



Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Biología, Ecología y Gestión

**DETERMINACIÓN DE FACTORES FÍSICO
QUÍMICOS EN CUERPOS LÉNTICOS EN EL
PÁRAMO DEL MACIZO DEL CAJAS**

**Trabajo de Titulación Previo a la obtención del título de:
Biólogos con mención en Ecología y Gestión**

Autores:

**Diana Gabriela Cárdenas Cadme
John James Macías Criollo**

Director:

Blgo. Edwin Zarate Hugo MSc.

**Cuenca – Ecuador
2022**

DEDICATORIA

A mis padres por ser el pilar fundamental en mi vida, por su esfuerzo y apoyo incondicional y a mis hermanos por creer siempre en mí.

D. Cárdenas Cadme

A mis padres, por el apoyo brindado.

J. Macías Criollo

AGRADECIMIENTO

A la Universidad del Azuay por formarnos como excelentes profesionales, a cada uno de los docentes de la Escuela de Biología, Ecología y Gestión que fueron un pilar fundamental en nuestra educación al compartirnos sus experiencias y conocimientos. A nuestro tutor Mgt. Edwin Zarate Hugo por su guía en el desarrollo de cada etapa de este proyecto y por la confianza depositada en nosotros. Al Ing. Andrés Pérez por su contribución técnica, facilidades y paciencia brindada en laboratorio y al Ecol. David Siddons por su aporte estadístico durante el desarrollo de esta investigación.

D. Cárdenas Cadme
J. Macías Criollo

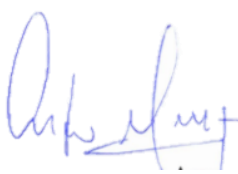
RESUMEN

La investigación se realizó en el Macizo del Cajas en diez lagunas (Luspa, Verdecocha, Toreadora, Dos Chorreras, Taitachugo, Dublas, Patos, Estrellascocha, Jigeno y Chusalongo) escogidas por su accesibilidad y localizadas en cuencas diferentes. En cada laguna se tomaron tres muestras de agua para determinar aniones, cationes y clorofila mediante cromatografía iónica, absorción atómica y espectrofotometría UV visible respectivamente. In situ se midieron mediante sondas portátiles parámetros como: oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica y temperatura, los cuales no presentaron variaciones significativas entre cuerpos de agua siendo valores esperados para lagunas de alta montaña. Las concentraciones de aniones, cationes y clorofila a, b, c, carotenoides y phaeopigmentos, presentaron niveles muy bajos que permitieron establecer que las lagunas son oligotróficas por su baja productividad a excepción de la laguna Verdecocha la cual se puede clasificar como mesotrófica.


Palabras clave: aniones, carotenoides, cationes, clorofila, lagunas, mesotrófico, oligotróficos, phaeopigmentos.




Blgo. Edwin Zarate Hugo MSc.
Director de Tesis



Blgo. Antonio Crespo Ampudia PhD.
Coordinador de Escuela de Biología



Gabriela Cárdenas Cadme
Estudiante – Autora

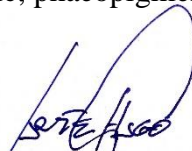


John Macías Criollo
Estudiante - Autor

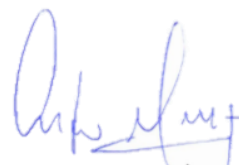
ABSTRACT

This investigation was carried out at "Macizo del Cajas" in ten lakes (Luspa, Verdecocha, Toreadora, Dos Chorreras, Taitachugo, Dublas, Patos, Estrellascocha, Jigeno y Chusalongo) chosen for their accessibility and location in different watersheds. In each lake, three water samples were taken to determine anions, cations and chlorophyll by ion chromatography, atomic absorption and visible UV spectrophotometry, respectively. *In situ*, parameters such as: dissolved oxygen, pH, electrical conductivity and temperature were measured by means of portable probes, did not show significant variations among lakes. Values for high mountain lakes were expected. The concentrations of anions, cations and chlorophyll a, b, c, carotenoids and phaeopigments showed very low levels, which showed that the lakes are oligotrophic due to their low productivity, with the exception of lake Verdecocha, which can be classified as mesotrophic

Keywords: anions, carotenoids, cations, chlorophyll, lakes, oligotrophic, mesotrophic, phaeopigmentos.




Blgo. Edwin Zarate Hugo MSc.
Thesis director




Blgo. Antonio Crespo Ampudia PhD.
Faculty coordinator

Translated by



Gabriela Cardenas Cadme
Estudiante – Autora



John Macías Criollo
Estudiante - Autor



3.2.1 Correlación de parámetros físicos-químicos.	16
3.2.2 Correlación de parámetros físicos-clorofila.	16
3.2.3 Correlación de parámetros química-clorofila.	16
3.3 Componentes principales (PCA)	18
CAPÍTULO 3	21
DISCUSIÓN	21
4. Parámetros Físico-Químicos	21
CONCLUSIONES	25
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
ANEXOS	29

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura No. 1** Mapa del área de estudio donde sobresale la Reserva de Biosfera del Macizo del Cajas y cantones que lo limitan 7
- Figura No. 2** Mapa del Reserva de Biosfera del Macizo del Cajas. Los puntos azules representan las lagunas muestreadas. 8
- Figura No. 3** Factores Químicos de las diez lagunas muestreadas en el Páramo del Macizo del Cajas, donde se analizaron aniones y cationes tales como: Fluoruro (F^-), Cloruro (Cl^-), Nitrito (NO_2^-), Bromuro (Br^-), Nitrato (NO_3^-), Fosfato (PO_4^{3-}) y Sulfato (SO_4^{2-}), Hierro (Fe^+), Sodio (Na^+), Potasio (K^+) y Magnesio (Mg^+) 15
- Figura No. 4** Análisis de Componentes Principales (PCA), en diez lagunas en el páramo del Macizo del Cajas a partir de factores Físicos Físicos (pH), Sólidos Disueltos (SD), Temperatura (T), Oxígeno Disuelto (OD) y Conductividad (CE)) y químicos Fluoruro (F^-), Cloruro (Cl^-), Nitrito (NO_2^-), Bromuro (Br^-), Nitrato (NO_3^-), Fosfato (PO_4^{3-}) y Sulfato (SO_4^{2-}), Hierro (Fe^+), Sodio (Na^+), Potasio (K^+) y Magnesio (Mg^+) 19
- Figura No. 5** Factores para identificación de relación de Componentes Principales (PCA), en diez cuerpos de agua en el páramo del Macizo del Cajas a partir de factores tales como: Clorofila a, b, c, Pheopigmentos y Carotenoides 20

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla No. 1</i> Coordenadas en UTM de las Lagunas Estudiadas.....	8
<i>Tabla No. 2</i> Valores promedio de parámetros físicos-químicos, de diez lagunas del Macizo del Cajas.....	13
<i>Tabla No. 3</i> Valores promedio de Phaeopigments (Phae), Clorofila (Chla, Chlb, Chlc) y Carotenoides, registrados con el método Tricromático.....	16
<i>Tabla No. 4</i> Análisis de Coeficiente de Correlacion de Person entre parámetros Físicos: Temperatura (TEMP), Conductividad (CE), Potencial de Hidrogeno (pH), Sólidos Disueltos (SD), Oxígeno Disuelto (OD); parámetros Químicos: Fluoruro (F^-), Cloruros (Cl^-), Nitrito (NO_2^-), Bromuro (Br^-), Nitrato (NO_3^-), Fosfato (PO_4^{-3}) y Sulfato (SO_4^{-2}), Hierro (Fe^+), Sodio (Na^+), Potasio (K^+) y Magnesio (Mg^+) y Clorofila (Chla, Chlb, Chlc), Phaeopigments (Phae), y Carotenoides.	17

ÍNDICE DE ANEXOS

<i>Anexo No. 1 Criterios de calidad de agua por varios autores.....</i>	<i>29</i>
<i>Anexo No. 2 Rangos de estados Tróficos definidos por diferentes autores.</i>	<i>29</i>
<i>Anexo No. 3 Lagunas Muestreadas.....</i>	<i>30</i>
<i>Anexo No. 4 Toma de muestras.....</i>	<i>31</i>
<i>Anexo No. 5 Fase de Laboratorio, filtrado de muestras.....</i>	<i>31</i>
<i>Anexo No. 6 Determinación de Aniones</i>	<i>32</i>
<i>Anexo No. 7 Concentración y Aforo de muestras</i>	<i>32</i>
<i>Anexo No. 8 Determinación de Cationes</i>	<i>32</i>

Cárdenas Cadme Diana Gabriela
Macías Criollo John James
Trabajo de Titulación
Zarate Hugo Edwin Javier MSc.
2022

DETERMINACIÓN DE FACTORES FÍSICO QUÍMICOS EN CUERPOS LÉNTICOS EN EL PÁRAMO DEL MACIZO DEL CAJAS

Introducción

El páramo es considerado uno de los ecosistemas más importantes del Ecuador gracias a que cubre una superficie de alrededor de 1.250.000 hectáreas, es decir el 7% del territorio nacional (Echavarría et al., 2004). Estos biomas son exclusivos de las montañas neotropicales que se encuentran distribuidos desde la Sierra Nevada en Colombia hasta Huancabamba en el Perú. Gracias a sus funciones como son la recolección, regulación, mantención y suministro de agua (De Groot et al., 2002), son considerados importantes para establecer la biodiversidad tanto en flora y fauna en territorios como: Colombia, Ecuador y Perú (Vásconez & Hofstede, 2006). Estas peculiaridades se deben a la baja evapotranspiración, humedad alta, acumulación de materia orgánica y a la morfología de ciertas plantas del páramo. Además, estos son los principales sumideros de carbono (C), almacenando hasta seis veces más carbono que otros bosques tropicales (Carrillo Rojas et al., 2019) Cabe destacar que, los servicios ecosistémicos que brindan los páramos son importantes, por esta razón Leiton (2020) considera que son ecosistemas que presentan mayor vulnerabilidad, influyendo en desequilibrios ecológicos y provocando diversos cambios que van desde la erosión del suelo hasta la degradación de cuencas hidrográficas y cuerpos lénticos (Buytaert et al., 2006).

Con respecto a los cuerpos lénticos (lagos y lagunas) del Macizo del Cajas, estos generan beneficios debido a sus características de origen glaciar (W. R. Van Colen et al., 2017), ya que dichos cuerpos se formaron hace 10000 años durante el Pleistoceno a altitudes que van desde los 3500 a 4500 metros sobre el nivel del mar (msnm). Los cuerpos de agua de origen glaciar en América tropical son muy pocos, sus factores físicos, químicos y biológicos dependen del tamaño, forma y profundidad (Roldán &

Ramírez, 2008). Los ecosistemas naturales que se encuentran alrededor de los lagos y lagunas están formados por una vegetación donde sobresale los pastizales de páramo y arbustos como *Polylepis* (Rosaceae) (Minga et al., 2016), por lo cual los suelos presentan una alta cantidad de materia orgánica (MO), la misma que a su vez es arrastrada desde la cuenca hidrográfica hasta los cuerpos de agua. Los lagos andinos de origen glaciar pueden diferir sustancialmente de los lagos de montaña templada, que tienen una estratificación térmica estable durante el verano y bajos aportes de materia orgánica a las cuencas. Los lagos del Macizo del Cajas suministran agua a varios afluentes importantes como son las vertientes del Atlántico y del Pacífico de la Cordillera de los Andes (Ministerio del Ambiente y Agua, 2018).

Cabe destacar que, de acuerdo a las características de los cuerpos lénticos, estos sistemas acuáticos presentan una eutrofización natural lenta, que depende de las características de su entorno. Este proceso en muchas ocasiones impide el acceso de luz al cuerpo de agua, por lo que desde el nivel más bajo de producción biológica hasta el más alto se dividen en: oligotróficos, mesotróficos, eutróficos e hipereutróficos; de los cuales, los oligotróficos se destacan por ser ecosistemas pobres en nutrientes, los mesotróficos, contiene cantidades moderadas o intermedias de nutrientes y los eutróficos sobresalen por tener altas cantidades de nutrientes (Oña & Tonato, 2017).

Los principales factores que establecen las características únicas de estos ecosistemas acuáticos (lagos y lagunas) son la temperatura (Peyre, 2015), que está influenciada por el gradiente altitudinal, la humedad del aire y la radiación solar, (Lauer & Rafiqpoor, 2000). Otro de los aspectos que sobresalen en el estudio limnológico de los cuerpos de agua, es la conductividad eléctrica (CE), que se encuentra relacionada con la salinidad, la concentración de iones y sólidos disueltos, siendo un parámetro relevante ya que brinda información sobre el aumento de contaminación en los cuerpos de agua. Las soluciones con mayor concentración iónica presentan alta conductividad, por el contrario, si son menores generan resistencia siendo estas aguas muy oligotróficas o pobres en iones (Wetzel & Likens, 1991)

Otro factor importante es el estudio del oxígeno disuelto (OD) en lagos y lagunas que se obtiene principalmente por organismos fotosintéticos capaces de transformar la energía luminosa en energía química (Pérez, 2008) influyendo directamente en la vida acuática y en varios procesos biológicos; la cantidad de oxígeno disuelto depende de la temperatura de los cuerpos de agua, por lo que, a bajas temperaturas el nivel de

oxígeno es alto (Silva & Palma, 2006) (Wetzel & Likens, 1991). El nivel de pH presente es un parámetro fundamental para la vida acuática y su cuantificación ayuda a determinar concentraciones tóxicas de otras sustancias presentes (Ortega et al., 2007) (Wetzel & Likens, 1991), el pH mide principalmente la concentración del ión hidrógeno; dentro de un medio acuoso natural con un rango que va desde 0 o ácido, hasta 14 o alcalino (Bates & Durst, 1984). Los sólidos disueltos (SD) se acumulan en fuentes de agua a partir de la escorrentía y lixiviación, estos resultan de la suma de minerales, metales y sales disueltos, y es considerado un indicador de calidad de agua (Toasa, 2012).

Los nutrientes, compuestos inorgánicos iónicos presentes en lagos influyen en la calidad del agua y vida acuática, los que se analizan de manera primordial son aniones y cationes. Los aniones se caracterizan por tener carga negativa mientras que los cationes poseen carga positiva y ambos se encuentran presentes en los cuerpos de agua como sales ionizables (Wetzel & Likens, 1991). Por otra parte, los nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-) y fosfatos (PO_4^{3-}) que se encuentra en el suelo ya sea de manera natural o de manera antrópica, juntos son considerados principalmente en elementos básicos y nutrientes limitantes en estos ecosistemas, además al tener una alta concentración pueden producir eutrofización de estos cuerpos de agua (García, 2018).

Desde un punto limnológico es considerada importante la luz que ingresa en los cuerpos de agua. Nuestro país al estar en latitud cero posee energía todo el año (no presenta estaciones climáticas marcadas), pero su intensidad está directamente relacionada sobre la longitud y la época del año en el que se tomen las muestras. Por lo tanto, tenemos los carotenoides que son pigmentos liposolubles capaces de transformar la energía luminosa en energía química (Rondón et al., 2010) y la clorofila que es un compuesto químico característico en organismos autótrofos. En el último caso, existe la clorofila a que se caracteriza por dar el color verde a los organismos con dos bandas de absorción, 660-665 nm y 430 nm, la clorofila b que se caracteriza por dar color amarillo a los organismos con dos bandas de absorción, 645nm y 435nm y la clorofila c es la encargada de absorber la luz solar, la cual será procesada por la clorofila a solo en la etapa inicial de la fotosíntesis (Matute, 2019) (Wetzel & Likens, 1991).

Por lo indicado anteriormente, el estudio de las características físicas, químicas y tróficas de las aguas de los lagos y lagunas es de gran importancia para comprender

el papel de los procesos biológicos, geológicos y atmosféricos en los ciclos biogeoquímicos de los cuerpos lénticos en el páramo (Terneus, 2017). Lamentablemente la información existente en la actualidad sobre este tópico es escasa o nula, en especial si hablamos de estudios realizados en el Ecuador, por lo que cualquier intento de evaluación ambiental termina careciendo de un sustento documental básico. Al mismo tiempo, dicha información termina siendo necesaria como punto de referencia indispensable para poder evaluar la evolución de estos cuerpos lénticos de agua a lo largo del tiempo.

Objetivos

Objetivo General

- Estudiar los factores físicos, químicos y niveles de clorofila de los lagos presentes en el Macizo del Cajas.

Objetivos Específicos

- Determinar características físicas como la Temperatura y Conductividad Eléctrica.
- Determinar las características químicas tales como: sólidos disueltos, oxígeno disuelto, pH, aniones como: Fluoruro (F^-), Cloruros (Cl^-), Nitrito (NO_2^-), Bromuro (Br^-), Nitrato (NO_3^-), Fosfato (PO_4^{-3}) y Sulfato (SO_4^{-2}); y cationes: Hierro (Fe^+), Sodio (Na^+), Potasio (K^+) y Magnesio (Mg^+)
- Determinar niveles de clorofila (a, b y c), phaeopigmentos y carotenoides

CAPÍTULO 1

MATERIALES Y METODOS

1. Área de Estudio

El presente estudio se realizó durante los meses de marzo a septiembre del 2021, en diez lagunas (Luspa, Verdecocha, Toreadora, Dos Chorreras, Taitachugo, Dublas, Patos, Estrellascocha, Jigeno y Chusalongo) pertenecientes al Macizo del Cajas ubicado al sur de la Cordillera Occidental de los Andes ecuatorianos. El Macizo del Cajas (MC) tiene una extensión de 976.600 hectáreas (ha) aproximadamente, se ubica dentro de las provincias de El Oro (8,85%), Guayas (17,35%), Cañar (15,36%) y Azuay (58,44%), esta área cubre un total de 4 provincias y 15 cantones por lo que posee un abanico de ecosistemas tales como: páramos, humedales, manglares y ecosistemas marinos; delimitada por la depresión del río Cañar en el norte, hasta el río Jubones al sur. Presenta una transición altitudinal que va desde 0 msnm. en el Golfo de Guayaquil, hasta 4500 m en el Parque Nacional Cajas (Ministerio del Ambiente y Agua, 2018). El MC presenta varios tipos de ecosistemas desde los marino costeros hasta los de montaña. El estudio se concentró en los páramos que están sobre los 3100 m s.n.m. La temperatura presente en el páramo de MC oscila entre -2°C como mínimo y un máximo de 18°C , y con precipitaciones anuales de 1200 milímetros (mm) (Minga, et al, 2016). En cuanto a la vegetación, existe predominancia de páramo herbáceo, páramo de almohadillas, herbazales lacustres y parches de bosques de *Polylepis* (Minga et al., 2016).

Además, se caracteriza por ser un sitio de gran abundancia de cuerpos de agua; se han contabilizado 786 aproximadamente, los que se encuentran distribuidos entre dos vertientes oceánicas: la unidad hidrográfica del río Amazonas, cubriendo el 66.78% del área, y la vertiente del Pacífico que ocupa el 33.22%; originando ríos a lo largo de su territorio tales como el Tomebamba, Mazán y Yanuncay, además de otros ríos de gran importancia para la región como son el Luspa, el Sunicocha, el Jerez, el Atugyacu, el Angas y el Yantahuico (Ministerio del Ambiente y Agua, 2018), los cuales son usados como fuentes de consumo y riego, además que representan un aporte mayor al 50% del agua que se emplea en la generación de energía eléctrica del país (SENAGUA, 2016).

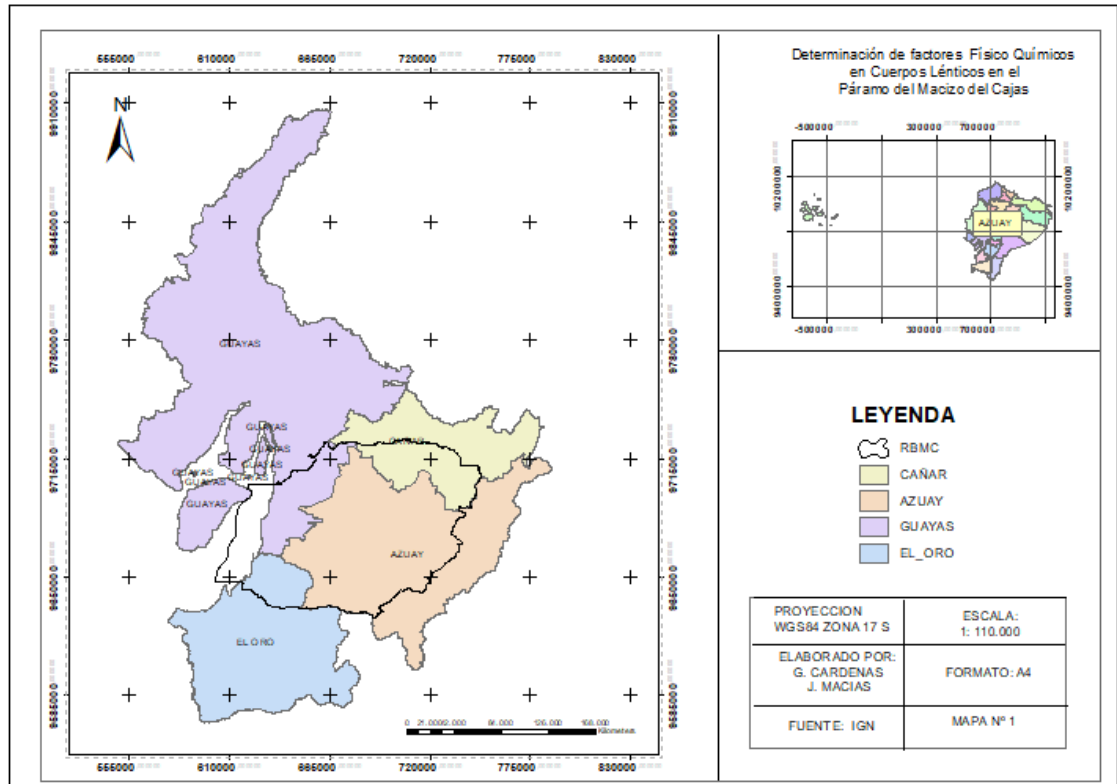


Figura No. 1 Mapa del área de estudio donde sobresale la Reserva de Biosfera del Macizo del Cajas y cantones que lo limitan

Fuente: Instituto Geofísico Militar, 2011,
Autores, 2022.

2. Métodos

2.1 Fase de Campo

Los muestreos se llevaron a cabo de acuerdo al “Protocolo de monitoreo hidrológico en páramos” (García, M. 2018), realizado en dos campañas en los meses de marzo a septiembre. Las diez lagunas seleccionadas fueron tomadas de manera aleatoria de un total de 786, como se observa en la (Fig. 2) donde se tomó en cuenta el fácil acceso y con cuencas hidrográficas diferentes. A continuación, se presentan las coordenadas de las diez lagunas que se muestrearon, las cuales fueron tomadas mediante el uso del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) (Tabla. 1).

Tabla No. 1 Coordenadas en UTM de las Lagunas Estudiadas

Fuente: Autores, 2022

Laguna	Elevación	Longitud	Latitud
Luspa	3772 m	693.546,07	9.689.232,75
Verdecocha	4037 m	704.581,96	9.688.587,70
Toreadora	3917 m	697.426,16	9.692.618,70
Dos Chorreras	3913 m	704.538,80	9.693.616,17
Taitachugo	3548 m	701.344,75	9.686.818,03
Dublas	3884 m	689.125,97	9.682.502,50
Patos	3966 m	691.402,50	9.678.975,48
Estrellacochoa	3813 m	694.256,18	9.677.003,55
Jigeno	3967 m	689.783,27	9.678.077,69
Chusalongo	3986 m	695.025,71	9.675.977,51

Zona 17 M

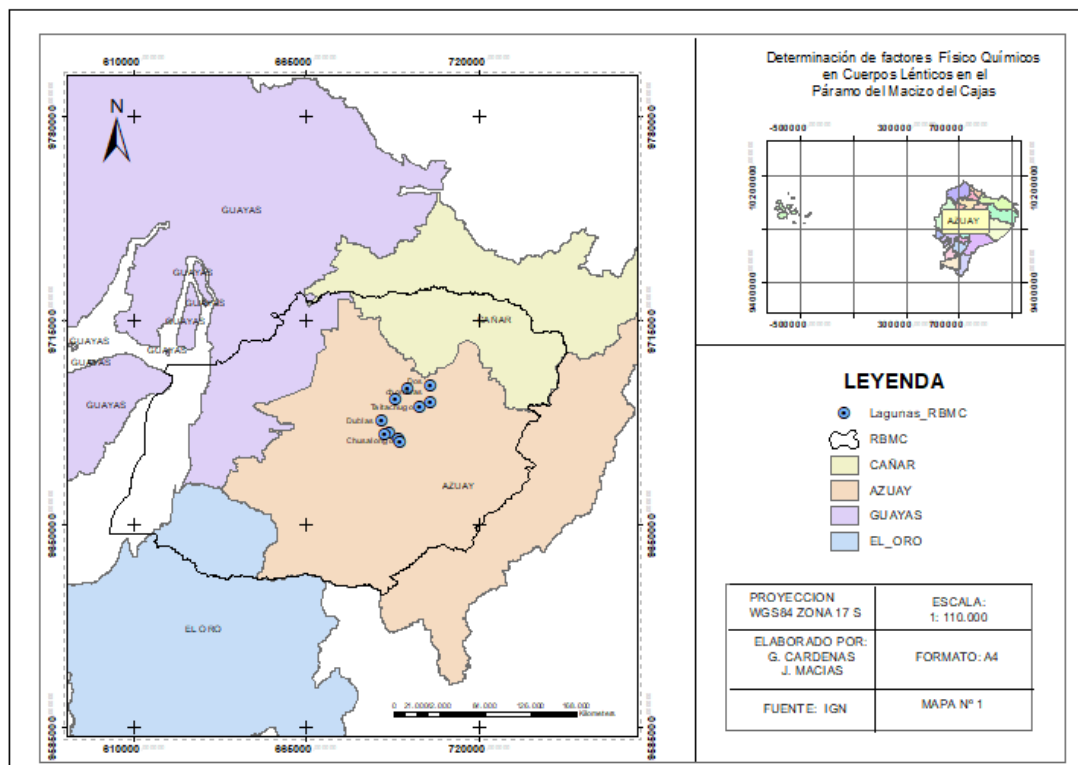


Figura No. 2 Mapa del Reserva de Biosfera del Macizo del Cajas. Los puntos azules representan las lagunas muestreadas.

Fuente: Instituto Geofísico Militar, 2011
 Autores, 2022.

2.1.1 Toma de muestras de agua y medición de factores físico, químicos *in situ*

Mediante equipos portátiles se midieron los parámetros de: pH, conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), sólidos disueltos (ppm) con el potenciómetro (HANNA HI 991300), y oxígeno disuelto (mg/l) y temperatura ($^{\circ}\text{C}$) con el oxímetro óptico (ProDO YSI). Para la determinación de aniones y cationes se tomaron tres muestras de agua (1L de cada una) dos en las orillas y una tercera muestra cerca a la desembocadura de las lagunas, las muestras fueron etiquetadas y trasladadas en hieleras al laboratorio de Análisis Químico de la Universidad del Azuay.

Para la determinación de clorofila se tomó una muestra de agua en botellas esterilizadas (1L), el punto de recolección fue aproximadamente en la mitad de la orilla de cada laguna, inmediatamente cubriendo la muestra con papel aluminio, y almacenado en una hielera por un máximo de cuatro horas para evitar alteraciones (Wetzel & Likens, 1991). Las muestras de clorofila fueron examinadas en el Laboratorio de Análisis Químico de la Universidad del Azuay.

2.2 Fase de Laboratorio

2.2.1 Análisis de Aniones

Para la determinación de aniones como: Fluoruro (F^{-}), Cloruros (Cl^{-}), Nitrito (NO_2^{-}), Bromuro (Br^{-}), Nitrato (NO_3^{-}), Fosfato (PO_4^{-3}) y Sulfato (SO_4^{-2}); se utilizó el método de cromatografía iónica (Skoog et al., 2008 Previamente, las muestras de agua pasaron por un equipo de filtración (Sartorius Stedim) con el uso de filtros de 47 mm. Una vez filtradas las muestras, se concentraron a 70°C durante tres días obteniendo un volumen de 100 ml las cuales fueron utilizadas para las respectivas lecturas en el Cromatógrafo Iónico (Thermo Dionex 1600)

2.2.2 Análisis de Cationes

En la determinación de cationes como: Hierro (Fe^{+}), Sodio (Na^{+}), Potasio (K^{+}) y Magnesio (Mg^{+}); se utilizó las muestras concentradas previamente en donde se tomó 5ml de las muestras concentradas de agua (100 ml) y aforadas en balones de 50 ml. La lectura de cada

elemento se procesó en el espectrómetro de absorción atómica (Thermo iCE-3300) (Skoog, 2008) (Skoog, 2008)

2.2.3 Análisis de Clorofila

La clorofila a, b, c se determinó a través de espectrofotometría UV visible (Vincent, 2009) previamente las muestras se obtuvieron con un equipo de filtración (Sartorius Stedim) y filtros de fibra de vidrio 42 µm de poro y diámetro de 70mm (Whatman). Los filtros con el concentrado fueron colocados en tubos de centrífuga (Falcon) forrados previamente con papel aluminio. Para la lectura se colocó 5 ml de acetona al 90% conservadas a 4°C por veinticuatro horas. Transcurrido el tiempo, las muestras fueron centrifugadas a 5000 rpm durante diez minutos (Digisystem DSC-200T). Luego, se tomó 2 ml del extracto de clorofila colocada en una cubeta de cuarzo de paso óptico, para ser medida la densidad óptica de la muestra en el espectrofotómetro UV visible (Thermo Scientific Evolution 60), obteniendo la primera lectura de clorofila. Finalmente, se colocó 0.1ml de HCL A 0.1N en las muestras dejando reposar cinco minutos para una nueva lectura (Skoog, 2008). Las lecturas de ondas específicas fueron consideradas y tomadas en cuenta por (Wetzel & Likens, 1991)

2.2.3.1 Ecuaciones para determinación de Clorofila a, b y c; Carotenoides y Phaeopigmentos (Wetzel & Likens, 1991).

Método Tricromático:

$$Chl a \left(\frac{\mu g}{l} \text{ o } \frac{mg}{m^3} \right) = \frac{(C_a)(v)}{(V)(Z)}$$

$$Chl a (\mu g/l) = \frac{[11,85 (A_{664} - A_{750}) - 1,54 (A_{647} - A_{750}) - 0,08 (A_{630} - A_{750})x v]}{(V)}$$

$$Chl b \left(\frac{\mu g}{l} \text{ o } \frac{mg}{m^3} \right) = \frac{(C_b)(v)}{(V)(Z)}$$

$$Chl b (\mu g/l) = \frac{[21,03 (A_{664} - A_{750}) - 5,43 (A_{647} - A_{750}) - 2,66 (A_{630} - A_{750})x v]}{(V)}$$

$$Chl c \left(\frac{\mu g}{l} \text{ o } \frac{mg}{m^3} \right) = \frac{(C_c)(v)}{(V)(Z)}$$

$$Chl c (\mu g/l) = \frac{[24,52 (A_{664} - A_{750}) - 1,67 (A_{647} - A_{750}) - 7,60 (A_{630} - A_{750})x v]}{(V)}$$

Phaeopigmentos:

$$Phaeopigments \left(\frac{\mu g}{l} \text{ o } \frac{mg}{m^3} \right) = \frac{(k)(F)[R(E_{665_a}) - E_{665_0}](v)}{(V)(Z)}$$

Carotenoides:

$$Car \frac{\mu SPU}{l} = \left(\frac{(10)(E_{480_0})(v)}{(v)(z)} \right)$$

$$E_{480_0} = (A_{480} - (3 * A_{750}))$$

Donde A480, A630, A647, A663, A664, A665, A750 corresponden a la medida de las longitudes de onda indicadas según Wetzel & Likens, (1991); Z: cubeta de cuarzo de paso óptico de 1 cm, v: al volumen en ml del extracto, V: volumen del agua filtrada en l. Se utilizaron 5 ml del extracto y 1 L de agua para la filtración.

2.3 Análisis Estadístico**2.3.1 Análisis estadístico descriptivo**

Para las características físicas, químicas y tróficas se realizó un análisis descriptivo de los valores obtenidos en cada una de las lagunas con la finalidad de una mejor asimilación de datos, por lo cual se utilizó el Software RStudio 3.0.1+ con la función summary.

2.3.2 Box Plot

Dentro del estudio se visualizan de mejor manera los datos obtenidos en campo y laboratorio a través de diagramas de caja que nos permiten observar las variables numéricas con diferentes grupos o categorías facilitándonos la comparación de las concentraciones de cada una de las variables en los cuerpos lénticos en estudio. Los datos fueron analizados mediante el Software R Studio con las funciones: ggplot, geom_boxplot, facet_wrap

2.3.3 Análisis coeficiente de correlación de Pearson.

En el estudio de las relaciones entre los factores físicos, químicos y clorofila (a, b, c), carotenoides y phaeopigmentos (phae), se utilizó el análisis de coeficiente de correlación para determinar si existe relación entre dos variables la cual está

representada por una escala que va de -1 o correlación fuerte negativa, hasta 1 en donde existe una correlación fuerte positiva. Cuando dos variables son independientes, la correlación es igual a cero, para este análisis se utilizó el Software Excel 2020 con el paquete estadístico Xlstat.

2.3.4 Análisis de Componentes Principales (PCA).

Mediante este análisis se evaluaron las correlaciones entre las variables clorofilas y parámetros químicos, de esta manera se procede a la eliminación de ruido, identificación de valores atípicos y encontramos las variables que más inciden en la producción de clorofila, para lo cual utilizamos el Software RStudio 3.0.1+, a partir de la activación de funciones como: `pivot_wider` y `biplot`

CAPÍTULO 2

RESULTADOS

3.1 Determinación de Características físico-químicas

Los resultados obtenidos (Tabla. 2) en nuestro estudio realizado en diez lagunas del Macizo del Cajas, indican que la temperatura en la laguna Toreadora con 12° C es el valor más alto registrado, mientras que en las lagunas Patos y Verdecocha registraron valores mínimos de 9,55°C. Referente a la conductividad eléctrica, se obtuvo los valores más altos en las lagunas Verdecocha y Dos Chorreras con 105 y 115,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, y en la laguna Dublas con 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ fue el registro más bajo. En cuanto al pH, la laguna Dublas presentó mayor alcalinidad con 8,72, mientras que Verdecocha y Patos presentaron valores alrededor de 7,05 siendo las más neutrales, Estrellascocha con 6.7 fue la laguna más ácida. Para los sólidos disueltos, la laguna Dos Chorreras presentó valores de 59 ppm y 54 ppm en la laguna Verdecocha siendo estos los valores más altos, a diferencia de Dublas y Jigeno que con 30,5 ppm y 31,5 ppm, fueron los valores más bajos. Las concentraciones de oxígeno disuelto en la laguna Toreadora fue 8,39 mg/l y Estrellascocha de 8,12 mg/l, las cuales llegaron a ser las más altas concentraciones, a diferencia de la laguna Patos con 7,08 mg/l fue la concentración más baja.

Tabla No. 2 Valores promedio de parámetros físicos-químicos, de diez lagunas del Macizo del Cajas.

Fuente: Tabla elaborada por los autores 2021

Lagunas	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻³	SO ₄ ⁻²	Fe ⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺	T	CE	pH	SD	OD
Luspa	0,014	0,660	0,131	0,010	0,027	0,002	0,697	0,365	1,023	0,485	0,159	10,4	65	8,28	33	7,59
Taitachugo	0,085	0,344	0,007	0,018	0,113	0,000	1,106	0,104	0,962	0,190	0,180	10,65	89	7,47	44,5	7,73
Jigeno	0,147	0,255	0,032	0,000	0,008	0,000	0,429	0,148	1,184	0,304	0,164	9,9	64,5	7,33	31,5	7,555
Toreadora	0,016	0,530	0,491	0,264	0,046	0,008	1,100	0,204	1,119	0,319	0,229	12	80,5	7,44	40	8,395
Dos Chorreras	0,117	0,116	0,002	0,040	0,021	0,006	2,757	0,102	0,914	0,004	0,270	11	115,5	7,24	59	7,46
Dublas	0,147	0,269	0,000	0,007	0,014	0,000	3,316	0,171	1,093	0,096	0,118	10,7	60	8,72	30,5	7,57
Patos	0,036	0,180	0,002	0,001	0,008	0,008	0,284	0,170	1,277	0,192	0,214	9,55	66	7,05	33	7,08
Chusalongo	0,126	0,284	0,011	0,065	0,020	0,009	0,276	0,138	1,200	0,145	0,169	10,9	84	7,37	42,5	8,115
Verdecocha	0,100	0,454	0,005	0,010	0,056	0,001	0,929	0,142	0,834	0,327	0,316	9,55	105	7,05	54	8,08
Estrellascocha	0,133	0,172	0,001	0,007	0,027	0,010	0,253	0,135	0,916	0,107	0,107	10,8	65,5	6,7	33	8,125

Con respecto a los parámetros químicos a continuación describimos los más relevantes (Fig. 3). La concentración de fluoruros (F⁻) en las lagunas Dublas y Jigeno fueron de 0.147 mg/l siendo las más altas, mientras la concentración en Luspa con 0.014 mg/l fue la más baja. De igual forma, los valores de cloruros (Cl⁻) fueron de

0.660 mg/l en Luspa la más alta y la más baja en Dos Chorreras con 0.116 mg/l. Los nitritos (NO_2^-) en Toreadora fue de 0.491 mg/l a diferencia de la laguna Dublas que con 0.0001 mg/l fue la concentración mínima registrada. Los bromuros (Br^-) y su concentración en Toreadora fue de 0.264 mg/l y Dublas con 0.001 mg/l, nitratos (NO_3^-) y su concentración máxima fue en Taitachugo la cual registró 0.113 mg/l, al contrario de la laguna Patos la cual presentó la mínima concentración con 0.008 mg/l. En cuanto a los valores de fosfatos (PO_4^{3-}), Estrellascocha con 0.010 mg/l fue la mayor concentración mientras que la de menor concentración fue Dublas con 0.0004 mg/l. La laguna de Dublas con 3.316 mg/l presentó la mayor concentración de sulfatos (SO_4^{2-}), Estrellascocha por lo contrario fue la menor concentración con 0.253 mg/l. Cabe mencionar que en las lagunas de Taitachugo, Jigeno, la presencia de aniones como Fosfatos es nulo al igual que bromuros (Br^-) en Jigeno.

De la misma manera, los valores de cationes obtenidos en los muestreos fueron: hierro (Fe^+) y su concentración máxima fue en la laguna Luspa con 0.365 mg/l mientras que Dos Chorreras con 0.102 mg/l presentó la menor concentración. La laguna Patos la cual registró 1.277 mg/l siendo la máxima concentración de sodio (Na^+) a diferencia de la laguna Verdecocha que con 0.834 mg/l que fue la concentración más baja. En cuanto a los valores de concentración de potasio (K^+), Luspa presentó mayor concentración con 1,049 mg/l y Dos Chorreras fue el valor más bajo con 0.004 mg/l. La laguna Verdecocha con 0.316 mg/l presentó la más alta concentración de magnesio (Mg^+), y la laguna Estrellascocha con 0.107 mg/l con menor concentración.

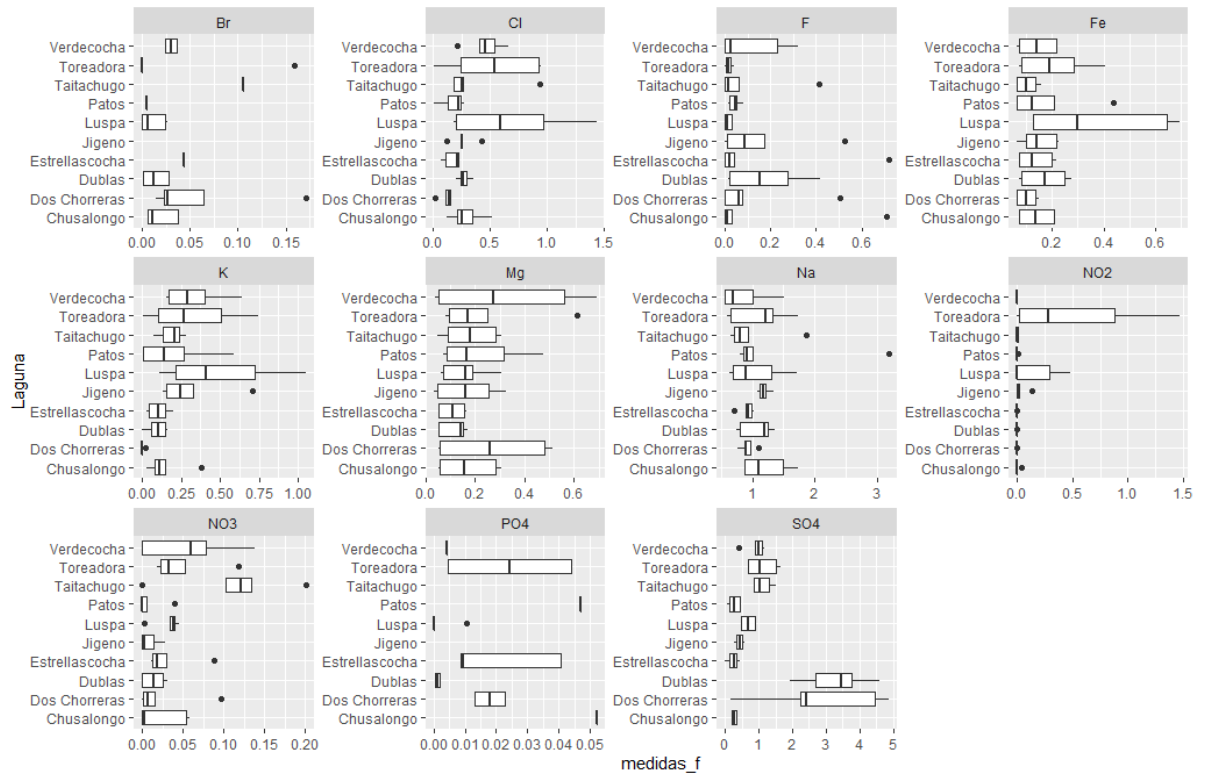


Figura No. 3 Factores Químicos de las diez lagunas muestreadas en el Páramo del Macizo del Cajas, donde se analizaron aniones y cationes tales como: Fluoruro (F^-), Cloruros (Cl^-), Nitrito (NO_2^-), Bromuro (Br^-), Nitrato (NO_3^-), Fosfato (PO_4^{3-}), Sulfato (SO_4^{2-}), Hierro (Fe^+), Sodio (Na^+), Potasio (K^+) y Magnesio (Mg^+)

Fuente: Autores, 2022

3.2 Determinación de Clorofila

Los datos para el análisis trófico de las lagunas, se obtuvieron a partir de dos muestreos en donde se puede observar que los valores de carotenoides son altos. Los valores más altos que se registraron fueron en Verdecocha en donde tuvo una concentración de 1.317 μ SPU/l, las concentraciones más bajas de carotenoides en Luspa con 0.260 μ SPU/l. De la misma manera, los valores con mayor concentración de Phaeopigmentos fueron registrados en Verdecocha con 17.197 μ g/l mientras que los más bajos fueron en Luspa con 0.469 μ g/l. Los valores obtenidos de clorofila a y b también presentaron mayor concentración en la laguna Verdecocha con 2.74 μ g/l y 1.24 μ g/l respectivamente, a diferencia de la laguna Taitachugo la cual presentó las concentraciones más bajas de clorofila a y b con 0.068 μ g/l y 0.075 μ g/l respectivamente. Los valores de clorofila c más altos registrados fueron en Chusalongo con 0.27 μ g/l, mientras que los valores más bajos fueron en Estrellascocha con 0.077 μ g/l.

Tabla No. 3 Valores promedio de Phaeopigments (Phae), Clorofila (Chla, Chlb, Chlc) y Carotenoides, registrados con el método Tricromático.

Fuente: Tabla elaborada por los autores 2022

<i>Laguna</i>	<i>Phae</i>	<i>Chla</i>	<i>Chlb</i>	<i>Chlc</i>	<i>Car</i>
<i>Luspa</i>	0,47	0,07	0,087	0,083	0,261
<i>Taitachugo</i>	0,574	0,069	0,075	0,087	0,303
<i>Jigeno</i>	0,761	0,14	0,117	0,092	0,38
<i>Toreadora</i>	1,385	0,267	0,183	0,1	0,467
<i>Dos Chorreras</i>	1,33	0,219	0,151	0,1	0,484
<i>Dublas</i>	1,335	0,206	0,17	0,13	0,473
<i>Patos</i>	0,773	0,112	0,098	0,09	0,27
<i>Chusalongo</i>	0,736	0,146	0,164	0,279	0,346
<i>Verdecocha</i>	17,197	2,742	1,249	0,137	1,317
<i>Estrellascocha</i>	0,775	0,129	0,121	0,077	0,308

3.2 Análisis coeficiente de correlación de Pearson.

3.2.1 Correlación de parámetros físicos-químicos.

Entre factores físicos y químicos se determinó que bromuro (Br^-) presentó relación positiva alta con nitritos (NO_2^-) siendo este de coeficiente de 0,926, así mismo, el bromuro (Br^-) que con la temperatura (T) presentó alta correlación positiva de coeficiente de 0,776. de igual forma, el magnesio (Mg^+) presentó correlaciones positivas con la conductividad eléctrica y sólidos disueltos, ya que sus coeficientes fueron de 0,808 y 0,806 respectivamente. La conductividad eléctrica (CE) y sólidos disueltos (SD) presentaron la correlación más alta siendo el coeficiente de 0,999 ver (Tabla 5).

3.2.2 Correlación de parámetros físicos-clorofila.

En la correlación de parámetros físicos y clorofila, se evidenció una relación moderada entre phaeopigmentos y sólidos disueltos con coeficiente de 0,507, al igual que con la clorofila (Chl) a y b con coeficiente de 0,509 y 0,505 respectivamente, y con carotenoides (Car) con coeficiente de 0,564. El resto de parámetros presentaron relaciones relativamente bajas.

3.2.3 Correlación de parámetros química-clorofila.

Las correlaciones entre los factores químicos y Chl evidenciaron que, el Mg con Chl a y b presentaron correlaciones moderadas con coeficientes de 0,681 y 0,668 respectivamente, al igual que Phae y el Mg^+ presentaron una correlación con un coeficiente de 0,677. De la misma forma, los Car y Mg^+ presentaron correlación con coeficiente de 0,703.

Tabla No. 4 Análisis de Coeficiente de Correlacion de Person entre parámetros Físicos: Temperatura (TEMP), Conductividad (CE), Potencial de Hidrogeno (pH), Sólidos Disueltos (SD), Oxígeno Disuelto (OD); parámetros Químicos: Fluoruro (F^-), Cloruros (Cl^-), Nitrito (NO_2^-), Bromuro (Br^-), Nitrato (NO_3^-), Fosfato (PO_4^{-3}), Sulfato (SO_4^{-2}), Hierro (Fe^+), Sodio (Na^+), Potasio (K^+) y Magnesio (Mg^+) y Clorofila (Chla, Chlb, Chlc), Phaeopigments (Phae), y Carotenoides

Nota: Tabla elaborada por los autores 2022

	F	Cl	NO2	Br	NO3	PO4	SO4	Fe	Na	K	Mg	T	CE	pH	SDT	OD	Phae	Chla	Chlb	Chlc	Car
F	1																				
Cl	-0,645	1																			
NO2	-0,630	0,589	1																		
Br	-0,452	0,367	0,926	1																	
NO3	-0,189	0,313	0,102	0,133	1																
PO4	-0,169	-0,309	0,247	0,414	-0,328	1															
SO4	0,275	-0,179	-0,063	0,012	-0,029	-0,317	1														
Fe	-0,643	0,762	0,400	0,098	-0,218	-0,119	-0,156	1													
Na	-0,163	-0,117	0,166	0,162	-0,492	0,232	-0,262	0,154	1												
K	-0,604	0,876	0,444	0,150	0,123	-0,352	-0,464	0,756	0,064	1											
Mg	-0,267	0,126	0,145	0,229	0,214	-0,047	0,080	-0,201	-0,314	0,108	1										
T	-0,130	0,134	0,654	0,776	0,149	0,417	0,287	0,010	-0,040	-0,214	-0,1689	1									
Con	0,062	-0,090	-0,062	0,146	0,392	0,007	0,257	-0,457	-0,569	-0,260	0,808	0,108	1								
pH	-0,073	0,408	0,103	-0,034	-0,090	-0,518	0,570	0,533	0,160	0,204	-0,360	0,155	-0,360	1							
SD	0,067	-0,085	-0,081	0,125	0,378	0,005	0,272	-0,442	-0,587	-0,262	0,806	0,094	0,999	-0,344	1						
OD	0,021	0,371	0,507	0,611	0,321	0,280	-0,212	-0,067	-0,314	0,150	0,050	0,560	0,185	-0,215	0,181	1					
Phae	0,064	0,245	-0,120	-0,107	0,230	-0,298	-0,015	-0,139	-0,530	0,244	0,677	-0,437	0,488	-0,233	0,507	0,284	1				
Chla	0,063	0,249	-0,104	-0,088	0,222	-0,287	-0,019	-0,139	-0,524	0,247	0,681	-0,424	0,490	-0,238	0,509	0,300	1,000	1			
Chlb	0,081	0,247	-0,103	-0,078	0,206	-0,272	-0,016	-0,141	-0,512	0,236	0,668	-0,408	0,485	-0,228	0,505	0,321	0,998	0,999	1		
Chlc	0,309	-0,051	-0,151	0,094	-0,149	0,226	-0,087	-0,191	0,265	-0,189	0,022	0,103	0,180	0,045	0,189	0,333	0,115	0,124	0,163	1	
Car	0,140	0,201	-0,056	-0,010	0,193	-0,307	0,143	-0,204	-0,535	0,155	0,703	-0,314	0,547	-0,173	0,564	0,320	0,977	0,979	0,981	0,137	1

3.3 Componentes principales (PCA)

De acuerdo con la representación gráfica (Fig. 4) las lagunas (color negro) y factores fisicoquímicos (color rojo), tienen valores de coordenadas respecto al primer eje, que nos indicaron que existió una correlación cercana entre lagunas y factores físico químicos. Se determinó que la laguna Luspa presenta una alta correlación con respecto a hierro (Fe^+) y potasio (K^+), mientras que sodio (Na^+) y cloruros (Cl^-) se encontraron en un nivel más bajo con esta laguna, pero también se distinguió por tener presencia de fluoruros (F^-) y sulfatos (SO_4^{-2}). Por otra parte, las lagunas de Patos y Jigeno, se relacionaron directamente con Na^+ e indirectamente con sólidos disueltos (SD), Dublas tuvo una alta correlación con pH y nitritos (NO_2^-), las lagunas Estrellascocha, Chusalongo, Taitachugo y Verdecocha se relacionaron significativamente con los factores fluoruros (F^-), sulfatos (SO_4^{-2}), sólidos disueltos (SD), magnesio (Mg^+), nitratos (NO_3^-), fosfatos (PO_4^{-3}), temperatura (T), oxígeno disuelto (OD), los mismos que se presentaron en la laguna Dos Chorreras de manera indirecta, de igual forma la laguna Toreadora tuvo relación con los componentes físicos temperatura (T), oxígeno disuelto (OD), bromuros (Br^-) y nitritos (NO_2^-).

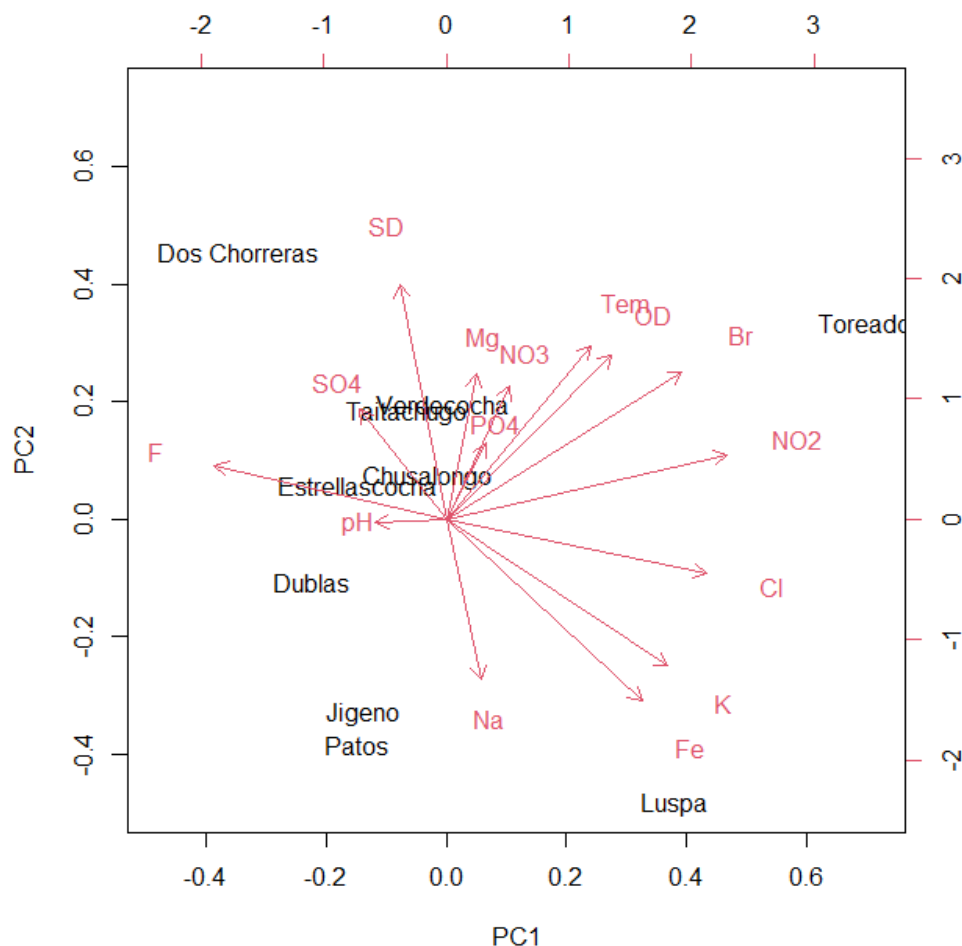


Figura No. 4 Análisis de Componentes Principales (PCA), en diez lagunas en el páramo del Macizo del Cajas a partir de factores Físicos (pH), Sólidos Disueltos (SD), Temperatura (T), Oxígeno Disuelto (OD) y Conductividad (CE) y químicos (Fluoruro (F^-), Cloruros (Cl^-), Nitrito (NO_2^-), Bromuro (Br^-), Nitrato (NO_3^-), Fosfato (PO_4^{3-}), Sulfato (SO_4^{2-}), Hierro (Fe^+), Sodio (Na^+), Potasio (K^+) y Magnesio (Mg^+))

Fuente: Autores, 2022

De acuerdo con los resultados obtenidos en la investigación (Fig. 4), se ha demostrado que la laguna con mayor presencia de clorofila tanto a y b, carotenoides y phaeopigmentos es Verdesocha, mientras que Chusalongo tiene una alta correlación con respecto a la clorofila c y una baja correlación con respecto al resto de parámetros. La laguna Dublas se relaciona con la clorofila c. En cuanto a los siete cuerpos de agua restantes se encuentran agrupados, donde las características investigadas no son un factor sobresaliente en ellas.

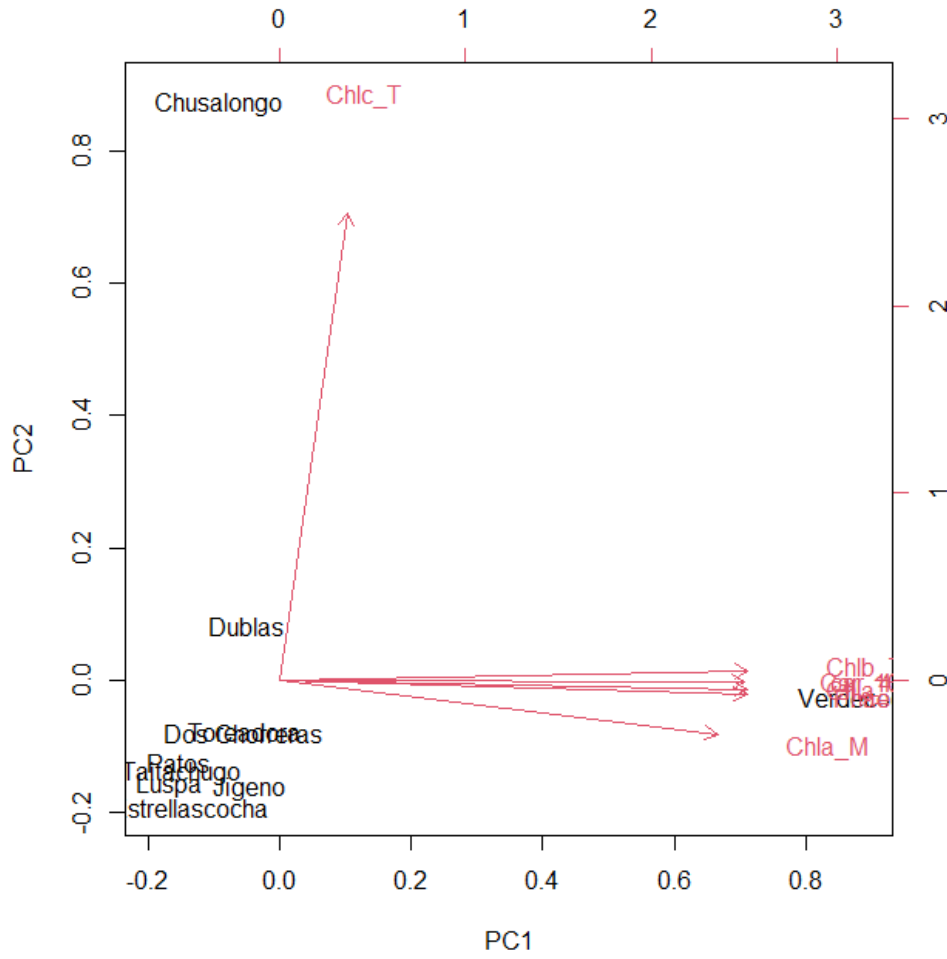


Figura No. 5 Factores para identificación de relación de Componentes Principales (PCA), en diez cuerpos de agua en el páramo del Macizo del Cajas a partir de factores tales como: Clorofila a, b, c, Pheopigmentos y Carotenoides

Fuente: Autores, 2022

CAPÍTULO 3

DISCUSIÓN

4. Parámetros Físico-Químicos

Los parámetros que analizamos en nuestra investigación son considerados de gran importancia debido a que los lagos y lagunas de alta montaña son ecosistemas frágiles que están sujetos a variaciones en las características físico químicas (Escobar et al., 2021), las cuales varían dependiendo de factores como la geología del suelo, altitud, precipitación y vientos (W. Van Colen et al., 2018).

En primera instancia tenemos los valores de temperatura registrados, los cuales fueron de 12 °C en Toreadora a 9.55 °C en Patos y Verdecocha, estos valores son considerados normales. Según (Roldán & Ramírez, 2008), una de las características de las lagunas muestreadas es que se encuentran en el piso térmico montano o páramo y se localizan de 3000 a 4000 msnm por lo que se espera se encuentren en un rango de temperatura de 6°C a 12°C. Valores parecidos fueron registrados por (W. R. Van Colen et al., 2017) en lagunas del Macizo del Cajas, quien registró temperaturas en un rango de 6.5°C a 12.9°C, a diferencia de (Labaj et al., 2018), quienes registraron valores mucho más altos en Llaviucu (17.9°C), Patoquinuas (17.0°C), Fondacocha (16.8°C) y Toreadora (15.3°C), que se deben a la época en la que se realizaron los estudios, ya que la temperatura del agua es influenciada principalmente por la temperatura del aire, la velocidad del viento y la altitud (Vincent, 2009).

Los valores registrados de Conductividad eléctrica (CE) presentan un rango de 115 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y sólidos disueltos (SD) de 59 ppm a 30,5 ppm, siendo en Dos Chorreras el registró más alto mientras que en Dublas el más bajo. El principal factor que interfiere en el aumento de conductividad en la laguna Dos Chorreras probablemente se debe a las altas precipitaciones en donde se genera la erosión de los terrenos y arrastre de nutrientes al agua. De acuerdo con (W. R. Van Colen et al., 2017), los datos de conductividad eléctrica (CE) obtenidos dentro de las lagunas del Parque Nacional Cajas, varían de 14.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 110.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que Steinitz Kannan (1981) en su estudio realizado en lagunas de páramo del Ecuador, los valores de CE varían de 43.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 63.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los valores registrados de conductividad eléctrica (CE) y sólidos disueltos (SD) demostraron que tienen alta correlación ya que,

a mayores iones presentes en el medio, mayor conductividad (Horne & Goldman, 1994) , esta característica ayuda a determinar que el agua en las lagunas del Macizo del Cajas son muy blandas ya que no superan conductividad eléctrica (CE) de 140 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y sólidos disueltos (SD) de 70 ppm (Roldán & Ramírez, 2008).

En cuanto a pH, los valores obtenidos en nuestro estudio, van desde 6.7 en Estrellascocha hasta 8.72 en Luspa y Dublas, mientras que los obtenidos por (Chacon & Rosas, 1998) en Zirahuen México, fue de 8.1 lo cual demuestra una leve diferencia a las de nuestro estudio, mientras que (Steinitz, 1981) obtuvo valores que van de 5 a 7.74 en lagunas del páramo ecuatoriano. Al respecto, (Roldán & Ramírez, 2008) , los valores de pH en lagunas neotropicales van de 6.0 a 9.0, sin embargo, el pH en lagunas de alta montaña están comprendidos entre 6.5 a 7.5 siendo esta una característica propia de lagunas polimícticas en donde no se alcanza a una estratificación completa.

Al hablar de oxígeno disuelto (OD) se determinó que en las diez lagunas la concentración es similar, los valores obtenidos en las lagunas muestreadas están dentro de un rango que va desde 7.39 mg/l a 7.93 mg/l. (Steinitz, 1981), determinó en sus estudios en lagunas del páramo ecuatoriano, que el valor medio de oxígeno disuelto (OD) es de 7.30 mg/l. Otro estudio realizado en las lagunas de origen glaciar de los páramos de Chirripó en Costa Rica evidenció que las concentraciones de oxígeno disuelto fueron de 5.3 mg/l a 7mg/l (Horn et al., 2005)). Se toma en consideración estos datos debido a que la presencia del oxígeno disuelto es importante para las características y dinámicas en las lagunas, ya que este se obtiene gracias a la actividad fotosintética o por el viento y depende de la temperatura, presión atmosférica y gases que están en contacto con el agua (Roldán & Ramírez, 2008).

Por su parte, los valores de iones presentes en las lagunas fueron bajas, característico de lagunas oligotróficas (Wetzel & Likens, 1991). En palabras de (Valdes & Real, 1994) los nitritos (NO_2^-) y los fosfatos (PO_4^{-3}) en aguas de origen natural, como es el caso de las aguas del MC se encuentran en una relación menor a 0,10 en términos de porcentajes. Las más altas concentraciones de magnesio (Mg^+) obtenidas fueron en Verdecocha con un valor de 0.316 mg/L, la cual tiene correlación con clorofila, por consiguiente, citando a (Roldán & Ramírez, 2008) el magnesio (Mg^+) forma parte del núcleo de la molécula de la clorofila en donde se almacena energía en forma de materia orgánica a causa de la actividad fotosintética. De acuerdo

con (Hooper, 1954), las concentraciones de magnesio (Mg^+) que son menores a 10 mg/l, indican que la productividad es baja, característico de lagunas oligotróficas. Por lo cual, las concentraciones de hierro (Fe^+) presentes son bajas al igual que sodio (Na^+) y potasio (K^+), pero no es un factor limitante para la productividad en el agua. En donde el sodio (Na^+) se origina a partir de las rocas ígneas ácidas pues está relacionado a su naturaleza geológica (Ramírez & Arango, 2010).

Es importante mencionar que, los sulfatos (SO_4^{-2}) son aniones presentes con altas concentraciones en los lagos y lagunas los cuales ingresan al cuerpo de agua con las lluvias mediante lavado de rocas (Roldán & Ramírez, 2008). Las lagunas que sobresalen por esta característica son Dublas y Dos Chorreras presentando valores de 2,757 mg/l y 3,316 mg/l respectivamente, pero cabe destacar que, aunque fueron los valores más altos, no sobrepasan rangos admisibles de este anión en aguas naturales (2,0 a 10 mg/l) (Furch, 1984). Nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-) influyen directamente en el crecimiento de las plantas, ya que son parte fundamental en el ciclo del nitrógeno, estos presentan valores que no sobrepasan el 0.05 mg/l y 1.0 mg/l respectivamente, lo cual demuestra que las concentraciones bajas de estos aniones es característico de lagunas oligotróficas (Esteves, 1998).

Mientras tanto, los bromuros (Br^-) en nuestro estudio no superan los 0,5 mg/l lo cual, es una máxima permisible en aguas naturales (Rainwater & Thatcher, 1960). Toreadora presenta un valor de 1 mg/l de bromuro (Br^-), esto se debe a que se realizan diversas actividades que podrían estar alterando la calidad del cuerpo de agua, como son el turismo y la cercanía de la carretera. Por su parte, el cloruro (Cl^-) es un anión que se encuentra en grandes proporciones en aguas naturales que dependen de la naturaleza de los terrenos que las atraviesan, los valores obtenidos en nuestro estudio son bajos en comparación con los valores de lagunas de altas montañas las cuales presentan concentraciones de 5 mg/l (Livingston, 1963). Una alta presencia de magnesio (Mg^+) influye en bajas concentraciones de cloruro (Cl^-) (Guarín, 2011). En nuestro estudio, una alta concentración de cloruro (Cl^-) con respecto a otras lagunas fue en la laguna Luspa con 1,436mg/l y corroborando una baja cantidad de magnesio (Mg^+) en este punto.

Finalmente es necesario mencionar que, en la determinación de clorofila (Chl), los valores registrados en nuestro estudio de clorofila (Chla y Chlb) no superaron el 1 μ g/l

siendo estas lagunas oligotróficas, a diferencia de Verdecocha que presentó altas concentraciones de clorofila (Chla) con $2.742 \mu\text{g/l}$, lo que demuestra que esta laguna puede ser oligotrófica o mesotrófica de acuerdo a lo mencionado por López y Madroñero (2015), quien por medio de rangos afirma que una vez superado los $2.5 \mu\text{g/l}$ las lagunas ya no son oligotróficas; por su parte Wetzel & Likens (1991) menciona que las lagunas oligotróficas presentan un rango de concentración de clorofila (Chla) que va de $0.3 \mu\text{g/l}$ a $3 \mu\text{g/l}$ siendo la baja productividad la característica principal. Igualmente, los valores presentados por (Aguilera et al., 2013) , en los Andes Bolivianos, obtuvieron valores de clorofila (Chla) de $1.1 \mu\text{g/l}$, siendo estas lagunas oligotróficas (W. Van Colen et al., 2018), en Toreadora del Parque Nacional Cajas presentó valores de $0.35 \mu\text{g/l}$ de clorofila (Chla), mientras que nuestros datos arrojaron que la misma laguna presentó $0.267 \mu\text{g/l}$.

CONCLUSIONES

A partir de nuestra investigación, podemos concluir que:

- Los valores registrados in situ de pH, sólidos disueltos, conductividad eléctrica, y oxígeno disuelto en los diez cuerpos de agua, son variantes que otorgan características únicas a estos lagos y lagunas; debido a su origen y a su ubicación, no presentan alteraciones antrópicas que estén modificando estos ecosistemas.
- Los factores químicos analizados conjuntamente con los físicos, no varían significativamente entre cada cuerpo de agua, esto se debe a que las concentraciones que se obtuvieron fueron bajas, por tal motivo estas lagunas son oligotróficas, algo que también se evidencia con la concentración de algunos elementos como el Magnesio (Mg^+), Fluoruros (SO_4^{-2}) y Nitritos (NO_2^-) los cuales están relacionados con la productividad en los cuerpos de agua.
- Las concentraciones de aniones y cationes son productos posiblemente del lavado de las rocas y suelo mediante escorrentía debido a las lluvias que son características de estas zonas.
- Finalmente, los valores de Clorofila fueron bajos, por tanto, su baja productividad se relaciona con lagunas de tipo oligotrófico, a excepción de Verdecocha, la cual presentó niveles altos de Clorofila a y b por lo cual se puede clasificar como oligotrófica a mesotrófica dependiendo de la clasificación de diferentes autores. Es así como podemos identificar que, los lagos del Macizo del Cajas localizados a más de 3000 msnm se caracterizan por su baja productividad, pobres en nutrientes y alta concentración de oxígeno disuelto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, X., Lazzaro, X., & Coronel, J. S. (2013). Tropical high-altitude Andean lakes located above the tree line attenuate UV-A radiation more strongly than typical temperate alpine lakes. *Photochemical and Photobiological Sciences*, 12(9), 1649–1657. <https://doi.org/10.1039/c3pp25285j>
- Chacon, T., & Rosas, M. (1998). Water quality characteristics of a high altitude oligotrophic mexican lake. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 1(3–4), 237–243. <https://doi.org/10.1080/14634989808656920>
- Escobar, S., Albuja, A., & Andueza-Leal, F. D. (2021). Calidad fisicoquímica del agua de la laguna Colta. Chimborazo. Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 11(1), 80–90. <https://doi.org/10.29166/revfig.v11i1.3135>
- Esteves. (1998). Fundamentos de Limnología. *Interciência*, 226.
- Furch, K. (1984). *Water chemistry of the Amazon basin: The distribution of chemical elements among freshwaters*. https://doi.org/10.1007/978-94-009-6542-3_6
- García, M. (2018). Protocolo de monitoreo hidrológico en páramos. *Repositorio Institucional de Documentación Científica Humboldt*, 174. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/34981>
- Guarín. (2011). *ESTANDARIZACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE FOSFATOS Y CLORUROS EN AGUAS CRUDAS Y TRATADAS PARA EL LABORATORIO DE LA ASOCIACIÓN MUNICIPAL DE ACUEDUCTOS COMUNITARIOS (AMAC) EN EL MUNICIPIO DE DOSQUEBRADAS*. 1–57.
- Hooper, F. F. (1954). Limnological features of Weber Lake, Cheboygan County, Michigan. *Papers of the Michigan Academy of Science, Arts, and Letters*, 39, 229–240.
- Horn, S. P., Orvis, K. H., & Haberyan, K. A. (2005). Limnología de las lagunas glaciales en el páramo del Chirripó, Costa Rica. *Páramos de Costa Rica*, 161–181.
- Horne & Goldman. (1994). *Understanding Lake Ecology*. 50.
- Labaj, A. L., Michelutti, N., & Smol, J. P. (2018). Annual stratification patterns in tropical mountain lakes reflect altered thermal regimes in response to climate

change. *Fundamental and Applied Limnology*, 191(4), 267–275.
<https://doi.org/10.1127/fal/2018/1151>

Livingston. (1963). Chemical composition of rivers and lakes. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 440, 1689–1699.

López & Madroñero. (2015). Estado trófico de un lago tropical de alta montaña: Caso Laguna de la Cocha. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 21.
<https://doi.org/10.18359/rcin.1430>

Matute. (2019). *VARIACIÓN DE CLOROFILA DEL PERIFINTON EN RIHACHUELOS DE LOS PÁRAMOS DEL MACIZO DEL CAJAS*.
<http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9473>

Minga, D., Ansaloni, R., Verdugo, A., & Ulloa, C. (2016). Flora del páramo del Cajas Ecuador. *Missouri Botanical Garden*, 53(1), 59–65.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.encep.2012.03.001>

Ministerio del Ambiente y Agua. (2018). Actualización del plan de manejo del Parque Nacional Cajas. *INSIGMA Cía. Ltda.*, 156. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/03/ACUERDO-001-ANEXO-PAQUE-NACIONAL-CAJAS.pdf>

Rainwater, F. H., & Thatcher, L. L. (1960). Methods for collection and analysis of water samples. *USGS Water-Supply Paper 1454*, 1454.
http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=e9jQAAAAMAAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Methods+for+Collection+and+Analysis+of+Water+Samples&ots=Pwz1bhTr_q&sig=eBbZ5KrBsdDetjiQ5I6QV5ecN8g

Ramírez, A., & Arango, C. (2010). El sodio en la naturaleza. *Anales de La Real Academia de Doctores de España*, 14, 213–223.
<https://www.radoctores.es/doc/1V14N1-ramirez-san-jose-sodio.pdf>

Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. In *Editorial Universidad de Antioquia* (Vol. 2).
<http://www.ianas.com/docs/books/wbp14.pdf>

Rondón, C. A. R., Zapata, A. M., & Rondón, J. C. D. (2010). Estudio morfométrico del lago Guatavita (Colombia). *Acta Biologica Colombiana*, 15(3), 131–144.

SENAGUA. (2016). Estrategia Nacional de Calidad del Agua. *Ministerio de*

Ambiente, Ecuador, 97. https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua_2016-2030.pdf

Skoog, D. (2008). Principios de análisis fundamental. In *Cengage Learning*.

Steinitz. (1981). *Limnological studies in Ecuador_Steinitz Kannan (1).PDF* (p. 23).

Terneus, E. (2017). Vegetación acuática y estado trófico de las lagunas andinas de San Pablo y Yahuarcocha, provincia de Imbabura, Ecuador. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*, 35(1–2), 121–131. <https://doi.org/10.26807/remcb.v35i1-2.255>

Valdes, D., & Real, E. (1994). Flujos de amonio, nitrito, nitrato y fosfato a través de la interfase sedimento-agua, en una laguna tropical. *Ciencias Marinas*, 20(1), 65–80.

Van Colen, W., Mosquera, P. V., Hampel, H., & Muylaert, K. (2018). Link between cattle and the trophic status of tropical high mountain lakes in páramo grasslands in Ecuador. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, 23(4), 303–311. <https://doi.org/10.1111/lre.12237>

Van Colen, W. R., Mosquera, P., Vanderstukken, M., Goiris, K., Carrasco, M. C., Decaestecker, E., Alonso, M., León-Tamariz, F., & Muylaert, K. (2017). Limnology and trophic status of glacial lakes in the tropical Andes (Cajas National Park, Ecuador). *Freshwater Biology*, 62(3), 458–473. <https://doi.org/10.1111/fwb.12878>

Vincent, W. F. (2009). Effects of Climate Change on Lakes. *Encyclopedia of Inland Waters*, 55–60. <https://doi.org/10.1016/B978-012370626-3.00233-7>

Wetzel, R. G., & Likens, G. E. (1991). Limnological Analyses. In *Limnological Analyses*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-4098-1>

ANEXOS

Anexo No. 1 Criterios de calidad de agua por varios autores.

Fuente: Varios Autores

	Roldán y Ramírez (2008)	Goyenola (2007)	TULSMA (2015)	Van Colen (2017)	Masol (2010)
POTENCIAL DE HIDRÓGENO					
<i>lagos naturales de alta montaña</i>	6.5-7.5				
<i>Para riego agrícola</i>			6.0-9.0		
TEMPERATURA °C				12.0-15.0	6.0-12.0
<i>Lagos de 3000 msnm a 4000msnm</i>					
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS/cm)					
<i>Agua pura</i>					<280
<i>Poco contaminada</i>					280-430
<i>Contaminada</i>					430-600
<i>Muy contaminada</i>					600-860
<i>Excesivamente contaminada</i>					>860
OXÍGENO DISUELTO (mg/l)					
<i>Condición anóxica</i>		0			
<i>Condición hipóxica</i>		0-5			
<i>Condición aceptable</i>		5-8			
<i>Condición buena</i>		8-12			
<i>Sobresaturación</i>		>12			
<i>Para riego agrícola</i>			3		
<i>Para uso recreativo</i>			6		

Anexo No. 2 Rangos de estados Tróficos definidos por diferentes autores.

Fuente: Varios Autores

	Carlson (1977)	OCDE (1982)		Wetzel (2001)
		Media	Máximo	
	µg/l	µg/l	µg/l	
Oligotrófico	0.4-0.94	<2.5	<8.0	0.3-4.5
Mesotrófico	2.6-20.0	2.5-8.0	8.0-25	3.0-11.0
Eutrófico	56.0-427.0	25.0-75.0	25.0-75.0	3.0-78

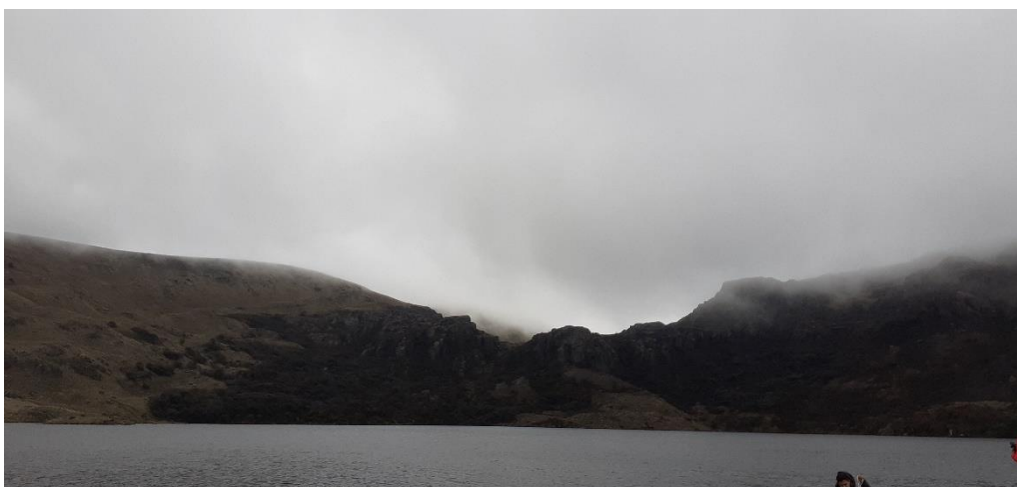
Anexo No. 3 Lagunas Muestreadas



LAGUNA ESTRELLACOCHA



LAGUNA TOREADORA



LAGUNA DUBLAS



LAGUNA DOS CHORRERAS

Anexo No. 4 Toma de muestras



Anexo No. 5 Fase de Laboratorio, filtrado de muestras



Anexo No. 6 Determinación de Aniones



Anexo No. 7 Concentración y Aforo de muestras



Anexo No. 8 Determinación de Cationes

