetación	Se refiere a la interpretación de la complejidad de la vegetación, que puede ser resultado de una mayor diversidad de especies animales y vegetales en la zona de análisis. Se tiene en cuenta la alineación de los árboles, su interconexión y arbustos en la orilla, así como la distribución uniforme o discontinua de la cobertura.
Calidad de la cobertura vegetal	Se refiere al tipo geomorfológico del canal en el tramo analizado.
Grado de naturalidad del canal fluvial	Determina el nivel de modificación que ha experimentado el río, debido a una reducción en el cauce, un aumento en las pendientes de los márgenes o la pérdida de sinuosidad del río.

Fuente: (Agencia Catalana del Agua, 2006).

El índice QBR-And es una adaptación del índice de calidad de bosque de Ribera QBR descrito por (Munné et al., 2003, p. 29) el cual está diseñado específicamente para evaluar la calidad de los bosques de ribera en zonas andinas, donde existen diferentes tipos de formaciones vegetales. El índice QBR-And incluye cuatro bloques para su evaluación por su adaptación a las zonas andinas (Acosta et al., 2009, p. 39).

En términos generales, (Acosta et al., 2009, p. 41) considerando las principales formaciones vegetales de los andes y los tipos de riberas, define tres tipos:

- **Tipo 1:** Ribera de tipo rocoso donde no se desarrolla ninguna comunidad vegetal.
- **Tipo 2:** Ribera típica de páramos y punas, compuesta por praderas de gramíneas, en algunos casos con matorrales bajos, almohadillas y turberas de altura (bofedales).
- **Tipo 3:** Ribera conformada por una comunidad diversa de árboles y/o arbustos. Esta ribera es la más común entre los 2000 y 4000 metros sobre el nivel del mar, y en algunos bosques relictos por encima de los 4000 metros sobre el nivel del mar en los páramos y punas (Acosta et al., 2009, p. 41).

Tabla 1-5: Niveles de calidad del índice QBR-And

Valor QBR	Nivel de calidad	Color
≥ 96	Sin alteraciones, estado natural. Calidad muy buena.	Azul
76 – 95	Bosque ligeramente perturbado. Calidad buena.	Verde
51 – 75	Inicio de alteración importante. Calidad moderada.	Amarillo
26 - 50	Alteración fuerte. Calidad deficiente.	Naranja
≤ 25	Degradación extrema. Calidad mala.	Rojo

Fuente: (Acosta et al., 2009)

1.2.7 Páramos del Ecuador

1.2.7.1 Ecosistema de páramo

En las regiones tropicales de México, América Central y del Sur, existe un tipo de vegetación que se extiende entre el bosque altitudinal y el límite superior de la vida vegetal o línea de nieve, que se caracteriza por gramíneas de manojo, grandes plantas en roseta, arbustos con hojas perennes, coriáceas y esclerófilas, y plantas en cojín. Este tipo de vegetación se encuentra disperso a lo largo de las crestas de las cadenas montañosas más entre unos 3000 y 5000 m de altura (Podwojewski y Poulénard, 2004, p. 2). Según (Manchay y Maldonado, 2019, p. 2) el ecosistema de páramo se caracteriza por la presencia de zonas desérticas, ventosas, húmedas y frías en el norte andino, las cuales están influenciadas por la glaciación, razón por la cual este ecosistema es irregular y desigual, muy áspero

con rocas erráticas que lo hacen ondulado o llano, a menudo con pequeños lagos glaciares y afluentes.

1.2.7.2 Suelos de páramo

Los suelos de páramo evolucionan en relación con las bajas temperaturas, la elevada humedad del suelo y la disponibilidad de aluminio (Al^+) de la roca madre por lo que sus características son muy variables, pero de manera general se puede mencionar que su contenido de carbono y la disponibilidad de agua son muy elevados, por lo que los suelos de los páramos se consideran una "esponja" que mejora la retención de agua y amortigua el flujo del agua río abajo. La mayoría de los suelos de páramo son relativamente jóvenes y poco desarrollados, y se clasifican a grandes rasgos en los órdenes Andisoles, Inceptisoles, Histosoles, Entisoles y Mollisoles. Sin embargo, las nuevas prácticas agrícolas modifican las propiedades del suelo, alterando el régimen de infiltración y escorrentía, y perturbando la función hidrológica primaria de los páramos (Díaz-Granados, Navarrete y Suárez, 2005, p. 66).

1.2.7.3 Páramos en el Ecuador

Los páramos ecuatorianos se caracterizan por poseer un clima húmedo y frío, con variaciones drásticas de temperatura cada día, son considerados como territorios ancestrales de mucha importancia a nivel ecosistémico debido a la gran cantidad de especies endémicas que alberga y los servicios que brinda. Su extensión territorial abarca alrededor de 12650 km² lo que equivale a aproximadamente el 5% del territorio ecuatoriano (Mena-Vásquez, 2011, p. 26).

De acuerdo con (Mena-Vásquez, Hofstede y Suárez, 2023, p. 23) en el Ecuador los páramos son el origen de gran parte del sistema hídrico, ya que en estos nacen las principales cuencas del país y posteriormente sus aguas drenan al Pacífico (38%) y a la Amazonía (62%). Los páramos en el Ecuador tienen 2 estaciones más o menos marcadas, la estación seca y la estación húmeda que pueden variar dependiendo de diferentes factores biofísicos o incluso de la intervención antropogénica debido a que en la vertiente interandina es bastante común la práctica agrícola y de pastoreo que por tradición son las más desarrolladas. Las temperaturas en los páramos ecuatorianos tienen cambios bastante drásticos diariamente tanto que (Camacho, 2013, p. 83) menciona que el régimen climático de los páramos se basa en ser verano durante el día e invierno por la noche.

1.2.7.4 Páramos en la provincia de Chimborazo

Los páramos de la provincia de Chimborazo poseen una capa de materia orgánica bastante considerable, la cual es vital para que se lleven a cabo procesos de infiltración y regulación hídrica que en consecuencia influyen sobre la estructura del suelo la cual es fundamental para que todos los servicios ecosistémicos que ofrece el páramo se ejecuten naturalmente de manera correcta (Beltrán et al., 2009, p. 15). Sin embargo, al ser los páramos ecosistemas tan vulnerables en la provincia de Chimborazo han sufrido de malos manejos a lo largo de mucho tiempo siendo estos destinados en gran parte al desarrollo de ganadería, agricultura y reforestación con especies invasoras (Bustamante, Albán y Argüello, 2011, p. 16).



Ilustración 1-6: Páramo de Ozogoche

Realizado por: (Velastegui S., 2023).

En los últimos años las superficies de los páramos han variado, la explicación más lógica a este suceso es la reinterpretación actual de las imágenes satelitales además de la decisión de lo que debe ser considerado como páramo, por lo que según (MAATE, 2023, p. 1) de la provincia de Chimborazo 196052,68 hectáreas le corresponden al páramo, es decir, el 32,06% del territorio total.

1.2.8 Cuencas Hidrográficas en el Ecuador

1.2.8.1 Cuenca Hidrográfica

La cuenca hidrográfica es definida por (Idrovo, González y Guerrero, 2021, p. 52) como un área de tierra drenada por un río y sus afluentes que se forma por la erosión del flujo de agua y la actividad

geológica. Tiene características particulares como una fuente donde el río comienza y una boca donde el río se encuentra con un lago o con el océano, una confluencia en donde un río se une a otro y un área de tierras altas que rodea la cuenca del río. Las cuencas hidrográficas se componen de subcuencas y estas a su vez están constituidas por microcuencas, que son cuencas donde un curso de agua desemboca en un punto determinado de una cuenca más grande.

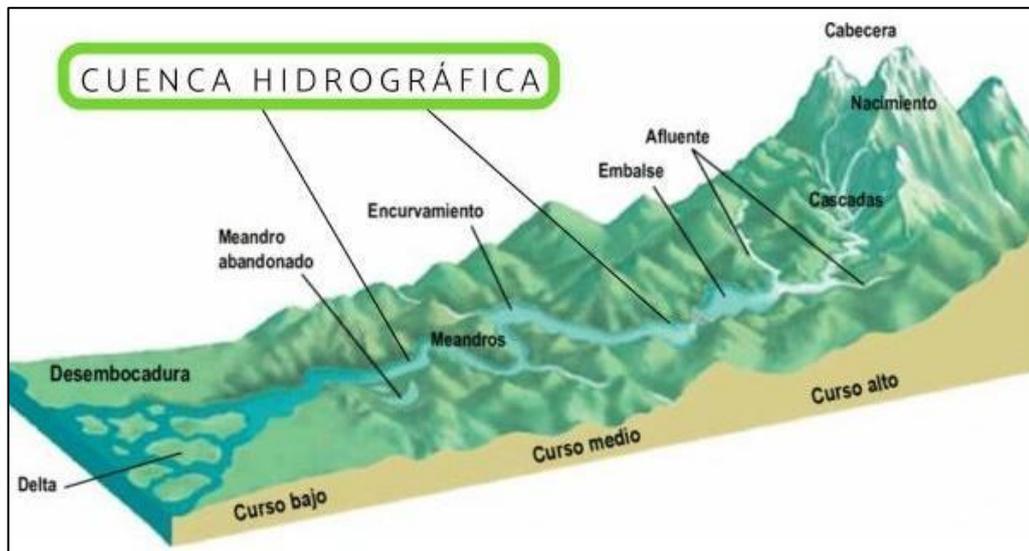


Ilustración 1-7: Estructura de una cuenca hidrográfica

Fuente: (Saavedra, 2015).

1.2.8.2 Clasificación de las cuencas hidrográficas

Las cuencas hidrográficas se pueden clasificar utilizando cualquier característica medible en el área, como tamaño, forma, ubicación, explotación de aguas subterráneas y uso de la tierra. Sin embargo, la clasificación principal de las cuencas hidrográficas se analiza ampliamente en función del tamaño y el uso de la tierra. Las cuencas hidrográficas de acuerdo con (Singh, 1994, p. 401) por su tamaño se clasifican en diferentes que son:

Tabla 1-6: Cuencas hidrográficas por su tamaño

Clasificación	Tamaño (ha)
Cuenca	50 000 – 200 000
Subcuenca	10 000 – 50 000
Milicuenca	1 000 – 10 000
Microcuenca	100 – 1 000
Minicuenca	10 – 100

Fuente: (Singh, 1994, p. 401)

1.2.8.3 Cuencas hidrográficas del Ecuador

En el Ecuador gran parte de los recursos hídricos proceden de aguas superficiales y existe una disponibilidad hídrica bastante alta, tanto que el volumen de agua per cápita supera a la media mundial 12 veces. El territorio ecuatoriano está dividido en 31 sistemas hidrográficos en los que existe un total de 79 cuencas hidrográficas de las cuales 72 pertenecen a la vertiente del Pacífico y 7 a la vertiente del Amazonas, además están definidas 137 subcuencas y alrededor de 890 microcuencas (SENAGUA y UICN, 2009, p. 4).

1.2.8.4 Microcuenca del río Cebadas

Dentro del Parque Nacional Sangay en la cordillera Oriental se originan la mayoría de los ríos tributarios de la subcuenca del río Chambo, y en su zona sur oriental se encuentra la microcuenca del río Cebadas que está formada por los ríos: Ozogoche, Atillo, Yasipán y Tingo, ocupa territorio en un rango de altura entre los 2840 y los 4640 m.s.n.m. por lo que se enmarca en las formaciones ecológicas. La microcuenca del río Cebadas es una de las cuencas hidrográficas más importantes del cantón Guamote y está caracterizada por la presencia de rocas fuertemente meteorizadas y fracturadas, pendientes escarpadas, altas precipitaciones y suelos con alta retención de agua (Zarate, 2008, p. 10).

1.3 Bases conceptuales

1.3.1 Suelo

(Yáñez et al., 2011, p. 125) menciona que suelo es una capa de materiales orgánicos e inorgánicos de la superficie de la tierra que proporciona el medio para el crecimiento de las plantas y el desarrollo de la vida en todas sus formas.

1.3.2 Respiración edáfica

La liberación de dióxido de carbono (CO₂) de la superficie del suelo se conoce como respiración del suelo. Este CO₂ es el resultado de varias fuentes, incluida la descomposición microbiana aeróbica de la materia orgánica del suelo (MOS) para obtener energía para su crecimiento y funcionamiento (respiración microbiana), la respiración de las raíces y la fauna de las plantas y, finalmente, de la disolución de carbonatos en la solución del suelo. La respiración del suelo es una medida de la actividad biológica y la descomposición (McGowen et al., 2018, p. 2).

1.3.3 Microorganismos del suelo

Los microorganismos del suelo comprenden arqueas, bacterias, hongos y protozoos que son los responsables de la mayoría de los procesos enzimáticos en el suelo, almacenan energía y nutrientes en su biomasa. La diversidad de microorganismos del suelo es enorme y la mayoría de las especies aún se desconocen (Raich y Schlesinger, 2015, p. 3).

1.3.4 Actividad microbiana

Según (Ayala, 2016, p. 4) el término actividad microbiana se refiere a la actividad que desarrollan los microorganismos que forman parte del suelo que llevan a cabo la descomposición de la materia orgánica y produce dióxido de carbono (CO₂).

1.3.5 Carbono orgánico del suelo

El carbono orgánico del suelo (COS) se refiere al carbono orgánico e inorgánico sólido que se encuentra almacenado en el suelo. El COS está presente en la materia orgánica, como en los desechos de plantas y animales, microbios y sus subproductos. Este elemento es la clave principal que determina la calidad del suelo, la fertilidad, la rentabilidad agrícola y la fijación del dióxido de carbono atmosférico (CO₂), además juega un papel importante con respecto a muchos procesos químicos y físicos en los ambientes del suelo (Schoonover y Crim, 2015, p. 25).

1.3.6 Bosque de Ribera

Un bosque de galería es un tramo de bosque a lo largo de las orillas de un río o humedales que fluyen en un campo abierto como desiertos, praderas o sabanas. Un campo abierto puede ser un área sin árboles o una región escasamente poblada de árboles. Un bosque de galería también se conoce como bosque ribereño, bosque periférico o bosque ribereño (Pérez, 2019, p. 2-3).

1.3.7 QBR (Calidad del Bosque de Ribera)

Es un índice que indica la medida de las diferencias que existen entre el estado natural de las riberas y su estado potencial, así el índice más alto denota la falta de alteración en las riberas debido a la intervención antrópica (Segura et al., 2023, p. 3).

1.3.8 Páramo alto Andino

Es un ecosistema que incluye todas las montañas superiores a los 2000 m.s.n.m. a lo largo de la cadena andina central de Colombia, Ecuador y el extremo norte de Perú. En Ecuador, el promedio de las montañas volcánicas es continuamente más alto que en Colombia, y ha evolucionado como un hotspot de biodiversidad y un alto endemismo. Además, proporciona muchos servicios ecosistémicos para las poblaciones humanas, esencialmente suministro de agua y almacenamiento de carbono (Gil, Morales y Jácome, 2020, p. 768).

1.3.9 Cuenca hidrográfica

De acuerdo con (IMTA, 2019, p. 1) una cuenca hidrográfica es el área de tierra desde la cual toda la escorrentía superficial fluye a través de una secuencia de arroyos, ríos y, posiblemente, lagos hacia el mar en la desembocadura, estuario o delta de un solo río. La cuenca hidrográfica debe considerarse como un todo a los efectos de la gestión de los recursos se componen de subcuencas, que son cuencas donde un curso de agua desemboca en un punto determinado de una cuenca más grande, como un lago o una confluencia de ríos.

1.3.10 Cambio climático

El cambio climático es el fenómeno global de transformación climática que se caracteriza por los cambios en el clima habitual del planeta (en cuanto a temperatura, precipitación y viento) que son provocados especialmente por las actividades humanas. Como resultado del desequilibrio del clima de la Tierra, la sostenibilidad de los ecosistemas del planeta está amenazada, así como el futuro de la humanidad y la estabilidad de la economía global (Brown et al., 2021, p. 1).

1.3.11 Efecto invernadero

El efecto invernadero es el calentamiento natural de la tierra que los resultados cuando los gases en la atmósfera atrapan el calor del sol que de otra manera escaparía hacia el espacio (Cassia et al., 2018, p. 2).

1.3.12 Calentamiento global

Según (McKay et al., 2022, p. 4) el calentamiento global se refiere al aumento de las temperaturas globales debido principalmente a las crecientes concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Lugar de estudio

2.1.1 Ubicación

La parroquia de Cebadas se encuentra en un sitio privilegiado en las estribaciones de la cordillera Oriental de los Andes ecuatorianos. Además, se ve influenciada por las corrientes húmedas de la Amazonía y cuenta con extensas áreas del ecosistema de páramo, que cubren el 72,9% de su superficie total, lo cual convierte a Cebadas en una reserva hídrica de gran valor para los diferentes cultivos del área (GAD Parroquial Cebadas, 2020, p. 192).

Tabla 2-1: Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo

ZONA	PARCELA	COORDENADAS	
		LATITUD	LONGITUD
OZOGOCHÉ	M1	2° 15' 24.76" S	78° 35' 01.53" O
	M3	2° 13' 25.73" S	78° 36' 54.37" O
	M4	2° 11' 45.00" S	78° 37' 4.21" O
ATILLO	M5	2° 11' 30.40" S	78° 32' 20.21" O
	M6	2° 10' 42.03" S	78° 32' 57.62" O
	M7	2° 9' 14.93" S	78° 34' 34.32" O
CEBADAS	M15	2° 3' 27.24" S	78° 37' 2.33" O
	M16	1° 59' 25.35" S	78° 37' 45.72" O
	M17	1° 54' 17.55" S	78° 38' 41.80" O

Realizado por: (Velastegui S., 2023).

La microcuenca del río Cebadas está localizada en la región sur de la subcuenca del río Chambo que se encuentra en los cantones Guamote y Alausí de la Provincia de Chimborazo. Tiene su origen en las lagunas de Atillo extendiéndose a lo largo de 56 km, cuenta con afluentes como los ríos Atillo y Ozogoché que se unen en el sector Azománá (junto a la vía a Macas) para formar el río Cebadas. Esta área de la unidad hidrográfica forma parte de la cuenca alta del río Pastaza y abarca una superficie de aproximadamente 73350 ha, de las cuales el 2% les corresponde a bosques de ribera (GAD Chimborazo, 2013, p. 27).

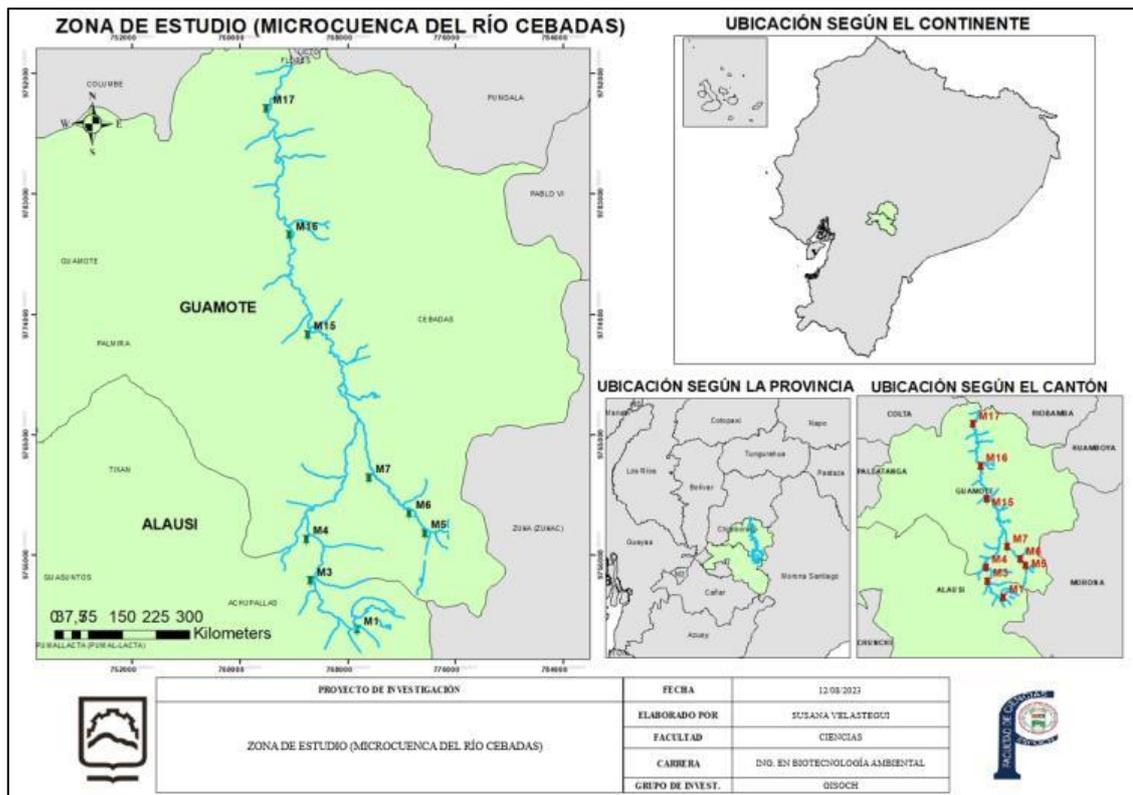


Ilustración 2-1: Ubicación de los puntos de muestreo

Realizado por: (Velastegui S., 2023).

Cebadas tiene una topografía irregular por la influencia de las cordilleras Central y Occidental de los Andes. La mayoría de los territorios de la parroquia presentan pendientes pronunciadas, algunas de las cuales superan los 50 grados de inclinación y ciertas comunidades tienen pendientes superiores a los 15 grados. Lo cual, junto con la acción fluvial, son la principal causa del origen de los valles peri glaciares y de la erosión del suelo. El material parental de origen volcánico es el principal componente del suelo de la parroquia, seguido de material metamórfico y sedimentario formados en la era Terciaria, dentro de los períodos Jurásico y Cretácico (GAD Parroquial Cebadas, 2020, p. 167).

2.1.2 Zonas latitudinales

De acuerdo con el GAD Cebadas (2020, p. 166) la parroquia se divide en tres zonas latitudinales:

- **Zona Baja:** Está ubicada en las cuencas hidrográficas de los ríos Cebadas y Guamote entre los 2600 y los 2950 metros sobre el nivel del mar, su topografía varía de plana a ondulada, generalmente con pendientes de 5 a 15 grados y de hasta 30 grados en algunos lugares (GAD Parroquial Cebadas, 2020, p. 166).

- **Zona Media:** Está ubicada en los flancos y estribaciones de la cadena montañosa de los Andes centrales entre los 3000 y los 3200 metros sobre el nivel del mar. Presenta bajas precipitaciones pluviales anuales, sus suelos se caracterizan por tener pendientes que van desde los 15 hasta los 60 grados, lo que, junto con el mal manejo de los suelos y el agua, ha provocado la erosión (GAD Parroquial Cebadas, 2020, p. 166).
- **Zona Alta:** Está ubicada en las cimas de las montañas entre los 3250 y los 4640 metros sobre el nivel del mar. Presenta altas precipitaciones pluviales anuales, sus suelos tienen pendientes que van desde los 15 hasta los 30 grados de inclinación, y en sectores completamente escarpados las pendientes superan los 60 grados. Esta zona tiene suelos negros con gran contenido de materia orgánica, de textura franca y buena retención de humedad (GAD Parroquial Cebadas, 2020, p. 166).

2.1.3 Condiciones climáticas

En la microcuenca del río Cebadas es evidente una gran cantidad de cambios en el clima que perturban la cantidad de lluvias, disminuyen la humedad y aumentan las noches frías, con temperaturas que pueden llegar hasta los 4°C (GAD Chimborazo, 2013, p. 44).

- **Temperatura:** La temperatura de la microcuenca del río Cebadas registra una variación que va desde los 4°C hasta los 20°C, con una media anual de 12°C. Es común que se presenten heladas durante el mes de diciembre, mientras que los vientos fuertes son más frecuentes en julio, agosto y septiembre (GAD Chimborazo, 2013, p. 44).
- **Precipitación:** Se estima que la precipitación media anual en esta área es de aproximadamente 681,3 mm. Sin embargo, se observa una variación estacional en el clima, con episodios de intensidad que pueden causar deslizamientos de tierra, pérdida de cultivos y períodos prolongados de sequía a lo largo del año (GAD Chimborazo, 2013, p. 44).
- **Humedad:** Se registra un rango de humedad que oscila entre el 70% y el 85%, la cual se debe en gran medida a la presencia de extensas áreas de páramos que cuentan con su vegetación nativa característica (GAD Chimborazo, 2013, p. 44).

2.2 Tipo de Investigación

Esta investigación por el método es de tipo cuantitativo debido a que la obtención de datos de análisis de respiración edáfica y el Índice de Calidad de Bosque de Ribera (QBR) se basa en principios cuantificables. Según el objetivo esta investigación es de tipo aplicada ya que se pondrán en práctica los conocimientos del investigador con un fin aplicativo. Según el nivel de

profundización en el objeto de estudio, esta investigación es de tipo exploratorio debido a que no hay un estudio científico de la respiración edáfica del suelo del bosque de ribera de la microcuenca del río Cebadas. Por el tipo de inferencia, este estudio es de tipo deductivo ya que busca comprobar si existe una variación en el Índice de Bosque de Ribera por la influencia de la respiración edáfica del suelo del bosque de ribera de la microcuenca del río Cebadas y según el periodo temporal, es de tipo transversal ya que el tiempo de estudio es determinado por el investigador.

2.3 Diseño de la investigación

El diseño experimental utilizado en la investigación es de tipo cuasiexperimental porque se va a experimentar en la variable dependiente (respiración edáfica) para observar su efecto sobre la variable independiente (bosque de ribera QBR), tomando en cuenta el principio de aleatoriedad de la muestra, pero sin considerar las circunstancias de control.

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis nula:

No existen diferencias significativas en el flujo de CO₂ entre las zonas de Ozogoche, Atillo y Cebadas.

2.4.2 Hipótesis alterna:

Existen diferencias significativas en el flujo de CO₂ entre las zonas de Ozogoche, Atillo y Cebadas.

2.5 Variables

2.5.1 Variable dependiente

Bosque de ribera (QBR)

2.5.2 Variable independiente

Respiración edáfica

2.6 Selección de los puntos de monitoreo

Para el muestreo se consideró el área correspondiente al Bosque de Ribera (BQR) por lo que se seleccionó el 2% del área total de la microcuenca del río Cebadas, la cual incluye tres afluentes principales: el río Atillo, el río Ozogoche y el río Yasépan, además del propio río Cebadas. La población de estudio consistió en 1467 hectáreas de parcelas de bosque de ribera, con dimensiones de 50 metros por 100 metros en cada orilla, dentro de la microcuenca.

2.6.1 Selección de la muestra

La selección de la muestra se llevó a cabo utilizando un proceso probabilístico, específicamente mediante la selección sistemática de parcelas de estudio. La población de estudio se dividió en estratos y se seleccionó una muestra de cada tipo, utilizando un método de muestreo aleatorio simple. Los cálculos para determinar el tamaño de la muestra se basaron en una fórmula propuesta por Walpole et al. (2012, p. 274):

$$n = \frac{Z^2 \times \sigma^2}{E^2 \times (1 + CV^2)} \quad \text{Ecuación 2-1}$$

Donde:

n = tamaño de muestra necesario.

Z = nivel de confianza deseado (1.96 correspondiente al 95% de confianza)

σ = desviación estándar de la población.

E = margen de error

CV = coeficiente de varianza (expresado con un decimal).

Para el cálculo del tamaño de muestra se tomaron en cuenta un nivel de confianza del 95%, margen de error del 5% y un coeficiente de varianza del 11.5%.

2.6.2 Criterios de selección

Duchicela y Rivera (2022, p. 52) en su investigación mencionan los siguientes criterios aplicados para seleccionar los puntos de muestreo a lo largo del bosque de ribera de la microcuenca del río Cebadas:

- Se excluyeron zonas con pendientes superiores a 35° debido a la dificultad de acceso para el monitoreo.
- Se seleccionaron áreas con cambio y sin cambio de uso de suelo, basándose en un análisis multitemporal previo.

- Se complementó la selección de puntos con reconocimientos in situ en los afluentes mencionados del río Cebadas, ya que los datos de uso de suelo comparados eran de años anteriores y podrían haber ocurrido cambios significativos.
- Se consideraron tanto áreas con asentamientos humanos como áreas sin asentamientos.
- Se tuvieron en cuenta las actividades agrícolas y ganaderas en la zona de estudio.

Cada punto de monitoreo se georreferenció utilizando GPS y posteriormente se analizaron estos datos utilizando un software de Sistema de Información Geográfica (SIG).

2.6.3 *Diseño de muestreo*

La etapa de muestreo es crucial en el análisis de suelos, ya que su objetivo es obtener una muestra representativa. Existen diferentes métodos de muestreo y dado que el suelo de este estudio presenta variaciones, es decir, no es homogéneo el método ideal para muestrear consistió en tomar 5 submuestras de manera sistemática en forma de X con equidistancias de 10 m. Para llegar a los 9 puntos de muestreo se utilizó un GPS y con la ayuda de una pala se recolectaron las submuestras a una profundidad de 0 – 30 cm de cada parcela de 10m x 10m. Posteriormente, estas submuestras se mezclaron para obtener una muestra compuesta, se recolectó una muestra por cada parcela para analizar pH, conductividad eléctrica y materia orgánica.

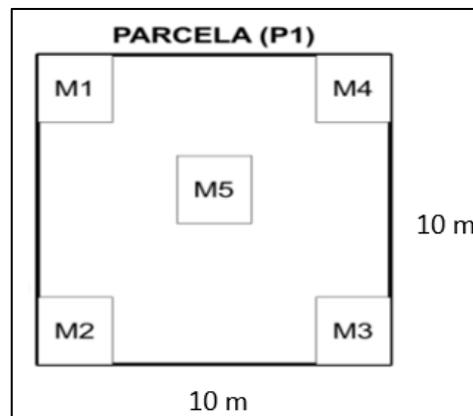


Ilustración 2-2: Diseño muestral en X

Fuente: (Morales, 2020).

2.6.4 *Método para pH, conductividad eléctrica y materia orgánica*

Con la ayuda de una pala a una profundidad de 0 – 30 cm, se recolectaron submuestras de cada uno de los puntos (5) de las parcelas (9), se recogieron las submuestras en una funda ziploc (26.8 cm x 24.1 cm x 6.6 cm) y posterior a su homogenización se creó una muestra compuesta por cada parcela. Antes de proceder al sellado de las fundas ziploc, se presionó para eliminar el aire

acumulado dentro de esta, finalmente cada funda ziploc fue etiquetada respectivamente tomando en cuenta la zona de ubicación y el número de parcela.

2.7 Etapas de investigación

2.7.1 Determinación de Temperatura (°C)

Esta propiedad se determinó *in situ* en cada punto de muestreo utilizando un termohigrómetro con registrador de datos (Data Logger Elitech Rc-4hc), que fue colocado en un sitio estratégico de cada parcela y registró la temperatura ambiental en grados celsius (°C) durante 24 horas en intervalos de 30 minutos.

Para la determinación de la temperatura del suelo se utilizó un termohigrómetro de suelo (precisión $\pm 1^\circ\text{C}$) a 10 cm de profundidad, 2 veces en un lapso de 24 horas, para la estabilización se esperó en cada punto de 2 a 3 minutos para proceder a realizar la lectura correspondiente en grados Celsius (°C).

2.7.2 Determinación de Humedad (%H)

Esta propiedad se determinó *in situ* en cada punto de muestreo utilizando un termohigrómetro con registrador de datos (Data Logger Elitech Rc-4hc), que fue colocado en un sitio estratégico de cada parcela y registró la humedad (%H) durante 24 horas en intervalos de 30 minutos.

Para medir la humedad del suelo, se empleó un termohigrómetro de suelo con una precisión de $\pm 5\%$. El dispositivo se ubicó a una profundidad de 10 cm y se realizaron dos mediciones en un lapso de 24 horas. Para asegurar la estabilización, se esperó de 2 a 3 minutos en cada punto antes de realizar la lectura.

2.8 Determinación de la respiración edáfica

❖ Reactivos

Para la preparación de reactivos se utilizó agua destilada previamente desionizada durante 30 minutos y enfriada por 15 minutos, además se realizaron cálculos estequiométricos (Anexo A) de donde se obtuvieron los datos de masa y volumen utilizados.

❖ **Materiales y equipos**

Tabla 2-2: Materiales y equipos

PARA CAMPO	PARA LABORATORIO
Tubos PVC (h= 15 cm; D= 10.16 cm)	Vidrio reloj
Tapas hembra para tubo PVC (D= 10.16 cm)	Balanza analítica
Frascos de vidrio con tapa (50 mL)	Vasos de precipitación de 250 mL
Trípodes	Varillas de agitación
Papel film	Balones de aforo (500 mL y 1 000 mL)
Rotulador	Piseta
Termohigrómetro	Botellas de polietileno
Termohigrómetro con registrador de datos	Buretas
Pala	Soporte universal
Botas de caucho	Agua destilada

Realizado por: (Velastegui S, 2023).

• **Solución 1 normal (N) de Hidróxido de Sodio (NaOH)**

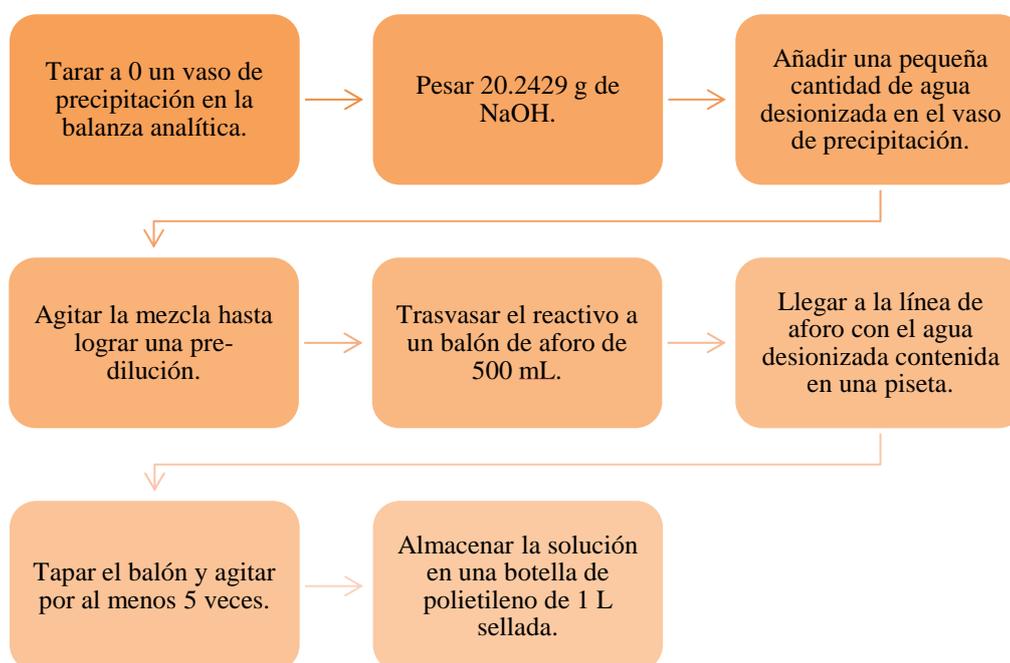


Ilustración 2-3: Procedimiento de preparación de NaOH

Fuente: (GISOCH, 2022).

Realizado por: (Velastegui S, 2023).

- **Solución 1 normal (N) de Cloruro de Bario dihidratado ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)**

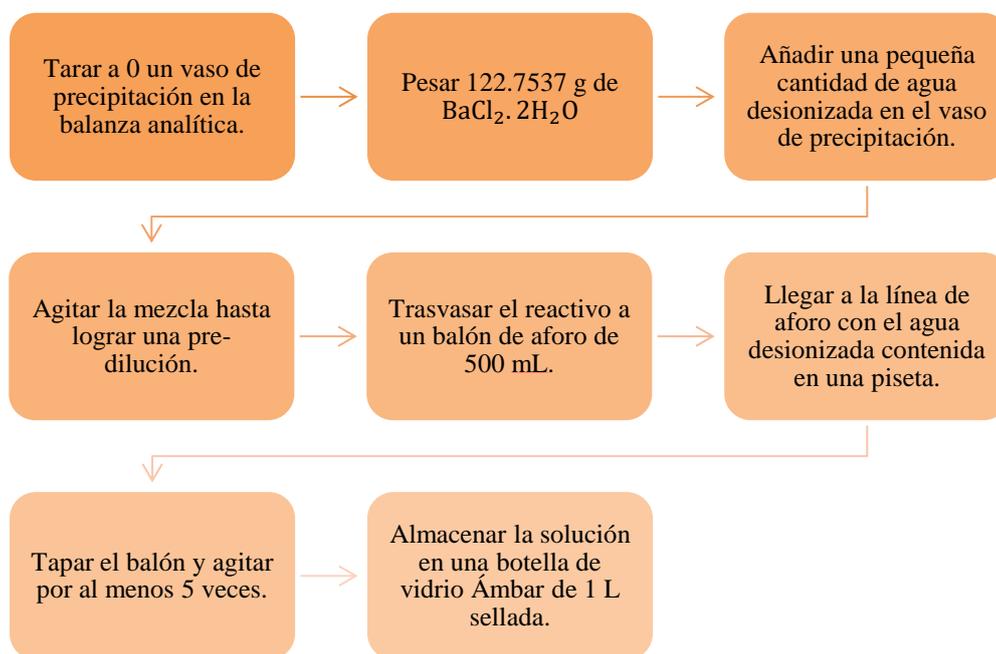


Ilustración 2-4: Procedimiento de preparación del $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Fuente: (GISOCH, 2022).

Realizado por: (Velastegui S, 2023).

- **Solución 1 normal (N) de Ácido Clorhídrico (HCl)**

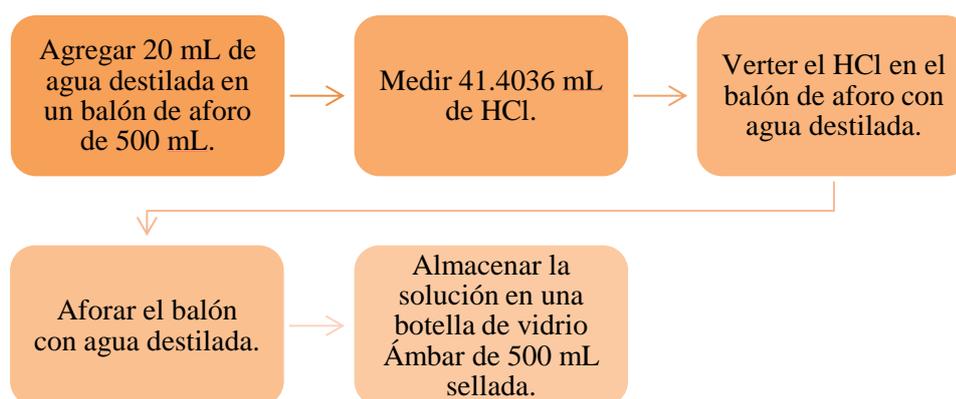


Ilustración 2-5: Procedimiento de preparación del HCl

Fuente: (GISOCH, 2022).

Realizado por: (Velastegui S, 2023).

- **Solución 0.1% (p/v) de fenolftaleína en etanol (v/v)**

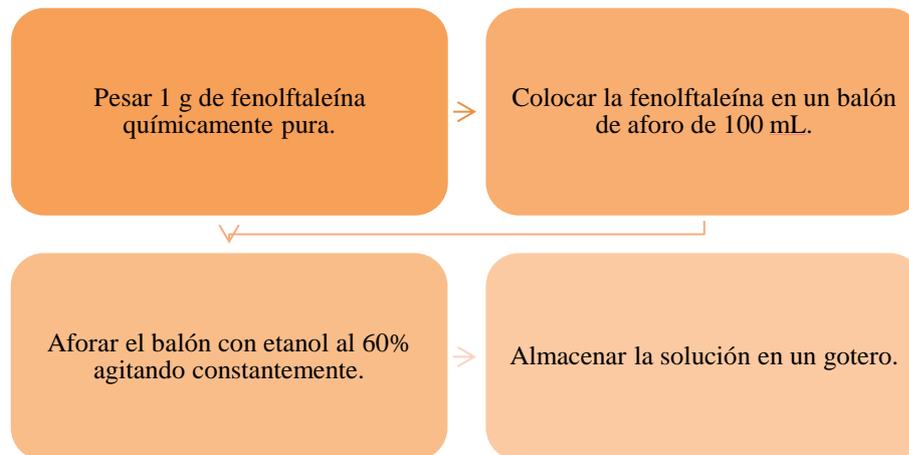


Ilustración 2-6: Procedimiento de preparación de fenolftaleína en etanol

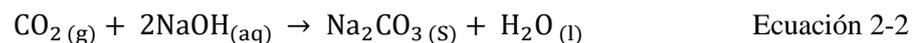
Fuente: (GISOCH, 2022).

Realizado por: (Velastegui S, 2023).

2.8.1 *Cuantificación de la respiración edáfica*

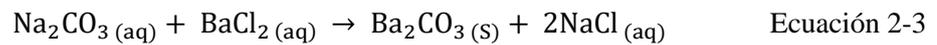
El método por titulación modificado fue el empleado para cuantificar la respiración edáfica debido a que es directo, tiene una baja complejidad y el material requerido es de fácil acceso.

El principio del método descrito por Alef y Nannipieri (1995) consiste en utilizar una trampa álcali (NaOH) que captura de manera eficiente el dióxido de carbono (CO₂) producido por los microorganismos edáficos, este proceso es definido por la ecuación estequiométrica:



El método de titulación fue modificado para cumplir con los fines de esta investigación, la cual se realizó *in situ* y empleó cámaras cerradas herméticamente para evitar que el dióxido de carbono (CO₂) liberado por la actividad microbiana del suelo se escape hacia la atmósfera, dentro de estas cámaras fue colocado un vial con NaOH el cual reacciona con el CO₂ formando Carbonato de sodio (Na₂CO₃) y agua (H₂O), estequiométricamente por 1 mol de CO₂ exhalado reaccionan 2 moles de NaOH, por lo tanto es factible determinar la concentración de CO₂ edáfico relacionándola con las moles de NaOH del vial que tuvieron reacción, las mismas que se obtienen al realizar una diferencia entre la concentración del NaOH contenido en el vial después de captar el CO₂ (concentración final) y la concentración del NaOH anterior de la captura del CO₂ (concentración inicial).

Para la titulación existe una interferencia que es el Na_2CO_3 formado de acuerdo con la Ecuación 2-2, ya que debido a su solubilidad de 30.7 g / 100 g H_2O se encuentra como parte de la disolución, para resolver esta interferencia se agregó cloruro de bario (BaCl_2) el cual después de reaccionar con el Na_2CO_3 debido al desplazamiento del Sodio forma Carbonato de Bario (Ba_2CO_3), el que por su solubilidad 0.0024 g / 100 g H_2O precipita y deja de interferir en la titulación de acuerdo con la siguiente ecuación estequiométrica:



La alta concentración de iones $(\text{OH})^-$ de NaOH es necesaria para promover el equilibrio hacia la derecha de la ecuación Ecuación 2-2, así al finalizar la incubación el NaOH restante (que no reaccionó) se determina mediante una titulación de neutralización utilizando un estándar secundario de ácido clorhídrico (HCl) como titulante.

El protocolo de análisis descrito por Alef y Nannipieri (1995); y modificado por Lessard, Gingnac y Rochette (2013, p. 69) para ser aplicado *in situ*, se detalla a continuación:

❖ En Campo

1. Incubación

Se trata de colocar un vial con NaOH (1N) dentro de una cámara cerrada herméticamente durante 24 horas, tanto las muestras como los blancos (sin sustrato), con el fin de que la solución alcali reaccione con el CO_2 producido por los microorganismos edáficos, para realizar la titulación.

Procedimiento:

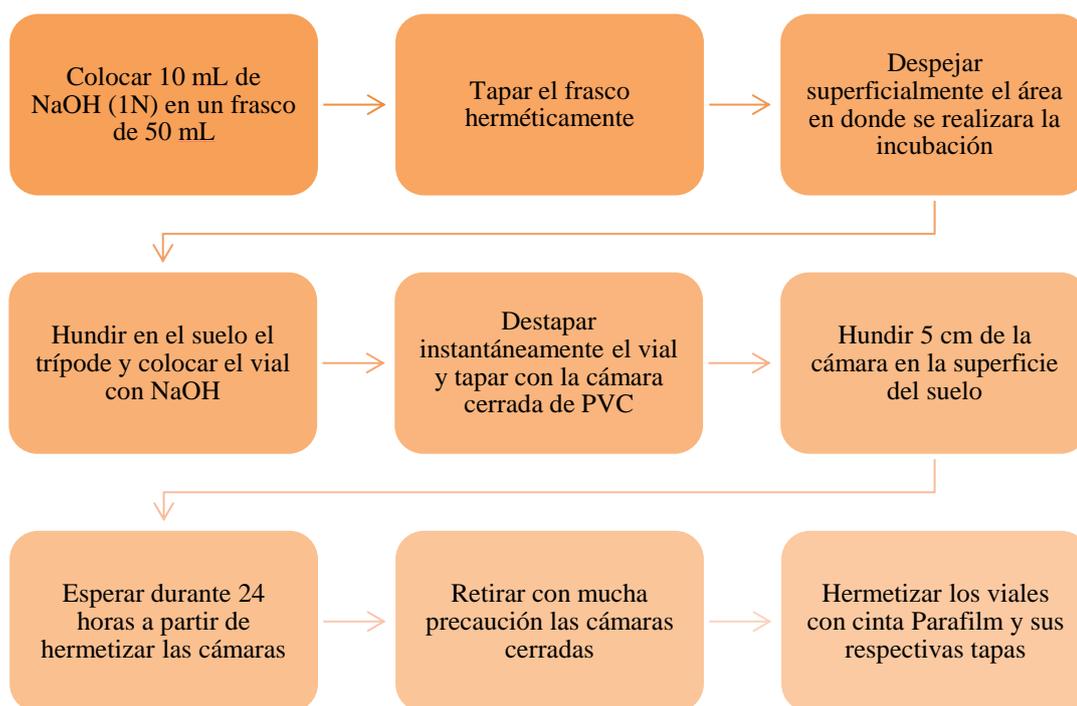


Ilustración 2-7: Procedimiento de incubación en Campo

Fuente: (Lessard, Gingnac y Rochette, 2013).

Realizado por: (Velastegui S, 2023).

❖ En Laboratorio

2. Medición

Es la parte del proceso dedicada a la titulación (análisis volumétrico) para determinar la concentración de NaOH que no reacciona después de la incubación, mediante la neutralización del blanco y de las muestras.

Procedimiento:

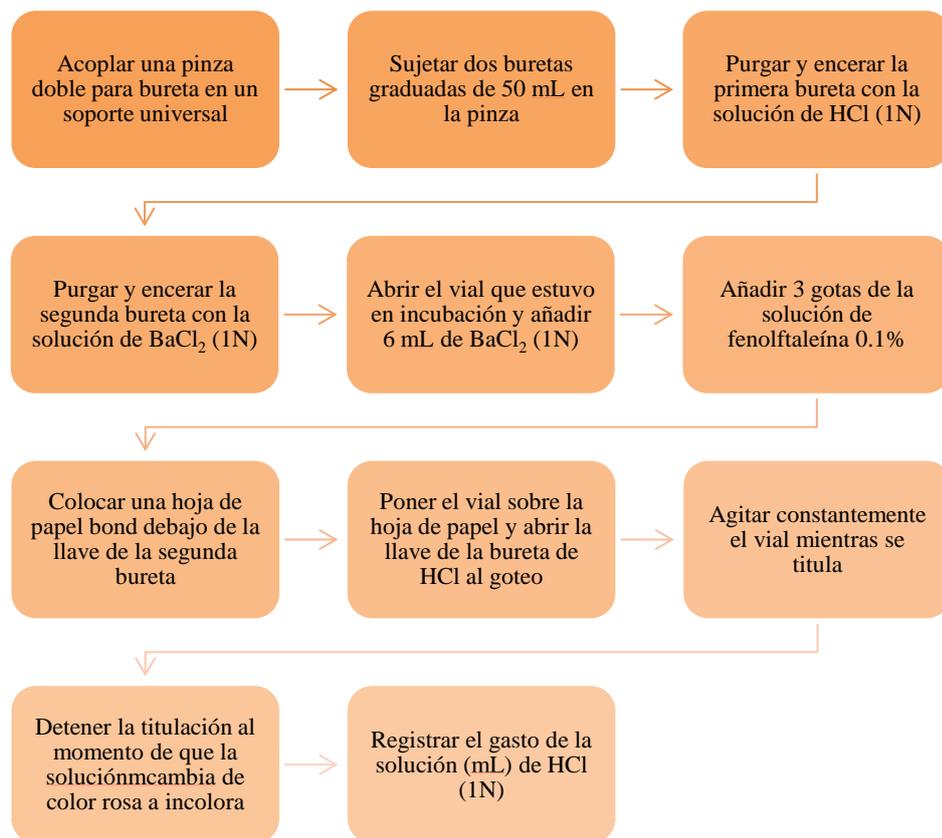


Ilustración 2-8: Procedimiento de medición en Laboratorio

Fuente: (Lessard, Gingnac y Rochette, 2013).

Realizado por: (Velastegui S, 2023).

3. Cálculo

Durante la titulación se gasta un volumen del patrón secundario HCl, a partir del cual se realiza el cálculo mediante la fórmula modificada por Lessard, Gingnac y Rochette (2013, p. 69), en la que se emplea un factor de conversión de 22 para obtener los miligramos de dióxido de carbono (mg CO₂) absorbidos en la trampa álcali de hidróxido de sodio (NaOH), para calcular las concentraciones de CO₂ en las muestras se emplea la siguiente ecuación:

$$Q_{CO_2} = (T - C) \times (N) \times (E) \times (V_{tr}) \quad \text{Ecuación 2-4}$$

- **T** = Volumen de HCl gastado en el blanco.
- **C** = Volumen de HCl gastado en cada muestra.
- **N** = Normalidad del HCl.
- **E** = Factor de conversión.
- **V_{tr}** = Volumen del NaOH en el vial.

Flujo de CO₂

Una vez conocida la concentración de CO₂ (QCO₂) en cada muestra, debe ser dividida para el producto del diámetro de la cámara de PVC en metros cuadrados (m²) por el tiempo de incubación en horas (h) para obtener la cantidad de flujo de CO₂.

$$FCO_2 = \frac{QCO_2}{(A) \times (t)} \quad \text{Ecuación 2-5}$$

- A = Área (0.1287 m²).
- t = Tiempo (24 horas).

2.9 Determinación del índice QBR-And (Calidad del Bosque de Ribera)

En el estudio, se revisó la evaluación de la vegetación ribereña realizada por (Duchicela y Rivera, 2022, p. 86) en las diferentes zonas de muestreo utilizando observaciones en campo. En dicha investigación se establecieron tres transectos perpendiculares a la orilla, cada uno de 100 metros de longitud, los cuales se evaluaron utilizando fichas de observación (ANEXO C) para registrar variables cualitativas, siguiendo el método de Acosta et al. (2009, p. 39). Se asignaron cuatro categorías para determinar la calidad de la vegetación ribereña: el grado, estructura y calidad de cobertura vegetal y el grado de naturalidad del canal fluvial; para determinar la calidad de la vegetación ribereña, se asignan valores a cada categoría. Una calidad pésima y una degradación extrema tiene un valor menor a 25, una mala calidad y con fuerte perturbación tiene un valor de 26 – 50; una calidad aceptable, pero con indicios de alteraciones tiene un valor de 51 – 75, una buena calidad con ligeras perturbaciones tiene un valor de 76 – 95; y una buena calidad y en estado natural tiene un valor mayor a 96 (Trama et al., 2020, p. 152).

El índice QBR-And es utilizado para evaluar el ecosistema ribereño en su totalidad (100) pudiendo puntuar con máximo 25 cada una de las cuatro categorías, el máximo índice QBR-And (100) podría ser definido perfectamente para una ribera tipo 3 muy bien conservada. Sin embargo, en el caso de las riberas tipo 1 y 2, no se obtiene directamente la puntuación máxima debido a la falta de evaluación de tres y uno de sus apartados, respectivamente. Por lo tanto, los valores de cada apartado deben ser ponderados de manera que indirectamente alcancen el valor máximo, obteniendo así su comparación con las riberas de tipo 3 (Acosta et al., 2009, p. 39).

Tabla 2-3: Niveles de calidad del índice QBR-And

Valor QBR	Nivel de calidad	Color
≥ 96	Sin alteraciones, estado natural. Calidad muy buena.	Azul
76 – 95	Bosque ligeramente perturbado. Calidad buena.	Verde
51 – 75	Inicio de alteración importante. Calidad moderada.	Amarillo
26 - 50	Alteración fuerte. Calidad deficiente.	Naranja
≤ 25	Degradación extrema. Calidad mala.	Rojo

Fuente: (Acosta et al., 2009).

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1 Puntos de muestreo

Los puntos de muestreo en la zona de estudio fueron establecidos de acuerdo con la ecuación propuesta por Walpole et al. (2012, p. 274), considerando un coeficiente de varianza, un nivel de confianza y un margen de error distribuidos aleatoriamente, obteniendo como resultado la identificación de un total de 9 puntos a lo largo de la microcuenca del río Cebadas conocidos en este estudio como parcelas, los cuales se clasificaron en base a la zona a la que pertenecen. De esta manera, se obtuvo la siguiente subdivisión.

Tabla 3-1: División por zonas de los puntos de monitoreo

ZONA	PARCELA
OZOGOCHÉ	M1
	M3
	M4
ATILLO	M5
	M6
	M7
CEBADAS	M15
	M16
	M17

Realizado por: (Velastegui S, 2023).

3.2 Respiración edáfica de las zonas Ozogoché, Atillo y Cebadas.

Los resultados obtenidos evidencian que la respiración edáfica varía de acuerdo con la zona del bosque de ribera de la microcuenca del río Cebadas en la que ha sido realizado el estudio, es decir, se observan mayores y menores cantidades de flujo de CO₂ (mg m⁻² h⁻¹) en cada uno de los puntos de muestreo de Ozogoché, Atillo o Cebadas (Gráfico 3-1).

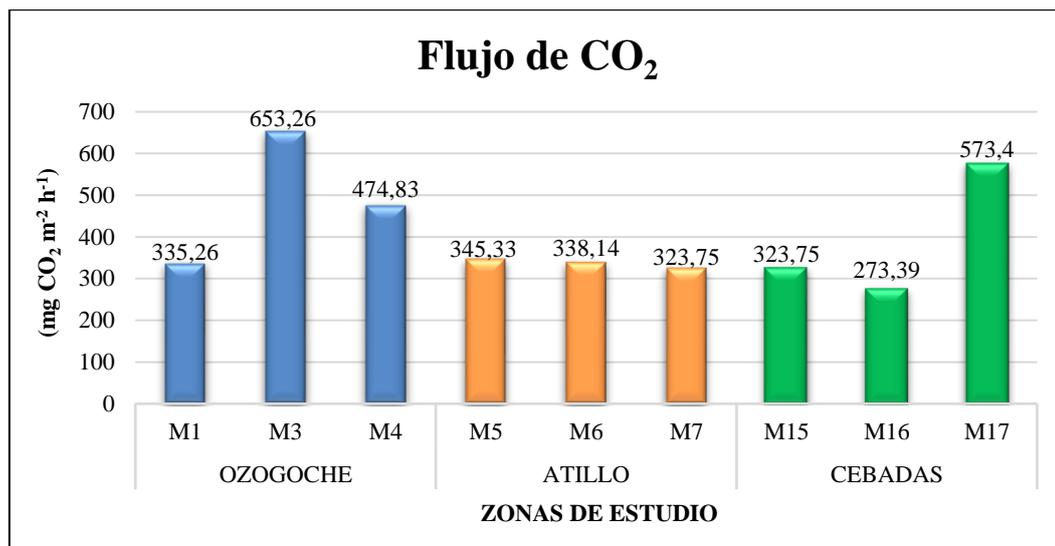


Ilustración 3-1: Comportamiento del CO₂ en cada punto de muestreo por zonas

Realizado por: (Velastegui S, 2023).

En la zona de Ozogoché se registraron los mayores flujos de CO₂ del suelo, obteniendo una cantidad de 335,26 mg de CO₂ m⁻² h⁻¹ como el valor más bajo y 653,26 mg de CO₂ m⁻² h⁻¹ como el más alto. Al ser el punto M1 el que presenta menor respiración edáfica en esta zona, se debe tener en cuenta que es una parcela que se encuentra en un territorio correspondiente al páramo dentro del parque Nacional Sangay, es decir, en esta zona tiene su origen un sistema hídrico como Mena-Vásconez, Hofstede y Suárez (2023, p. 23) lo menciona, por lo que los poros del suelo están casi al punto de su saturación razón por la que Barrales-Brito et al. (2014, p. 687) afirma que la respiración disminuye. El punto M3 por su parte es el que reporta el mayor flujo de CO₂, está ubicado en la cercanía de la zona de amortiguamiento del parque Nacional Sangay en donde se practica la ganadería intensiva que es la que provee al suelo de un importante suministro de materia orgánica, el mismo que favorece al crecimiento de la población de microorganismos que de acuerdo con Pardo-Plaza, Paolini y Cantero-Guevara (2019, p. 5) incrementa la respiración del suelo por la aceleración de los procesos de oxidación biológica realizados por las bacterias. El punto M4 está ubicado en la zona poblada de la comunidad Ozogoché Bajo, registra 474,83 mg de CO₂ m⁻² h⁻¹, valor que a pesar de ser una parcela muy influenciada por las actividades antropogénicas no es bajo, lo que se puede deber a que el terreno posee un forraje de pasturas firmes como Duchicela y Rivera (2022, p. 174) lo afirman, esto implica la presencia de una gran cantidad de raíces en el suelo que por sus procesos biológicos emiten CO₂, y estas emisiones según Ramírez y Moreno (2008, p. 1) representan al menos la mitad del valor total del flujo de CO₂ del suelo sometido al estudio.

En la zona de Atillo los valores reportados del flujo de CO₂ tienen bastante homogeneidad ya que los puntos M5, M6 y M7, emiten 345,33 mg de CO₂ m⁻² h⁻¹; 338,14 mg de CO₂ m⁻² h⁻¹ y 323,75 mg de CO₂ m⁻² h⁻¹, respectivamente. Los puntos M5 y M6 coinciden en tener la presencia

de páramo herbáceo y mixto, con una vegetación predominante de gramíneas como Duchicela y Rivera (2022, p. 176) lo mencionan, y tal como sucede en el último punto estudiado de la zona de Ozogoche, al contar con una gran cantidad de raíces el suelo emite un gran flujo de CO₂, además este flujo se ve influenciado de manera positiva por la presencia de gramíneas ya que de acuerdo con Cardillo et al. (2013, p. 2) la respiración edáfica se puede incrementar hasta en un 5% debido a la alta densidad de este tipo de plantas. Por otro lado, el punto M7 registra el menor flujo de CO₂ de esta zona, pero el valor no es muy alejado de los demás, lo cual se debe a que la vegetación de este también corresponde a la zona de páramo, pero se diferencia de los otros dos puntos porque existe una alteración causada por actividades turísticas y la presencia de poblados rurales, los que provocarían la disminución de la respiración edáfica en esta parcela concordando así con la afirmación de Zhang y Yu (2020, p. 586) de que la perturbación de los suelos puede limitar la actividad de los microorganismos del suelo, afectando directamente a la emisión de CO₂.

En la zona de Cebadas se registran los valores de respiración edáfica más diversos de este estudio, esto podría deberse a la notable diferencia entre las vegetaciones de ribera de cada uno de los puntos. El flujo de CO₂ más alto reportado en esta zona le corresponde al punto M17 con 573,4 mg de CO₂ m⁻² h⁻¹ y el más bajo es atribuido al punto M16 con un valor de 273,39 mg de CO₂ m⁻² h⁻¹. Las bajas emisiones de CO₂ del punto M16 tienen su justificación en su cercanía a franjas de plantaciones forestales de pino, que según las afirmaciones de Cargua et al. (2014, p. 85) este tipo de plantación forestal demanda altas cantidades de agua provocando una retención mayor de la misma y pérdida de materia orgánica, por lo que empobrece el suelo de las zonas aledañas y de acuerdo con Vásquez, Macías y Menjivar (2013, p. 176) a menor cantidad de materia orgánica, menor emisión de CO₂. El punto M17 es el mayor emisor de CO₂, está ubicado junto a la Planta de Tratamiento de Aguas de la parroquia Cebadas, y de acuerdo con Duchicela y Rivera (2022, p. 187) su vegetación de ribera se caracteriza por la presencia de arbustos y de forrajes de pasturas firmes, los cuales se suelen diferenciar por su gran cantidad de raíces lo que corresponde a que la respiración edáfica tiene correlaciones positivas con la biomasa radicular como lo menciona Zhang et al. (2016, p. 171). Finalmente, el valor intermedio de respiración edáfica en esta zona es de 323,75 mg de CO₂ m⁻² h⁻¹ correspondiente al punto M15 que es un buen valor a pesar de que este punto tiene una fuerte alteración por la presencia de un monocultivo de fresas, la razón es que aunque el suelo haya sido intervenido en alto nivel la adición de materia orgánica para beneficio de la producción agrícola como afirma Kotroczó et al. (2023, p. 12) desempeña mejoras en la fertilidad y la calidad del suelo en todos sus niveles tanto biológico, físico como químico.

3.3 Comparación de los flujos de CO₂ (FCO₂) en las zonas de Ozogоче, Atillo y Cebadas

Tabla 3-2: Resumen estadístico para FCO₂

ZONA	RECUESTO	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
OZOGOCHЕ	15	487,783	474,83	19071,3	138,099	28,3115%
ATILLO	15	335,74	345,33	907,098	30,1181	8,97065%
CEBADAS	15	390,179	352,53	19731,6	140,469	36,0013%
<i>Total</i>	45	404,567	352,53	16681,3	129,156	31,9245%

Realizado por: (Velastegui S, 2023).

La Tabla 3-2 refleja que el coeficiente de variación de la zona de Cebadas es el más alto con el 36,00%, de manera decreciente está seguida por la zona de Ozogоче con un 28,31% y finalmente, la zona de Atillo con un 8,97%; lo que demuestra que en Cebadas se registran mayores picos en cuanto a el flujo de CO₂. Por tanto, se puede decir que los datos obtenidos son heterogéneos, lo que no sucede con Atillo y Ozogоче que presentan datos con una mayor homogeneidad. De acuerdo con el sesgo y la curtosis estandarizados los valores de flujo de CO₂ de las tres zonas se encuentran dentro de la normalidad.

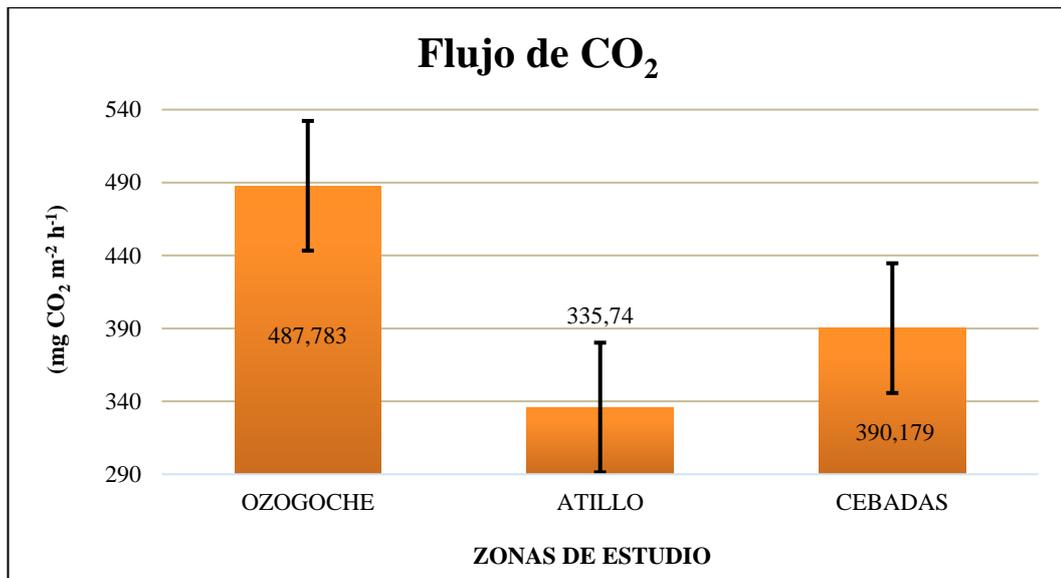


Ilustración 3-2: Comparación de los flujos de CO₂ (FCO₂) en las 3 zonas

Realizado por: (Velastegui S, 2023).

En el gráfico superior se representan los flujos de CO₂ de las zonas de Ozogоче, Atillo y Cebadas con valores de 487,7±35,66 mg de CO₂ m⁻² h⁻¹; 335,74±7,78 mg de CO₂ m⁻² h⁻¹ y 390,18±36,27 mg de CO₂ m⁻² h⁻¹, respectivamente. Lo que demuestra que en la zona de Ozogоче existe una mayor respiración edáfica que en las zonas de Atillo y Cebadas, resultados que concuerdan con las afirmaciones de Gaspar et al. (2019, p. 303) que menciona en general que los suelos sin

intervención tienen tendencia hacia una mayor capacidad para respirar debido a que conservan su estructura natural y su porosidad, permitiendo el intercambio de aire y una circulación muy eficiente de agua y nutrientes. Los valores obtenidos en la presente investigación se considerados altos, ya que en comparación con las medias registradas por Murcia-Rodríguez, y Ochoa-Reyes (2012, p. 341) de 258 y 212 mg CO₂ m⁻² h⁻¹ existe un notable incremento.

3.3.1 ANOVA para FCO₂ por zonas

Tabla 3-3: ANOVA para FCO₂ por zonas

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	178037,	2	89018,5	6,73	0,0029
Intra grupos	555940,	42	13236,7		
Total (Corr.)	733978,	44			

Realizado por: (Velasguy S, 2023).

En la Tabla 3-3 se observa que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, razón por la que se concluye el rechazo a la hipótesis nula y se evidencia que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de FCO₂ entre una zona y otra, con un nivel del 95% de confianza.

3.4 Comparación de la temperatura en las zonas de Ozogoche, Atillo y Cebadas

Tabla 3-4: Resumen estadístico para Temperatura

<i>ZONA</i>	<i>RECUENTO</i>	<i>PROMEDIO</i>	<i>MEDIANA</i>	<i>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</i>	<i>COEFICIENTE DE VARIACIÓN</i>
OZOGOCHÉ	72	9,61111	8,5	3,0955	32,2075%
ATILLO	72	9,47222	8,75	2,8554	30,145%
CEBADAS	72	16,9222	17,05	1,89367	11,1904%
Total	216	12,0019	11,35	4,38242	36,5145%

Realizado por: (Velasguy S, 2023).

La Tabla 3-4 refleja que el coeficiente de variación para temperatura de la zona de Cebadas es el más bajo con el 11,19%, está seguida por la zona de Atillo con un 30,15% y finalmente, la zona de Ozogoche con un 32,21%; lo que demuestra que en Cebadas se registran mayores picos en cuanto a temperatura. Por tanto, se puede decir que los datos obtenidos son heterogéneos, lo que no sucede con Atillo y Ozogoche que presentan datos con una mayor homogeneidad. De acuerdo con el sesgo y la curtosis estandarizados los valores de temperatura de las zonas de Atillo y Ozogoche se encuentran fuera del rango de -2 a +2, esto indica algo de no normalidad significativa en los datos, lo cual viola el supuesto de que los datos provienen de distribuciones normales.

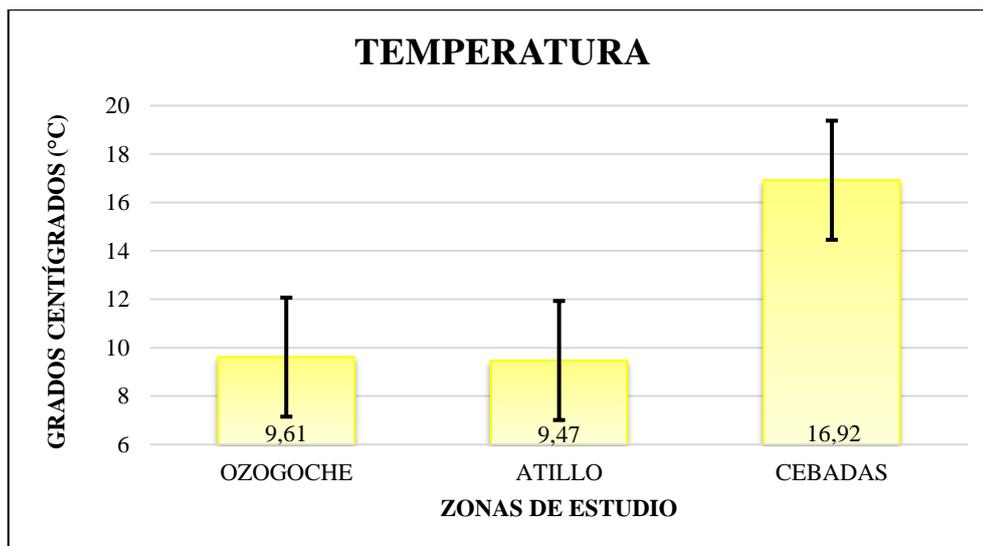


Ilustración 3-3: Temperatura por zonas

Realizado por: (Velastegui S, 2023).

En la gráfica superior se representan las temperaturas de las zonas de Ozogоче, Atillo y Cebadas con valores de $9,61 \pm 0,36$ °C; $9,47 \pm 0,34$ °C y $16,92 \pm 0,22$ °C, respectivamente. Lo que demuestra que en la zona de Cebadas existe una mayor temperatura que en las zonas de Atillo y Ozogоче.

3.5 Comparación del porcentaje de humedad en las zonas de Ozogоче, Atillo y Cebadas

Tabla 3-5: Resumen estadístico para porcentaje de humedad

ZONA	RECuento	PROMEDIO	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
OZOGOICHE	72	89,7181	90,9	8,78402	9,79069%
ATILLO	72	86,9444	89,8	9,16389	10,5399%
CEBADAS	72	75,7306	75,35	13,6732	18,0551%
Total	216	84,131	87,75	12,3162	14,6393%

Realizado por: (Velastegui S, 2023).

La Tabla 3-5 refleja que el coeficiente de variación para el porcentaje de humedad de la zona de Cebadas es el más alto con el 18,05%, de forma decreciente está seguida por la zona de Atillo con un 10,54% y finalmente, la zona de Ozogоче con un 9,79%; lo que demuestra que en Cebadas se registran mayores picos en cuanto a porcentaje de humedad. Por tanto, se puede decir que los datos obtenidos son heterogéneos, lo que no sucede con Atillo y Ozogоче que presentan datos con una mayor homogeneidad entre sí. De acuerdo con el sesgo y la curtosis estandarizados los valores de temperatura de las zonas de Cebadas, Atillo y Ozogоче se encuentran fuera del rango de -2 a +2, esto indica algo de no normalidad significativa en los datos, lo cual viola el supuesto de que los datos provienen de distribuciones normales.

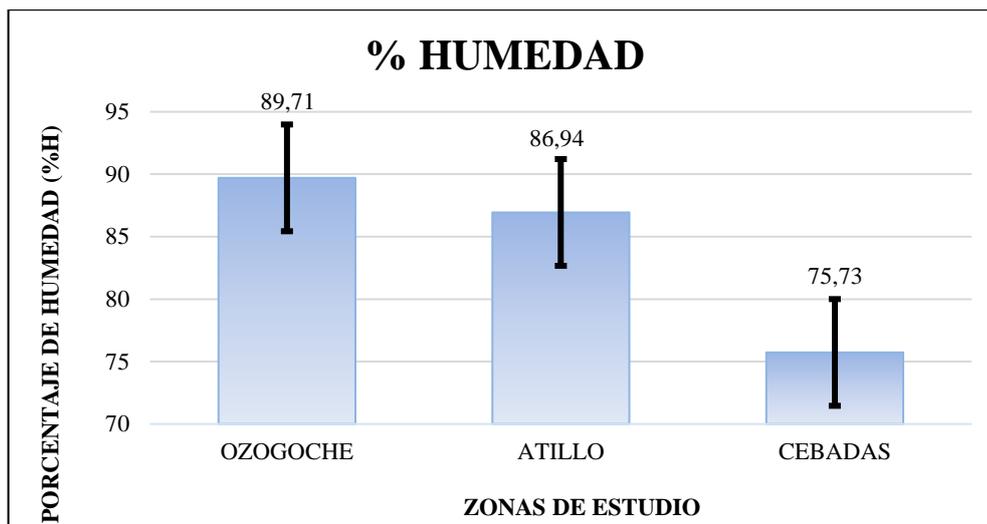


Ilustración 3-4: Porcentaje de humedad por zonas

Realizado por: (Velastegui S, 2023).

En el gráfico superior se representan los porcentajes de humedad de las zonas de Ozogoche, Atillo y Cebadas con valores de $89,72 \pm 1,04$ %H; $86,94 \pm 1,08$ %H y $75,73 \pm 1,61$ %H, respectivamente. Lo que demuestra que en la zona de Cebadas existe un menor porcentaje de humedad que en las zonas de Atillo y Ozogoche.

3.6 Correlación entre el Índice de Calidad de Bosque de Ribera y la respiración edáfica en las zonas de Ozogoche, Atillo y Cebadas

Los valores correspondientes al Índice de Calidad de Bosque de Ribera (QBR) de las zonas de Ozogoche, Atillo y Cebadas se obtuvieron en un estudio previo realizado por Duchicela y Rivera (2022, p. 107), dichos valores se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3-6: Índice QBR-And

ZONA	QBR-And
OZOGOCHÉ	48
ATILLO	67
CEBADAS	44

Fuente: Duchicela y Rivera (2022, p. 107)

Realizado por: (Velastegui S, 2023).

En el estudio perteneciente a Duchicela y Rivera (2022) se describe un valor de QBR para la zona de Ozogoché de 48, lo que significa que existe una mala calidad o una alteración fuerte, aunque uno de los puntos en la zona de Ozogoché está dentro del Parque Nacional Sangay, los otros dos puntos están ubicados en áreas con pequeños asentamientos donde se observa intervención antropogénica como el pastoreo de ganado, lo que resulta en un mosaico agropecuario. En la zona de Atillo, el QBR se encuentra en un nivel de 67, lo cual indica una calidad intermedia y el inicio de una alteración; debido a que la zona cuenta con un punto de cobertura de suelo nativo, mientras que los demás puntos corresponden a un mosaico agropecuario. La zona de Cebadas presenta un índice de calidad de bosque de ribera más bajo, con una puntuación de 44 indicando una fuerte alteración y evidenciando que la zona ha experimentado una disminución en su calidad, siendo considerada de mala calidad.

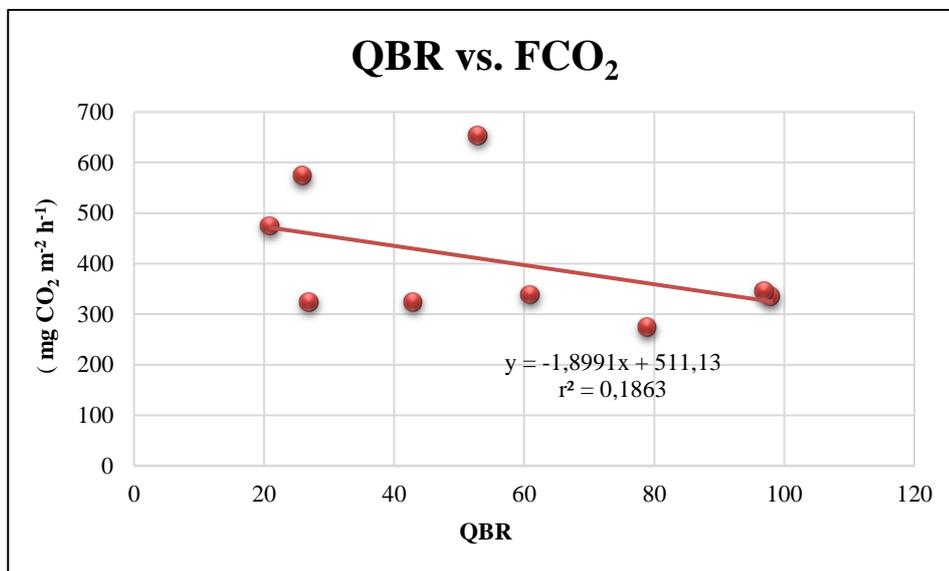


Ilustración 3-5: Correlación QBR vs. FCO₂

Realizado por: (Velasategui S, 2023).

En el Gráfico 3-5 se puede evidenciar que la correlación (r^2) entre el Índice de Calidad de Bosque de Ribera y el flujo de CO₂ es de 0,1863, es decir, la relación entre las variables es demasiado baja, casi nula. Por lo que se puede concluir en base a la evidencia que no existe una correlación entre el QBR y el FCO₂.

CONCLUSIONES

Los suelos del bosque de ribera de las zonas de Ozogoche, Atillo y Cebadas pertenecientes a la microcuenca del río Cebadas han reflejado diferencias significativas entre los flujos de dióxido de carbono (FCO_2) que intercambian sus suelos y la atmósfera.

La respiración edáfica expresada como flujo de CO_2 presenta un mayor valor en el bosque de ribera de la zona de Ozogoche con $487,7 \pm 35,66$ mg de CO_2 m^{-2} h^{-1} , y un valor menor en la zona de Atillo con $335,74 \pm 7,78$ mg de CO_2 m^{-2} h^{-1} , lo que evidencia una importante tasa de respiración edáfica en los suelos no intervenidos, concluyendo así que se debe mantener este recurso sin alteración debido a que de ser de otra forma se prevé una descomposición acelerada y remoción de la materia orgánica presente, que resultaría en emisiones de CO_2 a gran escala, contribuyendo a la intensificación del efecto invernadero y por tanto al calentamiento global.

La correlación entre el QBR (Índice de Calidad de Bosque de Ribera) y la respiración edáfica del bosque de ribera de la microcuenca del río Cebadas, es demasiado baja, tanto que se establece como nula.

RECOMENDACIONES

Se recomienda ampliar estudios multitemporales por ecosistema para evaluar la capacidad de secuestro de carbono por los mismos.

Socializar con las comunidades de Atillo y Ozogoche la importancia que tiene la respiración edáfica en los distintos ecosistemas que se encuentran en su territorio, de tal manera que se puedan gestionar sus recursos bajo un modelo de sostenibilidad.

Valorar al bosque de ribera como un ecosistema particular que previene la contaminación del agua, la erosión del suelo y procesos de inundación en la parte baja de la microcuenca.

Realizar estudios de respiración en la biomasa de las zonas de bosque de ribera para cuantificar el stock de carbono y su respectiva emisión de CO₂.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, Raúl et al. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*. Vol. 28, número 1, pp. 35–64. DOI 10.23818/limn.28.04.

AGENCIA CATALANA DEL AGUA. (2006). *PROTOCOLO 7: ÍNDICE DE CALIDAD DEL BOSQUE DE RIBERA (QBR)*.

ALEF, Kassem., & NANNIPIERI, Paolo. (1995). *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. ISBN 978-0-12-513840-6.

AUSTIN, Amy et al. (2004). Water pulses and biogeochemical cycles in arid and semiarid ecosystems. *Oecologia*. Vol. 141, número 2, pp. 221–235. DOI 10.1007/s00442-004-1519-1.

AYALA, Fernando., & ENRIQUE, Troyo. (2018). Carbon storage and flux in arid soils as an environmental service: An example in northwestern Mexico. *Terra Latinoamericana*. Vol. 36, número 2, pp. 93–104. DOI 10.28940/terra.v 36i2.334.

AYALA, Fernando. (2016). *Flujos y almacenes de carbono edáfico en un ecosistema árido del noroeste de México* [en línea]. Recuperado a partir de: http://dspace.cibnor.mx:8080/bitstream/handle/123456789/1727/ayala_f.pdf?sequence=1&isAllowed=y

BARRALES-BRITO, Edgar et al. (2014). *In vitro* Determination of CO₂ emission in forest litter. [en línea]. pp. 679–690. Recuperado a partir de: <http://www.wtw.de/es/>

BELTRÁN, Karla. et al. (2009). *Distribución espacial, sistemas ecológicos y caracterización florística de los páramos en el Ecuador*. 1. Quito: r. EcoCiencia, Proyecto Páramo Andino y Herbario QCA. ISBN 9978-9940-7.

BOND-LAMBERTY, Ben et al. (2018). Globally rising soil heterotrophic respiration over recent decades. *Nature*. Vol. 560, número 7716, pp. 80–83. DOI 10.1038/s41586-018-0358-x.

BOURLETSIKAS, Athanassios et al. (2023). Temporal Variations in Temperature and Moisture Soil Profiles in a Mediterranean Maquis Forest in Greece. *Forest Hydrometeorology*. Vol. 10, número 4. DOI 10.3390/hydrology10040093/(/journal/hydrology).

BROWN, George., & SAMUEL-ROSA, Alejandro. (2021). *Hacia una ciencia del suelo más abierta* [en línea]. SciELO en Perspectiva. Recuperado a partir de: <https://blog.scielo.org/es/2021/01/08/hacia-una-ciencia-del-suelo-mas-abierta/#.Yf9zmerMJPZ>

BUSTAMANTE, Macarena., & ARGÜELLO, María. (2011). *LOS PÁRAMOS DE CHIMBORAZO. UN ESTUDIO SOCIOAMBIENTAL PARA LA TOMA DE DECISIONES* [en línea]. Quito. Recuperado a partir de: www.flacsoandes.edu.ec

CABLE, J. et al. (2012). *Shrub encroachment alters sensitivity of soil respiration to variation in temperature and moisture.* *J Geophys Res-Biogeophys.*

CAMACHO, Miguel. (2013). *LOS PÁRAMOS ECUATORIANOS: CARACTERIZACIÓN Y CONSIDERACIONES PARA SU CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE.* *ANALES.* Vol. 1, número 372, pp. 67–92. DOI <https://doi.org/10.29166/anales.v1i372.1241>.

CAMPBELL, Phillip M et al. (2013). *Quantitative estimation of carbon dynamics in terrestrial ecosystems using natural variations in the $\delta^{13}C$ abundance of soils and biota.* 1. Elsevier Inc. ISBN 9780128245880.

CARDILLO, D. et al. (2013). Estudio de la respiración edáfica en suelos de la provincia fitogeográfica del Monte. En: *IX Reunión Nacional de Biología de Suelos*, pp. 24–26. Buenos Aires: Congreso Nacional de Biología Molecular de Suelos. 6 septiembre 2013.

CAREY, Joanna C et al. (2016). Temperature response of soil respiration largely unaltered with experimental warming. *Biological Sciences.* Vol. 48, pp. 13797–13802. DOI [10.5066/F7MK6B1X](https://doi.org/10.5066/F7MK6B1X).

CARGUA, Franklin E. et al. (2014). 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. *Informacion Tecnologica.* Vol. 25, número 3, pp. 83–92. DOI [10.4067/S0718-07642014000300011](https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000300011).

CASSIA, Raúl et al. (2018). *Climate change and the impact of greenhouse gasses: CO₂ and NO_x, friends and foes of plant oxidative stress.* *Frontiers Media S.A. Frontiers in Plant Science* 9. DOI [10.3389/fpls.2018.00273](https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00273).

CHEN, Guoping et al. (2017). The structure and soil characteristics of a *Pinus tabulaeformis* planted forest after 60 years of natural development in north China. *Silva Fennica.* Vol. 51, número 1. DOI [10.14214/sf.1709](https://doi.org/10.14214/sf.1709).

DE FIGUEIREDO, Liziane. et al. (2015). Soil CO₂ emission of sugarcane fields as affected by topography. *Scientia Agricola*. Vol. 66, número 1, pp. 77–83. DOI 10.1590/s0103-90162009000100011.

DELGADO-BAQUERIZO, Manuel et al. (2017). *Soil microbial communities drive the resistance of ecosystem multifunctionality to global 2 change in drylands across the globe.* Ecology Letters.

DIAS, André., & BERENDSE, Frank. (2010). Plant species richness regulates soil respiration through changes in productivity. *Oecologia*. Vol. 163, número 3, pp. 805–813. DOI 10.1007/s00442-010-1569-5.

DÍAZ-GRANADOS, Mario., & SUÁREZ, Tatiana. (2005). Páramos: Hidrosistemas Sensibles. *Revista de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Universidad de los Andes*. pp. 64–75.

DING, Fan. et al. (2014). Decomposition of Organic Carbon in Fine Soil Particles Is Likely More Sensitive to Warming than in Coarse Particles: An Incubation Study with Temperate Grassland and Forest Soils in Northern China. *PLoS ONE*. Vol. 9, número 4, p. e95348. DOI 10.1371/journal.pone.0095348.

DUCHICELA, Katty., & RIVERA, Ivonne. (2022). *EVALUACIÓN ECOLÓGICA DE LA CALIDAD DEL BOSQUE DE RIBERA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CEBADAS.* Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

EBRAHIMI, Mitra et al. (2019). Estimating the soil respiration under different land uses using artificial neural network and linear regression models. *CATENA*. Vol. 174, pp. 371–382. DOI <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.11.035>.

ECHAVARREN, Rafael. (2014). Los suelos forestales españoles acumulan tanto carbono como el que su población emite en 29 años. [en línea]. pp. 1–1. Recuperado a partir de: https://www.ecoticias.com/co2/90480_suelos-forestales-espanoles-acumulan-carbono-poblacion-emite [consultado 18 junio 2023].

ESTRADA-VILLEGAS, Sergio et al. (2000). Edaphic factors and initial conditions influence successional trajectories of early regenerating tropical dry forests. *Journal of Ecology*. Vol. 108, número 1, pp. 160–174. DOI 10.1111/1365-2745.13263.

EVANS, John., & PERLMAN, Howard. (2019). *Ciclos biogeoquímicos* [en línea]. Recuperado a partir de: <https://openstax.org/books/concepts-biology/pages/20-2-biogeochemical-cycles>

FAO. (2017). *SOIL ORGANIC CARBON, the hidden potential*. [en línea]. Recuperado a partir de: <https://www.fao.org/3/i6937en/i6937en.pdf> [consultado 18 junio 2023].

FERREIRA, Renata et al. (2018). Soil CO₂ efflux measurements by alkali absorption and infrared gas analyzer in the Brazilian semiarid region. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. Vol. 42, pp. 1–10. DOI 10.1590/18069657rbcS20160563.

GAD CHIMBORAZO. (2013). *Plan de manejo y cogestión del territorio hídrico de Cebadas* [en línea]. Recuperado a partir de: <https://www.fao.org/forestry/45911-061c766151d9e1f9f523d495406d1dff6.pdf> [consultado 4 julio 2023].

GAD PARROQUIAL CEBADAS. (2020). PDYOT CEBADAS. [en línea]. pp. 190–192. Recuperado a partir de: <https://gadcebadas.gob.ec/gad-parroquial/plan-de-desarrollo/910-pdot-final-gad-cebadas-2021/file.html> [consultado 4 julio 2023].

GARCÍA-PALACIOS, Pablo et al. (2021). Evidence for large microbial-mediated losses of soil carbon under anthropogenic warming. *Nature Reviews Earth & Environment*. Vol. 2, número 7, pp. 507–517. DOI 10.1038/s43017-021-00178-4.

GASPAR, Leticia et al. (2019). Effects of land use on soil organic and inorganic C and N at 137Cs traced erosional and depositional sites in mountain agroecosystems. *CATENA*. Vol. 181, p. 104058. DOI <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.05.004>.

GIARDINA, Christian P. et al. (2014). Warming-related increases in soil CO₂ efflux are explained by increased below-ground carbon flux. *Nature Climate Change*. Vol. 4, número 9, pp. 822–827. DOI 10.1038/nclimate2322.

GIL, Pablo., & JÁCOME, Jorge. (2020). *Estructura del bosque altoandino y páramo en el Macizo de Bijagual, Boyacá, Colombia* [en línea]. Recuperado a partir de: www.jstor.org

HANSON, Jared et al. (2015). Experimental site and season over-control the effect of *Pinus halepensis* in microbiological properties of soils under semiarid and dry conditions. *Journal of Arid Environments*. Vol. 116, pp. 44–52. DOI 10.1016/j.jaridenv.2015.01.014.

HURSH, Alice et al. (2017). The sensitivity of soil respiration to soil temperature, moisture, and carbon supply at the global scale. *Glob Chang Biol*. pp. 2090–2103. DOI doi: 10.1111/gcb.13489.

IDROVO, Bryan., & GUERRERO, Omar. (2021). EFECTO DEL CAMBIO DEL USO DEL SUELO EN LA PRODUCCIÓN Y RETENCIÓN DE SEDIMENTOS: CASO DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA DE MONTAÑA. *Revista GEOESPACIAL*. pp. 49–61.

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA. (2019). ¿Qué es una cuenca hidrográfica? *Blog* [en línea]. 2019. Recuperado a partir de: <https://www.gob.mx/imta/articulos/que-es-una-cuenca-211369> [consultado 30 junio 2023].

JIN, Junjun et al. (2021). Different responses of soil respiration and its components to nitrogen and phosphorus addition in a subtropical secondary forest. *Forest Ecosystems*. Vol. 8, número 1. DOI 10.1186/s40663-021-00313-z.

KO, Hyojung., & JI, Koochul. (2023). Effect of temperature on electrical conductivity of soils – Role of surface conduction. *Engineering Geology*. Vol. 321, p. 107147. DOI <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2023.107147>.

KOTROCZÓ, Zsolt et al. (2023). Long-Term Changes in Organic Matter Content and Soil Moisture Determine the Degree of Root and Soil Respiration. *Plants*. Vol. 12, número 2. DOI 10.3390/plants12020251.

KUZYAKOV, Yakov. (2010). Priming effects: Interactions between living and dead organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*. Vol. 42, número 9, pp. 1363–1371. DOI <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.04.003>.

KWATCHO, Steve et al. (2022). Long-term soil warming alters fine root dynamics and morphology, and their ectomycorrhizal fungal community in a temperate forest soil. *Global Change Biology*. Vol. 28, número 10, pp. 3441–3458. DOI 10.1111/gcb.16155.

LATIMER, Robyn., & RISK, David. (2016). An inversion approach for determining distribution of production and temperature sensitivity of soil respiration. *Biogeosciences*. Vol. 13, número 7, pp. 2111–2122. DOI 10.5194/bg-13-2111-2016.

LEHMANN, Johannes et al. (2020). Persistence of soil organic carbon caused by functional complexity. *Nature Geoscience*. Vol. 13, número 8, pp. 529–534. DOI 10.1038/s41561-020-0612-3.

LEI, Jiesi et al. (2021). Temporal changes in global soil respiration since 1987. *Nature Communications*. Vol. 12, número 1. DOI 10.1038/s41467-020-20616-z.

LESSARD, Robert et al. (2013). *Carbon Cycle: Measuring CO₂ Flux from Soil*. New Society Publishers.

LI, Yaxin et al. (2015). The role of H₃PO₄ in the preparation of activated carbon from NaOH-treated rice husk residue. *RSC Advances*. Vol. 5, número 41, pp. 32626–32636. DOI 10.1039/c5ra04634c.

LIU, Yan et al. (2016). Variations of forest soil organic carbon and its influencing factors in east China. *Annals of Forest Science*. Vol. 73, número 2, pp. 501–511. DOI 10.1007/s13595-016-0543-8.

MAATE. (2023). Estadísticas del páramo. *Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE)* [en línea]. 2023. Recuperado a partir de: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMzI1MDIyYTMtMDY4Yy00NmU5LWJkYmUtODJlOTFlZTNlZjc4IiwidCI6ImI5MmFkMDkzLTRhODYtNGZiNS1hY2VhLWNIWU1ZmJiYWVlMmY5J9> [consultado 28 junio 2023].

MAESTRE, Fernando., & CORTINA, Jordi. (2003). Small-scale spatial variation in soil CO₂ efflux in a Mediterranean semiarid steppe. *Applied Soil Ecology*. Vol. 23, número 3, pp. 199–209. DOI [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(03\)00050-7](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(03)00050-7).

MAIER, M et al. (2011). Soil CO₂ efflux vs. soil respiration: Implications for flux models. *Agricultural and Forest Meteorology*. Vol. 151, número 12, pp. 1723–1730. DOI <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.07.006>.

MANCHAY, Graciela., & MALDONADO, Priscila. (2019). Ecosistemas Frágiles: Páramos del Ecuador. *Green World Journal*. Vol. 2, número 1, p. 1. DOI <https://www.greenworldjournal.com/doi-006-gsma-2019>.

MCGOWEN, Eric et al. (2018). An Automated Laboratory Method for Measuring CO₂ Emissions from Soils. *Agricultural & Environmental Letters*. Vol. 3, número 1, p. 180008. DOI 10.2134/aer2018.02.0008.

MCKAY, David et al. (2022). Global warming could trigger multiple climate tipping points. *Science*. Vol. 377, número 6611, p. eabn7950. DOI 10.1126/science.abn7950.

MEMOLI, Vini et al. (2017). Metal compartmentalization in different biomass portions of *Helianthus annuus* L. and *Sorghum bicolor* L. grown in an agricultural field inside an urban fabric. *Applied Soil Ecology*. Vol. 121, número May, pp. 118–126. DOI 10.1016/j.apsoil.2017.09.035.

MENA, Patricio et al. (2000). *Los suelos del páramo*. Grupo de Trabajo en Páramos del Ecuador. ISBN 9978045910.

MENA-VÁSCONEZ, Patricio et al. (2023). *Los páramos del Ecuador Pasado, presente y futuro*. 1. Quito: USFQ PRESS. ISBN 978-9978-68-264-7.

MENA-VÁSCONEZ, Patricio. (2011). *Páramo: paisaje estudiado, habitado, manejado e institucionalizado*. EcoCiencia. ISBN 9789942090164.

MORALES, Segundo. (2020). *RELACIÓN DE LA RESPIRACIÓN EDÁFICA CON LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE LOS SUELOS DE LA MICROCUENCA DEL RÍO GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO* [en línea]. Riobamba. Recuperado a partir de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14255/1/156T0012.pdf> [consultado 3 julio 2023].

MUNNÉ, A. et al. (2003). A Simple Field Method for Assessing the Ecological Quality of Riparian Habitat in Rivers and Streams: QBR. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. Vol. 13, número 2, pp. 147–163.

MURCIA-RODRÍGUEZ, Miguel., & OCHOA-REYES, Patricia. (2012). *RESPIRACIÓN DEL SUELO Y CAÍDA DE HOJARASCA EN EL MATORRAL DEL BOSQUE ALTOANDINO (CUENCA DEL RÍO PAMPLONITA, COLOMBIA)* [en línea]. Recuperado a partir de: <http://www.icn.unal.edu.co/>

NOH, Nam Jin et al. (2016). Responses of Soil, Heterotrophic, and Autotrophic Respiration to Experimental Open-Field Soil Warming in a Cool-Temperate Deciduous Forest. *Ecosystems*. Vol. 19, número 3, pp. 504–520. DOI 10.1007/s10021-015-9948-8.

NORRIS, Robert et al. (2018). Assessment of In-Season Soil Nitrogen Tests for Corn Planted into Winter Annual Cover Crops. *Soil Science Society of America Journal*. Vol. 82, número 6, pp. 1428–1436. DOI 10.2136/sssaj2018.01.0036.

ONWUKA, Brownmang., & MANG, Brown. (2018). Effects of Soil Temperature on Some Soil Properties and Plant Growth. *Advances in Plants & Agriculture Research*. Vol. 8, número 1. DOI 10.15406/apar.2018.08.00288.

ORCHARD, Valerie., & COOK, Field. (1983). Relationship between soil respiration and soil moisture. *Soil Biology and Biochemistry*. Vol. 15, número 4, pp. 447–453. DOI [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(83\)90010-X](https://doi.org/10.1016/0038-0717(83)90010-X).

PANICO, Esperanza et al. (2020). Variations of agricultural soil quality during the growth stages of sorghum and sunflower. *Applied Soil Ecology*. Vol. 152, número February, p. 103569. DOI 10.1016/j.apsoil.2020.103569.

PAOLINI GÓMEZ, Jorge E. (2018). Actividad microbiológica y biomasa microbiana en suelos cafetaleros de los Andes venezolanos. *Revista Terra Latinoamericana*. Vol. 36, número 1, p. 13. DOI 10.28940/terra.v 36i1.257.

PARDO-PLAZA, Yuri et al. (2019). Biomasa microbiana y respiración basal del suelo bajo sistemas agroforestales con cultivos de café. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*. Vol. 22, número 1: e1144, pp. 1–8. DOI <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1144>.

PÉREZ, Alejandro et al. (2017). Capacidad de intercambio catiónico: descripción del método de la tiourea de plata (AgTU + n). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* [en línea]. Vol. 8, número 2007–0934, pp. 171–177. Recuperado a partir de: cienciasagricolas.inifap.gob.mx/editorial/index.php/agricolas/article/download/80/76/

PÉREZ, Daniela. (2019). Análisis de la afectación antrópica a los bosques de galería de los caños El Retiro, La María y Aguabonita, en el área de influencia de San José del Guaviare. [en línea]. Recuperado a partir de: https://ciencia.lasalle.edu.co/cg/viewcontent.cgi?article=2100&context=ing_ambiental_sanitaria

PLACELLA, Sarah et al. (2012). Rainfall-induced carbon dioxide pulses result from sequential resuscitation of phylogenetically clustered microbial groups. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. Vol. 109, número 27, pp. 10931–10936. DOI 10.1073/pnas.1204306109.

PODWOJEWSKI, Pascal., & POULENARD, Jerome. (2004). *Paramos Soils* [en línea]. Marcel Dekker, Inc. Recuperado a partir de: www.paramo.org

PRAMOD, Jha., & MOHAPATRA, K. (2011). Soil respiration under different forest species in the riparian buffer of the semi-arid region of northwest India. *Current Science* [en línea]. Vol. 100, número 9, pp. 1412–1420. Recuperado a partir de: https://www.indiawaterportal.org/sites/default/files/iwp2/Soil_respiration_under_different_forest_species_of_the_semi_arid_region_of_northwest_India_Current_Science_2011.pdf

RAICH, James W., & TUFEKCIOGLU, Aydin. (2000). Vegetation and soil respiration. *Biogeochemistry*. pp. 71–90.

RAICH, Robert., & SCHLESINGER, James. (2015). *The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate* [en línea]. *Environmental Research Letters* 3. Recuperado a partir de:

<http://sites.biology.duke.edu/jackson/erl08.html%5Cnhttp://stacks.iop.org/1748-9326/3/i=4/a=044006?key=crossref.2cd20c3cc54d529a187f7976faf78424>

RAMÍREZ, Andrés., & MORENO, Humberto. (2008). *RESPIRACIÓN MICROBIAL Y DE RAÍCES EN SUELOS DE BOSQUES TROPICALES PRIMARIOS Y SECUNDARIOS (PORCE, COLOMBIA) M.*

RENAULT, P et al. (2013). Improving the MicroResp™ substrate-induced respiration method by a more complete description of CO₂ behavior in closed incubation wells. *Geoderma*. Vol. 207–208, número 1, pp. 82–91. DOI 10.1016/j.geoderma.2013.05.010.

RIIS, Tenna et al. (2020). Global overview of ecosystem services provided by riparian vegetation. *BioScience*. Vol. 70, número 6, pp. 501–514. DOI 10.1093/biosci/biaa041.

SAAVEDRA, Carlos. (2015). *Valoración de efectos e impactos de intervenciones de gestión, manejo y protección de áreas de recarga hídrica y de fuentes de agua en microcuencas: Experiencia de mancomunidades de municipios.* HELVETAS Swiss Intercooperation.

SCHIMEL, David et al. (2015). Observing terrestrial ecosystems and the carbon cycle from space. *Global Change Biology*. Vol. 21, número 5, pp. 1762–1776. DOI 10.1111/gcb.12822.

SCHIMEL, Joshua. (2018). Life in Dry Soils: Effects of Drought on Soil Microbial Communities and Processes. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. Vol. 49, pp. 409–432. DOI <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110617-062614>.

SCHOONOVER, Jon E., & CRIM, Jackie F. (2015). An Introduction to Soil Concepts and the Role of Soils in Watershed Management. *Journal of Contemporary Water Research & Education*. Vol. 154, número 1, pp. 21–47. DOI 10.1111/j.1936-704x.2015.03186. x.

SCIARAPPA, W et al. (2016). Assessing soil health in highbush blueberry with the Solvita® CO₂ respiration test. *Acta Horticulturae*. Vol. 1180, pp. 327–334. DOI 10.17660/ActaHortic.2017.1180.44.

SEGURA, Francisco et al. (2023). Evaluating the riparian forest quality index (QBR) in the Luchena River by integrating remote sensing, machine learning and GIS techniques. *Ecohydrology & Hydrobiology*. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2023.04.002>.

SENAGUA. (2009). *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Ecuador* [en línea]. Recuperado a partir de: <https://app.sni.gob.ec/sni->

link/sni/PORTAL_SNI/PORTAL/IG/7_delimitacion_codificacion_metodologia_pfafstetter.pdf
[consultado 29 junio 2023].

SHAO, Xuexin et al. (2015). Seasonal dynamics of soil labile organic carbon and enzyme activities in relation to vegetation types in Hangzhou Bay tidal flat wetland. *PLoS ONE*. Vol. 10, número 11, pp. 1–15. DOI 10.1371/journal.pone.0142677.

SINGH, J S et al. (2017). Microbial biomass acts as a source of plant nutrients in dry tropical forest and savanna. *Nature*. Vol. 338, número 6215, pp. 499–500. DOI 10.1038/338499a0.

SINGH, V. (1994). *Elementary Hydrology*. Prentice Hall of India Private Limited.

SMITH, D., & FINCH, Deborah. (2013). That's a Humdinger! Black-chinned Hummingbird Nesting in Response to Forest Treatments. *Investigator*. Vol. 3, pp. 10–27.

SMITH, Pete et al. (2016). Global change pressures on soils from land use and management. *Global Change Biology*. Vol. 22, número 3, pp. 1008–1028. DOI 10.1111/gcb.13068.

SMUKLER, S M et al. (2012). Assessment of best management practices for nutrient cycling: A case study on an organic farm in a Mediterranean-type climate. *Journal of Soil and Water Conservation*. Vol. 67, número 1, pp. 16–31. DOI 10.2489/jswc.67.1.16.

STOTZKY, G. (1994). *METHODS OF SOIL ANALYSIS PART 2 Microbiological and Biochemical Properties*.

TOLEDO, Guillermo et al. (2015). Biomasa y respiración microbiana: Respuesta ante cambios en la humedad del suelo en la Estepa Magallánica Seca de Santa Cruz, Argentina. *Informes Científicos Técnicos - UNPA*. Vol. 12, número 3, pp. 151–165. DOI 10.22305/ict-unpa.v12.n3.746.

TRAMA, Florencia Andrea et al. (2020). Habitat quality indexes y macroinvertebrates in seven Basins of the Yanachaga Chemillén National Park and its Buffer Zone: Conservation and management of the riparian forest in Peru. *Revista Peruana de Biología*. Vol. 27, número 2, pp. 149–168. DOI 10.15381/rpb.v27i2.16730.

TUFEKCIOGLU, A et al. (2010). Soil respiration within riparian buffers and adjacent crop fields. [en línea]. pp. 117–124. Recuperado a partir de: <https://www.eeob.iastate.edu/faculty/RaichJ/Pubs/TufekciogluEtal2001PlantSoil.pdf>

USDA. (2014). *Keys to Soil Taxonomy*. 12.

USDA. (2022). *Soil Health - pH* [en línea]. Recuperado a partir de: https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-11/pH%20-%20Soil%20Health%20Guide_0.pdf [consultado 21 junio 2023].

VÁSQUEZ, José et al. (2015). Respiración del suelo según su uso y su relación con algunas formas de carbono en el departamento del Magdalena, Colombia. *Bioagro* [en línea]. Vol. 25, número 3, pp. 175–180. Recuperado a partir de: <https://www.redalyc.org/pdf/857/85730395004.pdf>

VÁSQUEZ, Rafael et al. (2013). *RESPIRACIÓN DEL SUELO SEGÚN SU USO Y SU RELACIÓN CON ALGUNAS FORMAS DE CARBONO EN EL DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA, COLOMBIA.*

WALPOLE, Ronald et al. (2012). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias.* 9a Edición. Ciudad de México: Pearson Educación. ISBN 978-607-32-1417-9.

WEI, Hui et al. (2015). Are variations in heterotrophic soil respiration related to changes in substrate availability and microbial biomass carbon in the subtropical forests? *Scientific Reports.* Vol. 5, número November, pp. 1–11. DOI 10.1038/srep18370.

XU, Yilu et al. (2018). *Microbial control of soil carbon turnover.* Elsevier Inc. ISBN 9780128116876.

YANG, Kai et al. (2010). Soil microbial biomass carbon and nitrogen in forest ecosystems of Northeast China: A comparison between natural secondary forest and larch plantation. *Journal of Plant Ecology.* Vol. 3, número 3, pp. 175–182. DOI 10.1093/jpe/rtq022.

YÁÑEZ, María Inés et al. (2011). Respiración del suelo en cuatro sistemas de uso de la tierra. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales.* Vol. 8, número 42. DOI 10.29298/rmcf.v8i42.22.

YAVITT, Joseph B. et al. (2021). Soil Organic Matter, Soil Structure, and Bacterial Community Structure in a Post-Agricultural Landscape. *Frontiers in Earth Science.* Vol. 9. DOI 10.3389/feart.2021.590103.

YI, L et al. (2016). *Soil Respiration.* First. Elsevier Inc. ISBN 9780124095489.

YIQI, Luo., & ZHOU, Xuhui. (2010). *Soil Respiration and the Environment.* Elsevier. ISBN 0080463975, 9780080463971.

ZARATE, Juan. (2008). *PROYECTO DE MANEJO DE RECURSOS NATURALES DE CHIMBORAZO* [en línea]. Recuperado a partir de:

<https://documents1.worldbank.org/curated/zh/887701468026949916/pdf/E19380SPANISH0LAC1EA1P105550.pdf> [consultado 30 junio 2023].

ZEYAN, Wu et al. (2014). Soil microbial community structure and catabolic activity are significantly degenerated in successive rotations of Chinese fir plantations. *Scientific Reports*. Vol. 7, número 1, pp. 1–7. DOI 10.1038/s41598-017-06768-x.

ZHANG, Xiuwei., & YU, Feihai. (2020). Physical disturbance accelerates carbon loss through increasing labile carbon release. *Plant, Soil and Environment*. Vol. 66, número 11, pp. 584–589. DOI 10.17221/257/2020-PSE.

ZHANG, Ze et al. (2016). Reconstruction of Soil Particle Composition During Freeze-Thaw Cycling: A Review. *Pedosphere*. Vol. 26, número 2, pp. 167–179. DOI [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)60033-9](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)60033-9).

ZHAO, Fubo et al. (2021). Projected soil organic carbon loss in response to climate warming and soil water content in a loess watershed. *Carbon Balance and Management*. Vol. 16, número 1. DOI 10.1186/s13021-021-00187-2.

ZHIHUA, Thu et al. (2014). Rhizosphere soil enzymatic and microbial activities in bamboo forests in southeastern China. *Soil Science and Plant Nutrition*. Vol. 60, número 2, pp. 134–144. DOI 10.1080/00380768.2014.882219.



1779-DBRA-UPT-2023

ANEXOS

ANEXO A: CÁLCULOS ESTEQUIOMÉTRICOS DE LA PREPARACIÓN DE REACTIVOS

A1. Cálculo de la masa de NaOH para la preparación de 500 mL de solución 1N.

$$\frac{1 \text{ eq NaOH}}{1 \text{ L de solución}} \times \frac{40.00 \text{ g NaOH}}{1 \text{ eq NaOH}} \times \frac{100 \text{ g NaOH}}{98.8 \text{ g NaOH}} \times \frac{0.5 \text{ L de solución}}{1 \text{ L de solución}}$$

$$= 20.2429 \text{ g de NaOH}$$

Nota: Los valores de masa molar y pureza fueron tomados de la tabla de información presente en la etiqueta del producto perteneciente al laboratorio de química fina CDH – Central Drug House (P) Ltd.

A2. Cálculo de la masa de BaCl₂ para la preparación de 500 mL de solución 1N.

$$\frac{1 \text{ eq BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}{1 \text{ L de solución}} \times \frac{244.28 \text{ g BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}{1 \text{ eq BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} \times \frac{100 \text{ g BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}{99.5 \text{ g BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} \times \frac{0.5 \text{ L de solución}}{1 \text{ L de solución}}$$

$$= 122.7537 \text{ g de BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$$

Nota: Los valores de masa molar y pureza fueron tomados de la tabla de información presente en la etiqueta del producto perteneciente al fabricante Titan Biotech Ltd.

A3. Cálculo de la masa de fenolftaleína para la preparación de 100 mL de solución 1% p/v.

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

$$= 1 \text{ g de Fenolftaleína}$$

A4. Cálculo del volumen de HCl para la preparación de 500 mL de solución 1 N.

$$\frac{1 \text{ eq HCl}}{1 \text{ L de solución}} \times \frac{36.46 \text{ g HCl}}{1 \text{ eq HCl}} \times \frac{100 \text{ g HCl}}{37 \text{ g HCl}} \times \frac{1 \text{ mL HCl}}{1.19 \text{ g HCl}} \times \frac{0.5 \text{ L de solución}}{1 \text{ L de solución}}$$

$$= 41.4036 \text{ mL de HCl}$$

Nota: Los valores de masa molar y pureza fueron tomados de la tabla de información presente en la etiqueta del producto perteneciente al laboratorio de química fina Fisher Chemical.

ANEXO B: RESULTADOS DE LA CUANTIFICACIÓN DEL FCO₂

Lugar	Parcela	Punto	FCO ₂ (mg CO ₂ / m ² * h)
OZOGOCHE	M1	P1	359,72
		P2	366,92
		P3	287,78
		P4	338,14
		P5	323,75
	M3	P1	690,67
		P2	647,50
		P3	676,28
		P4	597,14
		P5	654,69
	M4	P1	453,25
		P2	489,22
		P3	474,83
		P4	518,00
		P5	438,86
ATILLO	M5	P1	359,72
		P2	345,33
		P3	374,11
		P4	266,19
		P5	381,31
	M6	P1	345,33
		P2	309,36
		P3	330,94
		P4	352,53
		P5	352,53
	M7	P1	330,94
		P2	309,36
		P3	352,53
		P4	323,75
		P5	302,17
CEBADAS	M17	P1	575,56
		P2	618,72
		P3	568,36
		P4	546,78
		P5	557,57
	M15	P1	359,72
		P2	284,18
		P3	352,53
		P4	266,19
		P5	356,13
	M16	P1	259,00
		P2	244,61
		P3	345,33
		P4	273,39
		P5	244,61

ANEXO C: HOJAS DE CAMPO PARA LA EVALUACIÓN DEL ÍNDICE QBR ANDINO

ÍNDICE QBR-And Calidad de la ribera para Comunidades arbóreas Protocolo CERA



La puntuación de cada uno de los 4 apartados no puede ser negativa ni exceder de 25 puntos		Estación	
		Observador	
		Fecha	
Grado de cubierta de la zona de ribera		Puntuación bloque 1	
Puntuación			
25	> 80 % de cubierta vegetal de la zona de ribera (las plantas anuales no se contabilizan)		
10	50-80 % de cubierta vegetal de la zona de ribera		
5	10-50 % de cubierta vegetal de la zona de ribera		
0	< 10 % de cubierta vegetal de la zona de ribera		
+ 10	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es total		
+ 5	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es superior al 50%		
- 5	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es entre el 25 y 50%		
-10	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es inferior al 25%		
Estructura de la cubierta (se contabiliza toda la zona de ribera)		Puntuación bloque 2	
Puntuación			
25	recubrimiento de árboles superior al 75 %		
10	recubrimiento de árboles entre el 50 y 75 % o recubrimiento de árboles entre el 25 y 50 % y en el resto de la cubierta los arbustos superan el 25 %		
5	recubrimiento de árboles inferior al 50 % y el resto de la cubierta con arbustos entre 10 y 25 %		
0	sin árboles y arbustos por debajo del 10 %		
+ 10	si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos es superior al 50 %		
+ 5	si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos es entre 25 y 50 %		
+ 5	si existe una buena conexión entre la zona de arbustos y árboles con un sotobosque.		
- 5	si existe una distribución regular (linealidad) en los pies de los árboles y el sotobosque es > 50 %		
- 5	si los árboles y arbustos se distribuyen en manchas, sin una continuidad		
- 10	si existe una distribución regular (linealidad) en los pies de los árboles y el sotobosque es < 50 %		
Calidad de la cubierta		Puntuación bloque 3	
Puntuación			
25	Todos los árboles de la zona de ribera autóctonos		
10	Como máximo un 25% de la cobertura es de especies de árboles introducidas		
5	26 a 50% de los árboles de ribera son especies introducidas		
0	Más del 51% de los árboles de la ribera son especies introducidas		
+ 10	>75% de los arbustos son de especies autóctonas.		
+ 5	51-75% o más de los arbustos de especies autóctonas		
- 5	26-50% de la cobertura de arbustos de especies autóctonas		
- 10	Menos del 25% de la cobertura de los arbustos de especies autóctonas		
Grado de naturalidad del canal fluvial		Puntuación bloque 4	
Puntuación			
25	el canal del río no ha estado modificado		
10	modificaciones de las terrazas adyacentes al lecho del río con reducción del canal		
5	signos de alteración y estructuras rígidas intermitentes que modifican el canal del río		
0	río canalizado en la totalidad del tramo		
- 10	si existe alguna estructura sólida dentro del lecho del río		
- 10	si existe alguna presa o otra infraestructura transversal en el lecho del río		
-5	si hay basuras en el tramo de muestreo de forma puntual pero abundantes		
-10	si hay un basurero permanente en el tramo estudiado		
Puntuación final (suma de las anteriores puntuaciones)			

ÍNDICE QBR-And
Calidad de la ribera de
Comunidades de Pajonales de
Páramos y Punas
Protocolo CERA



La puntuación de cada uno de los 3 apartados no puede ser negativa ni exceder de 25 puntos

Estación	
Observador	
Fecha	

Grado de cubierta de la zona de ribera

Puntuación bloque 1

Puntuación	
25	> 80 % de cubierta vegetal de la ribera (Gramíneas y/o matorral y/o "almohadillas")
10	50-80 % de cubierta vegetal de la ribera
5	10-50 % de cubierta vegetal de la ribera
0	< 10 % de cubierta vegetal de la ribera
+ 10	si la conectividad entre la vegetación de ribera y la comunidad vegetal adyacente es total
+ 5	si la conectividad entre la vegetación de ribera y la comunidad vegetal adyacente es >50%
- 5	Si la conectividad entre la vegetación de ribera y la comunidad vegetal adyacente es entre el 25-50%
-5	Si se presentan evidencias de quema de pajonal de gramíneas de ribera <50%
-10	Si se presentan evidencias de quema de pajonal de gramíneas de ribera >50%

Calidad de la cubierta

Puntuación bloque 2

Puntuación	
25	Todas las especies vegetales de ribera autóctonas (gramíneas, matorral o almohadillas)
10	Ribera con <25% de la cobertura con especies de introducidas (<i>Eucalyptus spp.</i> , <i>Pinus spp.</i>) o especies arbustivas secundarias (por efecto de sobrepastoreo)
5	Ribera entre 25-80% de la cobertura con especies introducidas o con arbustivas secundarias
0	Ribera con >80% de especies introducidas o arbustivas secundarias

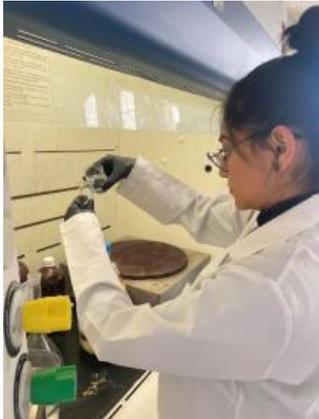
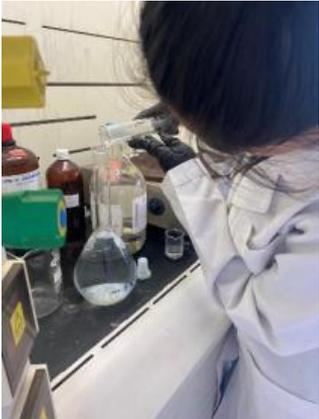
Grado de naturalidad del canal fluvial

Puntuación bloque 3

Puntuación	
25	El canal del río no ha estado modificado
10	Modificaciones de las terrazas adyacentes al lecho del río con reducción del canal
5	Signos de alteración y estructuras rígidas intermitentes que modifican el canal del río
0	Río canalizado en la totalidad del tramo
- 10	si existe alguna estructura sólida dentro del lecho del río
- 10	si existe alguna presa o otra infraestructura transversal en el lecho del río
-5	si hay basuras en el tramo de muestreo de forma puntual pero abundantes
-10	si hay un basurero permanente en el tramo estudiado

Puntuación final (suma de las anteriores puntuaciones)

ANEXO D: PREPARACIÓN DE REACTIVOS

	
<p>D1. Pesaje del Cloruro de Bario dihidratado.</p>	<p>D2. Preparación de los diferentes reactivos.</p>
	
<p>D3. Preparación del Ácido Clorhídrico (1N).</p>	<p>D4. Aforo del Ácido Clorhídrico (1N).</p>
	
<p>D5. Preparación de los viales con NaOH (1N).</p>	<p>D6. Viales con NaOH (1N) etiquetados y sellados.</p>

ANEXO E: INCUBACIÓN EN CAMPO

	
<p>E1. Cámara de incubación, GPS y termohigrómetro.</p>	<p>E2. Cámara de incubación en suelo de páramo.</p>
	
<p>E3. Monitoreo punto M16, zona Cebadas.</p>	<p>E4. Monitoreo punto M15, zona Atillo.</p>
	
<p>E5. Monitoreo punto M3, zona Ozogоче.</p>	<p>E6. Toma de temperatura y humedad con el DataLogger.</p>

ANEXO F: CUANTIFICACIÓN DE LA RESPIRACIÓN EDÁFICA

	
<p>F1. Recarga de la bureta con la solución titulante.</p>	<p>F2. Titulación con ácido clorhídrico (1N) de la trampa álcali.</p>
	
<p>F3. Titulación gota a gota y agitación constante de la trampa álcali.</p>	<p>F4. Titulación de la muestra del punto M4.</p>
	
<p>F5. Blanco titulado (no existe evidencia de dióxido de carbono).</p>	<p>F6. Registro de los resultados obtenidos.</p>



epoch

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: 27 / 10 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Susana Carolina Velastegui Achance
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería en Biotecnología Ambiental
Título a optar: Ingeniera en Biotecnología Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo



1779-DBRA-UPT-2023