



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL
E INTERSTICIAL DEL HUMEDAL RÍO COLORADO - RESERVA
DE PRODUCCIÓN FAUNÍSTICA CHIMBORAZO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORAS:

KIARA JANELLY CASTILLO CHARCOPA
LISSETH ESTHEFANIA CUJILEMA YUMBO

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL
E INTERSTICIAL DEL HUMEDAL RÍO COLORADO - RESERVA
DE PRODUCCIÓN FAUNÍSTICA CHIMBORAZO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORAS: KIARA JANELLY CASTILLO CHARCOPA

LISSETH ESTHEFANIA CUJILEMA YUMBO

DIRECTORA: Dra. MAGDY MILENI ECHEVERRÍA GUADALUPE PhD.

Riobamba – Ecuador

2023

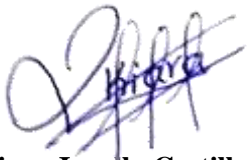
© 2023, Kiara Janelly Castillo Charcopa & Lisseth Esthefania Cujilema Yumbo

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.

Nosotras, Kiara Janelly Castillo Charcopa y Lisseth Esthefania Cujilema Yumbo, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autoras asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular, el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 08 de junio del 2023



Kiara Janelly Castillo Charcopa
0804158319



Lisseth Esthefania Cujilema Yumbo
0605617984

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de Investigación, **DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL E INTERSTICIAL DEL HUMEDAL RÍO COLORADO - RESERVA DE PRODUCCIÓN FAUNÍSTICA CHIMBORAZO**, realizado por las señoritas: **KIARA JANELLY CASTILLO CHARCOPA** y **LISSETH ESTHEFANIA CUJILEMA YUMBO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

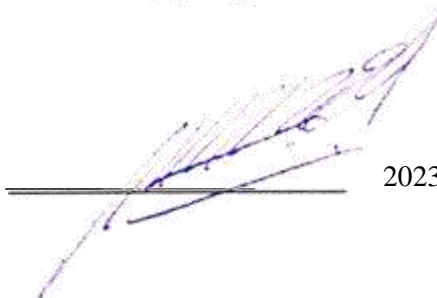
FECHA

Dr. Hernán Patricio Tixi Toapanta
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



2023-06-08

Dra. Magdy Mileni Echeverría Guadalupe PhD.
DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2023-06-08

Dra. Norma Soledad Erazo Sandoval PhD.
ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2023-06-08

DEDICATORIA

Le dedico el resultado de este trabajo principalmente a Dios por darme las fuerzas y salud para seguir adelante. A mis padres, Manuela y Nery quienes han sido mi soporte emocional, me han apoyado para nunca rendirme y me inculcaron buenos valores para convertirme en la profesional que soy ahora. A mis abuelos, Erme, Antonio y América, quienes siempre han estado disponibles para mí con sus buenos consejos. A mis hermanos menores George y Esteffany a quienes aprecio mucho. A mis amigos, Ariana, Itatí, Leticia, Lisseth, Luz, Emily, Sam, Gabi, Bryan, Brillitt, Escarlex, Britz, Juanita, Pamela y Melanie, que hicieron que mis días universitarios se llenen de color y calidez. A todos ellos incluyendo tíos y primos les agradezco por darme el empujón que necesitaba para poder alcanzar todas mis metas y anhelos.

Kiara

El presente trabajo lo dedico especialmente a Dios por ser mi roca inquebrantable tanto en los momentos difíciles y felices además por ser mi guía en todo este camino de la vida. A mis padres María y Segundo por sus consejos, lecciones y apoyo incondicional que me hicieron una persona fuerte como perseverante que jamás se rinde que siempre da hasta el final y además a mi hermano Dario por siempre estar ahí ayudándome en todo momento. A mis queridos amigos Luz, Henry, Kiara, Valeria, Miguel, Nicolas Mishell, Dariana, Sammy, Leticia, Itatí y David quienes me apoyaron con sus consejos, apoyo incondicional y también por acompañarme en las salidas de campo, gracias por formar parte de mi vida.

Lisseth

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la ESPOCH por brindarnos educación de calidad que fomentó nuestras habilidades y destrezas para desenvolvemos en el ámbito laboral y al Grupo de Investigación - Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC) por permitirnos participar en el proyecto “Medios de vida como estrategia para la planificación y gestión en la adaptación basada en ecosistemas – PACHA” y enseñarnos la importancia de la investigación científica en el cuidado del ambiente. A la Dra. Magdy Echeverría PhD. y la Dra. Norma Erazo PhD., quienes nos brindaron la gran oportunidad de descubrir la pasión por la investigación, por todo el tiempo y conocimientos compartidos. Al Ing. Franklin Cargua por el constante apoyo y guía para la elaboración de nuestro trabajo investigativo. Al Ing. Andrés Beltrán, por los consejos y la orientación en base a su experiencia en el desarrollo de la investigación. A los técnicos de laboratorio Ing. Freddy Armijos, Ing. José Luis Herrera, Ing. Luis Patiño, Dra. Gina Álvarez, Dr. Mauricio Álvarez, Ing. Natali Figueroa, Ing. Jefferson Bautista por sus conocimientos y consejos impartidos durante los análisis de las muestras y su gran paciencia.

Kiara & Lisseth

ÍNDICE DE CONTENIDO

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

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Formulación del problema.....	3
1.3 Limitaciones y delimitaciones.....	4
1.4 Problema general de investigación.....	4
1.5 Problemas específicos.....	4
1.6 Objetivos.....	4
1.6.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.6.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
1.7 Justificación.....	5
1.8 Hipótesis.....	5
1.8.1 <i>Hipótesis nula</i>	5
1.8.2 <i>Hipótesis alternativa</i>	6

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Antecedentes de la investigación.....	7
2.2 Referencias teóricas.....	8
2.2.1 <i>El agua</i>	8
2.2.1.1 <i>Agua superficial</i>	9
2.2.1.2 <i>Agua intersticial</i>	9
2.2.1.3 <i>Nivel freático</i>	9
2.2.2 <i>Parámetros de análisis del agua</i>	9

2.2.2.1	<i>Temperatura</i>	10
2.2.2.2	<i>Conductividad eléctrica</i>	10
2.2.2.3	<i>pH</i>	10
2.2.2.4	<i>Sólidos suspendidos totales (SST)</i>	10
2.2.2.5	<i>Oxígeno disuelto (OD)</i>	10
2.2.2.6	<i>Coliformes fecales</i>	11
2.2.2.7	<i>Ión</i>	11
2.2.3	Calidad del agua	11
2.2.3.1	<i>Bioindicadores</i>	12
2.2.3.2	<i>Bioindicadores acuáticos</i>	12
2.2.3.3	<i>Macroinvertebrados acuáticos</i>	12
2.2.3.4	<i>Clasificación de los macroinvertebrados acuáticos</i>	13
2.2.3.5	<i>Índices de biodiversidad</i>	14
2.2.3.6	<i>Índice ABI</i>	15
2.2.3.7	<i>Índice BMWP/Col</i>	15
2.2.4	Contaminación del agua	16
2.2.4.1	<i>Contaminantes del agua</i>	16
2.2.5	Humedal	16
2.2.5.1	<i>Importancia de los humedales</i>	16
2.2.5.2	<i>Funciones del humedal</i>	17
2.2.6	Páramos	17
2.2.6.1	<i>Tipos de páramos</i>	17
2.2.6.2	<i>Importancia del páramo</i>	18
2.2.7	Reserva de Producción Faunística de Chimborazo	18
2.2.7.1	<i>Geología</i>	20
2.2.7.2	<i>Hidrología</i>	20
2.2.7.3	<i>Variabilidad climática</i>	20
2.2.7.4	<i>Formaciones ecológicas</i>	21
2.2.7.5	<i>Fauna</i>	21
2.2.7.6	<i>Flora</i>	22
2.2.7.7	<i>Usos de la tierra</i>	22
2.2.7.8	<i>Servicios ecosistémicos</i>	23
2.3	Base legal	24

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	27
3.1	Enfoque de la investigación	27
3.2	Alcance de investigación	27
3.3	Diseño de investigación	27
3.3.1	<i>Según la manipulación o no de la variable independiente</i>	27
3.3.2	<i>Según las intervenciones en el trabajo de campo</i>	27
3.4	Tipo de estudio	28
3.5	Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra	28
3.5.1	<i>Localización del área de estudio</i>	28
3.5.2	<i>Componente abiótico</i>	29
3.5.2.1	<i>Clima</i>	29
3.5.2.2	<i>Suelo</i>	30
3.5.2.3	<i>Agua</i>	30
3.5.3	<i>Componente biótico</i>	30
3.5.3.1	<i>Flora</i>	30
3.5.3.2	<i>Fauna</i>	30
3.5.4	<i>Componente socioeconómico</i>	31
3.5.4.1	<i>Salud</i>	31
3.5.4.2	<i>Educación</i>	31
3.5.4.3	<i>Economía</i>	31
3.5.5	<i>Población de estudio</i>	31
3.5.6	<i>Tamaño de la muestra</i>	32
3.5.7	<i>Selección de la muestra</i>	32
3.5.7.1	<i>Descripción de los puntos de monitoreo</i>	33
3.6	Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	36
3.6.1	<i>Método de muestreo</i>	36
3.6.1.1	<i>Agua intersticial</i>	36
3.6.1.2	<i>Agua superficial</i>	37
3.6.2	<i>Determinación del índice ABI y BMWP/Col</i>	38
3.6.2.1	<i>Muestreo de macroinvertebrados</i>	38
3.6.2.2	<i>Colecta de macroinvertebradas in situ</i>	38
3.6.2.3	<i>Procedimiento en laboratorio de identificación de macroinvertebrados</i>	39
3.6.2.4	<i>Ponderación de las familias de macroinvertebrados</i>	39
3.6.3	<i>Determinación de índices biológicos</i>	41

3.6.3.1	<i>Índice de Margalef</i>	41
3.6.3.2	<i>Índice de Dominancia</i>	42
3.6.3.3	<i>Índice de Simpson</i>	42
3.6.3.4	<i>Índice de Shannon</i>	43
3.6.3.5	<i>Índice de Jaccard</i>	43
3.7	Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua	43
3.7.1	<i>Metodología para la determinación de aniones</i>	44
3.7.2	<i>Metodología para la determinación de cationes</i>	46
3.7.2.1	<i>Espectrofotometría de absorción atómica</i>	46
3.7.2.2	<i>Determinación de sodio, potasio, calcio y magnesio</i>	47
3.8	Materiales, equipos y reactivos	48
3.9	Fase de análisis de datos	49

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	51
4.1	Análisis de componentes principales	51
4.2	Análisis comparativo con la normativa de calidad de agua	53
4.3	Variabilidad de cationes	57
4.4	Variabilidad de aniones	61
4.5	Identificación de los macroinvertebrados acuáticos	66
4.6	Familias de macroinvertebradas halladas en cada punto de monitoreo	67
4.7	Determinación de los índices biológicos	69
4.8	Discusión	73
4.9	Comprobación de la hipótesis	76

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
5.1	Conclusiones	77
5.2	Recomendaciones	77

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Rangos de calidad sen el Índice Biótico Andino (ABI)	15
Tabla 2-2: Calidad biológica del agua – Índice BMWP/Col	15
Tabla 3-1: Puntajes establecidos de familias de macroinvertebrados acuáticos por índice ABI 40	
Tabla 3-2: Puntajes de las familias macroinvertebrados acuáticos para índice BMWP/Col.....	41
Tabla 3-3: Procedimiento para la determinación de aniones	44
Tabla 3-4: Materiales, equipos y reactivos utilizados in situ y ex situ del área de estudio.....	48
Tabla 4-1: Datos estadísticos de Permanova de la RAS con variables físicas, químicas y microbiológicas.	53
Tabla 4-2: Datos estadísticos de Permanova de la RAS y el nivel freático.	53
Tabla 4-3: Resultados de Permanova de cationes y aniones.....	65
Tabla 4-4: Datos de los valores estadísticos del test a posteriori de PERMANOVA.....	66
Tabla 4-5: Información de la cantidad de individuos hallados por puntos de monitoreo.	66
Tabla 4-6: Índice ABI y BMWP/Col del humedal del río Colorado	70
Tabla 4-7: Índice de diversidad Alpha de los puntos de monitoreo de macroinvertebrados	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Clasificación de los macroinvertebrados acuáticos	13
Ilustración 2-2: Paisaje de la Reserva de Producción Faunística de Chimborazo	19
Ilustración 3-1: Zona de estudio	29
Ilustración 3-2: Determinación de la calidad de agua del humedal.....	33
Ilustración 3-3: Toma de muestras de Agua Intersticial.....	36
Ilustración 3-4: Agua Superficial	37
Ilustración 3-5: Instrucciones en laboratorio de identificación de macroinvertebrados.....	39
Ilustración 4-1: Análisis de componentes principales (PCA) de la RAS con variables físicas, químicas y microbiológicas.	51
Ilustración 4-2: Correlaciones de Spearman de la RAS con variables físicas, químicas y microbiológicas.....	52
Ilustración 4-3: Comparación del pH con los límites permisibles de aguas según TULSMA..	54
Ilustración 4-4: Comparación de Nitratos con los límites permisibles de aguas según TULSMA.....	55
4	
Ilustración 4-5: Comparación de Nitritos con los límites permisibles de aguas según TULSMA.....	55
5	
Ilustración 4-6: Comparación del Oxígeno Disuelto con los límites permisibles de aguas según TULSMA.....	56
Ilustración 4-7: Comparación de Sulfatos con los límites permisibles de aguas según TULSMA.....	57
Ilustración 4-8: Lineplot de la concentración de calcio en los meses de estudio.	58
Ilustración 4-9: Lineplot de la concentración de magnesio en los meses de estudio..	59
Ilustración 4-10: Lineplot de la concentración de potasio en los meses de estudio	60
Ilustración 4-11: Lineplot de la concentración de sodio en los meses de estudio..	61
Ilustración 4-12: Lineplot de la concentración de nitratos en los meses de estudio.....	62
Ilustración 4-13: Lineplot de la concentración de nitritos en los meses de estudio.	63
Ilustración 4-14: Lineplot de la concentración de magnesio en los meses de estudio..	64
Ilustración 4-15: Lineplot de la concentración de magnesio en los meses de estudio..	65
Ilustración 4-16: Familias de macroinvertebrados acuáticos halladas en el punto 1	67
Ilustración 4-17: Familias de macroinvertebrados acuáticos halladas en el punto 2.....	68
Ilustración 4-18: Familias de macroinvertebrados acuáticos halladas en el punto 3.....	68

Ilustración 4-19: Familias de macroinvertebrados acuáticos halladas en el punto 4.....	69
Ilustración 4-20: Familias de macroinvertebrados acuáticos halladas en el punto 5.....	69
Ilustración 4-21: Dendograma de distribución de familias - Método del vecino más Lejano...	72

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: MATRIZ DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN

ANEXO B: MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS IDENTIFICADOS EN EL HUMEDAL DEL RÍO COLORADO

ANEXO C: SALIDAS DE CAMPO

ANEXO D: TOMA DE MUESTRAS DE AGUA INTERSTICIAL, SUPERFICIAL Y MACROINVERTEBRADOS

ANEXO E: ANÁLISIS DE LABORATORIO

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo consistió en determinar la calidad de agua superficial e intersticial de la zona del humedal del Río Colorado-RPFCH. Mediante sistemas de información geográfica y visitas técnicas de campo se determinaron: nueve puntos de agua intersticial, tres de agua superficial y cinco puntos de macroinvertebrados con cuatro muestreos mensuales en el periodo octubre 2022- enero 2023 en época lluviosa, además se aplicaron protocolos de recolección e identificación de macroinvertebrados y métodos estandarizados de análisis de aguas. Se aplicó una correlación de SPERMAN en los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos con el RAS en agua, la variabilidad de concentración de cationes y aniones se realizó un análisis PERMANOVA con distancia de medida por disimilaridad de Bray-Curtis y para la calidad del agua se utilizó el Índice Biótico Andino (ABI) e Índice BMWP/Col. La correlación más fuerte entre RAS e iones es el sodio 0.766 y sólidos totales 0.57; la variabilidad de las concentraciones de cationes y aniones no tuvo diferencias significativas en los 4 meses, ni en la interacción entre meses y tipo de agua, sin embargo, al tomar en cuenta los tipos de agua sin importar los meses se encontraron diferencias significativas con un p-valor (0.0002). Finalmente, la calidad de agua es buena según el Índice ABI con un valor de 96 y en el índice BMWP/Col es agua limpia con un valor de 107. Concluyendo, que se acepta la hipótesis de que el agua superficial e intersticial de la zona del humedal del Río Colorado-RPFCH es de buena calidad a partir de la aplicación de los índices biológicos. Se recomienda realizar el estudio en época seca y una propuesta participativa de planes de manejo ambiental de los recursos hídricos para la conservación, mantenimiento y protección.

Palabras clave: <ÍNDICE BIÓTICO ANDINO ABI>, <ÍNDICE BMWPCOL>, <AGUA INTERSTICIAL>, <AGUA SUPERFICIAL>, <CATIONES>, <ANIONES>, <MACROINVERTEBRADOS>, <HUMEDAL>.

1376-DBRA-UPT-2023



ABSTRACT

This study aimed to determine the surface and interstitial water quality of the Colorado River-RPFCH wetland area. Using geographic information systems and technical field visits, the following data were determined: nine interstitial water points, three surface water points, and five macroinvertebrate points with four monthly samplings; in the period October 2022- January 2023 in the rainy season, in addition to protocols for collection and identification of macroinvertebrates and standardized methods of water analysis. A SPEARMAN correlation was applied in the physicochemical parameters, logical microbes with the RAS in water, and the variability of the concentration of cations and anions, and a PERMANOVA analysis was carried out with distance measurement by Bray- Curtis dissimilarity. The Andean Biotic Index (ABI) and BMWP/Col index were used for water quality. The strongest correlation between RAS and ions is sodium 0.766 and total solids 0.57; the variability of cation concentrations and anions had no significant differences in the four months nor the interaction between months and type of water; however, when taking into account the types of water regardless of the months, they found significant differences with a p-value (0.0002). Finally, the water quality is good according to the ABÍ index with a value of 96; in the BMWP/Col index, it is clean water with a value of 107. It is concluded that the hypothesis that the surface and interstitial water of the Colorado River-RPFCH wetland area is of good quality is accepted based on the application of biological indices. It is recommended to carry out the study in the dry season and a participatory proposal of environmental management plans for water resources for conservation, maintenance, and protection.

Keywords: <ANDEAN ABI BIOTIC INDEX>, <BMWPCOL INDEX>, <INTERSTITIAL WATER>, <SURFACE WATER>, <CATIONS>, <ANIONS>, <MACROINVERTEBRATES>, <WETLAND>.



Ing. Paul Obregón. Mgs

0601927122

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua tanto superficial como subterránea, depende de factores naturales y actividades humanas, ésta se determina comparando las propiedades físicas y químicas con las pautas o estándares establecidas en normativas que nacen de iniciativas para gestionar la seguridad del agua para respaldar la salud pública, promover el desarrollo socioeconómico y el bienestar, por lo tanto el deterioro de la calidad del agua se considera de preocupación mundial debido a que el crecimiento de la población, las actividades agrícolas y la amenaza del cambio climático provocan cambios significativos en el ciclo del agua (Ban, 2013, p. 1).

El agua de poro comúnmente conocida como agua intersticial, consiste en el espacio ocupado entre las partículas de sedimento y actúa como absorbente de contaminantes, ya que algunas de sus características pueden indicar el grado de contaminación en un área, debido a sus propiedades físicas y químicas tales como el flujo de partículas, tiempo de residencia y cantidad de materia orgánica; por tanto, sirve como indicador de impacto ambiental por su capacidad de acumulación metales y compuestos orgánicos (Hernández et al., 2019, p. 409).

Los humedales son considerados como ecosistemas de inundación permanente o temporal de gran valor natural y cultural, por los servicios ecosistémicos que presta para la preservación de la vida animal y vegetal, esto ocurre debido a que presenta suelos arcillosos con elevado contenido de materia orgánica que tiene la capacidad de almacenar grandes cantidades de agua proveniente del deshielo de los glaciares, de la precipitación y del agua subterránea; los humedales sirven principalmente para regular el ciclo hídrico, mejorar la calidad del aire y para proteger la biodiversidad endémica (Barrero et al., 2015, p.7).

La Reserva de Producción Faunística de Chimborazo (RPFCH) constituye el único lugar del Ecuador en donde se encuentran dos nevados cercanos que son el Chimborazo con 6263,47 m.s.n.m. y el Carihuairazo con 5020 m.s.n.m. (Chafra Naula, 2018, p.1); dentro de la reserva se encuentra el humedal del Río Colorado que comprende la zona de estudio analizada, debido a su importancia para el poblado Cunugyacu, mismo que ocupa las vertientes del humedal para el consumo humano y para preservar las especies nativas.

Por tanto, el presente estudio tiene como objetivo determinar la calidad del agua superficial e intersticial de la zona del humedal del Río Colorado en la RPFCH con el auspicio del Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC), para ello se analizó parámetros físicos, químicos y microbiológicos para demostrar la incidencia en la relación

adsorción sodio, la variabilidad multitemporal de cationes y aniones y finalmente la aplicación de índices biológicos, con los cuales se pudo demostrar que la calidad del recurso hídrico es buena, sin embargo, es necesario seguir realizando investigaciones adecuadas que permitan dar un seguimiento y control específico de la calidad del agua de los humedales cercanos para su posterior análisis de su estado con el fin de realizar comparaciones en el tiempo y el espacio.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

La Reserva de Producción de Faunística de Chimborazo (RPFCH) forma parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) desde el año 1987; la cual se encuentra controlada por las autoridades de Tungurahua, Chimborazo y Bolívar. De acuerdo con la investigación de Lozano et al. (2016, p.16), se considera que los humedales naturales presentes en la RPFCH están amenazados principalmente por el desarrollo de actividades humanas como lo es el avance de las fronteras agrícolas, la ganadería y los canales de agua, siendo los procesos e interacciones antropogénicas que se dan en su interior, los que aumentan el riesgo de colapso inminente de estos ecosistemas, la importancia de esta reserva está vinculada a la conservación del ecosistema páramo y los servicios ambientales que provee.

El humedal del Río Colorado nace desde la RPFCH y se accede a este sitio por la vía Ambato-Guaranda desde el poblado denominado Cunugyacu; el recurso hídrico del sitio estudio es captado directamente desde las vertientes y se lo utiliza tanto para consumo humano y para la preservación y mantenimiento de las especies nativas, mientras que sus cauces en zonas más abajo es utilizada con fines agropecuarios, pero éste se encuentra altamente alterado debido a la presencia de ganado, vicuñas y por la construcción de zanjas con el propósito de drenar el agua del humedal hacia los canales de riego de la zona, mismo que no cuenta con ninguna valoración de tratamiento de agua en la actualidad (Calles, 2015, pp.8-18).

1.2 Formulación del problema

Los humedales son hábitats naturales importantes para mitigar el cambio climático por los procesos de mitigación y adaptación que brindan aportes sustanciales para las comunidades aledañas. Por lo tanto, la presente investigación pretende responder la siguiente interrogante: **¿CUÁL ES EL ESTADO ACTUAL DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL E INTERSTICIAL DEL HUMEDAL DEL RÍO COLORADO DE LA RESERVA DE PRODUCCIÓN FAUNÍSTICA DE CHIMBORAZO?**

1.3 Limitaciones y delimitaciones

El estado actual de la calidad del agua superficial e intersticial del humedal del Río Colorado de la Reserva de Producción Faunística de Chimborazo está dado por la selección de puntos de monitoreo establecidos en zonas dentro y fuera del humedal en la época lluviosa que comprende los meses de octubre 2022 – enero 2023.

1.4 Problema general de investigación

La escasez de investigaciones respecto a la calidad del agua de los humedales de páramo pertenecientes a la RPFCH.

1.5 Problemas específicos

La Reserva de producción Faunística de Chimborazo brinda servicios de ecoturismo, en donde no es necesario contar con un guía para acampar o hacer actividades en las faldas del Carihuairazo, por tal motivo algunos turistas terminan contaminando la zona al botar basura o quemar leña; a su vez la reserva es la única área protegida de Ecuador que alberga vicuñas, estos camélidos excretan cerca de las fuentes hídricas, mismas que son usadas para consumo humano y para la preservación y mantenimiento de las especies nativas.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

- Determinar la Calidad del Agua Superficial e Intersticial de la zona del humedal del Río Colorado en la Reserva de Producción Faunística Chimborazo.

1.6.2 Objetivos específicos

- Interpretar la incidencia de los parámetros físicos químicos y microbiológicos en la RAS de aguas superficiales e intersticiales de la zona del humedal del río Colorado.
- Cuantificar la variabilidad multitemporal de la época lluviosa de cationes y aniones del agua superficial e intersticial dentro y fuera del humedal.
- Evaluar la calidad de agua mediante los índices ABI y BMWP/Col en el humedal del Río Colorado.

1.7 Justificación

Los humedales son los ecosistemas más productivos del mundo y desempeñan diversas funciones como el control de inundaciones al actuar como esponjas que acumulan y liberan lentamente el agua de la lluvia, permiten cargar y drenar acuíferos, ayudan a controlar la erosión, retiene sedimentos, proveen servicios de entretenimiento y turismo; por eso actúan como filtros previniendo el aumento de nitritos, los cuales producen eutrofización y almacenan la mayor parte del carbono del suelo a escala mundial; además las relaciones entre el suelo, el agua, las especies animales, las plantas y los nutrientes permiten que los humedales realicen estas funciones y generen vida silvestre, recursos forestales, suministro de agua y energía (Escuer, 2011).

La degradación de los ecosistemas acuáticos ha sido motivo de preocupación a nivel global, lo que está provocando un creciente interés en protegerlos y estudiar sus cambios en el tiempo (ONU, 2019). Para evaluar la calidad del agua del humedal del Río Colorado de la RPFCH, se consideró un análisis de criterios físicos, químicos y biológicos junto con el empleo de índices que otorgan valoraciones de acuerdo con la presencia de familias de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores tolerantes o sensibles a la contaminación que generan resultados rápidos y confiables, con el fin de cuantificar el estado actual del mismo y así beneficiar con aportes científicos a la comunidad Cunugyacu.

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad determinar la calidad de agua para consumo humano, fines agropecuarios y para la preservación y mantenimiento de las especies nativas del humedal del Río Colorado de la RPFCH, considerando los parámetros establecidos en las normas vigentes del Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, REFORMA DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (TULSMA), con el auspicio del Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC), bajo el proyecto “Medios de vida como estrategia para la planificación y gestión en la adaptación basada en ecosistemas - PACHA”, quienes brindarán su asesoría técnica, soporte en muestreos y análisis de laboratorio.

1.8 Hipótesis

1.8.1 Hipótesis nula

La calidad del agua superficial e intersticial del humedal del Río Colorado de la RPFCH es buena, según los índices ABI y BMWP/Col.

1.8.2 Hipótesis alternativa

La calidad del agua superficial e intersticial del humedal del Río Colorado de la RPFCH no es buena, según los índices ABI y BMWP/Col.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

A nivel global, según el estudio de Gardner (2018, pp. 4-12), se establece que los humedales terrestres y costeros del mundo cubren un área de más de 12,1 millones de kilómetros cuadrados, aproximadamente del tamaño de Groenlandia, con un 54 % sujeto a inundaciones frecuentes y un 46 % sujeto a inundaciones estacionales; sin embargo los humedales naturales se mostraron en declive en el período de 1970 y 2015 en donde se redujeron en aproximadamente un 35 %, en contraste, los humedales artificiales, principalmente arrozales y embalses, casi se duplicaron durante este período y ahora representan el 12% del área de humedales, de modo que estos incrementos no compensan la pérdida de humedales naturales.

Los páramos de América del Sur son importantes por su aporte en los ciclos globales y regionales del recurso hídrico, carbono y nutrientes; mismos que han sido reconocidos como puntos de inflexión sensibles al cambio climático; además, debido a sus características tanto geológicas como topográficas, este bioma presenta una dependencia tanto del control y cuidado de las aguas superficiales y subterráneas; como tal, existe una gran preocupación por los cambios en el uso de la tierra que podrían afectar la calidad y disponibilidad del agua, debido a que el funcionamiento de este bioma es complejo y susceptible a estos cambios, se requiere una coordinación entre la comunidad científica, el gobierno y la sociedad (Ochoa Sánchez, 2019).

Los páramos andinos proporcionan recursos hídricos a las poblaciones y ecosistemas de todo el mundo, creando una fuente grande y confiable de agua de alta calidad; las precipitaciones en los páramos suelen ser de moderadas a altas, sin embargo, la contribución real del agua en el sistema hidrológico puede ser alta, la lluvia en el páramo son típicamente de frecuencia de baja y alta intensidad; en definitiva, debido a la producción de agua muchos ríos de páramo proveen un flujo sostenido a través de los años por lo cual es de vital aporte de estos ecosistemas para el pueblo ecuatoriano (Chuncho et al., 2019, p. 75).

Los bofedales al ser humedales de altura, son de una alta productividad para las “vicuñas”, por lo cual son de alto interés económico para el sector, además su valor ecológico y productivo consiste en tener una alta biodiversidad en fauna y flora siendo fundamental para el ciclo del agua en la región, por esta razón su conservación es un valor importante en la gestión de la reserva porque

actúan como barreras de protección frente a ciertos fenómenos y condiciones climáticas como lluvias, cambios térmicos, captura y descarga de aguas esenciales para la biodiversidad (Díaz, 2016, p. 135).

El abastecimiento de agua de humedales y taludes del RPFCH se evidencia en los casi 5 m³/s aprobados por SENAGUA hasta el año 2017 para diversos usos como para el aprovechamiento social. Los servicios principales que brinda el área protegida es la dotación de agua dulce, la cual se obtiene mediante la escorrentía de sus glaciares tanto del Chimborazo y del Carihuairazo, formando así ríos y quebradas, por lo cual se identifican cuatro subcuencas entre las cuales tenemos los ríos Patate, Chambo, Yaguachi y Babahoyo; por lo tanto, a través del acceso al líquido vital para consumo y actividades productivas como industriales, se benefician las comunidades de la reserva como las poblaciones de las ciudades de las provincias aledañas (Romero et al., 2018).

El agua intersticial ubicada en los sedimentos de los humedales se considera un reservorio de contaminantes y se utiliza como indicador de impacto ambiental por su capacidad para acumular metales y compuestos orgánicos; de igual forma, el análisis de contaminantes en agua intersticial es de gran importancia por su biodisponibilidad, mientras que el agua superficial es la acumulación de agua en la superficie del suelo y son una fuente común de consumo y actividades antropogénicas (Hernández et al., 2019, p. 409).

De acuerdo con la investigación de Mattei (et al., 2020, pp. 1-2) la cuantificación de la recarga de aguas subterráneas es fundamental para la gestión sostenible de los recursos hídricos, este enfoque es rápido y preciso y tiene en cuenta la variabilidad existente sin requerir un monitoreo a largo plazo, solo se necesita una campaña de un campo para adquirir el contenido de agua del suelo y los perfiles de profundidad de agua de poro; por lo tanto, confirma que el uso de la huella digital del agua de poro de cuencas hidrográficas sin escalonar es un enfoque adecuado para comprender la variabilidad de recarga espacio-temporal.

2.2 Referencias teóricas

2.2.1 *El agua*

El agua es un compuesto que tiene propiedades únicas, es de gran importancia para la vida, es el más abundante en la naturaleza y tiene un impacto decisivo en los procesos físicos, químicos y biológicos que rigen el medio natural; además de satisfacer las necesidades humanas básicas, el agua contribuye al desarrollo sostenible de otras formas importantes, es una de las principales

fuentes de energía en algunas partes del mundo, mientras que en otras su potencial como fuente de energía permanece sin explotar, a su vez es necesaria para la agricultura y muchos procesos industriales, y en algunos países es una parte esencial de los sistemas de transporte, por tanto los avances en el conocimiento científico han hecho que la comunidad internacional sea más consciente de los valiosos servicios relacionados con el agua que brindan los ecosistemas, desde la prevención de inundaciones hasta la protección contra tormentas y la filtración (ONU, 2015, pp. 34-35).

2.2.1.1 Agua superficial

El agua superficial consiste en el agua que se acumula en la superficie de la tierra, como ríos, lagos, estanques, represas y océanos; es una fuente común de consumo humano y es considerada como una de las más rentables en la agricultura; en cambio a nivel industrial debido a las descargas que hacen en los fuentes de agua se las debe tratar cuidadosamente antes de desecharla, ya que los contaminantes que se acumulan durante el uso del agua pueden causar problemas ambientales para la vida silvestre y problemas de salud (CLEANTEQ, 2020).

2.2.1.2 Agua intersticial

El agua intersticial consiste en el agua que existe naturalmente en los poros de las rocas, es proveniente de los fluidos introducidos en una formación a través de las operaciones de perforación y otras interferencias; mientras que el lodo y el agua de mar, no constituyen al agua intersticial (Schlumberger, 2020).

2.2.1.3 Nivel freático

El nivel freático es conocido por el nombre de manto o capa freática, es la superficie que ocupa el punto donde el agua y la presión atmosférica se igualan; en otras palabras, corresponde al nivel más alto o superior del agua subterránea o acuífero (AGQLABS, 2021).

2.2.2 Parámetros de análisis del agua

De acuerdo con Eustaquio Rojas (2019) el agua es la biomolécula más abundante y también la más importante, la vida tal como la conocemos en la Tierra siempre ha prosperado en un entorno acuoso, incluso los organismos no acuáticos cuyos ambientes internos son de naturaleza hídrica, de hecho, la búsqueda de vida en otros planetas debe incluir la presencia de agua, porque el agua,

independientemente de su estado. Los parámetros de análisis del agua se caracterizan por ciertas propiedades que la distinguen de otros líquidos, la calidad de un medio acuoso determinado por análisis de laboratorio, de los distintos parámetros físicos, químicos y biológicos (Sierra, 2011, p.83).

2.2.2.1 Temperatura

Los cambios en este parámetro en el flujo de agua provocan en el ambiente de desarrollo de la fauna y la flora allí presentes, aumentan el potencial tóxico de algunas sustancias solubles en agua, reducen la cantidad de oxígeno disuelto e inducen condiciones anaeróbicas en la corriente (Sierra, 2011, p.83).

2.2.2.2 Conductividad eléctrica

Indica la presencia de formas ionizadas de sales como cloruro o iones de sodio, puede establecer relaciones con sólidos disueltos en residuos y cuerpos de agua e interpretar los resultados; este es el mejor método indirecto para medir la salinidad, ya que otros métodos son engorrosos e imprecisos (Sierra, 2011, p.83).

2.2.2.3 pH

Se utiliza para expresar la intensidad de la condición ácido o alcalino de una solución, pero no pretende medir la acidez total o la alcalinidad total (Chacón, 2016, p. 52). Este parámetro en su escala logarítmica que va desde 0.0 a 14.0, siendo 7.0 soluciones alcalinas o básicas (Li et al., 2019, p. 114).

2.2.2.4 Sólidos suspendidos totales (SST)

Hacen referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua superficial o residual (Ramírez et al., 2007, p.1) y son a la vez, el tipo de sólidos más importantes de determinar en los estudios de calidad del agua, principalmente porque se utilizan para el cobro de las tasas retributivas y el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales (Sierra, 2011, pp.83).

2.2.2.5 Oxígeno disuelto (OD)

El oxígeno disuelto (OD) es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, el oxígeno es escasamente soluble en el agua y la cantidad real que puede estar presente en una solución está determinada por la solubilidad del gas, presión parcial, temperatura y la pureza del

agua, de manera similar, las concentraciones de OD en aguas naturales depende de las propiedades fisicoquímicas y la actividad bioquímica de los organismos presentes en los cuerpos de agua, lo que hace que el análisis de OD sea una clave importante en el monitoreo de la contaminación del agua natural y en los procesos de tratamiento de las aguas residuales industriales o domésticas (Chacón, 2016, p. 52). La solubilidad del oxígeno en aguas de los ríos depende directamente de variables como la temperatura y salinidad, un ejemplo de esto lo encontramos en ríos fríos donde hay más oxígeno disuelto que la temperatura promedio (Bosch, 1999).

2.2.2.6 Coliformes fecales

Este es un indicador indirecto del riesgo potencial de contaminación con bacterias o virus patógenos, esto se debe a que los coliformes fecales siempre están presentes en las heces humanas y animales (Sierra, 2011, p.83). Los grupos de bacterias intestinales tienen un alto riesgo de causar enfermedades cuando se exponen al ambiente externo y pueden causar síntomas gástricos (Navas, 2017, p. 5).

2.2.2.7 Ión

Un ión se lo define como un átomo o grupo de átomos con carga eléctrica, en otras palabras, existe una diferencia entre el número de protones y el número de electrones que lo constituyen; los iones se los clasifica en dos tipos que son: Los cationes cargados positivamente y los aniones cargados negativamente (Zita, 2018).

2.2.3 Calidad del agua

La calidad del agua puede cambiar debido a factores naturales y externos; cuando los factores externos que deterioran la calidad natural del agua no están relacionados con el ciclo del agua, hablamos de contaminación, es por ello que la prevención, el control y la resolución de los problemas relacionados con la contaminación del agua es uno de los objetivos que debe incluir cualquier política encaminada a mejorar la gestión de los recursos hídricos (Matas, 2000, pp. 196-198).

2.2.3.1 *Bioindicadores*

Los bioindicadores son un grupo de seres vivos o especies que presentan sensibilidad ante las perturbaciones en el ambiente y debido a eso sirven como ayuda para detectar cambios en los ecosistemas causados por la sobreexplotación, la contaminación, el cambio climático, etc., ayudando a establecer fuentes de impacto y señalar posibles acciones; estos bioindicadores permiten realizar una evaluación ecológica y ambiental completa, así como el seguimiento de los ecosistemas, que comprende los programas de restauración y la sostenibilidad de los ecosistemas en el tiempo y el espacio (González, 2014, pp. 27-56). Un bioindicador es un organismo significativamente sensible al ambiente, es decir, un organismo cuya tolerancia a los estresores ambientales ha disminuido y por lo tanto necesita conocer sus límites y se determina de acuerdo a la susceptibilidad a la contaminación como tolerancia, preferencia o intolerancia, porque estos organismos, en asociación con uno o más factores ambientales, cambian de morfología y sufren procesos de bioacumulación para adaptarse a nuevos ambientes o simplemente desaparecen (Rivera et al.,2022).

2.2.3.2 *Bioindicadores acuáticos*

Los ambientes acuáticos albergan animales biológicos como el plancton, macroinvertebrados (poliquetos, moluscos, crustáceos, insectos), peces, aves e incluso reptiles, pero son fáciles de recolectar, manipular e identificar, además, hay mucha información ecológica asociada a ellos (González, 2014, pp. 27-56). Hay muchos organismos acuáticos diferentes que se utilizan para evaluar la calidad del agua, pero no todos los organismos acuáticos pueden considerarse organismos biológicamente integrados debido a las adaptaciones evolutivas a las condiciones ambientales, es por ello que las condiciones ambientales y los límites de tolerancia específicos caracterizan a algunos grupos que pueden considerarse organismos susceptibles en comparación a otros (Rivera et al., 2022).

2.2.3.3 *Macroinvertebrados acuáticos*

Los macroinvertebrados son aquellos organismos con tamaños superiores a 0.5 mm de longitud, que viven en el fondo de los ecosistemas acuáticos y se adhieren a superficies como rocas, troncos y algunos sustratos artificiales (González et al., 2004, p.73). Los macroinvertebrados acuáticos son considerados en la actualidad como los mejores indicadores biológicos de la calidad del agua y esto es debido a su tamaño, su gran distribución y adaptación a diversas variables físico-bióticas. En los últimos años, el concepto de calidad del agua ha evolucionado desde un enfoque

fisicoquímico a un enfoque diferente, que integra todos los elementos de un ecosistema; un organismo se considera un buen indicador de la calidad del agua si se encuentra consistentemente en ecosistemas con características definidas y su población es mayor que la de otros organismos en el mismo hábitat (Lozano, 2005, p.5).

2.2.3.4 Clasificación de los macroinvertebrados acuáticos

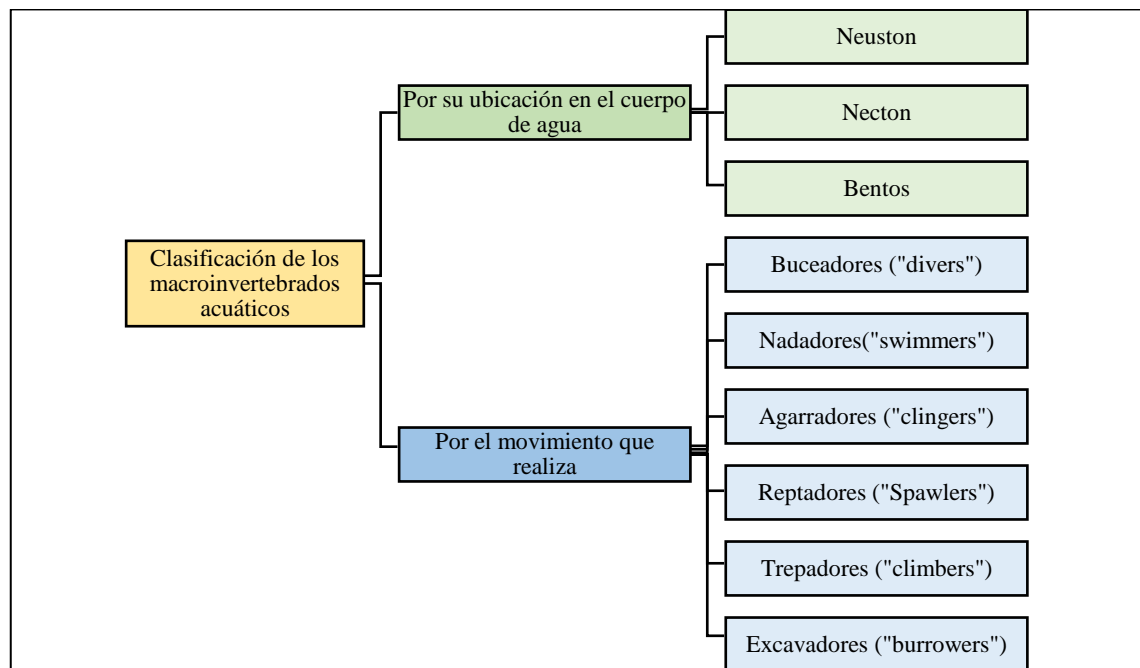


Ilustración 2-1: Clasificación de los macroinvertebrados acuáticos

Fuente: Hanson et al., 2010, pp. 4-7

Según la investigación de Hanson (2010, pp. 4-7) los macroinvertebrados de agua dulce se pueden clasificar en función de dónde se encuentran en el agua y por cómo se mueven, siendo su clasificación la siguiente:

- a. Por su ubicación en el cuerpo de agua:
 - 1) **Neuston:** Se refiere a los organismos que caminan, patinan, saltan y viven en la superficie del agua y entre los representantes se encuentran las familias *Gerridae* y *Mesoveliidae* (Rivera et al.,2022).
 - 2) **Necton:** Está formado por todos los organismos que pueden nadar libremente en el agua y entre sus principales representantes están las familias: *Notonectidae* y *Corixide* (Rivera et al.,2022).

- 3) **Bentos:** Se refiere a los organismos que viven en el fondo de los ríos y lagos, adheridos a rocas, troncos de árboles, restos vegetales y sustratos; los principales órdenes representativos son Brachyptera, Brachyptera, Triptera, Megaloptera y Díptera (Rivera et al.,2022).
- b. Por el movimiento que realiza:
- 1) **Buceadores (“divers”):** son aquellos organismos que obtienen su oxígeno de la superficie del agua, pero bucean o nadan para alimentarse, a menudo pasan su tiempo aferrado a objetos bajo el agua, tienen cuerpos alargados y patas traseras en forma de remo (Hanson et al., 2010, pp. 4-7).
 - 2) **Nadadores (“swimmers”):** se aferran a rocas, tallos de plantas acuáticas u otros objetos bajo el agua; entre ellos, las especies que destacan son: *Baetidae*, *Isonychiidae* y algunas familias *Leptophlebiidae* (Ephemeroptera) (Hanson et al., 2010, pp. 4-7)
 - 3) **Agarradores (“clingers”):** se llaman así porque a menudo habitan en corrientes fuertes durante largos períodos de tiempo y muestran adaptaciones para adherirse al medio, algunos organismos presentan ventosas grandes (larvas de *Psephenidae*; *Heptageniidae*), uñas largas y fuertes (*Dryopidae* y *Elmidae* adultos) (Hanson et al., 2010, pp. 4-7).
 - 4) **Reptadores (“sprawlers”):** son organismos *Ephemeroptera*, *Odonata*, *Plecóptera* y *Trichoptera* que habitan en zonas pequeñas con menos corriente, para movilizarse se arrastran en la superficie de sustratos (Hanson et al., 2010, pp. 4-7).
 - 5) **Trepadores (“climbers”):** habitan en partes sumergidas de plantas acuáticas, pero muchos de ellos no comen plantas; algunos de ellos son considerados como depredadores como las pupas de varias libélulas (*Odonata*) (Hanson et al., 2010, pp. 4-7).
 - 6) **Excavadores (“burrowers”):** viven en madrigueras de sedimentos blandos, por ejemplo, los que construyen túneles son *Polymitarcyidae* (*Ephemeroptera*) y *Ephemeridae*; los que se entierran son *Gomphidae* (*Odonata*) y los excavadores son *Díptera Chironomidae*, almejas y cangrejos (Hanson et al., 2010, pp. 4-7).

2.2.3.5 Índices de biodiversidad

El índice de biodiversidad combina la riqueza de especies y la equidad en un solo valor y se basa en el algoritmo matemático utilizado para describir la riqueza de la diversidad; este indicador es una forma de digital biológico que genera información y métricas sobre la contaminación con base en la integridad del ecosistema, que pueden ser características únicas, multivariadas y biológica; es por eso que, aunque existen muchos indicadores los más comunes son: el índice de

Simpson que representa la probabilidad de tomar muestras de una comunidad de dos individuos aleatorios de la misma especie y el índice de Shannon-Wiener que utiliza una escala logarítmica para examinar tanto la riqueza como la abundancia de especies (Roldán, 2016, pp. 256-260).

2.2.3.6 Índice ABI

El Índice Biológico Andino (ABI) permite la clasificación de la calidad ecológica de un sistema apoyada en el índice BMWP original, para cuencas andinas por encima de los 2000 m.s.n.m., debido a que la elevación limita la distribución y los niveles de los macroinvertebrados, se incluyen menos familias en el ABI, es por esto que dada la efectividad y facilidad de uso de este indicador y la variedad de estudios realizados en países como Perú y Ecuador, se ha convertido en una herramienta ampliamente utilizada para evaluar la calidad del agua (Rivera et al., 2022).

Tabla 2-1: Rangos de calidad sen el Índice Biótico Andino (ABI)

CALIDAD	PUNTUACIÓN
Muy bueno	>96
Bueno	59-96
Regular	35-58
Malo	14-34
Pésimo	<14

Fuente: Rivera et al., 2022

2.2.3.7 Índice BMWP/Col

El índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) utiliza familias de macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos de forma simple y rápida para evaluar la calidad del agua, en donde cuantifica datos basado en la presencia y ausencia de especies; las puntuaciones se asignan una vez por familias, de forma independiente de la cantidad de individuos que se encuentren en las zonas de monitoreos y van puntuadas del 1 al 10 en función de la resistencia o tolerancia de los distintos contaminantes, siendo la valoración 10 la más sensible y 1 el más tolerante; finalmente se suman las valoraciones para calcular el índice y así evaluar el nivel de calidad de agua (Sánchez et al., 2018, pp. 11-19).

Tabla 2-2: Calidad biológica del agua – Índice BMWP/Col

CLASE	CALIDAD	BMWP/Col	SIGNIFICADO	COLOR
I	BUENA	> 150 101 – 120	Aguas muy limpias Aguas limpias	
II	ACEPTABLE	61 – 100	Aguas ligeramente contaminadas	
III	DUDOSA	36 – 60	Aguas moderadamente contaminadas	
IV	CRÍTICA	16 – 35	Aguas muy contaminadas	
V	MUY CRÍTICA	< 15	Aguas fuertemente contaminadas	

Fuente: Sánchez et al., 2018, pp. 11-19

2.2.4 Contaminación del agua

La contaminación del agua se entiende como el acto de introducir sustancias en el agua que alteren su calidad y composición química. Según el criterio de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el agua está contaminada “cuando su composición se altera de tal manera que ya no cumple con los requisitos para el uso previsto en su estado natural” (Guadarrama, 2016, pp. 1-5).

2.2.4.1 Contaminantes del agua

Existen gran variedad de agentes que producen la contaminación del agua y entre los más conocidos están los microorganismos que transmiten enfermedades, estos generalmente llegan al agua por medio de las heces y restos orgánicos que producen personas con infecciones, las sustancias químicas inorgánicas también generan problemas porque en altas cantidades causan daños muy graves en los seres vivos, a su vez, sustancias solubles como nitratos y fosfatos cuando se encuentran en exceso inducen al crecimiento prolongado de algas generando eutrofización de las aguas; otros tipos de contaminantes son los sedimentos y materiales en suspensión que provocan turbidez y finalmente las sustancias radioactivas, debido a que estas se acumulan en la red trófica, alcanzando concentraciones letales que se almacenan en los tejidos vivos (García, 2009, pp. 11-17).

2.2.5 Humedal

Los humedales son ecosistemas en donde la inundación de forma temporal o permanente es un determinante del tipo de bioma, a su vez son considerados como zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres; estos ecosistemas pueden compararse con esponjas en donde a muy poca profundidad hay agua subterránea que fluye o sube a la superficie en momentos específicos, formando lagunas y pantanos habitables (EcoAmérica, 2014).

2.2.5.1 Importancia de los humedales

Los humedales juegan un papel importante en el desarrollo de la Cuenca Andina y otros sistemas hidrológicos a medida que el agua fluye por las laderas del Amazonas hacia las costas del Pacífico y el Caribe; estos humedales mantienen una biodiversidad única y se caracterizan por su flora y fauna endémica; también son refugios y lugares de reproducción para muchas especies que enfrentan problemas de conservación, incluidas aves migratorias, vicuñas, guanacos y chinchillas

etc. Su gran vulnerabilidad está relacionada con causas naturales como sequías y antropogénicas, por ejemplo, agricultura insostenible, sobrepastoreo, minería insostenible en el páramo (Cuello et al., 2020, pp. 134-135).

2.2.5.2 *Funciones del humedal*

La principal función de los humedales es actuar como filtros naturales de agua, esto se debe a que las plantas hidrofílicas de los humedales son almacenadas y liberadas por los tejidos y de esta forma hacen la filtración; en el pasado eran comúnmente drenados porque se consideraban simplemente inundaciones, pero hoy en día se sabe que los humedales representan ecosistemas más grandes y valiosos, pero a pesar de su importancia en todo el mundo están amenazados y estos peligros surgen de actividades como la agricultura intensiva, ganadería y el desarrollo industrial que ocasionan el cambio hidrológico y la degradación (Acosta, 2011).

2.2.6 *Páramos*

El ecosistema denominado páramo, se encuentra localizado en las zonas más altas de los Andes, sobre los 3000 metros, este ecosistema se encuentra rodeado por montañas, poseen lagunas, bosques y pajonales, albergando diversidad de fauna y flora únicos y representativos en el mundo, además presenta poblaciones humanas que padecen de pobreza extrema y que se han adaptado al clima frío para poder subsistir trabajando con los recursos naturales que le brinda el páramo; estas poblaciones presentan una riqueza cultural inigualable que enriquece al mundo, pero lamentablemente por la mala gestión de los recursos en este ecosistema de alta montaña, es que el páramo se ha visto amenazado a tal punto poder desaparecer y consigo perder nuestra identidad (Morales et al., 2006).

2.2.6.1 *Tipos de páramos*

Los páramos de los Andes, se los encuentra en el continente de América del sur, los cuales están constituidos desde Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú, aproximadamente desde los 2900 m de altura hasta 5000 m, siendo visible la nieve en algunos puntos de los Andes; estos ecosistemas de alta montaña tienen grandes áreas de extensión, cubiertas por especies arbustivas como lo son los pajonales, quienes presentan movimientos como oleajes suaves en las laderas de las montañas por los vientos fríos que se generan en la altitud, pero su diversidad es evidente: en el norte hay frailejones (como las del género *Espeletia*), plantas grandes de tallos gruesos, rosetón en la parte superior, que se alzan en un paisaje gigante, agreste y solitario (Shagñay, 2014).

Pero también hay zonas húmedas, nubladas y lluviosas en el sur, especialmente las que se encuentran en las estribaciones orientales de los Andes en Ecuador, siendo las más accesibles Papallacta y Antisana en las montañas orientales, pero quizás las más famosas y salvajes son de la cordillera Llanganates, no solo es extremadamente difícil de acceder, sino que es quizás el único testigo de los esfuerzos fallidos y exitosos de los antiguos cazadores de tesoros cuya cultura escondía la antigua civilización; otra clase de páramos son los “secos” como Chimborazo y Cotopaxi, donde se puede disfrutar de pastizales con poca vegetación, que permiten disfrutar los arenales (Shagñay, 2014).

2.2.6.2 Importancia del páramo

El páramo es un ecosistema típico de los Andes del norte, que comienza a unos 3.500 metros sobre el nivel del mar y culmina en nieve permanente; su flora y fauna son únicas en el mundo porque estos organismos han tenido que adaptarse a una amplia gama de características ecológicas y climáticas; estos servicios incluyen la regulación del flujo de agua limpia y continua hasta el punto más bajo utilizado para riego, agua potable y generación de electricidad, su impresionante paisaje atrae a turistas de todo el mundo, siendo los cambios en el páramo los que afectan tanto a quienes viven allí como a quienes dependen de estos servicios ambientales básicos (Cabezas, 2012). Ante esta realidad, los recursos naturales de los humedales deben ser manejados de acuerdo con las realidades culturales, sociales y ecológicas de la región ecuatoriana, siendo una forma de lograr un manejo curativo sustentable del territorio, la planificación del manejo que involucra la participación de las comunidades que viven en procesos de crecimiento terapéutico en la búsqueda de plantas medicinales, buscando alternativas que aseguren la conservación y uso racional de los recursos naturales en beneficio del presente y futuras poblaciones futuras (Rocha, 2018).

El suelo de los páramos es una mezcla de sustancias volcánicas creadas por las repetidas erupciones de la Cordillera de los Andes y sustancias orgánicas que tardan mucho en descomponerse debido al clima frío: estos suelos son capaces de recolectar y distribuir agua, además ayudan a mitigar el calentamiento de nuestro planeta causado por el impacto de los altos niveles de gases de efecto invernadero como el CO₂ de la industrialización, los vehículos y las personas (PNUD, 2022).

2.2.7 Reserva de Producción Faunística de Chimborazo

La Reserva de Producción de Fauna Chimborazo fue establecida como tal mediante el Acuerdo Interministerial Ministerial N° 437 del 26 de octubre de 1987, abarca una superficie de 58.560

hectáreas ubicadas en los límites de las provincias de Chimborazo, Tungurahua y Bolívar, con altitudes entre 3.800 y 6.310 metros sobre el nivel del mar; el clima es mayoritariamente andino frío, con temperaturas que oscilan entre los 0 y los 10 grados centígrados, variando desde el templado frecuentemente húmedo hasta el templado regularmente seco (Riobamba, 2015).

Esta área fue creada con el objetivo de preservar la viabilidad del ecosistema del páramo y su productividad, proteger y desarrollar los hábitats de camélidos de los Andes, como vicuñas, llamas y alpacas, con parámetros ecológicos que faciliten la crianza de estas valiosas especies y vincularlas a su identidad cultural; de igual forma establece la infraestructura y los servicios necesarios para el estudio del ecosistema del páramo, en particular de los camélidos, con un enfoque en la adquisición de conocimientos y aplicación de técnicas para la crianza de este grupo de especies animales; por ello es necesario que se desarrolle en esta reserva, la recreación y el turismo con alternativas para el uso adecuado del área y a su vez mejorar el nivel de vida de los agricultores que se asientan en la zona brindando asistencia técnica en la crianza y manejo de estas especies (Rivera, 2015).



Ilustración 2-2: Paisaje de la Reserva de Producción Faunística de Chimborazo

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

2.2.7.1 Geología

El volcán Chimborazo, que da nombre a la reserva, alcanza los 6.310 metros sobre el nivel del mar, su base tiene unos 20 kilómetros de diámetro y los observadores siempre pueden ver las laderas del sur de la montaña cubiertas de nieve, mientras que las laderas del norte están en su mayoría ocultas detrás de la niebla y las nubes; el acceso a las laderas es difícil debido a la falta de caminos reconocibles y al clima riguroso, además los suelos de la RPFCH fueron formados a partir de rocas volcánicas, sedimentos y tobas pliocénicas (Castillo Lema, 2019).

2.2.7.2 Hidrología

Como todos los demás nevados, el Chimborazo y el Carihuairazo son grandes reservorios de agua sólida, indispensable para proveer este recurso a humanos, animales y agricultura; en Tungurahua, los ríos Blanco, Colorado, Yatso y Mocha desembocan en el río Ambato, mientras que, en Bolívar es afluente de los ríos Guaranda, Culebrillas, Ganquis, Salinas y Chimbo y Finalmente, la provincia de Chimborazo comprende los ríos Guano, Chimborazo y Chibunga, que son afluentes del río Chambo (Tenelema Caín, 2016).

2.2.7.3 Variabilidad climática

La investigación realizada por Romero et al. (2018) establece que las comunidades que viven en áreas protegidas o cerca de ellas, reconocen que lo que más les afecta es la impredecible variación del clima del sector, lo que dificulta prepararse para eventos climáticos extremos; es por ello que se han identificado tres amenazas climáticas principales, las cuales son: presencia de heladas, fuertes lluvias y continuos días secos; los datos de la estación meteorológica muestran múltiples heladas en la zona, principalmente de julio a diciembre, si bien los registros de los últimos 50 años muestran un ligero aumento de las precipitaciones anuales, estos aumentos se concentran en la estación húmeda de diciembre a mayo y la estación seca a mediados junio y noviembre; en la reserva las lluvias intensas muestran precipitaciones diarias superiores a los 20 mm, lo que permitió detectar un ligero aumento en la zona de Pilahuín (Tungurahua), con mayor ocurrencia de lluvias intensas en febrero y marzo, mientras que Urbina (Chimborazo) experimentó una disminución.

2.2.7.4 Formaciones ecológicas

De acuerdo con (Rivera, 2015) la formación de ecosistemas está determinada por factores climáticos (temperatura, precipitación y humedad) que son interdependientes con factores como la latitud y la pendiente; en la RPFCH están incluidas cinco zonas de vida, según el Sistema de Clasificación de Holdridge los cuales son:

- ***Estepa Montano:*** Esta cubre el 3% de la superficie de las regiones Suroeste y Oeste, se extiende desde los 3.500 m.s.n.m. La temperatura oscila entre 6-12 °C y la precipitación media anual es de 250-500 mm. El área se utiliza principalmente para el pastoreo y la agricultura de mashua (*Tropeolum tuberosum*), melloco (*Basella tuberosa*), Oca (*Oxalis tuberosa*) así como papas, habas y cebollas.
- ***Bosque húmedo Montano:*** Se extiende desde 3.000-3.500 m.s.n.m., cubriendo el 8% del área de la reserva en las regiones fronterizas occidental, noroeste, suroeste, centro, norte y noreste. La temperatura oscila entre 6-12 °C y la precipitación media anual es de 500 a 1000 mm. El área es utilizada para pastoreo y cultivo de mashua, quinua, chocos, habas y melloco.
- ***Bosque húmedo Sub Alpino o Puna:*** La reserva se limita a la parte centro occidental de la región y cubre aproximadamente el 19% del área, su extensión es de 4.000 m.s.n.m. arriba. La temperatura oscila entre 3-6 grados centígrados y la precipitación media anual es de 250-500 mm.
- ***Bosque muy húmedo Sub Alpino:*** Esta cubre el 70% de la totalidad del área de la reserva, abarcando la mitad occidental del área y otra porción de la parte nororiental, se extiende desde los 3.000-4.000 m.s.n.m. Tiene una temperatura entre los 3-6 °C y una precipitación media anual entre los 500-1.000 mm.

2.2.7.5 Fauna

Los grupos más importantes de la reserva son las siguientes especies de camélidos: llama (*Lama glama*) y vicuña (*Vicugna vicugna*), mediante el censo de vicuñas realizado en 2004, se sabe que la población de vicuñas en la RPFCH es de 2.331 y la estrategia para realizar el censo es dividir la distribución regional en tres sectores (Rivera, 2015):

- **Sector 1:** Está constituido por los páramos de Mechahuasca, Carihuairazo, Razuhurco y Rumipamba, en donde existen 1,544 especies de vicuñas en 140 familias, 6 machos solitarios, 7 machos juveniles, formando un total de 706 individuos, promedio 5,98 por grupo, tienen dos hijos. familia.
- **Sector 2:** Incluye los páramos del Arenal, Culebrillas y Río Colorado. En donde se contabilizan aproximadamente 310 vicuñas, en 51 grupos familiares, 3 machos solitarios, 2 machos juveniles, que constituye un total de 8 animales con un promedio de 4,74 animales por cada grupo familiar.
- **Sector 3:** Está constituido por los páramos de El Sinche, Pachancho y Rumipata con sus alrededores. En donde se contabilizaron 477 vicuñas en 33 grupos familiares, con un promedio por grupo familiar de 4,75. La avifauna incluye representantes como el cóndor de los Andes (*Vultur gryphus*), el colibrí estrella ecuatoriana (*Oreotrochilus stella*). El curiquingue (*Phalcoboenus carunculatu*) es una especie abundante cuya forma de vuelo trae tradicionalmente “riqueza” a las comunidades locales, siempre está representado en las fiestas indígenas; otras aves como picos de espada, gorriones y mirlos moradores completan el paisaje del lugar (Hernández et al., 2019, p. 409).

2.2.7.6 Flora

La vegetación presente en la Reserva de Producción Faunística de Chimborazo se compone de especies herbáceas, intercaladas con pequeños arbustos y tiene cuatro hábitats que son: Bosque Siempre Verde Montano Alto, Páramo Seco, Páramo Herbáceo y Gelidofitia (Rivera, 2015).

2.2.7.7 Usos de la tierra

De las 58.560 hectáreas designadas por el estado como RPFCH, el 80% de esta expansión está en manos de 38 organizaciones campesinas, gobiernos locales, cooperativas y asociaciones y un pequeño número de propietarios privados; la organización de agricultores practica cultivos de subsistencia en las áreas de menor elevación de papas, frijoles, cebada, mellocos, ocas y otros productos agrícolas, según la ubicación de la organización; en la parte inferior se planta un pequeño trozo de césped artificial solo para alimentar a cuyes y al ganado cuando están presentes; muchas de estas organizaciones de agricultores tienen pastos comunes que se utilizan de forma limitada para el pastoreo de ovejas, pero siempre están ubicados en elevaciones limitadas y, en la medida de lo posible, estos animales se utilizan para ganarse la vida todos los días (Rivera, 2015).

2.2.7.8 *Servicios ecosistémicos*

Según la investigación de Romero (2018), se identificaron los principales servicios ecosistémicos para la RPFCH, los cuales contribuyen al bienestar de las personas en términos de salud, seguridad alimentaria, ingresos, vivienda e identidad cultural y son los siguientes:

- ***Servicios de aprovisionamiento:*** La reserva brinda el abastecimiento de agua dulce que se obtiene de las escorrentías de los glaciares (Chimborazo y Carihuairazo) que forman ríos y quebradas. Además, se han identificado cuatro subcuencas (ríos Patate, Chambo, Yaguachi y Babahoyo). Las comunidades ubicadas dentro de la reserva, como las poblaciones urbanas de los estados de Bolívar, Chimborazo y Tungurahua son beneficiadas gracias al acceso a líquidos indispensables para el consumo, la industria y las actividades manufactureras.
- ***Servicios de regulación:*** La contribución de RPFCH a la regulación del agua, control de la erosión, regulación del clima y purificación del aire es evidente. Los glaciares afectan directamente la regulación climática local y regional y son reservorios importantes durante la estación seca. La construcción de la reserva es un área importante para la regulación del ciclo del agua, suministro de agua de riego, consumo humano y uso industrial en el área circundante.
- ***Servicios culturales:*** La información cultural disponible en la reserva aborda todos los aspectos relacionados con el uso de los paisajes y la existencia de sitios para la recreación humana, siendo un sitio particularmente importante para el desarrollo del turismo comunitario y de aventura al aprovechar las condiciones escénicas y panorámicas favorecidas por la presencia de glaciares, termas y vegetación.
- ***Bienestar humano:*** Es el resultado de una combinación de bienes y servicios percibidos derivados de la biodiversidad que depende de varios servicios sociales.
- ***Servicios y sistemas sociales:*** Se trata de los beneficios que las personas obtienen del entorno social en el que viven. Los servicios sociales identificados por los actores locales en la reserva y relacionados con el bienestar humano incluyen atención médica, atención a grupos vulnerables, bienestar civil, servicios financieros, conservación de la naturaleza, servicios de turismo, servicios de educación, asistencia para el riego y asistencia técnica agrícola, mercadeo e investigación.

2.3 Base legal

CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR (R.O. NO. 449, 2008/10/20)

Título II Derechos

Capítulo II, Derechos del Buen Vivir, Sección Segunda, Ambiente Sano

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la preservación del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Capítulo VII Derechos de la Naturaleza

Art. 71.- De los derechos de la Naturaleza. – La Naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

Art. 72.- Derecho a la restauración. – La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados.

Art. 73.- El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales. Se prohíbe la introducción de organismos y material orgánico e inorgánico que puedan alterar de manera definitiva el patrimonio genético nacional.

Art. 74.- Derecho a beneficiarse del ambiente. – Las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que le permita el buen vivir. Los servicios ambientales no serán susceptibles de apropiación; su producción, prestación, uso y aprovechamiento serán regulados por el Estado.

Título VII

Régimen del Buen Vivir

Capítulo Segundo: Biodiversidad y recursos naturales

Sección Primera: Naturaleza y ambiente

Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

3) El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales. En caso de duda sobre el alcance de las disposiciones legales en materia ambiental, éstas se aplicarán en el sentido más favorable a la protección de la naturaleza.

LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS, USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA (R.O. 305, 2014/08/06)

Título III

Derechos, Garantías Y Obligaciones

Capítulo III Derechos De La Naturaleza

Art. 64.- Conservación del agua. La naturaleza o Pacha Mama tiene derecho a la conservación de las aguas con sus propiedades como soporte esencial para todas las formas de vida.

Capítulo VI Garantías Preventivas

Sección Primera Caudal Ecológico y Áreas de Protección Hídrica

Art. 78.- Áreas de protección hídrica. Se denominan áreas de protección hídrica a los territorios donde existan fuentes de agua declaradas como de interés público para su mantenimiento, conservación y protección, que abastezcan el consumo humano o garanticen la soberanía alimentaria, las mismas formarán parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas.

La Autoridad Única del Agua, previo informe técnico emitido por la Autoridad Ambiental Nacional y en coordinación con los Gobiernos Autónomos Descentralizados en el ámbito de sus competencias, establecerá y delimitará las áreas de protección hídrica que sean necesarias para el mantenimiento y conservación del dominio hídrico público.

El uso de las áreas de protección hídrica será regulado por el Estado para garantizar su adecuado manejo. El régimen para la protección que se establezca para las áreas de protección hídrica, respetará los usos espirituales de pueblos y nacionalidades. En el Reglamento de esta Ley se determinará el procedimiento para establecer estas áreas de protección hídrica, siempre que no se trate de humedales, bosques y vegetación protectores.

Cuando el uso del suelo afecte la protección y conservación de los recursos hídricos, la Autoridad Única del Agua en coordinación con los Gobiernos Autónomos Descentralizados y las circunscripciones territoriales, establecerá y delimitará las áreas de protección hídrica, con el fin de prevenir y controlar la contaminación del agua en riberas, lechos de ríos, lagos, lagunas, embalses, estuarios y mantos freáticos.

CONVENCIÓN RAMSAR

La Convención de Ramsar actualmente integran 168 partes contratantes (países miembros) y lleva el nombre por la ciudad iraní donde se firmó la convención en 1971; a través de este Acuerdo los Estados miembros se comprometen utilizar todos los humedales sabiamente, designar sitios para su inclusión en la lista de Humedales de Importancia Internacional de la Convención de RAMSAR y preservarlos, la cooperación en materia de humedales transfronterizos y otros intereses comunes; se estima que más del 64% de los humedales del planeta han desaparecido desde 1900 (RAMSAR, 2015, pp. 1-2).

Los sitios Ramsar son designados por la Autoridad Administrativa nacional, responsable de cada país después de cumplir con criterios técnicos y la debida consideración de su importancia relativa, sus objetivos consisten en prevenir, detener y revertir la pérdida y degradación de los humedales, en coordinación con las partes contratantes, los asociados y los socios de la Organización Internacional Asociados (IOA) (RAMSAR, 2015, pp. 1-2).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque de la investigación

El presente proyecto de investigación es cuantitativo debido a que se utilizó la medición de las variables físicas, químicas, microbiológicas y macroinvertebrados del agua superficial e intersticial para su correspondiente análisis estadístico con el propósito de interpretar los datos obtenidos.

3.2 Alcance de investigación

El presente proyecto de investigación servirá como una base para futuras investigaciones en ecosistemas herbazales inundables de páramo en la provincia de Tungurahua, en donde se analizarían las necesidades básicas insatisfechas del humedal encaminadas a incentivar a las comunidades y autoridades de los GADM en el cuidado del ecosistema.

3.3 Diseño de investigación

La secuencia del estudio es longitudinal debido a la recolección de datos multitemporales de cationes y aniones en el periodo de octubre 2022 - enero 2023 en el Humedal del Río Colorado de la RPFCH.

3.3.1 *Según la manipulación o no de la variable independiente*

Es una investigación experimental de tipo cuasi experimental debido a que solo podemos hacer una variación mínima de la variable independiente “Calidad de Agua Superficial e Intersticial” en función de la dependiente “Humedal del Río Colorado”.

3.3.2 *Según las intervenciones en el trabajo de campo*

El trabajo de campo fue un estudio de tipo transversal ya que los muestreos se realizaron una sola vez en los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero, mismos que comprenden la época lluviosa en la zona de estudio.

3.4 Tipo de estudio

El estudio fue de campo dado que se realizó un análisis sistemático del problema en la zona de estudio con el fin de interpretar el estado en el que se encuentra la Calidad del Agua Superficial e Intersticial del Humedal Río Colorado.

3.5 Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra

3.5.1 Localización del área de estudio

El humedal del Río Colorado corresponde al ecosistema herbazal inundable de páramo, ubicado en la zona noroccidental de la RPFCH, perteneciente a la comunidad Cunugyacu y se accede a este sitio por la vía Ambato-Guaranda. El área de estudio está compuesta por dos zonas: dentro (protegida) y fuera (no protegida) del humedal; fuera del humedal, existe la presencia de actividad antropogénica como es la quema de pastizales, excretas de animales cercanas a riachuelos, erosión y compactación del suelo tanto por la presencia de animales (vicuñas, caballos y llamas) como la necesidad de crear caminos para repotenciar el turismo local lo que a su vez trae consecuencias como la generación de basura. La zona dentro del humedal presenta un cercado de alambre de 1,50 m de altura que cubre una extensión de 169.95 hectáreas, el mismo que fue construido por miembros de la comunidad con el propósito de preservar y mantener a las especies nativas y de limitar el ingreso tanto de animales como de personas ajenas al sector. El recurso hídrico del sitio estudio es captado directamente desde las vertientes y se lo utiliza para el consumo humano y fines agropecuarios, mismos que no cuentan con ninguna valoración de tratamiento de agua (Calles, 2015).

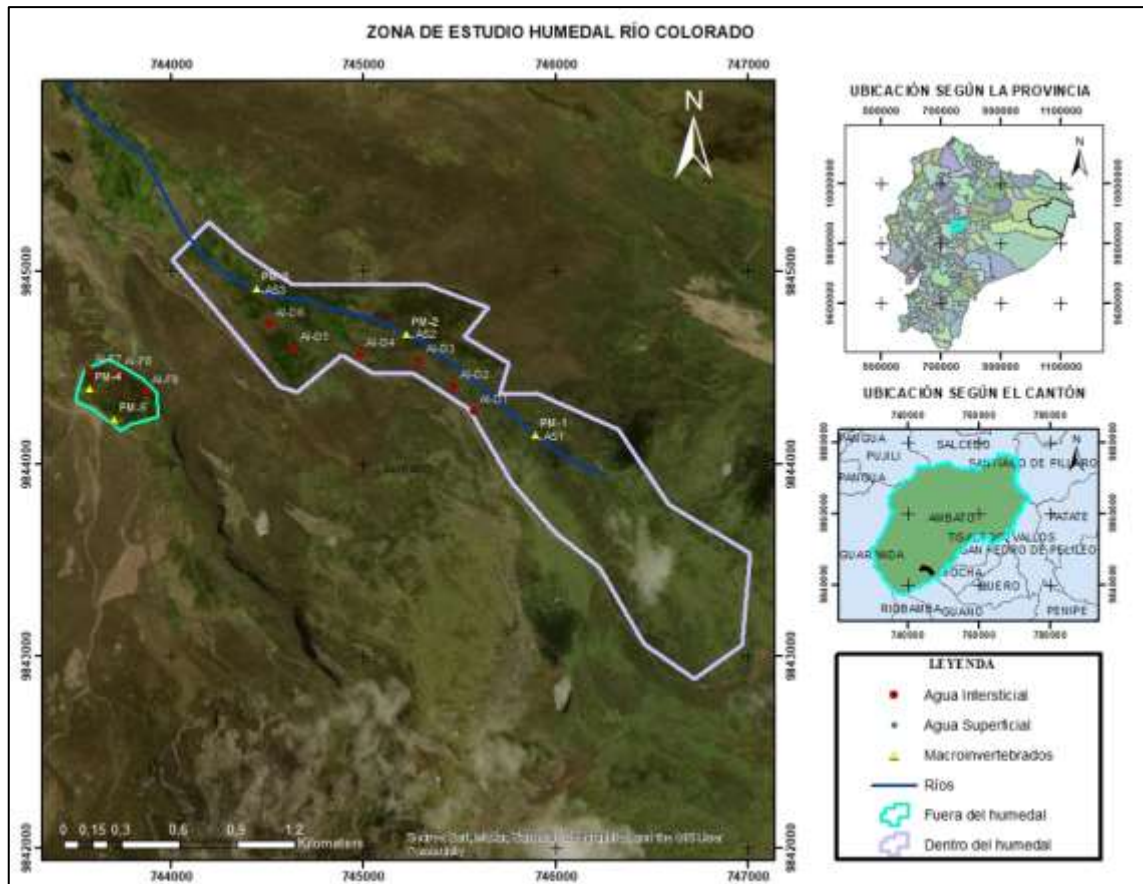


Ilustración 3-1: Zona de estudio

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

3.5.2 Componente abiótico

3.5.2.1 Clima

- Temperatura:** Presenta una temperatura que varía entre 0 y 11°C en la cumbre del Chimborazo y en promedio máximo de 8,81°C en las estribaciones oriental y occidental de la reserva, aunque en el mes de diciembre la temperatura mínima registrada en la RPFCH es de -4,80°C y la máxima de 11,40°C en el mes de noviembre (Fick et al., 2017). Los extremos registrados pueden explicarse por la variación altitudinal al interior de la RPFCH debido a la presencia del volcán Chimborazo y Carihuairazo en su interior; cabe mencionar que en la zona es frecuente que en los días más fríos y húmedos ocurra precipitación en forma de nieve o escarcha en las zonas más altas (INAMHI, 2016).
- Precipitación:** Los registros de los últimos 50 años muestran un pequeño aumento en las precipitaciones anuales y se puede inferir que este aumento se concentra en la estación lluviosa entre diciembre – mayo y la época seca es entre junio – noviembre; se registra que

en promedio anual es de 998 mm con una variación de 809 mm en las zonas menos lluviosas y con 1 300 mm en las zonas más húmedas (MAE, 2013).

- **Humedad relativa:** La humedad en la Reserva Faunística de Chimborazo oscila entre 70 a 85% (Zurita et al., 2020, pp. 81-89).

3.5.2.2 *Suelo*

La formación vegetal es de origen volcánico presentan formaciones de rocas y sedimentos de material volcánico, morrenas y tovas volcánicas pliocénicas que corresponden al tipo histosol pues contienen suelos gruesos con un alto contenido de materia orgánica, almacena grandes cantidades de carbono con un pH ligeramente ácido y carecen de nutrientes minerales (MAG, 2017).

3.5.2.3 *Agua*

El humedal del río colorado nace desde la RPFCH, es una fuente de abastecimiento para la comunidad Cunugyacu de las cual es usada para riego y consumo humano (COCAP, 2011).

3.5.3 *Componente biótico*

3.5.3.1 *Flora*

La vegetación está conformada por especies de tipo herbácea representativa de los ecosistemas de herbazal de páramo allí existen especies de plantas con un 60% de endemismo como: *Polylepis*, *Ginoxis*, *Pumamaqui*, *Quishuar*, *Chuquirahua*, *Romerillo* y *Gentianella* (Romero et al., 2018).

3.5.3.2 *Fauna*

Podemos encontrar alrededor de 16 especies de mamíferos, 61 especies de aves, 4 especies de reptiles y 10 de anfibios cabe mencionar que en los páramos del sector de Mechahuasca-Carihuairazo existen alrededor de 1.544 vicuñas en 140 grupos familiares, obteniendo un promedio de 5.98 animales por grupo familiar, conejos de páramo y curiquirengues (Rivera, 2015).

3.5.4 Componente socioeconómico

En la zona de estudio las condiciones socioeconómicas de la población del páramo mantienen una alta brecha de desigualdad respecto de las zonas urbanas, los altos niveles de pobreza, tanto por consumo (ingreso en dinero) como por necesidades básicas insatisfechas (servicios básicos, salud y educación), hace que la viabilidad social para la conservación del páramo se ponga en riesgo y esté determinada por el apoyo al desarrollo que tengan las comunidades en el área de influencia, que en la actualidad es baja en calidad de vida, la comunidad de Cunugyacu de acuerdo con la COCAP cuenta con una población de 320 habitantes de las cuales tienen actividades de turismo comunitario (COCAP, 2011).

3.5.4.1 Salud

La comunidad Cunugyacu no cuenta con un centro de salud cercano porque se encuentra en un sector rural cercano a la reserva faunística de Chimborazo por lo cual deben de recurrir a los Subcentros más cercanos que son los de Mulanleo y Llangahua (COCAP, 2011).

3.5.4.2 Educación

La educación va encaminada en el desarrollo y crecimiento de la formación del ser humano, por lo cual la comunidad cuenta con un centro educativo denominado "Rio Colorado Alto – Unidad Educativa de Inicial y EGB – Fiscal" se encuentra en la parroquia de Pilahuín en el cantón de la provincia de Tungurahua (COCAP, 2011).

3.5.4.3 Economía

La comunidad presenta actividades de turismo comunitario y el cultivo de papas, ajo y además el criar bovinos, porcinos, ovinos, llamas para su venta (COCAP, 2011).

3.5.5 Población de estudio

Se tomó en consideración la extensión total de 180.21 hectáreas del Humedal del Río Colorado, dividiéndose en la recolección de agua intersticial (poro), agua superficial y macroinvertebrados, correspondientes se consideró el humedal de la comunidad Cunugyacu.

3.5.6 *Tamaño de la muestra*

El tamaño de la muestra comprende 68 unidades experimentales, constituidos en 17 puntos de monitoreo: 9 puntos de agua intersticial de los cuales 6 están dentro del humedal y 3 en la zona fuera del humedal; 3 puntos de agua superficial que corresponden a la zona alta, media y baja del mismo y finalmente 5 puntos de macroinvertebrados.

3.5.7 *Selección de la muestra*

Para la seleccionar los puntos de muestreo:

- Se complementó la selección de los puntos de muestreo con reconocimientos in situ de la zona de estudio.
- Se anularon zonas inundables por la dificultad de acceso para monitorear.
- Se contemplaron lugares con asentamientos y sin asentamientos humanos.
- Los puntos de muestreo fueron Geo Referenciados y validados con GPS, con un rango de error ± 5 m.
- Se anularon zonas que fueran frágiles para la recolección de agua.
- La planificación del trabajo de campo se realizó con varios días de anticipación con el fin de dirigir, guiar y reconocer la zona de muestreo.

En los puntos AI-D1, AI-D2, AI-D3, AI-D4, AI-D5, AI-D6, AI-F7, AI-F8 y AI-F9 se introdujo en el suelo un tubo PVC el cual tiene realizado unas fisuras lineales con el fin de hacer que el agua se introduzca en el tubo sin obstruir el desplazamiento del caudal de las vertientes del agua, en cada tubo se colocó una tapa del mismo material para evitar la contaminación del agua por efecto de la lluvia u otros eventos que puedan alterar la muestra (Casco et al., 2021).

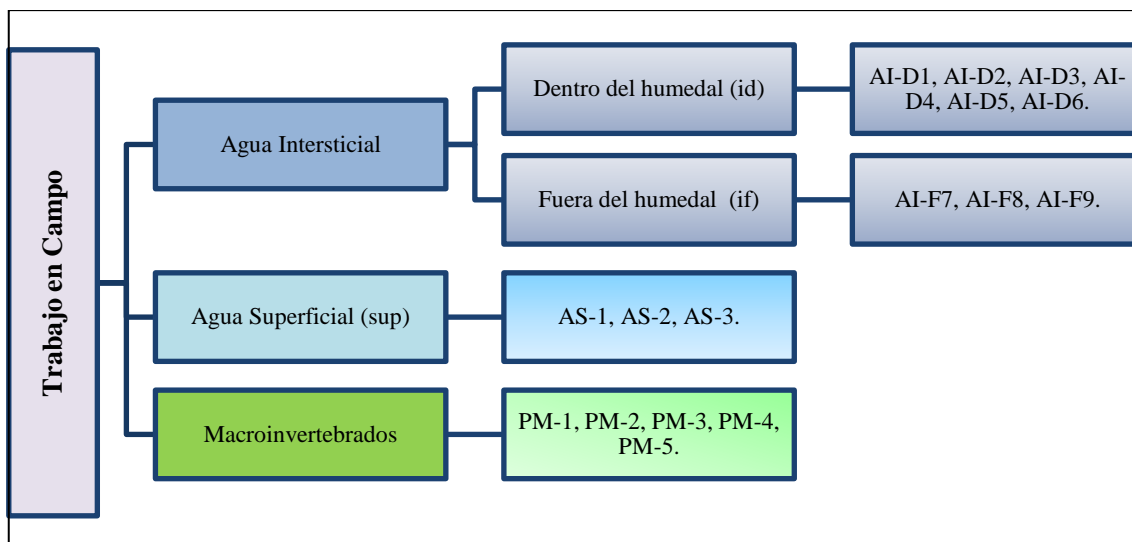


Ilustración 3-2: Determinación de la calidad de agua del humedal

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

3.5.7.1 Descripción de los puntos de monitoreo

Agua intersticial dentro del humedal 1 (AI-D1): Con una altitud de 4096 m.s.n.m, con coordenadas UTM 745580 (X) y 9844273 (Y). Se encuentra ubicado a 48,70 metros de la ruta del Carihuairazo además es una zona transitada por los moradores y turistas podemos encontrar especies de flora como *chuiraguas*, almohadillas; en el sitio se encuentra evidencia de huellas de vicuñas, caballos y además existe presencia de escorrentías del suelo.

Agua intersticial dentro del humedal 2 (AI-D2): Con una altitud de 4337 m.s.n.m, con coordenadas UTM 745473 (X) y 9844402 (Y). El sitio se encuentra ubicado dentro del área cercada que fue realizada por los pobladores de la comunidad, es una zona donde encontramos pequeños riachuelos y diversidad de vegetación además de numerosas almohadillas, el punto monitoreo está ubicada a 54,6 metros del camino al Carihuairazo además es un sitio donde la afectación es mínima y de fácil acceso.

Agua intersticial dentro del humedal 3 (AI-D3): Con una altitud de 4327 m.s.n.m, con coordenadas UTM 745296 (X) y 9844537 (Y). Se encuentra en un área cercada, es una zona donde se evidencia abundante vegetación entre las cuales tenemos almohadillas, diversidad en especies de *calamagrostis*. El punto monitoreo se encuentra está ubicada en donde la afectación se ha mínima y presenta accesibilidad.

Agua intersticial dentro del humedal 4 (AI-D4): Con una altitud de 4310 m.s.n.m, con coordenadas UTM 744986 (X) y 9844567 (Y). Es un sitio que se encuentra a 82,9 metros de

riachuelos que recorre el humedal, presenta especies de vegetación entre las cuales encontramos almohadillas, *calamagrostis*, *phlegmariurus*. El punto de monitoreo se ubica en una zona de fácil acceso y presenta un mínimo daño a este ecosistema.

Agua intersticial dentro del humedal 5 (AI-D5): Con una altitud de 4304 m.s.n.m, con coordenadas UTM 744644 (X) y 9844601 (Y). Se encuentra a 10 metros de zonas inundables existe poca vegetación, pero si diversos riachuelos y pequeñas almohadillas lo que resalta allí es la diversidad de tamaños de *chuquiraguas* y el punto de monitoreo es de fácil accesibilidad.

Agua intersticial dentro del humedal 6 (AI-D6): Con una altitud de 4298 m.s.n.m, con coordenadas UTM 744563 (X) y 9844609 S (Y). Se encuentra a unos 161 metros del camino al Carihuairazo presenta poca vegetación entre las cuales tenemos almohadillas, el punto de monitoreo es accesible y se encuentra en una zona donde la intervención es mínima.

Agua intersticial dentro del humedal 7 (AI-F7): Con una altitud de 4254 m.s.n.m, con coordenadas UTM 743577 (X) y 984448 S(Y). Se encuentra en un sector intervenido por la actividad humana además encontramos vicuñas, patos salvajes, conejos y caballos; en el sector es común divisar heces de los mismos animales encontramos a unos 324 metros del refugio del Carihuairazo y a unos 110 metros del rio, la vegetación se divisa el pajonal, el punto de monitoreo es accesible y alejada de zonas inundables y a 46 metros del antiguo camino que conectaba las tres provincias de Tungurahua, Guaranda y Chimborazo.

Agua intersticial dentro del humedal 8 (AI-F8): Con una altitud de 4269 m.s.n.m, con coordenadas UTM 743735 (X) y 9844472 S (Y). Se encuentra en una zona intervenida por la actividad humana, vicuñas, heces de las mismas, patos salvajes, conejos y además cabalgatas a caballos está a unos 137 metros del refugio del Carihuairazo y a unos 178 metros del rio, la vegetación que se divisa es almohadillas pajonal el punto de monitoreo es accesible.

Agua intersticial dentro del humedal 9 (AI-F9): Con una altitud de 4272 m.s.n.m, con coordenadas UTM 743872 (X) y 9844372 S(Y). Se encuentra en una zona intervenida tanto por la actividad humanan y vicuñas además es común divisar las heces de las mismas, podemos encontrar a 261 metros el refugio del Carihuairazo y a unos 214 metros del rio, la vegetación que se divisa es el pajonal, almohadillas, el punto de monitoreo es accesible y alejada de zonas inundables.

Agua superficial 1 (AS1): Con una altitud de 4308 m.s.n.m, con coordenadas UTM 745924 (X) y 9844126 (Y). Se encuentra en una zona cercana a un lago que es abastecido por los riachuelos, presenta diversidad en vegetación como la presencia de musgo, almohadillas y charcos el punto de monitoreo es accesible y de fácil monitoreo.

Agua superficial 2 (AS2): Con una altitud de 4314 m.s.n.m, con coordenadas UTM 745258 (X) y 9844659 (Y). Se encuentra en una zona donde se divisa el pajonal diversas almohadillas, circulan pequeños riachuelos y está a 213,13 metros del camino al Carihuairazo, el punto de monitoreo es accesible.

Agua superficial 3 (AS3): Con una altitud de 4230 m.s.n.m, con coordenadas UTM 744479 (X) y 9844896 (Y). El sitio se encuentra ubicada en una zona donde se divisa almohadillas, zonas inundables y se encuentra a unos 446,25 metros del camino al Carihuairazo y es de fácil acceso.

Puntos de Macroinvertebrados

Descripción del punto de monitoreo 1 (PM-1): Con una altitud de 4359 m.s.n.m, con coordenadas (UTM 745896 (X) y 9844146 (Y)). Se encuentra dentro la zona conservación, cercano al punto de monitoreo de AS1, en él se ubica un lago que es abastecido por los riachuelos, presenta rocas con musgos que permiten la identificación de macroinvertebrados adheridos a sustratos de accesible y fácil monitoreo.

Descripción del punto de monitoreo 2 (PM-2): Con una altitud de 4297 m.s.n.m, con coordenadas UTM 745226 (X) y 9844676 (Y). Se encuentra dentro de la zona protegida, cercano al punto de monitoreo de AS2, en donde circulan pequeños riachuelos llenos de rocas y sedimentos que permitieron la remoción e identificación de macroinvertebrados.

Descripción del punto de monitoreo 3 (PM-3): Con una altitud de 4246 m.s.n.m, con coordenadas UTM 744447(X) y 9844908(Y). Se encuentra dentro de la zona protegida, cercano al punto de monitoreo de AS3, en donde existe riachuelos que permiten la visualización de macroinvertebrados adheridos a sustratos.

Descripción del punto de monitoreo 4 (PM-4): Con una altitud de 4235 m.s.n.m, con coordenadas UTM 743610 (X) y 9844377 (Y). Se encuentra en la zona intervenida, cercano al punto de monitoreo AI-F7, en donde hay un riachuelo naciente del Chimborazo que brinda condiciones óptimas para remover los macroinvertebrados adheridos a rocas, troncos y sustratos.

Descripción del punto de monitoreo 5 (PM-5): Con una altitud de 4241 m.s.n.m, con coordenadas UTM 743717 (X) y 9844236 (Y). Se encuentra en la zona intervenida, cercano al punto de monitoreo AI-F8, en donde hay un riachuelo naciente del Chimborazo que brinda condiciones óptimas para remover los macroinvertebrados adheridos a rocas, troncos y sustratos.

3.6 Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

3.6.1 Método de muestreo

Se empleó el método de muestreo estratificado debido a que separó en segmentos homogéneos aleatorios, contemplando el hábitat de los macroinvertebrados y la masa de agua superficial e intersticial, basada en criterios obtenidos sobre la accesibilidad y lugares estratégicos en la zona de estudio.

3.6.1.1 Agua intersticial



Ilustración 3-3: Toma de muestras de Agua Intersticial

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

- Se realizó una visita de campo con un GPS y se validaron los puntos geo referenciados; los materiales para la instalación fueron un tubo PVC de 1,5 m de largo y de 4 pulgadas de diámetro, mismos que fueron etiquetados.
- Se preparó el terreno en los puntos establecidos con una hoyadora a una profundidad de 1,3 m y se colocó un tapón.

- En cada monitoreo mensual se retiró el tapón del tubo PVC y se midió la profundidad con un flexómetro desde el borde hasta donde el agua haya subido en el tubo.
- Se recolectó las muestras de agua del nivel freático para la determinación de coliformes fecales en envases de orina y también se guardó muestras en frascos de 1 litro debidamente etiquetados, mismos que fueron puestos a refrigerar en un cooler.
- Se analizaron de manera in situ los parámetros físicos-químicos mediante el equipo multiparámetro, el cual proporcionó resultados de pH, conductividad, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, salinidad, temperatura (° C) aire ambiente y el interior del agua.

3.6.1.2 Agua superficial



Ilustración 3-4: Agua Superficial

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

- Se realizó una visita de campo con un GPS y se ubicaron las coordenadas en sitios estratégicos.
- Se recolectó las muestras de agua para la determinación de coliformes fecales en envases de orina y también se guardó muestras en frascos de 1 litro debidamente etiquetados, mismos que fueron puestos a refrigerar en un cooler.

- Se analizaron de manera in situ los parámetros físicos-químicos mediante el equipo multiparámetro, el cual proporcionó resultados de pH, conductividad, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, salinidad, temperatura (° C) aire ambiente y el interior del agua.

3.6.2 Determinación del índice ABI y BMWP/Col

3.6.2.1 Muestreo de macroinvertebrados

La determinación de los puntos de muestreo se realizó dentro del río que pasa por el humedal contando diferentes aspectos, como altitud, cercanía a poblaciones y actividades antrópicas que influyeran en la calidad del agua, ausencia de asentamientos, vías de acceso y cercanía a la desembocadura de otro cuerpo de agua (Déley et al., 2016). Para el monitoreo de los macroinvertebrados acuáticos se tomaron 5 muestras aleatorias a lo largo de un transecto de 1844 metros con una red tipo D de 50cm de abertura, haciendo énfasis en la zona bentónica conformada por el tipo de sustrato, sedimentos, hojarasca y troncos; finalmente las muestras recolectadas se colocaron en una bandeja blanca que facilitó la visualización y captura de los macroinvertebrados con ayuda de pinceles.

3.6.2.2 Colecta de macroinvertebradas in situ

Del sedimento

- El muestreo se ejecutó removiendo el sustrato con el pie, de modo que los sedimentos que se encuentran en el fondo del río sean levantados y capturados en la red colocada a contracorriente.
- En una charola blanca con un pincel se removió poco a poco el sedimento, por lo cual se extrajeron los macroinvertebrados presentes, mismos que fueron guardados en tubos eppendorf con contenido de alcohol al 70% con la ayuda de pinzas metálicas y pinceles finos (Rivera et al.,2022).

De rocas

- Las rocas grandes se levantaron para obtener macroinvertebrados de tipo reptadores o agarradores y con la pinza metálica se los recolectó; en cambio, para pequeñas y medianas

piedras y troncos, se los colocó en bandejas para proceder a lavarlos y lograr recolectar los macroinvertebrados; para luego colocarlos en tubos eppendorf con alcohol al 70% debidamente etiquetados (Déley et al., 2016).

3.6.2.3 Procedimiento en laboratorio de identificación de macroinvertebrados

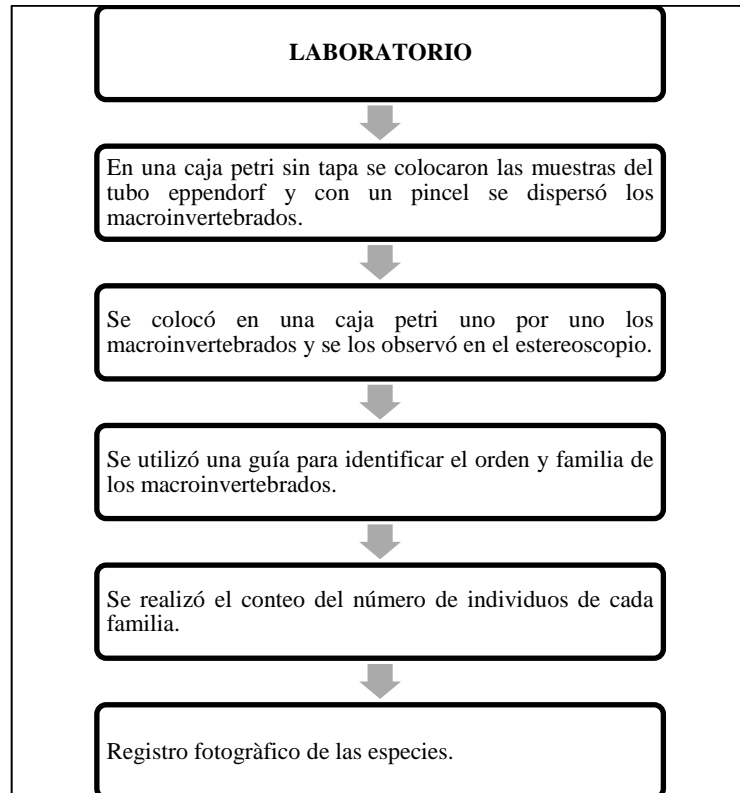


Ilustración 3-5: Instrucciones en laboratorio de identificación de macroinvertebrados.

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

3.6.2.4 Ponderación de las familias de macroinvertebrados

Se realizó la identificación de macroinvertebrados acuáticos por familias, con su correspondiente puntaje asignado tanto en el índice ABI como en el BMWP/Col, como se puede ver en las siguientes tablas.

Tabla 3-1: Puntajes establecidos de familias de macroinvertebrados acuáticos por índice ABI

ORDEN	FAMILIA	PUNTOS	ORDEN	FAMILIA	PUNTOS
TRICLADIDA	<i>Planariidae</i>	5	TRICHOPTERA	<i>Helicopsychidae</i>	10
HIRUDINEA		3		<i>Calamoceratidae</i>	10
OLIGOCHAETA		1		<i>Odontoceridae</i>	10
GASTROPODA	<i>Ancylidae</i>	6		<i>Leptoceridae</i>	8
	<i>Physidae</i>	3		<i>Polycentropodidae</i>	8
	<i>Hydrobiidae</i>	3		<i>Hydroptilidae</i>	6
	<i>Lymnaeidae</i>	3		<i>Xiphocentronidae</i>	8
	<i>Planorbidae</i>	3		<i>Hydrobiosidae</i>	8
BIVALVIA	<i>Sphaeriidae</i>	3		<i>Glossosomatidae</i>	7
AMPHIPODA	<i>Hyalellidae</i>	6		<i>Hydropsychidae</i>	5
OSTRACODA		3	<i>Anomalopsychidae</i>	10	
HYDRACARINA		4	<i>Philopotamidae</i>	8	
EPHEMEROPTERA	<i>Baetidae</i>	4	<i>Limnephilidae</i>	7	
	<i>Leptophlebiidae</i>	10	COLEÓPTERA	<i>Ptilodactilidae</i>	5
	<i>Leptohyphidae</i>	7		<i>Lampyridae</i>	5
	<i>Oligoneuridae</i>	10		<i>Psephenidae</i>	5
ODONATA	<i>Aeshnidae</i>	6		<i>Scirtidae</i>	5
	<i>Gomphidae</i>	8		<i>Staphylinidae</i>	3
	<i>Libellulidae</i>	6		<i>Elmidae</i>	5
	<i>Coenagrionidae</i>	6		<i>Dryopidae</i>	5
	<i>Calopterygidae</i>	8		<i>Gyrinidae</i>	3
<i>Polythoridae</i>	10	<i>Dytiscidae</i>		3	
PLECÓPTERA	<i>Perlidae</i>	10		<i>Hydrophilidae</i>	3
	<i>Gripopterygidae</i>	10	<i>Hydraenidae</i>	5	
HETERÓPTERA	<i>Veliidae</i>	5	LEPIDÓPTERA	<i>Pyalidae</i>	4
	<i>Gerridae</i>	5	DIPTERA	<i>Blepharoceridae</i>	10
	<i>Corixidae</i>	5		<i>Simuliidae</i>	5
	<i>Notonectidae</i>	5		<i>Tabanidae</i>	4
	<i>Belostomatidae</i>	4		<i>Tipulidae</i>	5
	<i>Naucoridae</i>	5		<i>Limoniidae</i>	4
				<i>Ceratopogonidae</i>	4
		<i>Dixidae</i>		4	
		<i>Psychopodidae</i>		3	
		<i>Dolichopodidae</i>		4	
		<i>Stratiomyidae</i>		4	
		<i>Empididae</i>	4		
		<i>Chironomidae</i>	2		
		<i>Culicidae</i>	2		
		<i>Muscidae</i>	2		
		<i>Ephydriidae</i>	2		
		<i>Athericidae</i>	10		
		<i>Syrphidae</i>	1		

Fuente: (Toledo Basantes, 2015)

Tabla 3-2: Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col

Familia	Puntaje
<i>Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hidridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.</i>	10
<i>Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae</i>	9
<i>Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae</i>	8
<i>Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyaellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae</i>	7
<i>Aeshnidae, Ancylidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.</i>	6
<i>Belostomatidae, Gelastocoridae, Hydropsychidae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae.</i>	5
<i>Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolycopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydraenidae, Hydrometridae, Noteridae</i>	4
<i>Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae</i>	3
<i>Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae</i>	2
<i>Tubificidae</i>	1

Fuente: (Sánchez et al., 2018, pp. 11-19).

3.6.3 Determinación de índices biológicos

Análisis de macroinvertebrados mediante el programa “PAST”

De acuerdo con Reyes (2014), PAST es un paquete gratuito que sirve para el análisis de datos, gráficos, procesamiento de datos, análisis descriptivo, análisis inferencial, multivariante y especializado de ecología. En nuestro caso analizaremos los datos mediante el índice de Dominancia, Shannon, Margalef y Simpson junto con el índice de similaridad de Jaccard, la gran mayoría de los métodos propuestos se refieren a la diversidad de las especies dentro de las comunidades alfa (la diversidad alfa es la riqueza de especies de una comunidad particular a la que consideramos homogénea) por ejemplo, se analizó las especies de macroinvertebrados presente en el humedal del Río Colorado.

3.6.3.1 Índice de Margalef

Es un índice de riqueza específica, estima la biodiversidad de una comunidad con base a la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies en función del número de

individuos existentes en la muestra analizada, valores menores a 2,00 denotan una baja riqueza de especies y por el contrario valores cercanos a 5,00 o superiores reflejan una riqueza de especies alta (Hammer, 2018).

$$Mg = \frac{S-1}{\ln(n)} \quad (\text{Ec. 1-3})$$

Donde:

S= número de especies

n= número total de individuos

3.6.3.2 Índice de Dominancia

Tienen en cuenta las especies que están mejor representadas (dominan) sin tener en cuenta las demás, presenta rangos de 0 a 1, en donde valoraciones cercanas a 0 significan que todas las especies están igualmente presentes, mientras que valores cercanos a 1 significan que una especie domina completamente la comunidad (Hammer, 2018).

$$D = \sum \left(\frac{n_i}{n} \right)^2 \quad (\text{Ec. 2-3})$$

Donde:

n = es el número de individuos de la especie i

3.6.3.3 Índice de Simpson

Es un índice de equidad, este índice manifiesta la probabilidad de que los individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie, es una medida de equidad que tiene un rango de 0 a 1 (Hammer, 2018).

$$\lambda = \sum p_i^2 \quad (\text{Ec. 3-3})$$

Donde:

p_i = abundancia proporcional de la especie I, es decir, el número de individuos de especie i individuo entre número total de individuos de la muestra.

3.6.3.4 Índice de Shannon

Es un índice de equidad que busca medir la diversidad de especies, considerando la uniformidad de las mismas. Es una aplicación de la teoría de la información y se basa en la idea de que la mayor diversidad corresponde a una mayor incertidumbre en elegir de manera aleatoria a una especie en específico, varía de 0 para las comunidades con solo un solo taxón a valores altos de 5 para las comunidades con muchas especies, aunque su valor normal está entre 2 y 3; valores inferiores a 2 se consideran bajos y superiores a 3 son altos (Gelambi, 2018).

$$H = -\sum \frac{n_i}{n} \cdot \ln \frac{n_i}{n} \quad (\text{Ec. 4-3})$$

Donde:

i = calculada como el peso seco de la especie, dividido, a su vez por el peso seco total en la muestra.

3.6.3.5 Índice de Jaccard

Es un método cualitativo para medir la diversidad beta, relaciona el número de especies compartidas con el número total de especies exclusivas. Sus rangos de valores se encuentran desde 0 a 1, el cero indica que no existen especies coincidentes, mientras que el 1 indica que todas las especies son coincidentes (Toledo Basantes, 2015).

$$JC = \frac{c}{(A+B-C)} \quad (\text{Ec. 5-3})$$

Dónde:

A: Número de especies presentes en el sitio A

B: Número de especies presentes en el sitio B

C: Número de especies compartidas por ambos sitios A y B

3.7 Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua

Para la determinación de las propiedades físico-químicas de las muestras de agua superficial e intersticial del humedal, se utilizó un multiparámetro Water Quality Meter modelo AZ-86031, para examinar pH, temperatura (°C), oxígeno disuelto (mg/L) y conductividad eléctrica (µS/cm) y un analizador portátil de agua marca Walfont para el parámetro de sólidos suspendidos (mg/L); ambos equipos siempre deben ser calibrados antes de su correspondiente uso con soluciones

buffer brindadas por el fabricante para que exista la máxima precisión en los datos obtenidos de cada muestra y por último se utilizó placas de cultivo microbiano “Compact Dry” para inocular las muestras de agua y ver la presencia de unidades formadoras de colonias de coliformes fecales (UFC).

3.7.1 Metodología para la determinación de aniones

La determinación de aniones en las muestras de agua superficial e intersticial del humedal se realizó con un medidor multiparamétrico de ión específico HANNA C200 con sus respectivos Kits de reactivos de intervalo bajo para la cuantificación de Fosfatos (PO_4^{3-}), Nitritos (NO_2^-) y Nitratos en 10 mL de agua de cada muestra y para la determinación de Sulfatos (SO_4^{2-}) se utilizó su kit de reactivo Hanna en un espectrofotómetro ultravioleta visible modelo GENESYS™ 10S UV/Vis con una longitud de onda de 466 nm.

Tabla 3-3: Procedimiento para la determinación de aniones

	PROCEDIMIENTO
ADECUACIÓN DE LAS MUESTRAS	I. Filtrar las muestras de agua superficial e intersticial en una bomba de vacío con papel filtro. II. Ubicar las muestras de agua filtradas, en recipientes debidamente etiquetados de los puntos de monitoreo.
MULTIPARÁMETRO HANNA	PROCEDIMIENTO
Nitrato (NO_3^-)	1. Se llenan 2 viales de 10mL con la primera muestra de agua (llenar hasta la línea de referencia). Se debe asegurar que los viales estén secos y libres de huellas, limpiándolos con un paño. 2. De los dos viales llenos, uno de ellos se lo ubica en el Multiparámetro HANNA con su tapa cerrada, se selecciona el código específico para el análisis de ese anión de bajo rango dentro del equipo para luego presionar la tecla ‘zero’. El medidor mostrará “-0-” cuando esté listo para realizar la lectura. 2.1. Retirar el vial, botar la muestra y proceder a lavarlo con agua ultrapura 3. Utilizar el segundo vial de 10mL de la misma muestra de agua y esta vez añadir un paquete del reactivo a utilizarse (<i>Nitrato</i>). 3.1. Usar tijeras para cortar el paquete de reactivo por las líneas de referencia. 3.2. Presionar las puntas del empaque para formar un embudo y verter el contenido de este dentro del segundo vial. 4. Colocar la tapa al vial y mezclar con agitación vertical por 10 segundos y adicional invertir suavemente con movimientos de 50 segundos, teniendo cuidado de no crear burbujas hasta que el contenido del polvo se disuelva completamente. 5. Poner el vial dentro del multiparámetro HANNA, con el mismo código específico del anión a analizarse. 6. Acceder al menú de temporizador del equipo, presionar ‘START’ y esperar la cuenta regresiva de 4 minutos y 30 segundos. 7. Presione la Tecla READ para iniciar la lectura. El equipo mostrará el resultado en mg/L de nitrógeno amoniacal (NO_3^- -N). 8. Registrar los resultados obtenidos.

	<ol style="list-style-type: none"> 9. Repetir los mismos pasos con las demás muestras de agua superficial e intersticial para la determinación de <i>nitratos</i> y apuntar los resultados.
Nitrito (NO_2^-)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se llenan 2 viales de 10mL con la primera muestra de agua (llenar hasta la línea de referencia). Se debe asegurar que los viales estén secos y libres de huellas, limpiándolos con un paño. 2. De los dos viales llenos, uno de ellos se lo ubica en el Multiparámetro HANNA con su tapa cerrada, se selecciona el código específico para el análisis de ese anión de bajo rango dentro del equipo para luego presionar la tecla 'zero'. El medidor mostrará "-0-" cuando esté listo para realizar la lectura. <ol style="list-style-type: none"> 2.1. Retirar el vial, botar la muestra y proceder a lavarlo con agua ultrapura 3. Utilizar el segundo vial de 10mL de la misma muestra de agua y esta vez añadir un paquete del reactivo a utilizarse (<i>Nitrito</i>). <ol style="list-style-type: none"> 3.1. Usar tijeras para cortar el paquete de reactivo por las líneas de referencia. 3.2. Presionar las puntas del empaque para formar un embudo y verter el contenido de este dentro del segundo vial. 4. Colocar la tapa al vial y mezclar con agitación por 15 segundos cuidado de no crear burbujas hasta que el contenido del polvo se disuelva completamente. 5. Poner el vial dentro del multiparámetro HANNA, con el mismo código específico del anión a analizarse. 6. Acceder al menú de temporizador del equipo, presionar 'START' y esperar la cuenta regresiva de 15 minutos. 7. Presione la Tecla READ para iniciar la lectura. El equipo mostrará el resultado en $\mu\text{g/L}$ de Nitrógeno-Nitrito ($\text{NO}_2\text{-N}$) 8. Registrar los resultados obtenidos. 9. Repetir los mismos pasos con las demás muestras de agua superficial e intersticial para la determinación de <i>nitritos</i> y apuntar los resultados.
Fosfato (PO_4^{3-})	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se llenan 2 viales de 10mL con la primera muestra de agua (llenar hasta la línea de referencia). Se debe asegurar que los viales estén secos y libres de huellas, limpiándolos con un paño. 2. De los dos viales llenos, uno de ellos se lo ubica en el Multiparámetro HANNA con su tapa cerrada, se selecciona el código específico para el análisis de ese anión de bajo rango dentro del equipo para luego presionar la tecla 'zero'. El medidor mostrará "-0-" cuando esté listo para realizar la lectura. <ol style="list-style-type: none"> 2.1. Retirar el vial, botar la muestra y proceder a lavarlo con agua ultrapura 3. Utilizar el segundo vial de 10mL de la misma muestra de agua y esta vez añadir un paquete del reactivo a utilizarse (<i>Fosfato</i>). <ol style="list-style-type: none"> 3.1. Usar tijeras para cortar el paquete de reactivo por las líneas de referencia. 3.2. Presionar las puntas del empaque para formar un embudo y verter el contenido de este dentro del segundo vial. 4. Colocar la tapa al vial y mezclar con agitación por 2 minutos, teniendo cuidado de no crear burbujas hasta que el contenido del polvo se disuelva completamente. 5. Poner el vial dentro del multiparámetro HANNA, con el mismo código específico del anión a analizarse. 6. Acceder al menú de temporizador del equipo, presionar 'START' y esperar la cuenta regresiva 3 minutos.

	<ol style="list-style-type: none"> 7. Presione la Tecla READ para iniciar la lectura. El equipo mostrará el resultado en mg/L de Fosfato (PO_4^{3-}). 8. Registrar los resultados obtenidos. 9. Repetir los mismos pasos con las demás muestras de agua superficial e intersticial para la determinación de <i>fosfatos</i> y apuntar los resultados.
ESPECTOFOTOMETRO UV-V	PROCEDIMIENTO
Sulfatos (SO_4^{2-})	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se enciende el Espectrofotómetro UV-V y se lo ajusta con una longitud de onda de 466nm para hacer lecturas del anión <i>sulfato</i>. 2. Se llena 1 celda con la primera muestra de agua (llenar hasta la línea de referencia) que represente un 'blanco'. Se debe asegurar que la celda esté seca, libre de huellas y limpia con un paño. 3. Poner la celda 'blanco' dentro del equipo, esperar 15 segundos y registrar el valor que se muestra en la pantalla. 3.1. Retirar la celda del equipo, botar la muestra y lavar con agua ultrapura 4. Llenar un vial de 10mL con la misma primera muestra de agua (llenar hasta la línea de referencia) Se debe asegurar que el vial esté seco, libre de huellas y limpio con un paño. 5. Añadir al vial un paquete del reactivo a utilizarse (<i>Sulfato</i>). 6. Usar tijeras para cortar el paquete de reactivo por las líneas de referencia. 7. Presionar las puntas del empaque para formar un embudo y verter el contenido de este dentro del segundo vial. 8. Colocar la tapa al vial y mezclar con agitación por 1 minuto con 30 inversiones del frasco, teniendo cuidado de no crear burbujas hasta que el contenido del polvo se disuelva completamente. 9. Poner el vial dentro del espectrofotómetro a la misma longitud de onda establecida en un inicio. 10. Acceder al menú de temporizador del equipo, presionar 'START' y esperar la cuenta regresiva 2 minutos. 11. Presione la Tecla READ para iniciar la lectura. El equipo mostrará el resultado en mg/L de Sulfato (SO_4^{2-}).

Fuente: (HANNA, 2019)

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

3.7.2 Metodología para la determinación de cationes

3.7.2.1 Espectrofotometría de absorción atómica

En la espectrofotometría de absorción atómica de llama, la muestra se introduce en una llama y se atomiza, un haz de luz pasa a través de la llama y golpea un monocromador y un detector que mide la cantidad de luz absorbida por los elementos atomizados dentro de la llama; para algunos metales, la absorción atómica es más sensible a la emisión de llamas, dado que cada metal tiene su propia longitud de onda de absorción, se utilizan lámparas de fuente de luz que contienen este elemento, esto hace que el método esté relativamente libre de radiación e interferencia espectral; la cantidad de energía de una longitud de onda característica absorbida por la llama es directamente proporcional a la concentración del elemento en la muestra en un rango de concentración limitado (Gallegos et al., 2012).

3.7.2.2 *Determinación de sodio, potasio, calcio y magnesio*

La determinación de los cationes se realiza en este caso con un rango de pH del agua entre 6-7.

Procedimiento

1. Filtrar al vacío, el filtrado recoger en valones volumétrico de 100mL.
2. En 75mL de muestra de cada punto de monitoreo, se agrega 25mL de la solución 1Molar en un matraz de aforo de 100mL.
3. Se agita la mezcla y se deja reposar por 30 minutos.
4. Esta mezcla realizada es utilizada para la determinación de cationes por absorción atómica de flama.

Determinación

La transmitancia se interpreta desde el espectrofotómetro de absorción atómica, usando una curva previamente calibrada donde el estándar más alto es de 50 mg/L (ppm) Ca^{2+} , Na^{1+} , K^{1+} , Mg^{2+} , los estándares de los cationes han recibido el mismo tratamiento que las muestras, de tal forma que las concentraciones utilizadas fueron desde 50 mg/L, 40 mg/L, 30 mg/L, 15 mg/L, 5 mg/L respectivamente; se utiliza una flama que contiene como composición química, óxido nitroso-acetileno para cada una de las lecturas correspondientes de cationes; si se superaran las lecturas del rango del espectro, se debe diluir la muestra del extracto original con una micropipeta, se toma 2 mL de filtrado y 50 mL de gua ultrapura dependiendo del rango de lectura (Gallegos et al., 2012).

3.8 Materiales, equipos y reactivos

Tabla 3-4: Materiales, equipos y reactivos utilizados in situ y ex situ del área de estudio.

	MATERIALES	EQUIPOS	REACTIVOS
IN SITU			
Toma de muestra de Agua intersticial	<ul style="list-style-type: none"> • 9 Tubos PVC de 4 pulgadas con una altura de 1.50 metros con rendijas en su base. • 1 Flexómetro • 1 Tarrina • 1 Agenda • 1 Palo con base de botella con función de cucharón 	GPS	Soluciones Buffer
Toma de muestra de Agua superficial	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Cooler • 3 Frascos de 1 L • 1 Balde • 1 Rotulador 	Multiparámetro	
Toma de muestra de coliformes fecales	<ul style="list-style-type: none"> • 12 Frascos de orina • Rotulador 		—
Toma de muestra de macroinvertebrados	<ul style="list-style-type: none"> • 2 Bandejas blancas • 4 Pinceles de cuerdas suaves • 1 Paquete de Tubos Eppendorf (50 unidades) • 5 Tubos Falcon de 15 mL • Pinzas • Baldes • Cedazo o colador • Red tipo D 	GPS	Alcohol al 75%
EX SITU			
Aniones	<ul style="list-style-type: none"> • Muestras de agua superficial e intersticial (filtradas) • Viales • Agua destilada y ultrapura • Piseta • Pipetas plásticas • Tijeras • Paños 	<ul style="list-style-type: none"> • Multiparámetro HANNA • Espectrofotómetro UV-V 	Sobres de aniones HANNA
Cationes	<ul style="list-style-type: none"> • Muestras de agua superficial e intersticial (filtradas) • Agua destilada y ultrapura • Balones de aforo 	<ul style="list-style-type: none"> • Espectrofotometría de absorción atómica 	Estándares de Calcio, Magnesio, Potasio y Sodio.
Análisis de coliformes fecales	<ul style="list-style-type: none"> • Cajas compact Dry 	<ul style="list-style-type: none"> • Incubadora 	—
Identificación de macroinvertebrados	<ul style="list-style-type: none"> • Cajas Petri • Pinceles • Pinzas • Tubos Eppendorf • Tubos Falcon • Guía de identificación de macroinvertebrados • Computadora 	<ul style="list-style-type: none"> • Estereoscopio 	Alcohol al 75 y 95%

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

3.9 Fase de análisis de datos

Se estableció el diseño experimental con dos modelos lineales, uno para cada hipótesis con el fin de evaluar la calidad del agua superficial e intersticial de la zona del humedal del Río Colorado en la Reserva de Producción Faunística Chimborazo. En primer lugar, se probó la hipótesis de que existe diferencias en la relación de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos con la relación adsorción de sodio (RAS) según si el agua analizada es intersticial de la zona protegida, intersticial de la zona no protegida y de agua superficial; para ello el diseño experimental fue multivariante y constó de 1 factor: Tipo de agua (fijo y ortogonal con 3 niveles). Para el análisis se utilizaron 16 variables incluyendo al RAS con un modelo balanceado de $n=12$ réplicas por nivel y un total de 36 muestras; con el siguiente modelo lineal:

$$X_a = \mu + T_a + e_{n(a)} \quad (\text{Ec. 7-3})$$

Donde:

T: factor tipo de agua

Se realizó el test de componentes principales PCA con datos estandarizados y una correlación de Spearman mediante el programa R Commander, posteriormente se ejecutó un análisis multivariado permutado de la varianza PERMANOVA con datos estandarizados y distancia de medida por disimilaridad de Bray-Curtis haciendo uso del Software Permanova 6, para la relación de la RAS con las variables físicas, químicas y microbiológicas. Además, se realizó un PERMANOVA aparte para la RAS y el nivel freático con el mismo modelo lineal pero únicamente con dos niveles = agua intersticial de la zona protegida y agua intersticial de la zona no protegida.

A continuación, para revisar la variabilidad de cationes y aniones temporalmente en el agua se probó la hipótesis de que existe diferencias en las concentraciones de los aniones y cationes temporalmente según el tipo de agua analizada; por lo que se definió un modelo lineal de dos factores: Mes (fijo y ortogonal) de 4 niveles = octubre, noviembre, diciembre y enero; y Tipo de agua (fijo y ortogonal) de 3 niveles = agua intersticial dentro del humedal, agua intersticial fuera del humedal y agua superficial, con $n=3$ réplicas por nivel, dando un total de 36 muestras y datos balanceados. Las variables fueron 8 iones siendo cationes: Na^+ , K^+ , Ca^+ y Mn^+ ; y aniones: nitratos, nitritos, sulfatos y fosfatos. El modelo lineal fue el siguiente:

$$X_a = \mu + T_a + M_b + T*M_{ab} + e_{n(ab)} \quad (\text{Ec. 8-3})$$

Donde:**T:** factor tipo de agua**M:** factor mes

Se realizaron representaciones de las concentraciones de los 8 iones en los 3 tipos de agua a lo largo de los 4 meses mediante el gráfico lineplot del paquete sciplot en el programa R Commander. Para confirmar la significancia de la variabilidad de concentración de los iones en cuanto al mes y tipo de agua se realizó un análisis de PERMANOVA con distancia de medida por disimilaridad de Bray-Curtis haciendo uso del Software Permanova 6 con estandarización de los datos.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis de componentes principales

El ordenamiento resultante de PCA (Ilustración 4-1) muestra que las réplicas de las muestras de agua intersticial de la zona protegida (aip) se reúnen en los cuadrantes 1 y 4, por otro lado, las de agua intersticial de la zona no protegida en los cuadrantes 2 y 3 y las muestras del agua superficial se encuentran en los cuadrantes 1, 3 y 4, pero en ninguno de los tres tipos de agua se aprecia una agrupación uniforme. En cuanto a las variables en relación directa con la relación adsorción sodio (RAS) son: concentración de los cationes sodio, potasio, calcio, magnesio, concentración de coliformes fecales y salinidad, tomando en cuenta que estas variables tuvieron un mayor aporte en la explicación de la variabilidad del eje x. Por otro lado, la RAS no se ve relacionada con las variables de concentración de sulfatos y oxígeno disuelto, además cabe destacar que el pH es el que menos aporta para la explicación de la variabilidad del modelo y no tiene relación relevante con la RAS al igual que la temperatura, que en contraste es la variable que más contribuye en la explicación del eje y. Este análisis agrupó 16 variables dentro de dos componentes explicando el 55.4% de la varianza acumulada.

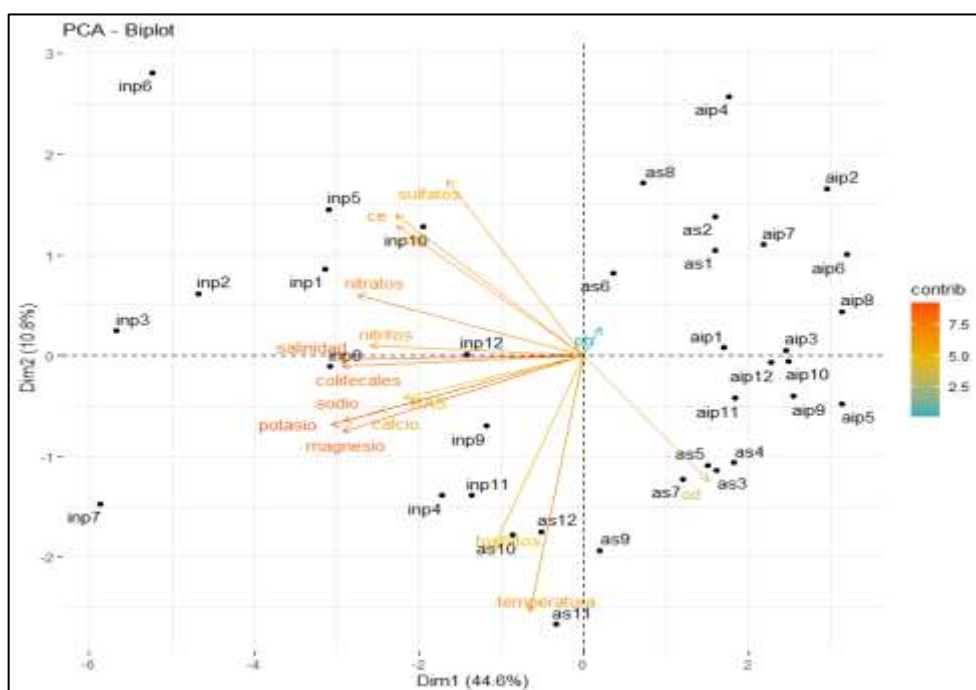


Ilustración 4-1: Análisis de componentes principales (PCA) de la RAS con variables físicas, químicas y microbiológicas

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

Correlación de Spearman

En la correlación de Spearman se aprecia que existen más correlaciones positivas que negativas entre las variables (Ilustración 4-2).

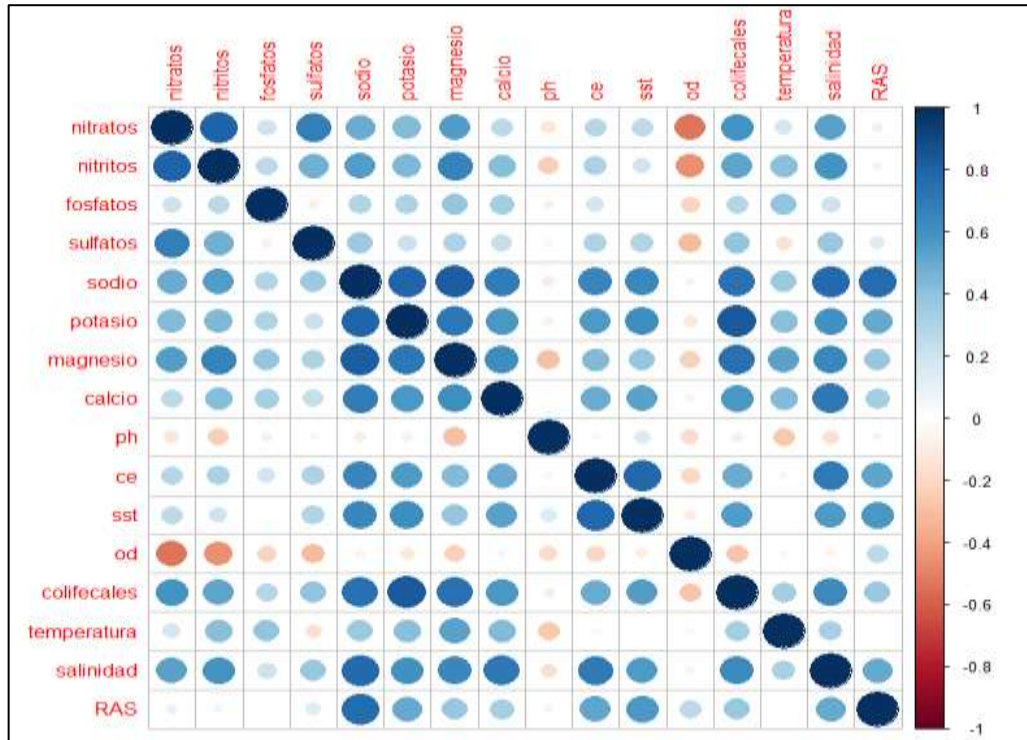


Ilustración 4-2: Correlaciones de Spearman de la RAS con variables físicas, químicas y microbiológicas.

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

Tomando en cuenta las correlaciones existentes entre la relación adsorción sodio (RAS) y las otras variables, se encontró que las más fuertes positivamente fueron con el sodio de 0.766 (como era de esperarse) y con los sólidos totales de 0.57. Tuvo correlaciones positivas medias con las siguientes variables: conductividad eléctrica (0.52), salinidad (0.50), potasio (0.50) coliformes fecales (0.37), magnesio (0.37) y calcio (0.33); y correlaciones positivas bajas con: oxígeno disuelto (0.26), nitratos (0.08), nitritos (0.06) y sulfatos (0.12). Por otra parte, las relaciones con temperatura y fosfatos fueron demasiado bajas por lo que se asume que no existieron correlaciones de estas variables con el RAS.

En las correlaciones entre las demás variables, las más fuertes positivamente fueron entre: nitritos-nitratos (0.80), sulfatos-nitratos (0.68), magnesio-sodio (0.82), salinidad-sodio (0.77), coliformes fecales-potasio (0.83), potasio-sodio (0.79), sólidos totales-conductividad eléctrica (0.78). En cuanto a las correlaciones negativas no hubo alguna que sea fuerte, sin embargo, destacan las

correlaciones negativas medias entre: oxígeno disuelto-nitratos (-0.53) y oxígeno disuelto-nitritos (-0.45). Por otra parte, se menciona que no hubo relaciones entre algunas variables: sólidos totales-fosfatos, sólidos totales-temperatura, pH-calcio (**Ver anexo A**).

Permanova

El agua intersticial de la zona protegida, de la no protegida y el agua superficial no presentaron diferencias significativas (p-valor = 0.31) en las relaciones con la RAS y las otras variables físicas, químicas y microbiológicas.

Tabla 4-1: Datos estadísticos de Permanova de la RAS con variables físicas, químicas y microbiológicas.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	p- valor	p- valor de MonteCarlo
Tipo de agua	2	5974.5993	2987.2997	1.1400	0.3150	0.3266
Residual	33	86472.3053	2620.3729			
Total	35	92446.9046				

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

En cuanto al nivel freático de los dos tipos de agua intersticial (de la zona protegida y de la zona no protegida) su cambio de profundidad no influye en la Relación Adsorción Sodio (RAS) presente (p-valor = 0.10).

Tabla 4-2: Datos estadísticos de Permanova de la RAS y el nivel freático.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	p- valor	p- valor de MonteCarlo
Tipo de agua	1	2318.0518	2318.0518	2.2519	0.1030	0.1118
Residual	22	22646.5406	1029.3882			
Total	23	24964.5924				

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

4.2 Análisis comparativo con la normativa de calidad de agua

El agua intersticial del humedal del río Colorado se compararon con los límites permisibles del ANEXO 4 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE vigentes mediante el Acuerdo Ministerial 097-A.

Potencial de Hidrógeno (pH)

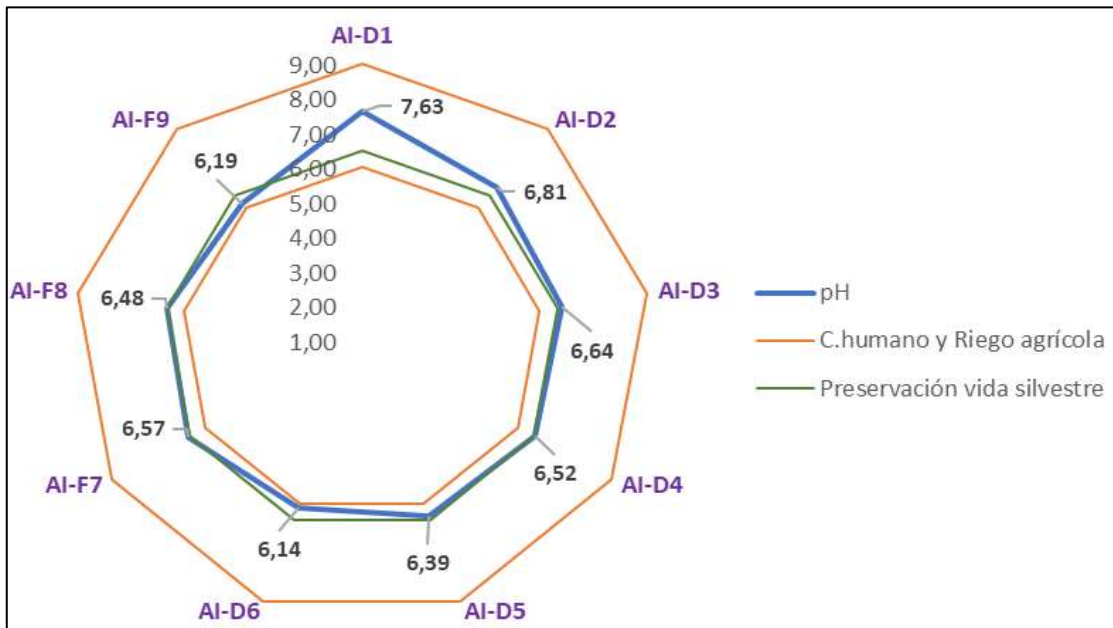


Ilustración 4-3: Comparación del pH con los límites permisibles de aguas según TULSMA.

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

Se muestra la comparación del pH con los límites permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A, para consumo humano y uso domésticos el rango es de 6 – 9, observamos que los 9 puntos de monitoreo se encuentran dentro de los límites siendo el valor más alto en el punto AI-D1 con 7,63 y el valor menor en el punto AI-D6 con 6,14; en cambio para la preservación de vida acuática y silvestre en aguas dulces tenemos que los puntos AI-D1, AI-D2, AI-D3, AI-D4, AI-F7 se encuentran dentro del rango de 6,5 – 9 en cambio se presentan valores menores en los puntos AI-D5, AI-D6, AIF8 Y AI-F9 siendo que el agua se clasifique como ligeramente ácida, lo cual favorece el intercambio de cationes, pues a pH ácidos se realiza con mayor facilidad el intercambio de iones (Tartabull et al., 2016, pp. 50-51); en el caso de agua para riego agrícola los 9 puntos de monitoreo entran en el rango de 6 – 9 que se establece en la normativa.

Nitratos

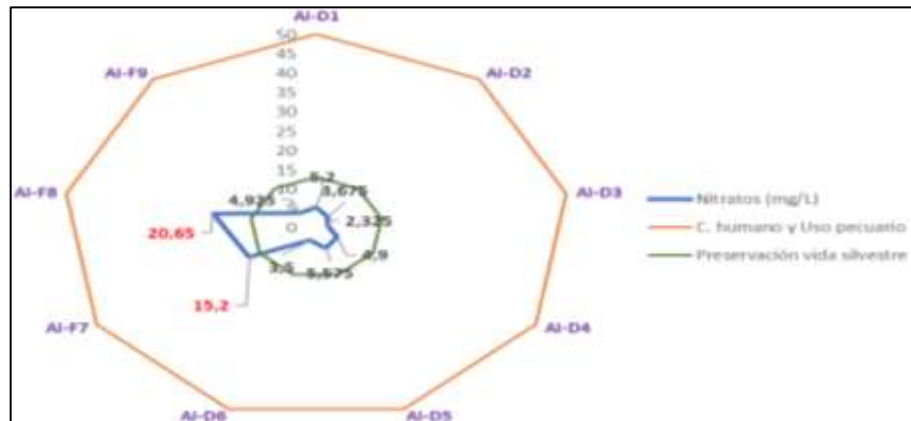


Ilustración 4-4: Comparación de Nitratos con los límites permisibles de aguas según TULSMA

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

Se muestra la comparación de los nitratos con los límites permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A, para consumo humano, usos domésticos y uso pecuario observamos que los 9 puntos de monitoreo se encuentran dentro del rango de 50 mg/L; en cambio para preservación de vida acuática y silvestre en aguas dulces los puntos de monitoreo AI-F7 con 15,2 mg/L y AI-F8 mg/L sobre pasan los valores del rango de 13 mg/L esto se debería a que en esa zona se encuentra actividad antropogénica y presencia de viciñas como de sus excrementos generando una posible contaminación fecal, debido a los iones amonio existentes que se filtran en el suelo (Bolaños et al., 2017, pp. 16-18).

Nitritos

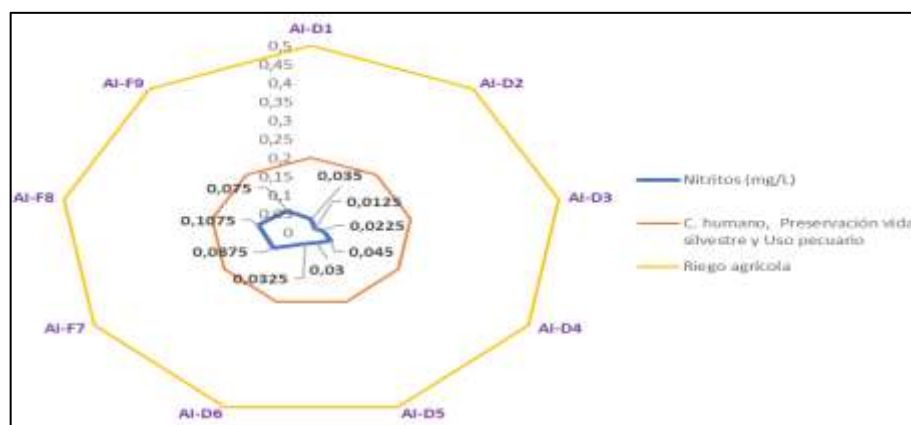


Ilustración 4-5: Comparación de Nitritos con los límites permisibles de aguas según TULSMA

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

Se muestra la comparación de los nitritos con los límites permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A, para el consumo humano, usos domésticos, preservación de vida acuática y silvestre en aguas dulces y uso pecuario los 9 puntos de monitoreo se encuentran dentro del rango establecido que es de 0,2 mg/L; además para riego agrícola los 9 puntos de monitoreo se encuentran dentro del rango de 0,5 mg/L, siendo el valor más alto en el punto AI-F8 con 0,1075 mg/L y el valor menor es de 0,0125 mg/L en el punto AI-D2.

Oxígeno Disuelto

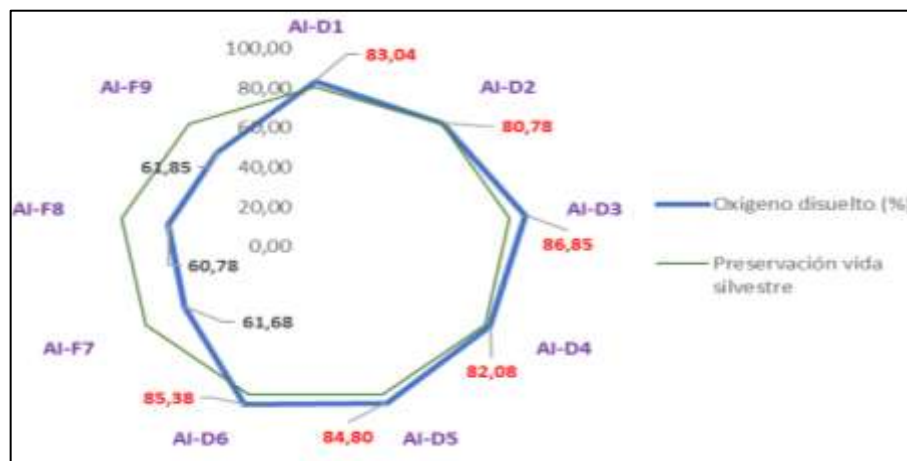


Ilustración 4-6: Comparación del Oxígeno Disuelto con los límites permisibles de aguas según TULSMA.

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

Se muestra la comparación del oxígeno disuelto con los límites permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A, para preservación de vida acuática y silvestre en aguas dulces los puntos de monitoreo AI-D1, AI-D2, AI-D3, AI-D4, AI-D5 y AI-D6 contiene un valor >80 % cumpliendo así con el rango establecido esto se debe a que es un sitio no intervenido en donde no hay evidencia antropogénica, mientras tanto en los puntos AI-F7, AI-F8 y AI-F9 presentan una saturación por debajo del límite permisible pudiéndose evidenciar la presencia de contenidos de materia orgánica debido a la actividad antropogénica y de excremento de vicuñas (Amón et al., 2020, pp. 65-66).

Sulfatos

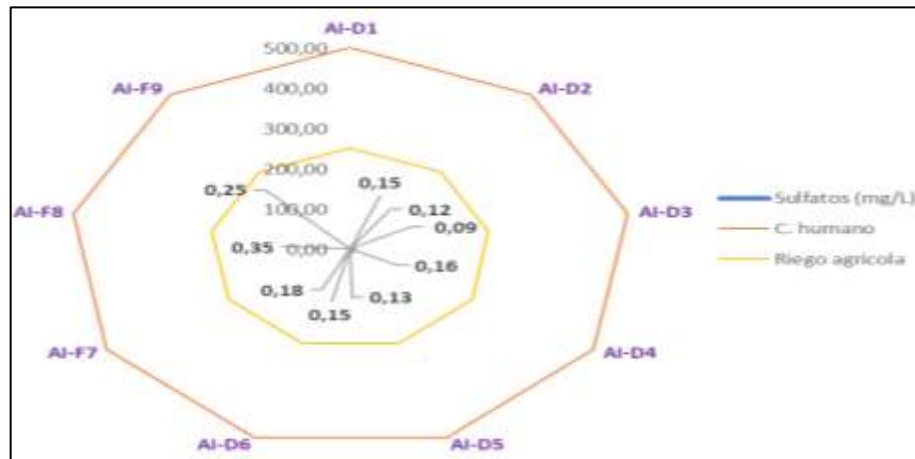


Ilustración 4-7: Comparación de Sulfatos con los límites permisibles de aguas según TULSMA

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

Se muestra la comparación de los sulfatos con los límites permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A, se puede observar que las concentraciones en nuestra zona de estudios son mínimas, aunque en las zonas que son intervenidas presentan un valor mayor y tenemos en el punto AI-F7 con un valor de 0,18 mg/L, el punto AI-F8 con un valor de 0,35 mg/L y el punto AI-F9 de 0,25 mg/L, donde se observa excrementos de vicuñas que generan el enriquecimiento de este nutriente por la infiltración en el suelo como producto de precipitaciones aunque según Bolaños et al. (2017, pp. 16-18), las concentraciones del ion sulfato por encima de 250 mg/L son consideradas como tóxicas para el ser humano, por lo cual los valores reportados en las zonas de estudio no son relevantes.

4.3 Variabilidad de cationes

De forma general los 4 cationes analizados: calcio, magnesio, potasio y sodio comparten que las concentraciones de estos son mayores en el agua intersticial fuera del humedal, seguido del agua superficial y por último el tipo de agua que presentó las menores concentraciones de los cuatro cationes fue el agua intersticial dentro del humedal.

- **Calcio (Ca^{2+})**

La concentración de calcio (Ilustración 4-8) en el agua intersticial fuera del humedal (if) como podemos observar tiene el mayor promedio de 9.36 mg/L y presenta una variabilidad en

diciembre; mientras que agua superficial (sup) tenemos una menor proporción en octubre (4.74 mg/L) subió en noviembre a 7.09 mg/L existió poca variabilidad en diciembre y hubo un descenso deliberado de 6.68 mg/L en enero, finalmente en el agua intersticial dentro del humedal (id) tenemos concentraciones inferiores a 4 mg/L presentando así menor variabilidad que los otros dos tipos de agua.

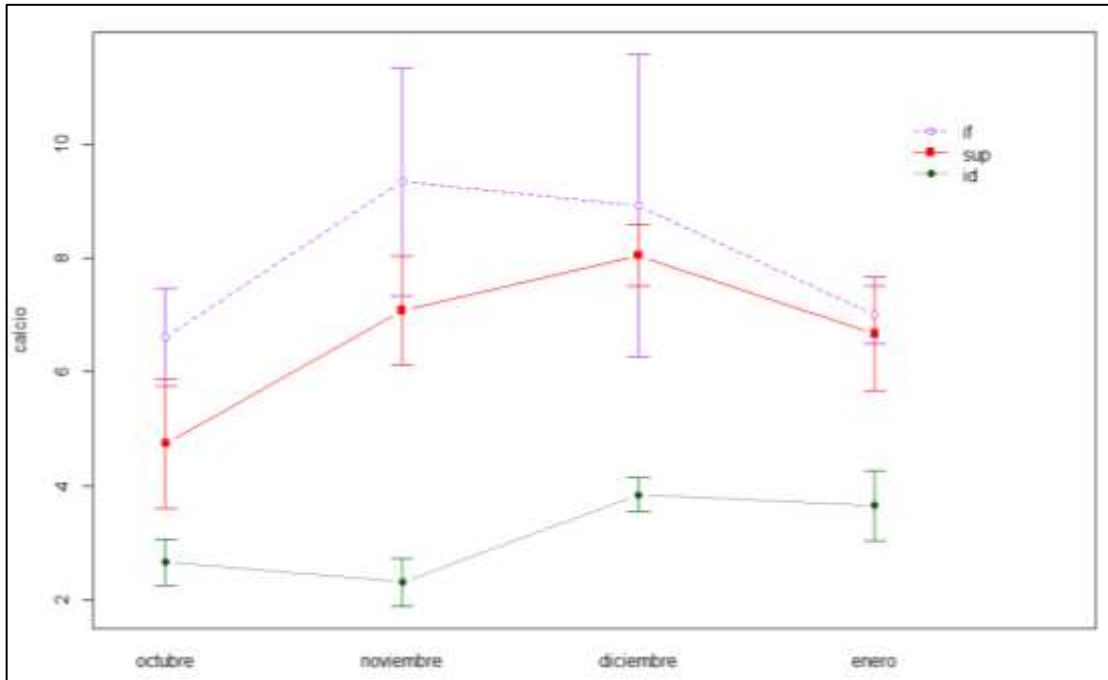


Ilustración 4-8: Lineplot de la concentración de calcio en los meses de estudio. (if- agua intersticial fuera del humedal) (id- agua intersticial dentro del humedal) (sup- agua superficial).

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

- **Magnesio (Mg^{2+})**

En las concentraciones de magnesio (Ilustración 4-9), con respecto a los promedios del agua intersticial fuera del humedal fue de 11.20 mg/L en octubre, teniendo en noviembre un descenso de 9.82 mg/L y los posteriores meses de diciembre y enero un aumento de 11.76 mg/L; en el agua superficial no presenta variabilidad debido a que el mes de octubre inicia con 4.71mg/L terminando en enero con 5.28 mg/L; el agua intersticial en el mes de octubre presentan 3.62 mg/L luego disminuye ligeramente en noviembre a 2.49 mg/L y vuelve a subir en diciembre a 2.72 mg/L al igual que en el mes de enero.

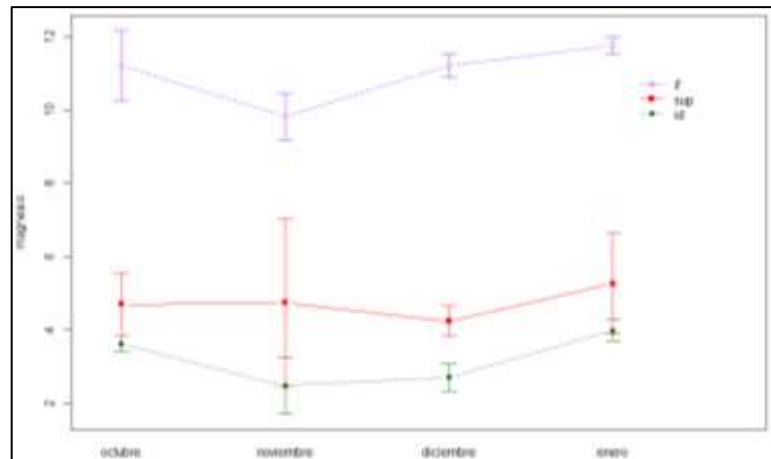


Ilustración 4-9: Lineplot de la concentración de magnesio en los meses de estudio. (if- agua intersticial fuera del humedal) (id- agua intersticial dentro del humedal) (sup- agua superficial).

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

- **Potasio (K⁺)**

El agua intersticial fuera del humedal presentó la mayor concentración de potasio (Ilustración 4-10) con una tendencia de aumento desde octubre a diciembre (6.87 mg/L – 12.37 mg/L) y un ligero descenso en enero (12.13 mg/L); mientras que en el agua superficial en enero es de 5.12 mg/L presentando un ligero aumento en noviembre pero luego comienza una ligera disminución en diciembre y enero; en el tipo de agua intersticial dentro del humedal se registraron las concentraciones más bajas de potasio en comparación con los otros dos tipos de agua, pero presentando una tendencia creciente en la concentración de octubre a enero (2.25 mg/L – 4.98 mg/L).

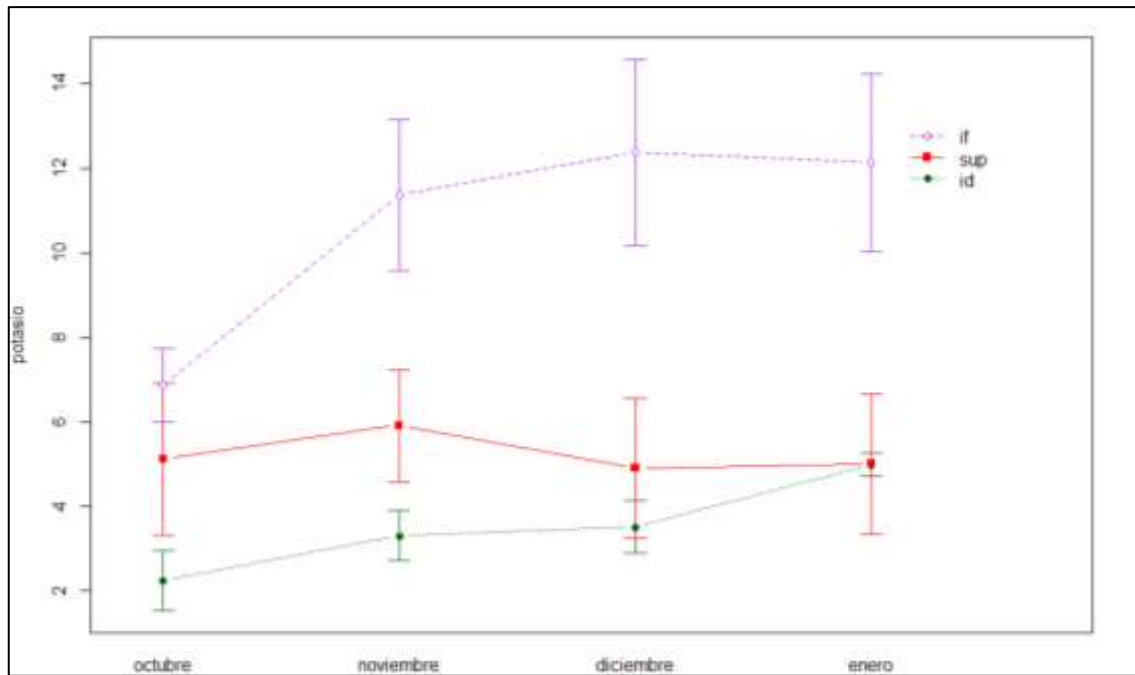


Ilustración 4-10: Lineplot de la concentración de potasio en los meses de estudio. (if- agua intersticial fuera del humedal) (id- agua intersticial dentro del humedal) (sup- agua superficial).

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

- **Sodio (Na^+)**

En la concentración de sodio (Ilustración 4-11), el tipo de agua que tuvo la mayor variabilidad fue el agua intersticial fuera del humedal (16.10 mg/L) resaltando que en diciembre hubo una gran incertidumbre en la variación de los datos debido a factores climáticos como la precipitación y escorrentía. Por otra parte, el agua superficial presentó concentraciones menores que la intersticial fuera del humedal con una mínima variabilidad entre los meses de octubre a enero (7.11 mg/L – 7.15 mg/L). Finalmente, las concentraciones de sodio en el agua intersticial dentro del humedal fueron las más bajas de todas con una alternancia de tipo concentración baja-concentración alta desde octubre a enero.

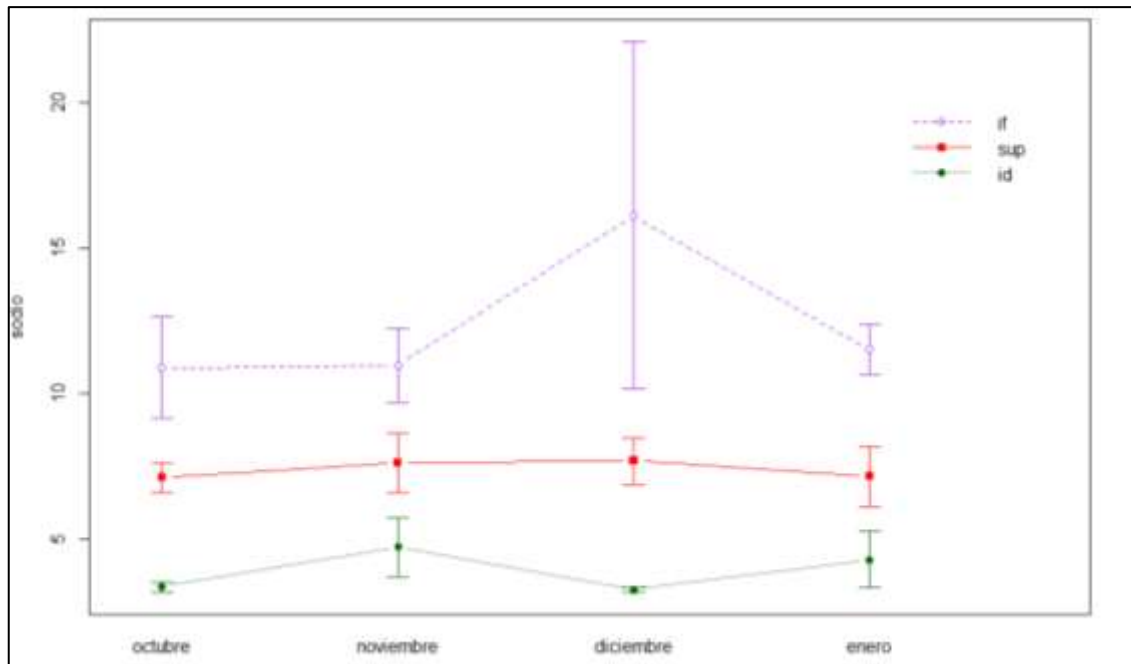


Ilustración 4-11: Lineplot de la concentración de sodio en los meses de estudio. (if- agua intersticial fuera del humedal) (id- agua intersticial dentro del humedal) (sup- agua superficial).

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

4.4 Variabilidad de aniones

- **Nitratos (NO_3^-)**

En cuanto a la concentración de nitratos (Ilustración 4-12), el agua intersticial fuera del humedal tuvo en promedio la mayor de todas con una tendencia creciente de octubre a diciembre (11.6 mg/L – 23.6 mg/L), sin embargo, en enero descendió incluso por debajo de la concentración en octubre (5.23 mg/L), siendo además menor que la concentración del agua intersticial dentro del humedal. Por otra parte, el agua intersticial dentro del humedal sucede que su concentración en octubre (4.17mg/L) es mayor a la del sup, mientras que en noviembre disminuye deliberadamente a 0.67 mg/L presentando una variabilidad en diciembre (5.2 mg/L) y ser un poco similar en enero (5.8 mg/L); mientras que en el agua superficial en el mes de octubre fue de 0.2 mg/L, pero en noviembre subió a 2mg/L mientras que en diciembre disminuyó deliberadamente a 0.2 mg/L y vuelve a subir en enero a 3.17 mg/L.

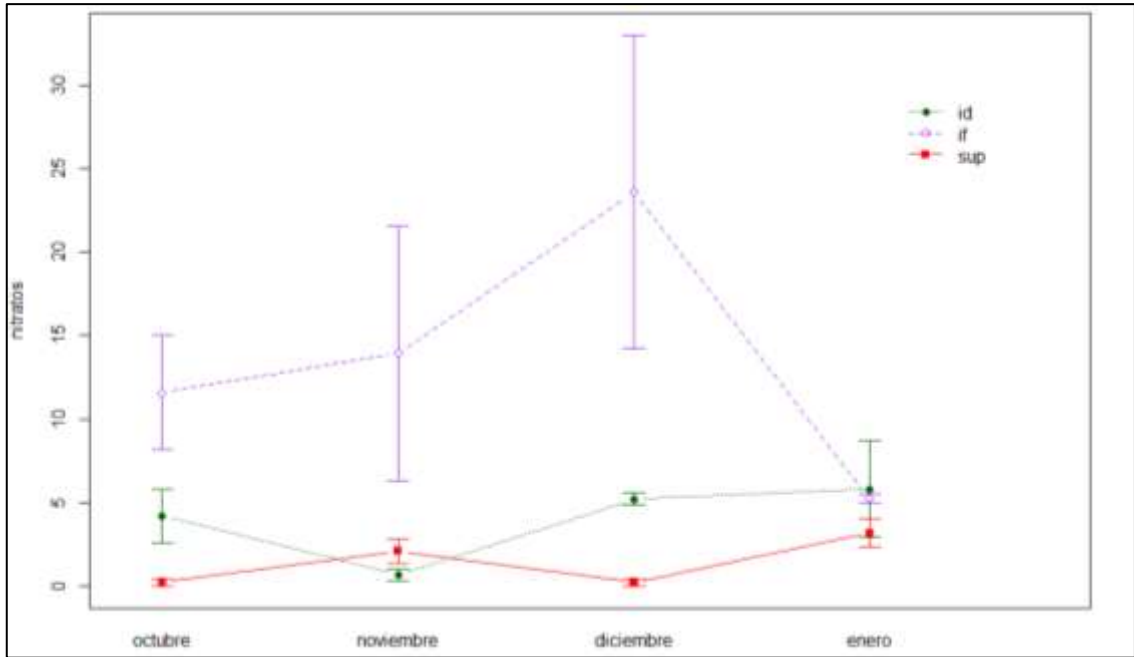


Ilustración 4-12: Lineplot de la concentración de nitratos en los meses de estudio. (if- agua intersticial fuera del humedal) (id- agua intersticial dentro del humedal) (sup- agua superficial).

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

- **Nitritos (NO₂⁻)**

La concentración de nitritos (Ilustración 4-13), en el agua intersticial fuera del humedal tuvo los más altos registros en los cuatro meses de los otros dos tipos de agua, con la concentración más alta en el mes de diciembre (0.13 mg/L) presentando variabilidad de manera alterada de octubre a diciembre. Por otra parte, en el agua intersticial dentro del humedal sus concentraciones son de manera alternada comenzando en octubre con 0.04 mg/L, presentando una variabilidad al mes de noviembre con 0.01 mg/L, diciembre 0.04 mg/L y enero 0.03mg/L, mientras que, en el agua superficial son bajas manteniendo similitudes entre los meses de octubre a enero (0.02 mg/L-0.02 mg/L).

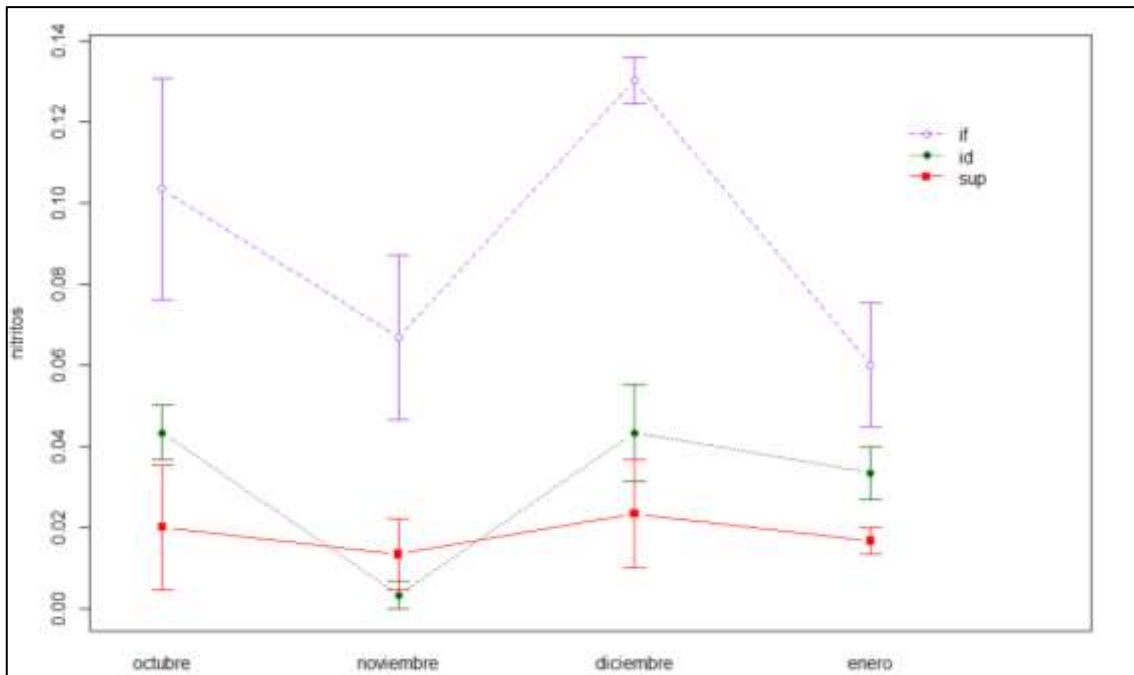


Ilustración 4-13: Lineplot de la concentración de nitritos en los meses de estudio. (if- agua intersticial fuera del humedal) (id- agua intersticial dentro del humedal) (sup- agua superficial)

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

.

- **Sulfatos (SO_4^{2-})**

El agua intersticial fuera del humedal durante los meses de octubre, noviembre y diciembre presentó la mayor concentración de sulfatos (Ilustración 4-14) con una variabilidad alta en octubre (0.33 mg/L); el agua intersticial dentro del humedal presentó variabilidad desde octubre (0.20 mg/L) descendiendo en noviembre (0.17 mg/L) como en diciembre (0.06 mg/L) y aumentando en enero (0.11 mg/L) mientras que el agua superficial presenta mayor variabilidad de manera alternada en octubre de 0.11 mg/L aumentando en noviembre 0.20 mg/L, disminuyendo en diciembre a 0.06 mg/L y aumentando deliberadamente en enero a 0.35 mg/L.

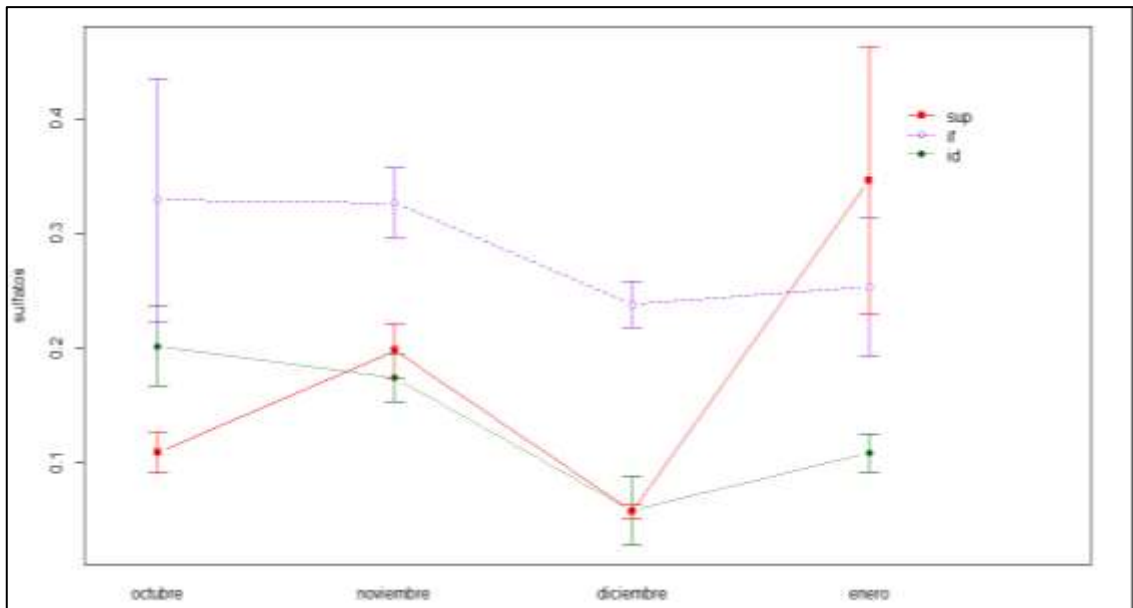


Ilustración 4-14: Lineplot de la concentración de magnesio en los meses de estudio. (if- agua intersticial fuera del humedal) (id- agua intersticial dentro del humedal) (sup- agua superficial).

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

- **Fosfatos (PO_4^{3-})**

En la concentración de fosfatos (Ilustración 4-15), en base al promedio, el agua intersticial fuera del humedal presenta valores mayores en el mes de enero y diciembre con 2.75 mg/L mientras que en noviembre es de 2.25 mg/L disminuyendo en enero a 1.74 mg/L; mientras que el agua superficial no presenta variabilidad por tanto sus valores son constantes entre los cuatro meses, en cambio el agua intersticial dentro del humedal presenta variabilidad en octubre con 2.31 mg/L disminuyendo en noviembre a 1.04 mg/L y volviendo a disminuir en diciembre a 0.90 mg/L y aumentando en enero a 2.05 mg/L.

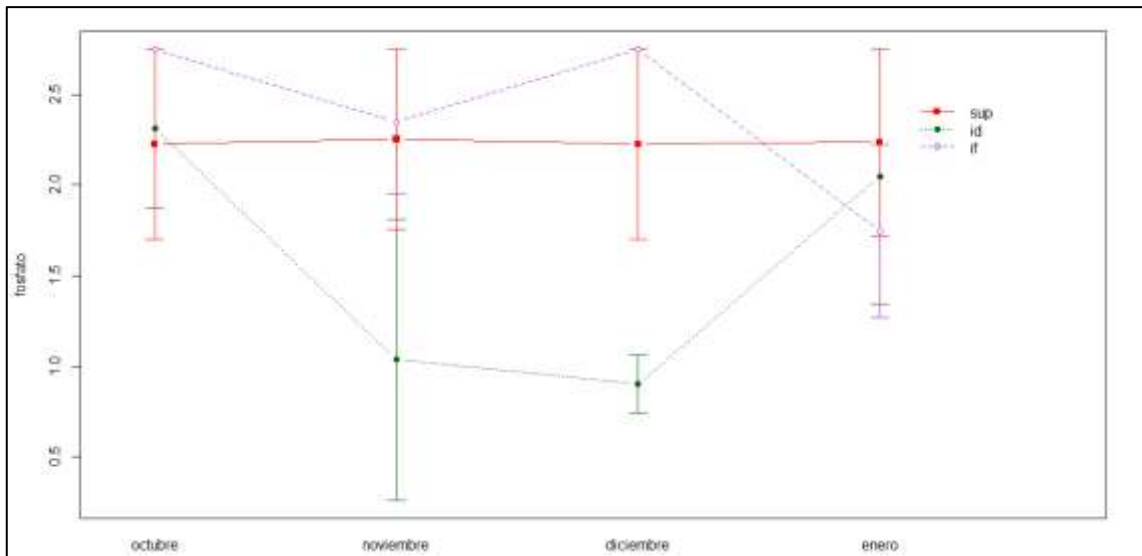


Ilustración 4-15: Lineplot de la concentración de magnesio en los meses de estudio. (if- agua intersticial fuera del humedal) (id- agua intersticial dentro del humedal) (sup- agua superficial).

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

Permanova

No hubo diferencias significativas en la concentración de aniones y cationes entre los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero (p -valor = 0.42); ni tampoco en la interacción entre los meses y el tipo de agua (p -valor = 0.93). Sin embargo, tomando en cuenta únicamente el tipo de agua sin importar los meses, se encontraron diferencias significativas (p -valor = 0.0002) en las concentraciones de los cationes y aniones.

Tabla 4-3: Resultados de Permanova de cationes y aniones.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	p-valor	p-valor de MonteCarlo
Mes	3	1435.5070	478.5023	1.0488	0.4216	0.4002
Tipo	2	9240.4156	4620.2078	10.1266	0.0002	0.0002
Mes x Tipo	6	1498.2520	249.7087	0.5473	0.9248	0.9318
Residual	24	10949.8214	456.2426			
Total	35	23123.9959				

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

El test a posteriori del PERMANOVA indica que existen diferencias significativas entre los 3 niveles, es decir, entre los tres tipos de agua: intersticial dentro del humedal, intersticial fuera del humedal y el agua superficial.

Tabla 4-4: Datos de los valores estadísticos del test a posteriori de PERMANOVA.

Grupos	t	p-valor	p-valor de MonteCarlo	Valores únicos
Intersticial dentro – intersticial fuera	4.6646	0.0002	0.0002	4975
Intersticial dentro – superficial	2.4044	0.0002	0.0014	4961
Intersticial fuera - superficial	2.7407	0.0002	0.0006	4975

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

4.5 Identificación de los macroinvertebrados acuáticos

Para la determinación de los índices biológicos, se realizó una captura de macroinvertebrados acuáticos en la zona de estudio durante los meses de octubre 2022 – enero 2023, se estableció la búsqueda de 50 individuos por cada punto de monitoreo, dando un total de 250 individuos por puntos al mes, lo que representó en total la identificación y clasificación de 1000 individuos en sus respectivos órdenes y familias. (ver tabla 4.5)

Tabla 4-5: Información de la cantidad de individuos hallados por puntos de monitoreo.

N°	ORDEN	FAMILIA	PM-1	PM-2	PM-3	PM-4	PM-5	TOTAL
1	AMPHIPODA	<i>Hyalellidae</i>	71	60	0	30	6	167
2	COLEOPTERA	<i>Elmidae</i>	17	0	58	0	0	75
3	DIPTERA	<i>Dolichopodidae</i>	16	10	5	0	46	77
4	DIPTERA	<i>Empididae</i>	17	0	0	0	0	17
5	DIPTERA	<i>Chironomidae</i>	0	2	3	0	18	23
6	DIPTERA	<i>Simuliidae</i>	0	11	0	3	0	14
7	DIPTERA	<i>Ceratopogonidae</i>	0	0	0	4	0	4
8	DIPTERA	<i>Muscidae</i>	0	0	20	6	0	26
9	DIPTERA	<i>Tabanidae</i>	0	5	0	0	0	5
10	EPHEMEROPTERA	<i>Baetidae</i>	22	0	10	0	0	32
11	EPHEMEROPTERA	<i>Leptohyphidae</i>	6	0	0	24	0	30
12	HEMIPTERA	<i>Notonectidae</i>	36	55	0	0	0	91
13	HAPLOTAXIDA	<i>Haplotaaxida</i>	0	0	15	0	0	15
14	RHYNCHOBDELLIDA	<i>Hirudinea</i>	13	38	85	0	0	136
15	TRICHOPTERA	<i>Limnephilidae</i>	0	0	0	63	31	94
16	TRICHOPTERA	<i>Rhyacophilidae</i>	0	0	0	52	51	103
17	TRICHOPTERA	<i>Glossosomatidae</i>	0	0	0	0	48	48
18	TRICHOPTERA	<i>Hydrobiosidae</i>	0	10	0	12	0	22
19	TRICHOPTERA	<i>Polycentropodidae</i>	0	7	0	5	0	12
20	VENEROIDA	<i>Sphaeriidae</i>	2	2	4	1	0	9
		Sumatoria	200	200	200	200	200	
		Σ total de individuos	1000					

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

Se identificaron un total de 20 órdenes de macroinvertebrados acuáticos con su respectiva familia, considerando los de mayor abundancia: *Hyaellidae* con 167 individuos hallados, seguido de *Hirudinea* con 136 y *Rhyacophilidae* con 103; mientras que las familias con menos ejemplares encontrados fueron: *Sphaeriidae* con 9 individuos, *Tabanidae* con 5 y finalmente *Ceratopogonidae* con 4.

4.6 Familias de macroinvertebradas halladas en cada punto de monitoreo

En la ilustración 4-16 se puede observar el punto de monitoreo (PM-1), en donde se identificaron 9 familias, de las cuales las predominantes fueron: *Hyaellidae* con 71 individuos, seguido de *Notonectidae* con un valor de 36, *Baetidae* con 22, *Empididae* y *Elmidae* con 17 individuos cada una, *Dolichopodidae* con 16 y las familias en menor abundancia fueron *Hirudinea* con un valor de 13, *Leptohyphidae* con 6 y finalmente *Sphaeriidae* con 2.

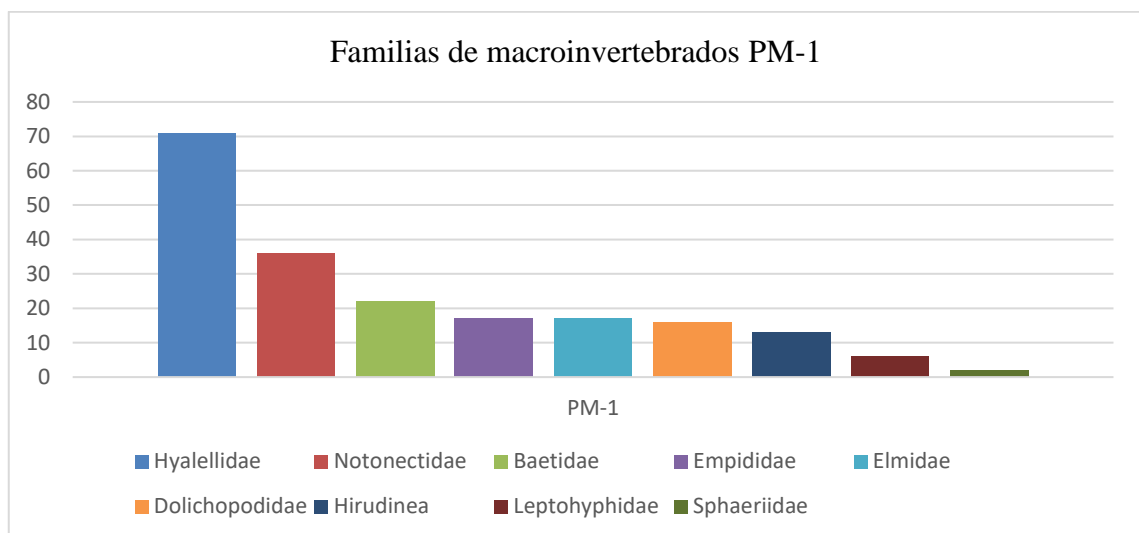


Ilustración 4-16: Familias de macroinvertebrados acuáticos halladas en el punto 1

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

Se puede observar el punto de monitoreo (PM-2), se identificaron 10 familias, de las cuales las predominantes fueron: *Hyaellidae* con 60 individuos, seguido de *Notonectidae* con un valor de 55, *Hirudinea* con 38, *Simuliidae* con 11, *Dolichopodidae* e *Hydrobiosidae* con 10 individuos cada una y las familias en menor abundancia fueron: *Polycentropodidae* con 7, *Tabanidae* con un valor de 5 y finalmente *Sphaeriidae* junto con *Chironomidae* con 2 individuos cada una.

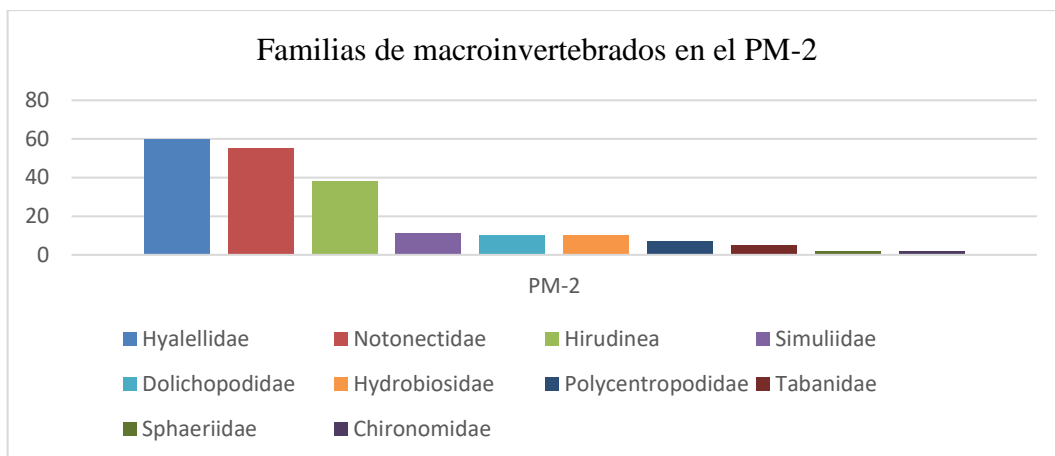


Ilustración 4-17: Familias de macroinvertebrados acuáticos halladas en el punto 2

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

Se puede observar el punto de monitoreo (PM-3), se identificaron 8 familias, de las cuales las predominantes fueron: *Hirudinea* con 85 individuos, seguido de *Elmidae* con un valor de 58, *Muscidae* con 20, *Haplotaaxida* con 15 y *Baetidae* con 10 individuos, mientras que, las familias de menor abundancia fueron: *Dolichopodidae* con un valor de 5, *Sphaeriidae* con 4 y finalmente *Chironomidae* con 3 individuos.

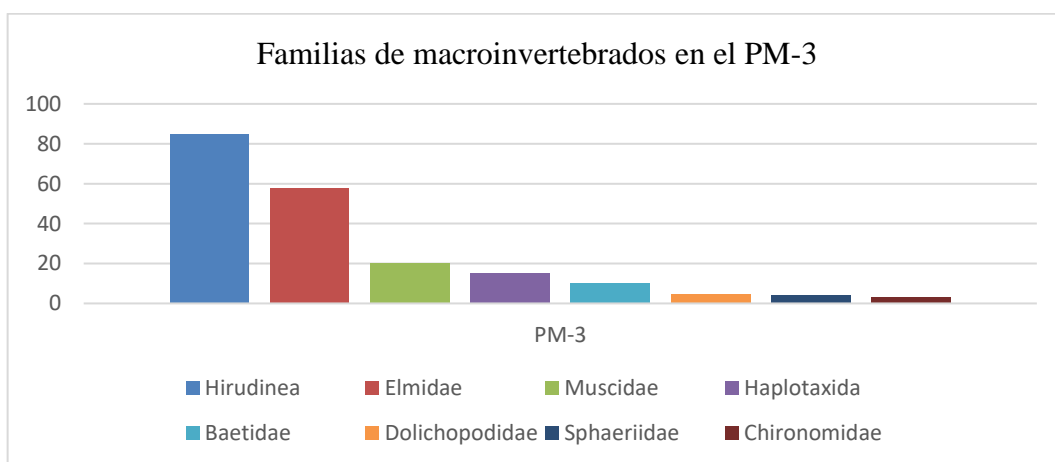


Ilustración 4-18: Familias de macroinvertebrados acuáticos halladas en el punto 3

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

Se puede observar que en el punto de monitoreo (PM-4), se identificaron 10 familias, de las cuales las predominantes fueron: *Limnephilidae* con 63 individuos, seguido de *Rhyacopohilidae* con 52, *Hyalellidae* con 30, *Leptoxyphidae* con 24 e *Hydrobiosidae* con 12, mientras que las familias de menor abundancia fueron: *Muscidae* con 6, *Polycentropodidae* con 5, *Ceratopogonidae* con 4, *Simuliidae* con 3 y finalmente *Sphaeriidae* con 1 individuo.

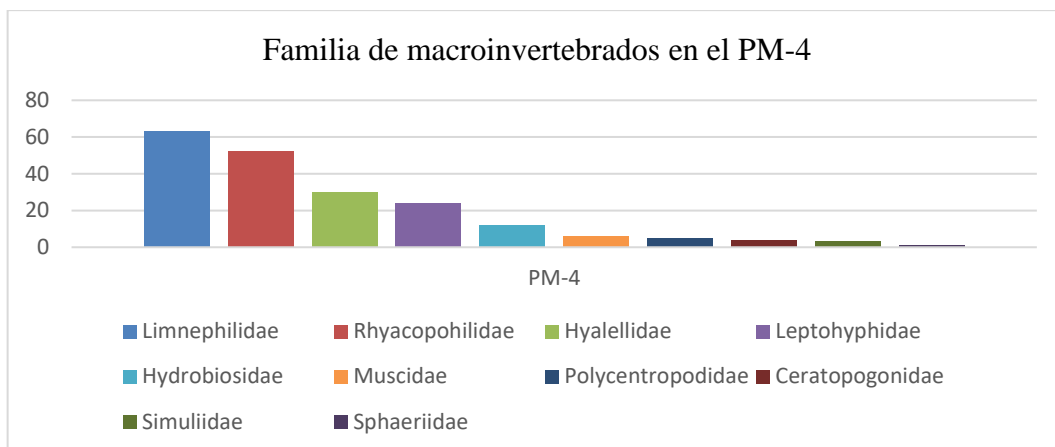


Ilustración 4-19: Familias de macroinvertebrados acuáticos halladas en el punto 4

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

Se puede observar que en el punto de monitoreo (PM-5) se identificaron 6 familias, de las cuales las predominantes fueron: *Rhyacophilidae* con 51 individuos, seguido de *Glossosomatidae* con 48, *Dolichopodidae* con 46 y *Limnephilidae* con 31, mientras que las familias de menor abundancia fueron: *Chironomidae* con 18 y finalmente *Hyalellidae* con 6 individuos.

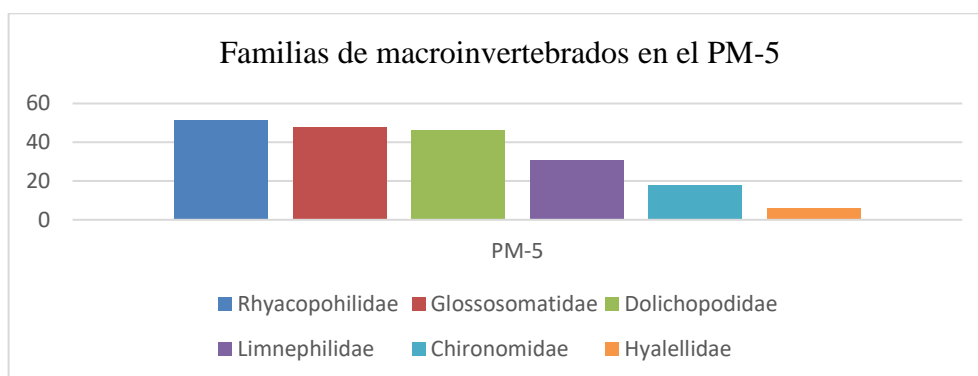


Ilustración 4-20: Familias de macroinvertebrados acuáticos halladas en el punto 5

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

4.7 Determinación de los índices biológicos

En el presente proyecto de investigación se aplicó el índice ABI por ser un método sencillo basado en el análisis de la presencia y ausencia de ciertas familias de macroinvertebrados tolerantes o sensibles a la contaminación, mismos que generan resultados rápidos y confiables para la evaluación de la calidad del agua y el índice BMWP/Col que permite clasificar los macroinvertebrados para ecosistemas acuáticos de montaña, presentando las familias con su correspondiente valoración. Es a partir de ello que se resume en la tabla 6-4 el orden y la familia de las especies halladas de macroinvertebrados durante 4 meses (octubre 2022 - enero 2023) en

los 5 puntos de monitoreo establecidos en el humedal del Río Colorado, con su correspondiente puntuación del índice ABI y BMWP/Col para establecer la calidad del agua de este recurso hídrico.

Tabla 4-6: Índice ABI y BMWP/Col del humedal del río Colorado

N°	ORDEN	FAMILIA	ABI	BMWP/COL
1	AMPHIPODA	Hyalellidae	6	4
2	COLEOPTERA	Elmidae	5	6
3	DIPTERA	Dolichopodidae	4	4
4	DIPTERA	Empididae	4	4
5	DIPTERA	Chironomidae	2	2
6	DIPTERA	Simuliidae	5	8
7	DIPTERA	Ceratopogonidae	4	3
8	DIPTERA	Muscidae	2	2
9	DIPTERA	Tabanidae	4	5
10	EPHEMEROPTERA	Baetidae	4	7
11	EPHEMEROPTERA	Leptohyphidae	7	9
12	HEMIPTERA	Notonectidae	5	7
13	HAPLOTAXIDA	Haplotaxida	1	1
14	RHYNCHOBDELLIDA	Hirudinea	3	2
15	TRICHOPTERA	Limnephilidae	7	7
16	TRICHOPTERA	Rhyacophilidae	7	7
17	TRICHOPTERA	Glossosomatidae	7	7
18	TRICHOPTERA	Hydrobiosidae	8	9
19	TRICHOPTERA	Polycentropodidae	8	9
20	VENEROIDA	Sphaeriidae	3	4
SUMATORIA			96	107

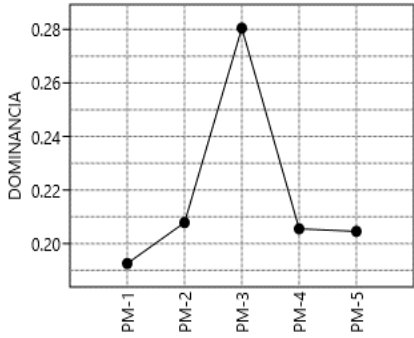
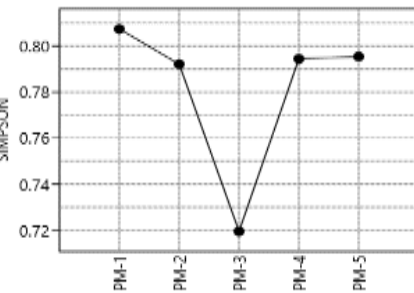
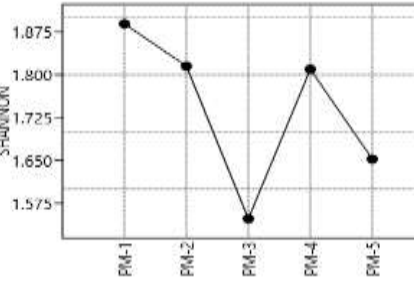
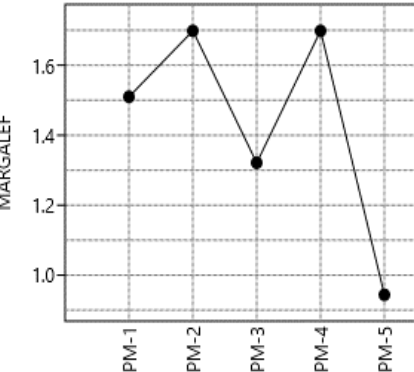
Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

De acuerdo con el artículo de Acosta (et al., 2009, pp. 14-15), a partir de la sumatoria de las valoraciones de macroinvertebrados por familias presentes en la zona de estudio, se establece en el Índice ABI que la calidad del agua del humedal del Río Colorado de la RPFCH es de “Buena Calidad” debido a que presenta un valor de 96 puntos los cuales entran en el rango de (59 - 96) de etiqueta azul y con respecto al índice BMWP/Col de acuerdo con la ponderación presente en la investigación de Sánchez (et al., 2018, pp. 11-19), se considera que nuestra zona de estudio es “Agua Limpia” con etiqueta azul, por tener un valor de 107 puntos que garantiza su estado óptimo y entra en el rango de (101 – 120).

Índices de diversidad Alpha

Se realizó un análisis de la diversidad alfa a partir de la aplicación de 5 índices los cuales son: Dominancia, Simpson, Shannon y Margalef, mismos que fueron utilizados para determinar la riqueza de especies existentes en nuestra zona de estudio que se considera homogénea, por lo tanto, es a un nivel “local” y se consiguieron los siguientes resultados:

Tabla 4-7: Índice de diversidad Alpha de los puntos de monitoreo de macroinvertebrados

Índice	PM-1	PM-2	PM-3	PM-4	PM-5
Dominancia	0.193	0.208	0.281	0.206	0.205
	 <p><i>Análisis:</i> En esta gráfica se observa que el PM-3 presenta un valor máximo de dominancia con respecto a los otros puntos de monitoreo al tener un valor de 0.281, luego en orden decreciente está el PM-2 con 0.208, PM-4 con 0.206, PM-5 con 0.205 y finalmente el PM-1 presentó un valor mínimo de dominancia de 0.193. Estos valores obtenidos en función del rango del índice de Dominancia propuesto por el Manual del Software PAST de Hammer (2018), muestran que al ser valores inferiores a 1 significa que todas las especies están igualmente presentes en la zona de estudio.</p>				
Simpson	0.807	0.792	0.720	0.795	0.795
	 <p><i>Análisis:</i> En esta gráfica partiendo de la premisa propuesta por Hammer (2018), en donde se manifiesta que el índice Simpson representa la probabilidad de que los individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie, siendo una medida de equidad que tiene un rango de 0 a 1, es por ello que el PM-1 con un valor de 0.807 seguido del PM-5 y PM-4 ambas con valores de 0.795 y el PM-2 de 0.792 presentan mayor equidad en comparación con el PM-3 que presenta un valor mínimo de equidad de 0.720.</p>				
Shannon	1.889	1.815	1.548	1.810	1.652
	 <p><i>Análisis:</i> En esta gráfica se observa un valor máximo de 1.889 en el PM-1, seguido en orden decreciente del PM-2 con 1.815, PM-4 con 1.810, PM-5 de 1.652 y el valor mínimo de 1.548 en el PM-3, lo que significa que en el punto de monitoreo 1 (PM-1) presenta mayor diversidad en comparación a los puntos de muestreo, pero según el manual de Hammer (2018) se muestra una muy baja diversidad porque tiene valores menores a 2 como se menciona en el índice de Shannon</p>				
Margalef	1.510	1.699	1.321	1.699	0.944
	 <p><i>Análisis:</i> En esta gráfica se observa un valor máximo de 1.699 en el PM-2 y PM-4, seguido en orden decreciente del PM-1 con 1.510, PM-3 con 1.321 y el valor mínimo es de 0.944 en el PM-5, lo que significa que los puntos de monitoreo el PM-2 y PM-4 presentan mayor riqueza en comparación a los demás sitios de muestreo, sin embargo, de acuerdo con Hammer (2018) a nivel del índice Margalef en general, se establece que la estimación de la biodiversidad de una comunidad denota que los valores menores a 2,00 significa una baja riqueza de especies y por el contrario valores cercanos a 5,00 o superiores reflejan una riqueza de especies alta.</p>				

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

Índice de diversidad beta

Se realizó un análisis de la diversidad beta la cual consiste en la medida del grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre las comunidades que se encuentran en un área por medio de comparaciones entre pares de unidades de paisaje; para ello se aplicó del índice de similaridad de Jaccard obteniéndose el siguiente dendograma como resultado:

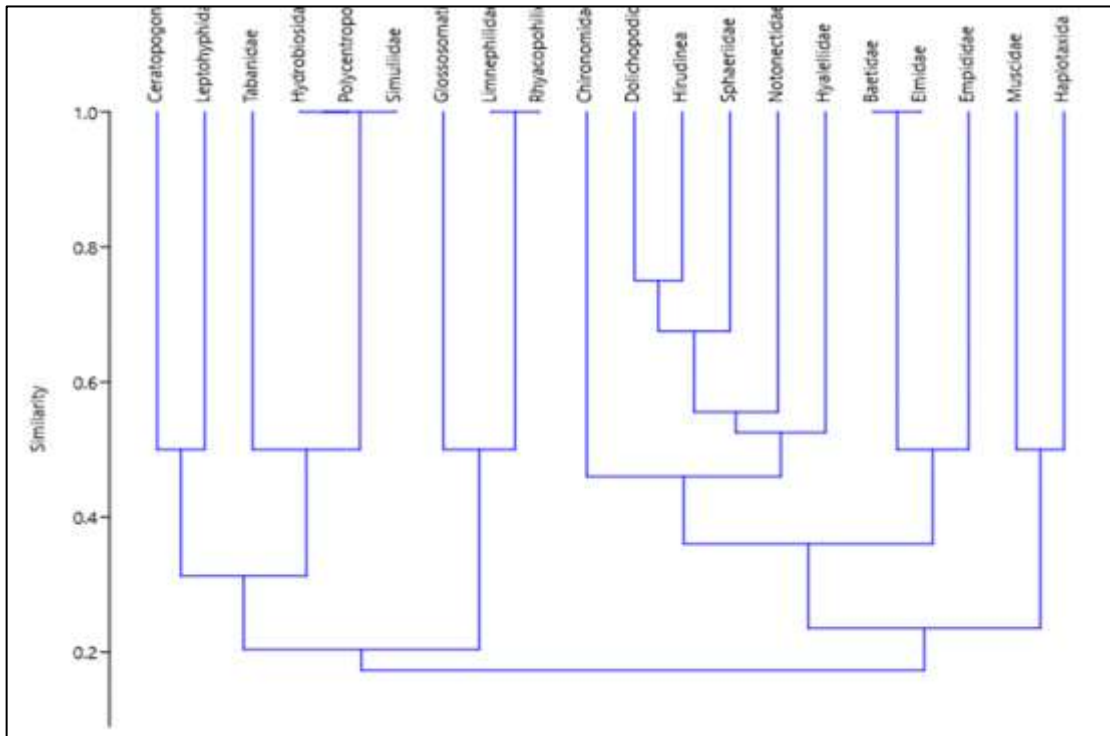


Ilustración 4-21: Dendograma de distribución de familias - Método del vecino más Lejano

Realizado por: Castillo, K.; Cujilema, L. (GIDAC 2023)

Con base en la información obtenida en el monitoreo de macroinvertebrados acuáticos, se realizó el dendograma respectivo a partir del índice de similaridad Jaccard, el cual compara la proximidad para los datos tanto del número de especies diferentes (riqueza de especies) como de sus abundancias relativas (uniformidad de especies). En este caso se consideró la uniformidad de especies a partir del tipo de macroinvertebrados presentes en los puntos de monitoreo por medio de la aplicación del método Linkage Completo Aglomerativo (Vecino más lejano) y por consiguiente se determina la presencia de tres grupos con mayor similitud y significancia de acuerdo a su coeficiente de correlación con valor de 1 los cuales son: el primer grupo formado por la familia *Hydrobiosidae*, *Polycentropodidae* y *Simuliidae*, la segunda agrupación constituida por *Limnephilidae* y *Rhyacophiliidae* y el tercer grupo conformado por *Elmidae* y *Baetidae*; mientras que se reconoce un último grupo significativo cuyo coeficiente de correlación presenta un valor de 0.75 siendo conformado por la familia *Dolichopodidae* e *Hirudinea*.

4.8 Discusión

- **Variabilidad de cationes**

Calcio: El calcio se encuentra en la mayoría de las aguas naturales debido a su amplia presencia generalizada en rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias, se puede apreciar que en función de los valores promedios tuvo las mayores concentraciones en los meses de noviembre a diciembre en el *agua intersticial fuera del humedal* que es la zona no protegida según Plascencia (2010) mencionan que un agua subterránea no contaminada puede llegar a tener concentraciones desde 1 a 100 mg/l, este ligero aumento podría ser debido a las capas sedimentarias presentes tales como la calcita y dolomita; mientras que en el *agua superficial* presento mayor concentración en el mes de diciembre según investigaciones nos menciona que la presencia de calcio en aguas naturales varía según la fuente natural y típicamente se encuentra niveles por debajo de 15 mg/L y finalmente el *agua intersticial dentro del humedal* presento los valores más pequeños en comparación con los otros dos tipos de agua, debido a lo establecido por Chulim (2008), esto se debería a la composición, concentración iónica que presentarían en aguas subterráneas pues al estar en contacto con materiales de origen volcánico estos materiales son de baja solubilidad.

Magnesio: En la gráfica que se muestra sobre la concentración magnesio en los cuatro meses de muestreo, se determinó que el *agua intersticial fuera del humedal* tuvo los mayores valores en promedio de la concentración en el mes de diciembre a enero, según Carrillo Chavez (1996), menciona que podría ser debido al producto del agua de lluvia que se infiltra y fluye a través del suelo y las rocas llevando consigo minerales y elementos naturales así como contaminantes; el *agua superficial* cabe destacar en función de sus promedios, se mantienen constantes dichas concentraciones con un ligero aumento en enero, según Sandi (2008) el catión Magnesio las concentraciones naturales en aguas superficiales varían entre 1 y hasta 100 mg/L, dependiendo del tipo de roca del que provenga de acuerdo al reglamento de agua superficiales de Costa Rica a su vez establece que un valor de 8,7 mg/L para la conservación y desarrollo de la vida acuática además cabe decir que en general las concentraciones obtenidas se encontraron dentro de los ámbitos de concentraciones naturales, y no representan ningún impacto en la conservación y preservación de la vida acuática y finalmente *el agua intersticial dentro del humedal* presentó los valores más pequeños en comparación con los otros dos tipos de agua según Hitcho (1999) menciona que el rango de magnesio en aguas subterráneas va de 0.5 a 50 mg/l y en agua subterránea contaminada puede llegar hasta arriba de 1300 mg/l .

Potasio: El catión potasio del *agua intersticial fuera del humedal* observamos que presentan mayores concentraciones de noviembre, diciembre a enero se presume a que en aguas subterráneas con concentraciones por encima de 10 mg/L pueden en ocasiones, ser indicio de contaminación debido al estiércol puesto que ellas pueden derivarse de la oxidación de la materia orgánica nitrogenada de origen animal además de que se encuentra en una zona no protegida mientras que el *agua superficial* vemos un ligero aumento en el mes de noviembre mientras que se muestra una disminución en los meses de diciembre a enero se presume según Plascencia (2010) es debido a que son aguas naturales donde las concentraciones de potasio son menores a 10 mg/L, mientras que *el agua intersticial dentro del humedal* sus concentraciones son menores con respecto a los otros tipos de agua ya que según el mismo autor menciona que las concentración de potasio en agua subterránea no contaminada es del rango de 0.3 a 10 mg/l y además ya que el potasio tiende a ser fijado irreversiblemente en procesos de formación de arcillas y de absorción en la superficie de minerales con alta capacidad de intercambio iónico.

Sodio: Según la gráfica del *agua intersticial fuera del humedal* se observa un mayor aumento en el mes de diciembre se presume según Plascencia (2010) nos menciona que el posible incremento se debe a la evapotranspiración, mientras *agua superficial* vemos que no existió ninguna variación en los cuatro meses de monitoreo según Sandi (2008) menciona que aguas naturales superficiales varían de manera considerable dependiendo de las condiciones geológicas locales y *el agua intersticial dentro del humedal* presenta menor variabilidad podría deberse a que está asociado al lavado del suelo con el inicio de las lluvias favoreciendo el intemperismo de las rocas.

- **Variabilidad de aniones**

Nitratos y Nitritos: Para comprender el comportamiento de los nitratos y nitritos en los tres tipos de agua, es necesario partir del hecho de que sus concentraciones en aguas naturales son un indicador importante de la calidad del agua debido solubilidad en esta, por lo que fácilmente son transportados desde el suelo a las aguas subterráneas y superficiales generando alteraciones en sus concentraciones y por tanto un desequilibrio en el recurso hídrico. De acuerdo con el informe sobre “La Contaminación del Agua por Nitratos y Nitritos” de la ONG ambientalista internacional Greenpeace (Armestre, 2022, pp. 8-11), se pudo constatar en ambas gráficas, que, en los 4 meses de monitoreo correspondientes a la época de lluvia, hubo mayor concentración de nitratos y nitritos en el *agua intersticial fuera del humedal*, esto ocurrió posiblemente porque en esta zona existe la presencia de animales como caballos, ovejas, llamas y vicuñas, cuyos excrementos y orina son ricos en nitratos mismos que son biodegradados y convertidos en nitritos por acción microbiana.

En orden decreciente se puede observar que el agua que tuvo las concentraciones medianas de estos aniones fue el *agua intersticial dentro del humedal*, cabe destacar que es una zona que cuenta con un cercado de alambre de protección, sin embargo al comprender el hecho de que los análisis fueron hechos en época de lluvia, se asume que los excretos de animales en zonas sin protección a sus costados, se filtraron, provocando que las sustancias contaminantes se queden en los poros de las rocas o agua intersticial, lo que hace que queden retenidas en el subsuelo. Y finalmente se puede observar que el *agua superficial*, fue el tipo de agua que tuvo las menores concentraciones de estos dos aniones y de acuerdo con la investigación “Cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de iones de Nitrato en dos cuencas andinas altas del sur del Ecuador” de Curillo (2017, pp. 72-79), este tipo de ecosistema acuático posee mecanismos naturales, que disminuyen las cargas contaminantes. Sin embargo, probablemente al producirse un aporte importante y mantenido en el tiempo de estos aniones, se producen alteraciones que hacen que los microorganismos existentes en el degraden la calidad del agua.

Sulfatos: Con respecto al anión sulfato, se puede apreciar que en función de los valores promedios tuvo las mayores concentraciones en los meses de octubre a diciembre en el *agua intersticial fuera del humedal* que es la zona no protegida, pero en el mes de enero fue superado por el tipo de *agua superficial*, misma que presenta mayores concentraciones en el mes de noviembre y diciembre que el *agua intersticial dentro del humedal*. De acuerdo con la “Guía para la calidad del agua de consumo humano” de la OMS (2018, pp. 267-280), se indica que los sulfatos están presentes de forma natural en muchos minerales que se liberan al agua, además la precipitación desde la atmósfera agrega a las aguas superficiales un contenido importante de sulfatos; no obstante, las concentraciones más altas suelen encontrarse en aguas subterráneas, a partir de ello y de la investigación “Origen de los sulfatos en el agua subterránea del sur de la sierrita de Ticul, Yucatán” de Castro (2009, pp. 49-58), se puede deducir que estas variaciones probablemente se dieron porque los meses analizados constituyen a la época lluviosa y que durante el ciclo del agua esta recorrió las zonas rocosas superficiales y subterráneas pertenecientes al Chimborazo y Carihuairazo, absorbiendo y disolviendo minerales de estos volcanes en el agua debido al lavado y la disolución parcial de materiales del terreno por el que discurre, por tanto se concluye que los valores obtenidos de sulfatos en el transcurso de los meses de muestreo no necesariamente indican que han sido sometidas a contaminación antropogénica, debido a que los valores independientemente del tipo de agua de estudio, al ser comparados con el Acuerdo Ministerial 0-97A, no superan los valores máximos permisibles, por lo que se las considera de buena calidad.

Fosfato: En la gráfica que se muestra sobre la concentración fosfatos en los cuatro meses de muestreo, se determinó que el *agua intersticial fuera del humedal* tuvo los mayores valores en

promedio de la concentración de este anión de forma seguida desde el mes de octubre a diciembre, siendo solamente superado por el *agua superficial* en el mes de enero, cabe destacar que este tipo de agua tuvo en función del tiempo los datos más proporcionales y constantes de dichas concentraciones y finalmente *el agua intersticial dentro del humedal* presentó los valores más pequeños en comparación con los otros dos tipos de agua. Debido a lo establecido por Petra Pütz (2010), en donde se menciona que la mayor parte del fósforo elemental se almacena en las rocas fosfáticas pertenecientes a los volcanes Chimborazo y Carihuairazo, por lo que su corteza terrestre es el mayor depósito o reservorio de fósforo, con el tiempo, estas rocas se erosionan o desgastan (meteorización), al quedar expuestas al aire, lo que libera fosfato inorgánico (PO_4^{3-}) y el agua de lluvia transporta estas sales de fosfato a los suelos y los cuerpos de agua, a partir de ello se deduce que posiblemente en el *if*, hubo mayores concentraciones porque aparte de las concentraciones de fósforo que existen en el suelo y que se han filtrado en el agua, también existe el excreto de los animales, mismos que también cuentan con este compuesto; mientras que en el caso del *sup*, el hecho de que el agua fluya libremente oxigenándose, posiblemente permita que las concentraciones no incrementen y se mantengan constante en el transcurso de los meses y finalmente en el *id*, al estar dentro de la zona protegida, se comprende que los valores reflejados de fosfatos constituyan a las concentraciones naturales del medio. Cabe destacar que de acuerdo a lo dicho por Josep Peñuelas (2017): "*Si un río o un lago se encuentran en buen estado, lo más habitual es que encontremos bastante más compuestos de Nitrógeno que fósforo*", lo que explica que la calidad del recurso hídrico es buena ya que las concentraciones que se obtuvieron de fosfatos en el presente estudio, si son menores a la de nitratos, por lo que el agua de estudio no presentaba eutrofización.

4.9 Comprobación de la hipótesis

A partir de la aplicación de los métodos ABI y BMWP/Col se acepta la hipótesis de que la calidad del agua superficial e intersticial del humedal del Rio Colorado de la RPFCH es de buena calidad, debido a que se consideró la sumatoria de las valoraciones pertenecientes a las familias de macroinvertebrados presentes en la zona de estudio, en donde se obtuvo una puntuación de 96 en el índice ABI que indica buena calidad y finalmente una puntuación de 107 en el índice BMWP/Col, misma que indica que el agua es limpia.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se encontró que las correlaciones directas positivas más fuertes con el RAS fueron el sodio con 0.766 y sólidos totales con 0.57, además el agua intersticial con los parámetros de pH, nitritos, nitratos, oxígeno disuelto y sulfatos se encuentran dentro de los rangos establecidos por el acuerdo el Acuerdo Ministerial 097-A.
- Se realizó la cuantificación de la variabilidad independiente de los cationes: calcio, magnesio, potasio y sodio, mismos que comparten concentraciones mayores en el agua intersticial fuera del humedal, seguido del agua superficial y por último el agua intersticial dentro del humedal presentó las menores concentraciones, con respecto a la variabilidad independiente de los aniones: nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos demostraron comportamientos distintos entre el agua intersticial fuera del humedal y el agua superficial en comparación con el agua dentro del humedal debido a que la variación del clima influyo en la dispersión de los datos.
- Los índices biológicos aplicados en el humedal del Río Colorado, permitieron determinar que la calidad de este recurso hídrico según el índice ABI es de “Buena Calidad” y en el índice BMWP/Col es “Agua Limpia” garantizando que se encuentra en buenas condiciones, además, los índices de diversidad Alpha y Beta fueron usados para entender la distribución y diferenciación de las comunidades biológicas, en donde se define que la predominancia de familias de macroinvertebrados fueron: Hyalellidae, Hirudinea, Rhyacophilidae y Limnephilidae.

5.2 Recomendaciones

- Se deben crear planes de manejo ambiental de los recursos hídricos del páramo de la Reserva Faunística Chimborazo con niveles participativos en la conservación, mantenimiento y protección porque son ecosistemas frágiles con alta diversidad biológica que mitigan y permitan la adaptación al cambio climática.

- Para la determinación de la calidad del agua, se puede complementar el estudio aplicando el Índice de Calidad del Agua (ICA), mismo que permite establecer si el recurso hídrico de estudio presenta algún grado de contaminación o si se encuentra en óptimas condiciones con el fin de garantizar el bienestar humano.
- Es necesario complementar con un estudio en la época seca para contrastar los resultados obtenidos de la época lluviosa para analizar cómo influye la variabilidad climática en la *calidad del agua* de los páramos andinos.
- La mayor parte de los páramos se encuentran aledaños a comunidades, que muchas de las veces no tienen conocimiento de la importancia y su cuidado, por tanto, han contribuido a su deterioro por lo que es importante brindar charlas de educación ambiental con los habitantes de la comunidad.

ABREVIATURAS

ABI: Índice Biótico Andino

aip: Agua Intersticial de la Zona Protegida

BMWP: Índice Biological Monitoring Working Party

°C: Grados Centígrados

id: Agua Intersticial Dentro del Humedal

if: Agua Intersticial Fuera del Humedal

inp: Agua Intersticial en la Zona No Protegida

GIDAC: Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático

OD: Oxígeno Disuelto

OMS: Organización Mundial de la Salud

PDyOT: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial

RPFCH: Reserva de Producción de Faunística de Chimborazo

RAS: Relación Adsorción Sodio

SST: Sólidos Suspendidos Totales

sup: Agua Superficial

TULSMA: Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente

UFC/ 100ml: Unidades Formadoras de Colonias por cada 100 mililitros

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, Claudio. Los humedales. [En línea] Febrero de 2011. <https://hoy.com.do/los-humedales/>.

ACOSTA, Raúl & RÍOS, Blanca. Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. 2009, págs. 14-15.

AGQLABS. Medición de niveles freáticos. [En línea] 2021. <https://agqlabs.cl/2021/07/15/medicion-de-niveles-freaticos/#:~:text=El%20nivel%20fre%C3%A1tico%2C%20tambi%C3%A9n%20conocido,la%20presi%C3%B3n%20atmosf%C3%A9rica%20son%20iguales..>

AMÓN MENDOZA, Jonnathan & LÓPEZ IÑIGUEZ, Carlos . estudio de la influencia de la vegetación y bosque de ribera en la calidad del agua del río tomebamba de la ciudad de cuenca. [En línea] 2020. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18462/4/UPS-CT008707.pdf>.

ARMESTRE, Pedro. La Contaminación del Agua por Nitratos y Nitritos. *Greenpeace*. [En línea] 2022. <https://es.greenpeace.org/es/wp-content/uploads/sites/3/2022/05/informe-aguas-5.pdf>.

BAN, Ki-moon. Water Quality and Health Strategy 2013 - 2020. *World Health Organization*. [En línea] 2013. https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/water-quality-and-health-strategy-2013-202088cf62a6-739c-40a1-aead-868b4e06a08e.pdf?sfvrsn=6a2c774c_1&download=true#:~:text=2.-,The%20strategy,water%2C%20sanitation%20and%20hygiene%20interventio.

BARRERO LANCHEROS, María & MÁRQUEZ PEÑA, Andrea. Evaluación de la calidad del agua en el humedal la Conejera, localidad 11 de Suba. [En línea] 2015. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/4299/EVALUACION-CALIDAD-DEL-AGUA-HUMEDAL-LA-CONEJERA-FINAL-3.pdf;jsessionid=D923EA49F278582FE622E51A4996B508?sequence=1>.

BOLAÑOS ALFARO, John & CORDERO CASTRO, Gloriana. Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). 2017, Vol. 30, 4, págs. 16-18.

BOSCH, J. La calidad de las aguas. [En línea] 1999.

CABEZAS GONZÁLEZ, Erika Alexandra. *Plan de manejo para la restauración de dos humedales del ecosistema páramo de Sachahuayco de la mancomunidad frente sur occidental del cantón Mocha, provincia de Tungurahua.* Riobamba : s.n., 2012.

CALLES, Juan. *Calidad del agua de los ríos en los páramos de Tungurahua usando Bioindicadores Acuáticos.* Tungurahua : s.n., 2015. págs. 8-18.

CASCO, Gilson & PATIÑO, Luis. Evaluación vertical de los cationes: K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ E H⁺ en Suelos Altoandinos de La Microcuenca del Río Atillo . [En línea] 2021. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15340>.

CASTILLO LEMA, Mesías David. Determinación de la calidad de agua mediante indicadores físicos, químicos y biológicos en los bofedales de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo. [En línea] 2019. <https://1library.co/document/zpnpv20y-determinacion-mediante-indicadores-quimicos-biologicos-bofedales-produccion-chimborazo.html>.

CASTRO, Graniel. Origen de los sulfatos en el agua subterránea del sur de la sierrita de Ticul, Yucatán. [En línea] 2009. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46713055005.pdf>.

CHACÓN CHAQUEA, Myriam. *Análisis físico y químico de la calidad del agua.* Bogotá : USTA, 2016. pág. 52.

CHAFLA NAULA, Celia. Propuesta para el mejoramiento de las facilidades turísticas e interpretativas del sitio de visita comprendida en la ruta de los refugios, en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo. [En línea] 2018. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10331/1/23T0719.pdf>.

CHÁVEZ, Alejandro Carrillo. Environmental geochemistry of the San Antonio-El Triunfo mining area, southernmost Baja California Peninsula, Mexico. [En línea] 1996.

<https://www.proquest.com/openview/f59f8834924823b5f8c0157740479620/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>.

CHULIM, Can. Evaluación de la relación de adsorción de sodio en las aguas del río Tulancingo, estado de Hidalgo, México. [En línea] 2008. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792008000300006&script=sci_abstract&tlng=es.

CHUNCHO, Carlos & CHUNCHO, Guillermo. Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión. [En línea] 05 de Diciembre de 2019. https://drive.google.com/file/d/1_m4ZobqzjfgTfv2S3CvB4AljSh5IIpNs/view.

CLEANTEQ. Agua Superficial. [En línea] 2020. <https://www.cleanteqwater.com/es/mercados/agua-superficial/>.

COCAP. Plan de Manejo de Páramos de la Zona Alta de Pilahuín . [En línea] 2011. <https://docplayer.es/146786869-Corporacion-de-organizaciones-campesinas-de-pilahuin-c-o-c-a-p-plan-de-manejo-de-paramos-de-la-zona-alta-de-pilahuin.html>.

CUELLO SALINAS, Magda Juliana & GALVIS RUEDA, Manuel. Diversidad y composición de plantas vasculares en humedales del páramo Rabanal, Boyacá- Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. Julio de 2020, Vol. 11, 2, págs. 134-136.

CURILLO SANTOS, Diana Lorena. Cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de iones de nitrato en dos cuencas andinas altas del sur del Ecuador. [En línea] 2017. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14817>.

DARRIGRAN, G; et al. Guía para el estudio de macroinvertebrados. Métodos de colecta y técnicas de fijación. [En línea] 2007. Serie Técnica Didáctica, May 2015.

DÉLEY, Roberto & SANTILLÁN, Patricio. Macroinvertebrados bentónicos de las microcuencas Jubal, Ozogoche y Zula Parque Nacional Sangay - Ecuador. [En línea] 2016. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7659361.pdf>.

DÍAZ, Paulina. Caracterización Ecológica De Bofedales, Hábitat De Vicuñas Aplicando Metodologías De Teledeteccion Y Sig Estudio De Caso: Reserva De Producción De Fauna Chimborazo. 2016, Vol. 12, 35, pág. 135.

EcoAmérica. Bolivia, el país con mas humedales. [En línea] Febrero de 2014. https://www.ecoticias.com/eco-america/88375_noticia-medio-ambiente-bolivia-pais-humedales.

ESCUER, Edmundo Fayanás. Los humedales. [En línea] nuevatribuna, Julio de 2011. <https://www.nuevatribuna.es/articulo/medio-ambiente/los-humedales/20110713172234057824.html>.

EUSTAQUIO ROJAS, Jorge Luis. Propiedades del agua. *Universidad Nacional de Trujillo (UNT)*. [En línea] 2019. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/14765>.

FICK, Stephen E & HIJMANS, Robert J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. [En línea] 15 de Mayo de 2017.

GALLEGOS, Maria. Espectroscopía de Absorción Atómica con llama y su aplicación para la determinación de plomo y control de productos cosméticos. 2012, Vol. 15, 1, págs. 18-25.

GARCÍA RODRÍGUEZ, Manuel. La hidrosfera. El ciclo del agua. La contaminación del agua. Métodos de análisis y depuración. El problema de la escasez del agua. 2009, págs. 11-17.

GARDNER, Royal. Perspectiva mundial sobre los humedales. [En línea] 2018. https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/gwo_s.pdf.

GELAMBI, Mariana. ¿Qué es el índice de Shannon y para qué sirve? [En línea] 18 de Diciembre de 2018. <https://www.lifeder.com/indice-de-shannon/#:~:text=El%20C3%ADndice%20de%20Shannon%20es,a%20una%20>.

GONZÁLEZ ZUARTH, César Alberto. *Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental*. 2014. págs. 27-56.

GUADARRAMA TEJAS, Rosendo. Contaminación del agua. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*. 2016, Vol. 2, 5.

HAMMER. Paleontological Statistics PAST. *University of Oslo*. [En línea] 2018. https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4407502/mod_resource/content/1/past3manual.pdf.

HANNA. HI 801 IRIS Espectrofotómetro Métodos de Fábrica. *Manual de instrucciones HANNA*. [En línea] 2019. https://cdn.hannacolombia.com/hannacdn/support/manual/2019/06/HI_801_Metodos_Colombia.pdf.

HANSON , Paul; et al. Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. 2010, Vol. 58, págs. 4-7.

HERNÁNDEZ, Manuel & RUIZ, Diego. Determinación de la distribución de contaminantes emergentes en agua intersticial en sedimentos de humedal mediante la optimización y validación de un método analítico. 30 de Abril de 2019, Vol. 2, 35, pág. 409.

HITCHON, Brian. Introduction to Ground Water Geochemistry. [En línea] 1999. <https://geosciencepublishing.com/titles-available/introduction-to-ground-water-geochemistry/>.

INAMHI. Red de estaciones Meteorológicas e Hidrológicas . [En línea] 2016. <https://inamhi.wixsite.com/inamhi/novedades>.

LI, Daoliang & LIU, Shuangyin. *Water Quality Evaluation. In Water Quality Monitoring and*. 2019. pág. 114.

LOZANO ORTIZ, Liz. La bioindicación de la calidad del agua: importancia de los macroinvertebrados en la cuenca alta del río Juan Amarillo, cerros orientales de Bogota. *Umbral Científico*. 2005, Vol. 1, 7, pág. 5.

LOZANO, Patricio & ANDRADE, José. Determinación del estado de conservación de los bofedales de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo. (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. [En línea] 2016. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5163?mode=full>.

MAE. Metodología para la Representación Cartográfica de los Ecosistemas del Ecuador Continental. [En línea] 2013.

MAG. Memoria explicativa del Mapa de Órdenes de Suelos del Ecuador. In SIGTIERRAS Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica. [En línea] 2017. <http://www.sigtierras.gob.ec/mapa-de-ordenes-de-suelos/>.

MATAS PALOU, Jaime. La calidad de las aguas. *Libro blanco del agua*. Madrid : Centro de Publicaciones Secretaría general Técnica Ministerio de Medio Ambiente, 2000, págs. 196-198.

MATTEI, Alexandra; et al. Pore water isotope fingerprints to understand the spatiotemporal groundwater recharge variability in ungauged watersheds. [ed.] Assigned to Associate Editor Bing Si. *Université du Québec*. 27 de Octubre de 2020, Vol. 19, 1, págs. 1-2.

MORALES BETANCOURT, Juan Alejandro; et al. El Páramo: ¿Ecosistema en vía de extinción? [En línea] Junio de 2006. <https://www.redalyc.org/pdf/3217/321727224004.pdf>.

NAVAS CUENCA, E. *Calidad de aguas : usos y aprovechamiento*. Málaga : ICB.SL, 2017. pág. 5. Vol. 1 Edición.

OCHOA SÁNCHEZ, Ana Elizabeth. Cápsula: Los páramos: fuentes primarias de agua. [En línea] 21 de Junio de 2019. <https://www.ucuenca.edu.ec/component/content/article/233-espanol/investigacion/blog-de-ciencia/1203-paramos-blog?Itemid=437>.

ONU. 2015. El agua, fuente de vida. *Secretaría de ONU-Agua Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas*. [En línea] 2015. <https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/waterforlifebklt-s.pdf>.

ONU. 2019. La degradación del medio ambiente provocará millones de muertes prematuras. [En línea] Marzo de 2019. <https://news.un.org/es/story/2019/03/1452781>.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Guía para la calidad del agua de consumo humano. [En línea] 2018. <https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/1136016/retrieve>.

PLASCENCIA, Mirian. Desarrollo hidrogeoquímico de la cuenca San Miguel, Baja California. [En línea] 2010. <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/2508>.

PNUD. *El fondo de manejo de páramos y lucha contra la pobreza de Tungurahua*. Tungurahua : Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2022.

PÜTZ, Petra. Eliminación y determinación de fosfato. *Departamento de aplicación de laboratorio de Hach Lange*. [En línea] Febrero de 2010.

<https://www.interempresas.net/Quimica/Articulos/37743-Eliminacion-y-determinacion-de-fosfato.html>.

RAMIREZ GONZÁLES, Alberto & VIÑA VIZCAÍNO, Gerardo. Sistema de Información del Medio Ambiente. [En línea] 2007. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/solidos_suspension.pdf.

RAMSAR. La Convención de Ramsar: ¿de qué trata? *Convención sobre los humedales*. [En línea] 2015. [Citado el: 7 de 11 de 2022.] https://www.ramsar.org/sites/default/files/fs_6_ramsar_convention_sp_0.pdf.

REIXACH, Josep Peñuelas. El fósforo ha pasado de ser un nutriente a ser un contaminante global. *SINC*. [En línea] 2017. <https://www.agenciasinc.es/Noticias/El-fosforo-ha-pasado-de-ser-un-nutriente-a-ser-un-contaminante-global#:~:text=%22Si%20un%20r%C3%ADo%20o%20un,de%20f%C3%B3sforo%22%2C%20explica%20Pe%C3%B1uelas..>

REYES, Luis Manfredo. Análisis exploratorio gráfico de datos con PAST. [En línea] Noviembre de 2014. [http://reyesestadistica.blogspot.com/2014/11/analisis-exploratorio-grafico-de-datos_24.html#:~:text=Past%20es%20un%20paquete%20gratuito,espacial%2C%20morfometr%C3%ADa%20y%20estratigraf%C3%ADa\)..](http://reyesestadistica.blogspot.com/2014/11/analisis-exploratorio-grafico-de-datos_24.html#:~:text=Past%20es%20un%20paquete%20gratuito,espacial%2C%20morfometr%C3%ADa%20y%20estratigraf%C3%ADa)..)

Riobamba. *La Reserva de Producción de Fauna Chimborazo (RPFCH)*. Riobamba : s.n., 2015.

RIVERA MANOSALVA, Ivonne Noemí & DUCHICELA MOREIRA, Katty Lucía. Evaluación ecológica de la calidad del bosque de ribera de la microcuenca del río cebadas. [En línea] 2022. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15437/1/236T0578.pdf>.

RIVERA, Ivonne. Plan gerencial Reserva de Producción Faunística Chimborazo resumen ejecutivo. [En línea] 2015. https://www.academia.edu/43416939/PLAN_GERENCIAL_RESERVA_DE_PRODUCCI%C3%93N_FAUNISTICA_CHIMBORAZO_RESUMEN_EJECUTIVO.

ROCHA, Daniela. *Páramos sin frontera : una experiencia educativa basada en la pedagogía de la conservación con diversos profesionales para el reconocimiento y la conservación del páramo a través de la ilustración crítica.* Bogotá : s.n., 2018.

ROLDÁN PÉREZ, Gabriel. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua. 2016, págs. 256-260.

ROMERO, Fernando; et al. Hacia un manejo adaptativo de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo y su zona de amortiguamiento. [En línea] 2018. <https://vdocuments.net/hacia-un-manejo-adaptativo-de-la-reserva-de-anexo-1-mapa-conceptual-del-analisis.html?page=1>.

SÁNCHEZ MOLANO, Mary & GARCÍA, Diana Paola. Determinación del índice BMWP/Col, mediante la utilización de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad de agua, en el cauce del río Guachicos, que surte el acueducto del municipio de Pitalito. [En línea] Septiembre de 2018. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/21168/36281677.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

SANDÍ, Wilson Beita. Caracterización fisicoquímica de las aguas superficiales de la cuenca del río Rincón en la Península de Osa, Puntarenas, Costa Rica. [En línea] 2008. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/334>.

SCHLUMBERGER. Agua Intersticial. [En línea] 11 de Mayo de 2020. <https://www.diccionario.geotecnia.online/palabra/agua-intersticial/>.

SHAGÑAY, Germán. *Levantamiento de línea base de los humedales de la comunidad de Ozogoche, parroquia Achupallas, provincia de Chimborazo.* Riobamba : s.n., 2014. págs. 13-14.

SIERRA RAMÍREZ, Carlos Alberto. *Calidad del agua : evaluación y diagnóstico.* [ed.] Leonardo López. Medellín : Ediciones de la U, 2011. pág. 83. Vol. 1 edición.

TARTABULL PUÑALES, Tania & BETANCOURT AGUILAR, Carmen . La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan. 2016, Vol. 4, 1, págs. 50-51.

TENELEMA CAÍN, Marco Vinicio. Caracterización de los suelos de los bofedales en la Reserva de Producción Faunística Chimborazo, en base al grado de intervención en dos pisos altitudinales. [En línea] 2016. <https://1library.co/document/z1dlk6pz-caracterizacion-bofedales-reserva-produccion-faunistica-chimborazo-intervencion-altitudinales.html>.

TOLEDO BASANTES, Margarita Belén. Determinación de la calidad del agua mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores en la Microcuenca del Río Chimborazo”. [En línea] 2015. <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/4774/1/236T0141.pdf>.

ZITA, Ana. Cationes y Aniones. [En línea] 2018. <https://www.diferenciador.com/cationes-y-aniones/>.

ZURITA, Susana; et al. Análisis diversidad florística del ecosistema herbazal inundable del páramo comunidad río colorado alto, Pilahuin – Tungurahua. 02 de Septiembre de 2020, Vol. V, 51, págs. 81-89.





























ANEXOS















ANEXO A: MATRIZ DE CORRELACION DE SPEARMAN

	Nitratos	Nitritos	Fosfatos	Sulfatos	Na	K	Mg	Ca	pH	Cond	SST	O.D	Colif	Temp	Salinid	RAS
Nitratos	1															
Nitritos	0.806	1														
Fosfatos	0.203	0.263	1													
Sulfatos	0.688	0.479	-0.07	1												
Na	0.496	0.551	0.298	0.362	1											
K	0.43	0.442	0.301	0.214	0.795	1										
Mg	0.553	0.669	0.381	0.307	0.823	0.712	1									
Ca	0.269	0.421	0.335	0.236	0.696	0.576	0.618	1								
pH	-0.12	-0.24	0.076	-0.04	-0.09	0.069	-0.29	0.007	1							
Conductividad	0.281	0.311	0.182	0.307	0.652	0.563	0.431	0.495	-0.04	1						
SST	0.258	0.195	0.014	0.297	0.647	0.615	0.388	0.53	0.149	0.788	1					
O.D	-0.53	-0.45	-0.21	-0.31	-0.06	-0.11	-0.22	0.05	-0.18	-0.2	-0.09	1				
Coliformes	0.597	0.522	0.285	0.392	0.744	0.838	0.749	0.579	0.082	0.490	0.553	-0.27	1			
Temperatura	0.177	0.410	0.394	-0.15	0.368	0.418	0.537	0.434	-0.26	0.045	-0.00	-0.04	0.332	1		
Salinidad	0.534	0.599	0.203	0.371	0.777	0.607	0.647	0.714	-0.16	0.702	0.560	-0.06	0.635	0.320	1	
RAS	0.080	0.06	-0.01	0.133	0.766	0.506	0.371	0.339	0.063	0.521	0.576	0.264	0.377	0.018	0.502	1

ANEXO B: MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS IDENTIFICADOS EN EL HUMEDAL DEL RÍO COLORADO

N	FAMILIA	FOTOGRAFÍAS	
1	Hyaellidae		
2	Hirudinea		
3	Rhyacophilidae		
4	Limnephilidae		
5	Notonectidae		
6	Dolichopodidae		

7	Elmidae		
8	Glossosomatidae		
9	Baetidae		
10	Leptohyphidae		
11	Muscidae		
12	Chironomidae		
13	Hydrobiosidae		

14	Empididae		
15	Haplotaenidae		
16	Simuliidae		
17	Polycentropodidae		
18	Sphaeriidae		
19	Tabanidae		
20	Ceratopogonidae		

ANEXO C: SALIDAS DE CAMPO

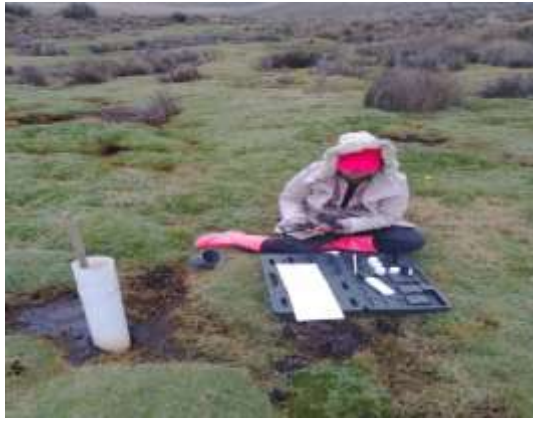
Colocación de tubos PVC para el agua intersticial



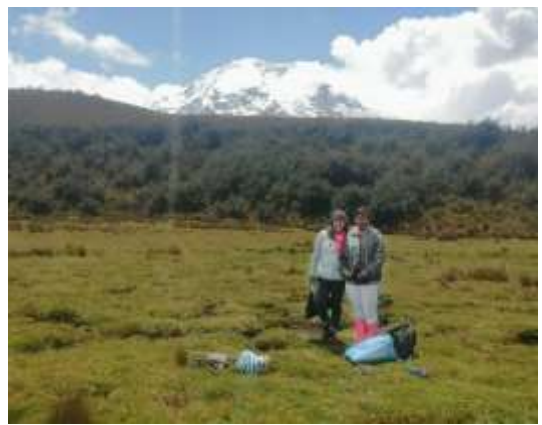
ANEXO D: TOMA DE MUESTRAS DE AGUA INTERSTICIAL, SUPERFICIAL Y MACROINVERTEBRADOS

Agua Intersticial





Agua Superficial y Macroinvertebrados



ANEXO E: ANÁLISIS DE LABORATORIO

Parámetros químicos

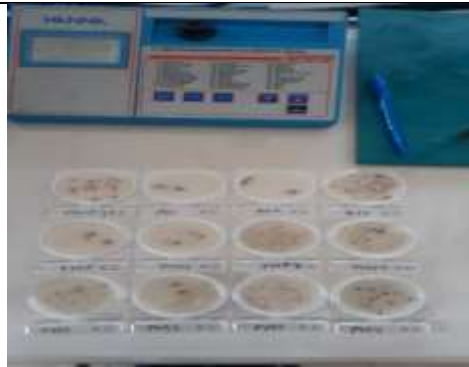
Análisis de aniones



Análisis de cationes



Análisis microbiológicos



Identificación de macroinvertebrados





esPOCH

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: 07 / 08 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Kiara Janelly Castillo Charcopa Lisseth Esthefania Cujilema Yumbo
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Ambiental
Título a optar: Ingeniero Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

1376-DBRA-UPT-2023