



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

“INFLUENCIA DE LA ESTRUCTURA TÉRMICA EN LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y QUÍMICOS DE LA LAGUNA MAGDALENA-ATILLO DEL PARQUE NACIONAL SANGAY”

Trabajo de titulación:

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORES: BEXY SELENA RIVERA GARCÍA

NANCY LILIANA PATARÓN CUNDURI

DIRECTOR: Ing. ANDRÉS AGUSTÍN BELTRÁN DÁVALOS

Riobamba – Ecuador

2021

©2021, Bexy Selena Rivera García; & Nancy Liliana Patarón Cunduri

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, Bexy Selena Rivera García y Nancy Liliana Patarón Cunduri, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 6 de abril de 2021



Bexy Selena Rivera García

C.I:2100789805



Nancy Liliana Patarón Cunduri

C.I:0650294788

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto de investigación, **“INFLUENCIA DE LA ESTRUCTURA TÉRMICA EN LOS PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS Y QUÍMICOS DE LA LAGUNA MAGDALENA-ATILLO DEL PARQUE NACIONAL SANGAY”**, realizado por las señoritas: **BEXY SELENA RIVERA GARCÍA Y NANCY LILIANA PARARÓN CUNDURI**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Dra. Magdy Mileni Echeverría Guadalupe
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
**MAGDY MILENI
ECHEVERRIA
GUADALUPE**

2021-04-06

Ing. Andrés Agustín Beltrán Dávalos
**DIRECTOR/A DEL TRABAJO DE
TITULACION**



Firmado electrónicamente por:
**ANDRES AGUSTIN
BELTRAN DAVALOS**

2021-04-06

Ing. Carlos Rolando Rosero Erazo
MIEMBRO DE TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
**CARLOS ROLANDO
ROSERO ERAZO**

2021-04-06

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por brindarme la suficiente sabiduría para atravesar todos los obstáculos que se presentaron en mi vida. A mis padres quienes fueron el pilar fundamental durante mi carrera universitaria. A mis hermanos, especialmente a Eduardo quién incondicionalmente me ofreció su confianza, cariño y apoyo en todo momento. A mis amigos, quienes compartieron mis alegrías y me ofrecieron sus palabras de aliento en circunstancias adversas. Finalmente quiero agradecer a Christopher Acosta por su guía, apoyo y consejos para poder culminar esta etapa profesional.

Bexy

Mi esfuerzo plasmado en este trabajo de titulación lo dedico a Dios por su bendición en cada etapa de mi vida. A la fuente de amor incondicional, mi familia, gracias por caminar junto a mí en esta travesía. A la persona que le ha dado sentido a la palabra amistad, Johana G. Y a todos quienes sepan valorar el contenido de esta investigación, pues, con ellos me siento identificada.

Liliana

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por el conocimiento impartido a través de sus docentes durante nuestra formación profesional.

Al Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático por permitirnos formar parte de sus proyectos y a la vez proporcionarnos experiencia laboral.

Al Ing. Andrés Beltrán e Ing. Freddy Armijos por la permanente guía y apoyo, permitiendo así, el desarrollo y culminación exitosa de nuestro trabajo de integración curricular.

Al Ing. Benito Mendoza, técnico de laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo por proporcionarnos el bote y los implementos necesarios para el desarrollo práctico de nuestra investigación.

Finalmente, agradecemos por el tiempo, apoyo y la buena voluntad de quienes estuvieron presentes durante las campañas de muestreo.

Bexy y Liliana

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. Antecedentes de la investigación.....	3
1.2. Marco Conceptual.....	5
1.2.1. Limnología.....	5
1.2.1.1. Definición.....	5
1.2.1.2. Historia.....	5
1.2.2. Humedales Altoandinos.....	6
1.2.2.1. Definición.....	6
1.2.2.2. Importancia de los humedales Altoandinos.....	6
1.2.3. Sistema lentic o lacustre.....	7
1.2.4. Dinámica térmica de los sistemas lacustres.....	8
1.2.4.1. Estratificación térmica.....	8
1.2.4.2. Estratificación térmica en lagos y embalses tropicales de alta montaña o páramo.....	9
1.2.4.3. Periodos de mezcla.....	10
1.2.5. Eutrofización.....	10
1.2.5.1. Definición.....	10
1.2.5.2. Causas de la eutrofización.....	10

1.2.5.3. <i>Efectos de la eutrofización</i>	11
1.2.6. Índices de estado trófico	11
1.2.6.1. <i>Índice de estado trófico de Carlson modificado por Toledo (IETM)</i>	11
1.2.6.2. <i>Clasificación de los lagos con base en su estado trófico</i>	12
1.2.7. Monitoreo de variables Físico-químicas	13
1.2.7.1. <i>Temperatura</i>	13
1.2.7.2. <i>pH</i>	13
1.2.7.3. <i>Turbidez</i>	14
1.2.7.4. <i>Color</i>	14
1.2.7.5. <i>Transparencia de Secchi</i>	15
1.2.7.6. <i>Conductividad eléctrica</i>	16
1.2.7.7. <i>Oxígeno Disuelto</i>	16
1.2.7.8. <i>Clorofila</i>	17
1.2.8. Parámetros Químicos	18
1.2.8.1. <i>Nitratos</i>	18
1.2.8.2. <i>Fósforo total</i>	19
1.2.8.3. <i>Materia Orgánica</i>	19
1.2.8.4. <i>Alcalinidad</i>	20

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO	21
2.1. Características e identificación de la zona de estudio	21
2.1.1. Descripción General	21
2.1.1.1. <i>Ubicación geográfica</i>	22
2.2. Muestreo	23
2.2.1. Determinación de los puntos de muestreo	23
2.3. Materiales y métodos	26
2.3.1. Materiales, equipos y reactivos utilizados en el proyecto	26
2.3.1.1. <i>Materiales</i>	26
2.3.1.2. <i>Equipos</i>	27
2.3.1.3. <i>Reactivos</i>	27
2.3.2. Toma, identificación y conservación de la muestra	28
2.3.2.1. <i>Toma de muestra</i>	28
2.3.2.2. <i>Identificación de la muestra</i>	28
2.3.2.3. <i>Conservación y transporte de la muestra</i>	29
2.3.3. Medición de los parámetros de campo	29
2.3.3.1. <i>Temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y pH</i>	29

2.3.3.2. <i>Transparencia de Secchi</i>	29
2.3.4. Medición de los parámetros de laboratorio	30
2.3.4.1. <i>Color</i>	30
2.3.4.2. <i>Turbiedad</i>	30
2.3.4.3. <i>Clorofila-a</i>	31
2.3.4.4. <i>Nitratos</i>	32
2.3.4.5. <i>Fósforo total</i>	33
2.3.4.6. <i>Alcalinidad</i>	33
2.3.4.7. <i>Materia orgánica</i>	34
2.4. Procesamiento de datos	35

CAPITULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
3.1. Variabilidad vertical espaciotemporal de la temperatura	38
3.1.1. <i>Resultados de temperatura de las diferentes lagunas muestreadas</i>	38
3.1.2. <i>Gradiente de temperatura de las diferentes lagunas muestreadas</i>	40
3.2. Relación entre la estructura térmica y los parámetros fisicoquímicos y químicos .	42
3.2.1. <i>Parámetros in situ</i>	42
3.2.2. <i>Parámetros ex situ</i>	48
3.2.3. <i>Correlaciones</i>	60
3.3. Determinación del Estado trófico	62

CONCLUSIONES	64
---------------------------	-----------

RECOMENDACIONES	65
------------------------------	-----------

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Criterio de aplicación del IETM.....	13
Tabla 1-2. Coordenadas de los puntos de muestreo	25
Tabla 2-2. Intervalos de medición.....	25
Tabla 3-2. Métodos usados para el muestreo y medición de parámetros de campo	30
Tabla 4-2. Métodos utilizados para el análisis de parámetros de laboratorio	35
Tabla 5-2. Interpretación de los coeficientes de correlación	36
Tabla 1-3. Matriz de correlación de temperatura con los parámetros in situ y ex situ en los diferentes puntos de muestreo	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Zonas de un sistema léntico o lacustre	7
Figura 2-1. Estratificación térmica de un cuerpo de agua	8
Figura 1-2. Sistema Lacustre de Atillo	22
Figura 2-2. Ubicación geográfica del área de estudio.....	23
Figura 3-2. Ubicación de los puntos de muestreo.....	24

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3. Variabilidad de temperatura en los diferentes puntos de muestreo de la laguna Magdalena	38
Gráfico 2-3. Variabilidad de temperatura en los diferentes puntos de muestreo de las lagunas Atillo, Negra y Kuyuk.....	39
Gráfico 3-3. Gradiente de temperatura en los puntos de muestreo M-P1 y M-P2.....	40
Gráfico 4-3. Gradiente de temperatura en los puntos de muestreo M-P3, M-P2, A-P1, A-P2, N-P1 y K-P1	41
Gráfico 5-3. Perfiles de pH y Temperatura en los diferentes puntos de muestreo.....	43
Gráfico 6-3. Perfiles de Oxígeno Disuelto y Temperatura en los puntos de muestreo de la laguna Magdalena	44
Gráfico 7-3. Perfiles de Oxígeno Disuelto y Temperatura en los puntos de muestreo de las lagunas Atillo, Negra y Kuyuk	45
Gráfico 8-3. Perfiles de Conductividad Eléctrica y Temperatura en los diferentes puntos de muestreo	46
Gráfico 9-3. Resultado de Transparencia y Temperatura en los diferentes puntos de muestreo	47
Gráfico 10-3. Perfiles de Color y Temperatura en los diferentes puntos de muestreo de la laguna Magdalena	48
Gráfico 11-3. Perfiles de Color y Temperatura en los diferentes puntos de muestreo de las lagunas Atillo, Negra y Kuyuk	49
Gráfico 12-3. Perfiles de Turbidez y Temperatura en los puntos de las lagunas Magdalena y Atillo	50
Gráfico 13-3. Perfiles de Turbidez y Temperatura en las lagunas Negra y Kuyuk.....	51
Gráfico 14-3. Perfiles de Fósforo total y Temperatura en los diferentes puntos de muestreo	52
Gráfico 15-3. Perfiles de Nitratos y Temperatura en los puntos de muestreo M-P1 y M-P2.....	53
Gráfico 16-3. Perfiles de Nitratos y Temperatura en los puntos de muestreo M-P3, M-P4, A-P1, A-P2, N-P1 y K-P1	54

Gráfico 17-3. Perfiles de Alcalinidad y Temperatura en los diferentes puntos de muestreo de las lagunas Magdalena y Atillo.....	55
Gráfico 18-3. Perfiles de Alcalinidad y Temperatura en las lagunas Negra y Kuyuk	56
Gráfico 19-3. Perfiles de Clorofila-a y Temperatura en los diferentes puntos de muestreo	57
Gráfico 20-3. Resultados de Materia Orgánica (DBO5) y Temperatura en los diferentes puntos de muestreo	58
Gráfico 21-3. Índice de Estado Trófico Modificado en los diferentes puntos de muestreo	62
Gráfico 22-3. Índice de Estado Trófico Modificado en las diferentes lagunas muestreadas	62

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

ANEXO B. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

ANEXO C. PERMISO DE INVESTIGACIÓN OTORGADO POR EL MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA

ANEXO D. PREPARACIÓN DEL BOTE

ANEXO E. MEDICIÓN DE PARÁMETROS IN SITU

ANEXO F. MEDICIÓN DE LA TRANSPARENCIA DEL AGUA

ANEXO G. PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE ACETONA

ANEXO H. MEDICIÓN DE COLOR, NITRATOS Y FÓSFORO

ANEXO I. MEDICIÓN DE TURBIDEZ

ANEXO J. MEDICIÓN DE LA ALCALINIDAD

ANEXO K. ADICIÓN DE SOLVENTE A LOS FILTROS DE CLOROFILA-A

ANEXO L. DETERMINACIÓN DE CLOROFILA-A

ANEXO M. DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

RESUMEN

La presente investigación determinó la influencia de la estructura térmica en los parámetros fisicoquímicos y químicos y el estado trófico de la laguna Magdalena-Atillo ubicada en el cantón Guamote, provincia de Chimborazo. Se establecieron ocho puntos (cuatro en la laguna Magdalena, dos en la laguna Atillo, uno en la laguna Negra y uno en la laguna Kuyuk) para su respectivo muestreo durante el periodo noviembre 2020 - enero 2021. La temperatura, pH, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica se obtuvieron mediante lectura directa con un multiparámetro digital portátil, y la transparencia de la columna de agua empleando el disco secchi. Los nitratos, fósforo total, turbidez, color, alcalinidad, materia orgánica y clorofila-a fueron analizados en el laboratorio de calidad de agua de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo con base en el Standard Methods. Los resultados del gradiente de temperatura de la columna de agua en los puntos M-P1 y M-P2 indicaron la presencia de una termoclina estable en los muestreos de noviembre y diciembre. Con el uso del programa SPSS Statistics (considerando una significancia de 0,05) se determinó que la laguna Magdalena presenta correlaciones fuertes entre la estructura térmica y el pH, oxígeno disuelto, conductividad, color, turbidez, nitratos, fósforo total y alcalinidad, por el contrario, la estructura térmica de la laguna Atillo tuvo correlación con el pH, color y turbidez. Mediante la aplicación del Índice de Estado Trófico Modificado por Toledo (1985) se determinó que las lagunas estudiadas se encuentran en un estado oligotrófico. Se recomienda ampliar estudios de parámetros in situ con sondas especializadas en nutrimentos a distintas profundidades de las lagunas.

Palabras clave: <GRADIENTE DE TEMPERATURA>, <TERMOCLINA>, <ESTRUCTURA TÉRMICA>, <CORRELACIÓN>, <PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y QUÍMICOS>, <ESTADO TRÓFICO>, <OLIGOTRÓFICO>



Firmado electrónicamente por:
JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS



10-05-2021

1118-DBRA-UTP-2021

ABSTRACT

The current research determined the influence of the thermal structure on the physicochemical parameters as well as the trophic status of Magdalena-Atillo lagoon located in Guamote county, Chimborazo province. Eight points were established (four in Magdalena lagoon, two in Atillo lagoon, one in Negra lagoon and one in the Kuyuk lagoon) for their respective sampling from November 2020 to January 2021. The temperature, pH, dissolved oxygen and electrical conductivity were obtained by direct reading with a portable digital multiparameter, and for measuring the transparency of the water column, it was necessary to use a Secchi disc. Nitrates, total phosphorus, turbidity, color, alkalinity, organic matter, and chlorophyll-a were analyzed in the water quality laboratory belonging to the Faculty of Sciences from Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, this analysis was based on the Standard Methods. The results of the temperature gradient in the water column at M-P1 and M-P2 points revealed the presence of a stable thermocline in the samplings corresponding to november and december. With the use of SPSS Statistics Program (considering a significance of 0.05), it was possible to determine that Magdalena lagoon reflects high correlations between thermal structure and pH, dissolved oxygen, conductivity, color, turbidity, nitrates, total phosphorus and alkalinity. In addition, the thermal structure of Atillo Lagoon had a correlation with pH, color and turbidity. With the application of the Trophic State Index Modified by Toledo (1985), it was determined that the lagoons studied were in an oligotrophic state. Thus, it is recommended to expand the study of the parameters on site with the use of remote sensors (multiparameters) to measure the nutrients at different depths in the lagoons.

Keywords: <TEMPERATURE GRADIENT>, <THERMOCLINE>, <THERMAL STRUCTURE>, <CORRELATION>, <PHYSICOCHEMICAL AND CHEMICAL PARAMETERS >, <TROPHIC STATE>, <OLIGOTROPHIC>

INTRODUCCIÓN

La estratificación térmica de los cuerpos de agua es un fenómeno natural que ocurre por el calentamiento solar de las aguas superficiales, haciendo que adquieran una menor densidad respecto a la de las aguas profundas, Esta variación de densidades provoca que la columna de agua se disponga en tres capas diferenciadas: la superficial de mayor temperatura (epilimnion), la profunda de menor temperatura (hipolimnion) y una zona de transición entre ambas conocida como metalimnion o termoclina caracterizada por un progresivo descenso de temperatura.

Según (Yang et al. 2018: pp.219-232; Butcher et al., 2015: pp.295-305) este fenómeno de estratificación en los lagos y embalses de alta montaña suele presentarse con frecuencia en épocas de verano por el aumento de la radiación solar y la temperatura de la atmósfera. Pero se rompe con la llegada del invierno y por factores como la precipitación, la velocidad del viento y caudales de los afluentes y efluentes (López et al., 2017: pp.94-119) dando lugar a la mezcla de las tres capas antes mencionadas. Esto ocurre básicamente porque las aguas superficiales se enfrían y su densidad se eleva provocando el descenso de esta capa y el ascenso de la capa inferior.

Esta mezcla es muy importante ya que, durante la estratificación, el metalimnion suele comportarse como una barrera térmica que impide el intercambio de nutrientes, sustancias, sales y gases entre el epilimnion y el hipolimnion. (Karpowicz y Ejsmont, 2017: pp.1-13) aseguran que si la estratificación perdura en el tiempo, algo que está ocurriendo hoy en día por el cambio climático, existirá una progresiva acumulación de algas en la superficie, lo cual se traduce en procesos de eutrofización, presencia de toxinas, reducción del oxígeno disuelto y pérdida de la estética del cuerpo de agua, condicionando así la calidad del agua y afectando de manera grave a los usuarios de la misma.

Los sistemas lacustres tropicales de alta montaña ubicados principalmente en Colombia, Ecuador y en el norte del Perú son un tipo especial de ecosistema acuático y han sido poco estudiados respecto a sus procesos físicos, químicos, biológicos e hidrodinámicos. En Ecuador las únicas investigaciones en torno a esta temática se han desarrollado en el Lago San Pablo utilizando como punto de partida las investigaciones de Günter Gunkel.

En la Laguna Magdalena-Atillo se han realizado estudios con una perspectiva económica y ecológica, pero existe un nulo conocimiento respecto a la dinámica térmica, de hecho (Yáñez et al., 2019: pp.1-16), mencionan que en estos últimos cincuenta años ha existido una reducción del espejo de agua en el área de inundación, esta disminución es un indicio de los posibles procesos de eutrofización.

Las lagunas en mención han sido elegidas debido a sus características morfométricas, pues, sus profundidades superiores a ocho metros las hace propensas a la variación de temperatura en su

columna de agua, motivo principal para el estudio de la dinámica térmica y su posible incidencia en el estado trófico de estos cuerpos de agua.

JUSTIFICACIÓN

Los humedales son ecosistemas fundamentales para la conservación de la humanidad, ofrece diversidad de beneficios siendo algunos de ellos la preservación de la biodiversidad, regulación climática, abastecimiento y purificación del agua.

Sin embargo, la (Convención de Ramsar sobre los humedales, 2018) menciona que hoy en día, sigue produciéndose pérdidas de humedales, con efectos negativos directos y mensurables en la naturaleza y las personas. Es por ello que se pretende desarrollar una investigación nueva y novedosa para resolver el problema científico que supone la escasez de información limnológica en Ecuador, determinar la estructura térmica de la Laguna Magdalena-Atillo, la influencia de la estructura térmica en los parámetros fisicoquímicos y químicos y el estado trófico de la laguna Magdalena-Atillo. Esta información recopilada supone un aporte importante para ser incluida al plan de manejo y garantizar la gestión del Parque Nacional Sangay.

La investigación a realizar cuenta con los recursos financieros necesarios para: el transporte hacia el lugar de muestreo, materiales para la recolección y transporte de muestras, reactivos para el análisis de muestras e instrumentos de medición de parámetros in situ y ex situ. Cabe mencionar que el Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC) el cual promueve esta investigación, cuenta con el respectivo permiso para el ingreso a los sistemas lacustres altoandinos del que forma parte la Laguna Magdalena-Atillo.

OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar la influencia de la estructura térmica en los parámetros fisicoquímicos y químicos de la Laguna Magdalena-Atillo del Parque Nacional Sangay.

Objetivos Específicos

Evaluar la variabilidad vertical espaciotemporal de la temperatura en la Laguna Magdalena-Atillo del Parque Nacional Sangay.

Relacionar la estructura térmica con los parámetros fisicoquímicos y químicos de la Laguna Magdalena-Atillo del Parque Nacional Sangay.

Establecer el estado trófico de la laguna Magdalena-Atillo.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la investigación

Ecuador, al estar ubicado en la zona ecuatorial posee un hábitat extenso en cuanto a flora y fauna, esto se debe a varios factores ambientales tales como: clima, topografía, tipo de suelo entre otros. Estas variables dan origen a la formación de numerosos ecosistemas naturales en donde se encuentra diversidad de especies animales y vegetales que cohabitan entre sí y que a su vez permanecen en constante exposición a riesgos y peligros ocasionados por actividades antropogénicas desarrolladas sobre el ambiente (Ministerio de Ambiente del Ecuador, 2012).

Los humedales son ecosistemas imprescindibles para los seres humanos, ya que contribuyen a los medios de subsistencia, estos entornos son considerados zonas con una alta productividad, variedad biológica y sobre todo son fuentes de abastecimiento de agua dulce (The Ramsar Convention Secretariat, 2014). La calidad del agua se ha visto seriamente afectada por las actividades antropogénicas que se realizan en zonas aledañas a la laguna en estudio; principalmente la agricultura, ganadería y turismo, produciendo así pérdida del hábitat y por consiguiente continuos e inmediatos resultados perjudiciales para los seres humanos y la naturaleza (Convención de Ramsar sobre los humedales, 2018).

El proceso de eutrofización se considera la causa de contaminación más notable y relevante en cuerpos de agua a nivel mundial. La eutrofización de los humedales es el principal problema en cuanto a la calidad de agua (Convención de Ramsar sobre los humedales, 2018).

Este problema tiene origen con el incremento acelerado de nutrientes principalmente de fósforo y nitrógeno que se incorporan en el agua de manera natural mediante ciclos biogeoquímicos o de forma antropogénica, dando como resultado la disminución del oxígeno disponible para los organismos acuáticos presentes y por ende la disminución de la población de dicho ecosistema (WWAP, 2017)

Por otra parte, el proceso de estratificación térmica se produce por el suministro de radiación solar a la capa superficial de cuerpos de agua, generando una variación de densidad respecto a las aguas profundas, de esta manera es posible establecer la división en tres capas de agua: una capa superior denominada epilimnion, una capa inferior conocida como hipolimnion y una zona intermedia

designada como metalimnion o comúnmente denominada termoclina (Benjumea y Toro, 2007: pp.55-60).

El epilimnion al encontrarse expuesto directamente a la radiación solar se considera la capa más rica en oxígeno y por ende la zona con mayor vida acuática, a diferencia del hipolimnion al ser la zona más profunda posee menor cantidad de oxígeno lo cual limita la supervivencia de las especies del cuerpo de agua. Para garantizar una uniforme distribución de oxígeno es importante la mezcla de las tres capas térmicas, pues si la estratificación perdura en el tiempo el metalimnion actuará como una barrera térmica impidiendo el intercambio de nutrientes, sustancias, sales y gases entre el epilimnion y el hipolimnion dando como resultado una progresiva acumulación de algas en la superficie, lo cual se convierte en procesos de eutrofización (Karpowicz y Ejsmont, 2017: pp.1-13).

Colombia, Ecuador y norte de Perú se caracterizan por poseer un tipo especial de sistemas acuáticos de alta montaña, sin embargo, al ser ecosistemas poco estudiados a nivel de Latinoamérica se cuenta con escasa información en cuanto a procesos físicos, químicos, biológicos e hidrodinámicos que ocurren dentro de estos cuerpos de agua. En Ecuador las únicas investigaciones en torno a la dinámica térmica se han desarrollado en el Lago San Pablo utilizando como punto de partida las investigaciones de Limnología de un Lago Tropical de Alta Montaña, en Ecuador: Características de los sedimentos y tasa de sedimentación (Gunkel, 2003).

Por lo tanto, es oportuno elaborar la investigación de la influencia de la estructura térmica en los parámetros fisicoquímicos y químicos de la laguna Magdalena-Atillo del Parque Nacional Sangay, lo cual se aprovechará como punto de partida para entender los procesos fisicoquímicos y químicos que ahí se produzcan, de ese modo se puede evaluar la evolución de estas variables permitiéndose detectar pertinentemente su vulnerabilidad frente a problemas de eutrofización y que permita la pronta propuesta de medidas para evitar los impactos negativos en este sistema lacustre.

1.2.Marco Conceptual

1.2.1. Limnología

1.2.1.1. Definición

Es la ciencia que se encarga del estudio las aguas continentales (lagos, ríos, arroyos, humedales, embalses y lagunas), las interacciones que se producen entre los factores bióticos y abióticos y los fenómenos físicos y biológicos que ocurren dentro de un determinado ecosistema acuático (Colmenar, 2002, pp.1-4)

Esta ciencia se centra en el estudio de las poblaciones presentes en un medio y su autoecología, así mismo, se encarga de analizar minuciosamente la productividad de los lagos y su tipología con base en su estado trófico el cual depende de la concentración de nutrientes en el cuerpo de agua, especialmente de elementos como el fósforo y nitrógeno (Colmenar, 2002, pp.1-4).

1.2.1.2. Historia

Esta rama inició con el aporte de Anton Van Leeuwenhoek quién en el siglo XVII descubrió que en el agua existían seres vivos microscópicos, lo cual dio un nuevo enfoque en el campo científico. En el siglo XVIII, Horace Bénédicte de Saussure y en el siglo XIX, Simony; realizaron investigaciones de temperatura en los Alpes Suizos, convirtiéndose así; en pioneros respecto a esta temática. Ernest Haeckel en el año 1866 estableció que los fundamentos ecológicos tanto en la tierra como en el agua son equivalentes.

En 1877, Stephen Forbes realizó una publicación en donde insertó el primer concepto limnológico del sistema acuático, sin embargo, este trabajo pasó por desapercibido durante muchos años. Es así que entre los años 1892-1904 las divulgaciones científicas de François-Alphonse Forel comienzan a tomar importancia y marcan el comienzo de la limnología como ciencia (Frangópulos, 2019).

En Ecuador, el primer estudio limnológico fue realizado en el año 1979 por Steinitz-Kannan Miriam, en cuanto a estudios limnológicos específicamente en Sistemas Lacustres Altoandinos la primera investigación se realizó en el Lago San Pablo en el año 2003.

1.2.2. Humedales Altoandinos

1.2.2.1. Definición

Los humedales se pueden definir como: “ecosistemas de agua dulce o salada, que se encuentran cubiertos de forma temporal o permanente y que pueden ser considerados como un sistema de flujo volumétrico abierto o cerrado” (MAE, 2015).

Los humedales altoandinos son aquellos sistemas de humedales constituidos por ecosistemas de páramo, jalca y puna así como otros medios naturales afines que se caracterizan por funcionar de forma conjunta, lo cual es primordial para una correcta dinámica de las unidades geográficas o más conocidas como micro-cuencas y otros conjuntos hidrográficos (Convención de Ramsar y Grupo de Contacto EHAA, 2008).

Según su tipo y origen se pueden diferenciar los siguientes humedales altoandinos:

- Lagos y lagunas de agua dulce
- Aguas termales y géiseres
- Mallines
- Lagunas saladas
- Bofedales y Turberas
- Salares
- Lagunas salobres

Según su tipo de vegetación se puede encontrar los siguientes:

- Totorales
- Chuscales
- Vegas
- Entre otros (Convención de Ramsar y Grupo de Contacto EHAA, 2008)

1.2.2.2. Importancia de los humedales Altoandinos

Los humedales son entornos que brindan grandes beneficios tales como: suministro de agua para consumo humano, riego y generación de electricidad; hábitat de diversas especies animales y vegetales; abastecimiento de alimentos y fibra vegetal; regulación de los sistemas hidrológicos y del clima; sitio de protección y reproducción de mamíferos, aves y réptiles que se encuentran en

peligro de extinción; provisión recurso económico, genético, recreacional, científico y de turismo; mantenimiento del equilibrio del suelo y captura de carbono (WWF International, 2010, pp.1-20).

A pesar de los grandes beneficios que brindan los humedales altoandinos, estos se han visto afectados por diferentes causas como: el cambio climático, escasez de precipitaciones, manejo inadecuado del suelo en cuanto a actividades agrícolas, ganaderas y mineras. Cabe señalar que los humedales son un recurso limitado por lo que la falta de conocimiento acerca de la importancia ecológica, científica y económica está llevando a la pérdida irreparable de los bienes y servicios que aportan estos ecosistemas (Convención de Ramsar y Grupo de Contacto EHAA, 2008)

1.2.3. Sistema léntico o lacustre

Está representado por todas las aguas que carecen de un flujo unidireccional permanente como estanques, pantanos, ciénagas, lagunas, lagos, entre otros (Ramírez y Viña, 1998). Un sistema léntico está dividido en zonas tanto a nivel vertical como horizontal en función de la penetración de la luz, tal como se aprecia en la Figura 1-1.

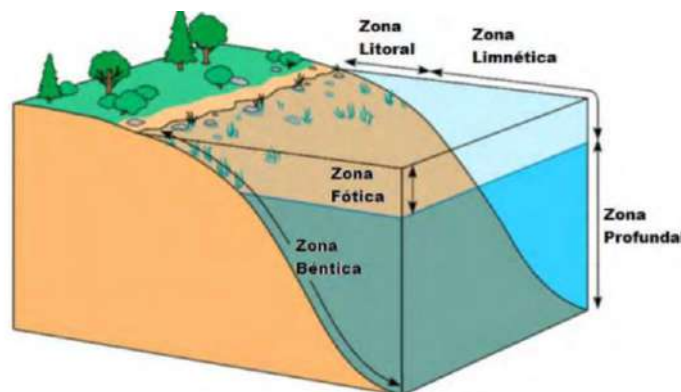


Figura 1-1. Zonas de un sistema léntico o lacustre
Fuente: (Contreras et al., 2018)

Dichas zonas se describen a continuación:

- **Zona litoral:** Franja marginal de un lago (orilla) donde crecen plantas acuáticas sujetas al suelo fangoso (Loachamin et al., 2017; Contreras et al., 2018).
- **Zona limnética:** Región lacustre que continúa a la zona litoral y que se extiende hasta la región más profunda a la que puede llegar la luz (Contreras et al., 2018).
- **Zona eufótica o fótica:** Se extiende desde la superficie del lago hasta donde el nivel de luz es del 1%, aquí los peces nadan libremente con algunas plantas flotando en el agua, al haber suficiente luz solar tanto plancton como algas suelen prosperar aquí, por lo que los procesos fotosintéticos predominan sobre la respiración. (Lewis, 2020).

- **Zona profunda o afótica:** Se ubica debajo de la zona fótica, aquí los niveles de luz están por debajo del 1% siendo demasiado bajos para la fotosíntesis, en cambio predominan los procesos de respiración por lo que la zona afótica es una región de consumo de oxígeno. Los seres vivos en esta región consumen y mineralizan la materia orgánica proveniente de la zona fótica (Lewis, 2020).
- **Zona bentónica:** Es la región de transición entre la columna de agua y los sedimentos lacustres, siendo común a la zona litoral y a la zona profunda. Los organismos que habitan esta zona se denominan "bentos" y comprende a los invertebrados que habitan en las áreas óxicas, a las bacterias anaeróbicas y algunos protozoos especializados que habitan en las áreas anóxicas (Lewis, 2020).

1.2.4. Dinámica térmica de los sistemas lacustres

La dinámica térmica de los sistemas lacustres (lagos y embalses) es un factor determinante en la evolución de las características fisicoquímicas del agua, el ciclo de nutrientes, la distribución de los gases disueltos y la biota. El comportamiento térmico implica la alternancia de periodos de estratificación del agua con periodos de mezcla, que se describen en los apartados siguientes.

1.2.4.1. Estratificación térmica

La estratificación térmica de un cuerpo de agua es un fenómeno natural que consiste en el desarrollo de capas de temperatura, y por ende densidad, lo suficientemente diferentes para evitar que se mezclen entre sí, Figura 2-1. Este fenómeno suele presentarse con mucha frecuencia en los meses de verano debido a la mayor incidencia de los rayos solares en superficie del agua.

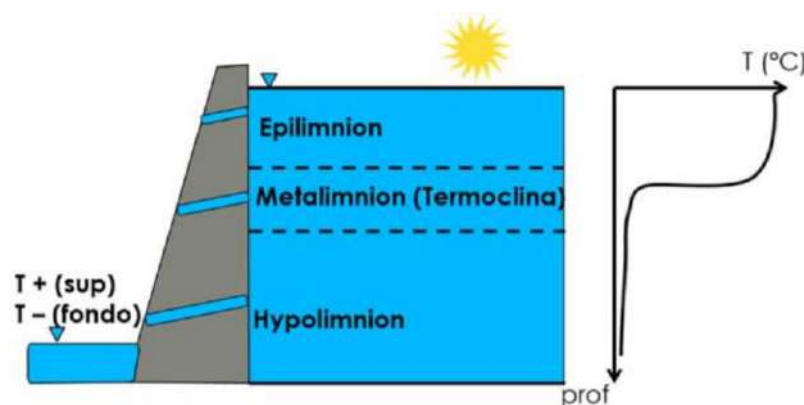


Figura 2-1. Estratificación térmica de un cuerpo de agua
Fuente: (Romero, 2019)

Típicamente, durante la estratificación térmica se pueden distinguir tres capas con características bien diferenciadas que se describen a continuación:

- **Epilimnion:** Es la capa superficial que contiene la interfase aire-agua, es la más cálida, menos densa y bien iluminada de las tres capas, razón por la cual en este estrato predominan los procesos fotosintéticos sobre la respiración. El espesor del epilimnion depende del área del espejo de agua del lago o laguna, ya que cuanto mayor sea esta, mayor será la interacción con el viento que hace que la capa aumente en espesor. Para (Lewis, 2020), en lagos de superficie inferior a 10 km^2 esta capa puede ser tan delgada como de dos metros, pero en cuerpos de agua cuya superficie supere los 10 km^2 y azotados por el viento, pueden tener un espesor de 15 a 20 m.
- **Metalimnion (termoclina):** Ubicado debajo del epilimnion se encuentra el metalimnion, un estrato de agua en el que la temperatura disminuye rápidamente con la profundidad. La profundidad y estabilidad de la termoclina dependen de factores como: la duración de los períodos calentamiento y la estacionalidad (Roldán y Ramírez, 2008).
- **Hipolimnion:** Es la capa inferior, más fría y más densa que el epilimnion y el metalimnion. Al ser una capa aislada, la meteorología y los efectos superficiales no suelen afectarla. En el hipolimnion predominan los procesos oxidativos sobre los fotosintéticos o productivos, pues el hipolimnion recibe los desechos orgánicos particulados del epilimnion y a medida que esto sucede, las bacterias comienzan el proceso de descomposición consumiendo el oxígeno disuelto presente (Fafard, 2018; Lewis, 2020; Arbat, 2015). La diferencia de temperatura entre el epilimnion y el hipolimnion puede ser de hasta 6 u $8 \text{ }^\circ\text{C}$ (Roldán y Ramírez, 2008).

1.2.4.2. Estratificación térmica en lagos y embalses tropicales de alta montaña o páramo

Los lagos y embalses tropicales de alta montaña o páramo se sitúan entre los 3000 y 4000 m.s.n.m. Dada su ubicación en las regiones tropicales o ecuatoriales, reciben una cantidad de radiación más o menos constante, por lo que estos cuerpos de agua suelen presentar temperaturas casi uniformes a lo largo del año (generalmente entre 6 y $12 \text{ }^\circ\text{C}$), con muy poca variación de la misma de superficie a fondo. Pese a esta mínima variación de temperatura, la estratificación térmica en los lagos tropicales de alta montaña si suele presentarse con frecuencia; razón por la que autores como (Roldán y Ramírez, 2008) han redefinido el concepto de termoclina para el caso específico de páramos, como “aquel plano dentro del metalimnion en el cual se sitúa un gradiente térmico entre $0,2$ y $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ” el cual separa a las aguas cálidas superficiales de las aguas frías profundas.

1.2.4.3. Periodos de mezcla

La estratificación térmica generalmente ocurre en los meses de verano, debido a la mayor incidencia de los rayos solares; con la llegada del invierno la temperatura de la capa superficial cae y la diferencia de densidad entre los dos estratos se reduce lo suficiente para que el viento induzca una circulación vertical del cuerpo de agua.

La dinámica y frecuencia de mezcla en los lagos y embalses tropicales de alta montaña o de páramo suele ser diferente, pues este evento depende principalmente del clima (temperatura y viento), y de las características del lago y su entorno (profundidad y exposición al viento). Es así que los lagos poco profundos nunca se estratifican por lo que tienen una circulación vertical permanente, en tanto que los lagos profundos, al presentar débiles estratificaciones, tienden a mezclarse fácilmente por la acción de los vientos, las corrientes de convección o las lluvias (Arbat, 2015; Roldán y Ramírez, 2008).

1.2.5. Eutrofización

1.2.5.1. Definición

La eutrofización es un proceso mediante el cual se produce un incremento de nutrientes en un cuerpo de agua, dicho fenómeno se manifiesta con la aparición, multiplicación y acumulación de organismos autótrofos en el medio acuático. Los nutrientes que provocan este aumento generalmente son compuestos de fósforo y nitrógeno derivados de fuentes naturales o antropogénicas. Este proceso se considera perjudicial ya que produce desequilibrios en el cuerpo de agua. (Urrutia, 2014) ; (Ruíz, 2017).

1.2.5.2. Causas de la eutrofización

- Ecurrimiento de aguas nutritivas desde tierras altas.
- Vertido de aguas residuales de uso industrial y doméstico.
- Uso excesivo de fertilizantes, abonos y pesticidas en actividades agrícolas.
- Incremento de nutrientes por los excrementos resultantes de las actividades ganaderas.

1.2.5.3. Efectos de la eutrofización

- Deterioro de la calidad del agua.
- Disminución del oxígeno del agua.
- Muerte de especies acuáticas.
- Alteración de la biodiversidad del cuerpo de agua.
- Aumento de productores primarios.
- Desecación de cuerpos de agua.
- Invasión de las nuevas especies patógenas y vectores de enfermedades.
- Pérdida de la estética del agua.
- Pérdida económica por el descenso del turismo (Chapa y Guerrero, 2010).

1.2.6. Índices de estado trófico

Los índices de estado trófico son una herramienta matemática que permite determinar la calidad de un cuerpo de agua mediante la utilización de indicadores. Existen varios índices de estado trófico, la utilización de un determinado índice depende del ecosistema en estudio (López y Madroño, 2015: pp.1-21).

1.2.6.1. Índice de estado trófico de Carlson modificado por Toledo (IETM)

En el año 1977, Robert Carlson estableció el índice de estado trófico de Carlson (IET) para determinar el estado trófico de cuerpos de agua dulce, es un índice muy utilizado gracias a su objetividad y simplicidad, sin embargo, el IET se utiliza solamente en zonas templadas. Debido a que el IET no se adapta a otro tipo de zona, en el año 1985, Toledo Jr. realiza ciertas modificaciones matemáticas al índice con la finalidad de adecuarlo a las condiciones climáticas de regiones tropicales (López y Madroño, 2015: pp.1-21).

Este índice se obtiene a partir de la transformación logarítmica de la transparencia de agua, concentraciones de clorofila a y fósforo total (Velásquez et al., 2007: pp.187-199).

Los indicadores se calculan bajo las siguientes ecuaciones:

$$IETM_{DS} = 10 \left(6 - \frac{0.64 + \ln(DS)}{\ln(2)} \right)$$

$$IETM_{Clorf\ a} = 10 \left(6 - \frac{2.04 - 0.695 \ln(Clorf\ a)}{\ln(2)} \right)$$

$$IETM_{Pt} = 10 \left(6 - \frac{\ln\left(\frac{80.32}{Pt}\right)}{\ln(2)} \right)$$

$$IETM_{promedio} = \frac{IETM_{DS} + IETM_{Clorf\ a} + IETM_{Pt}}{3}$$

Donde:

$IETM_{DS}$: Índice de estado trófico de Carlson modificado por Toledo Disco Secchi (m).

$IETM_{Clorf-a}$: Índice de estado trófico de Carlson modificado por Toledo Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$).

$IETM_{Pt}$: Índice de estado trófico de Carlson modificado por Toledo Fósforo Total ($\mu\text{g/L}$).

1.2.6.2. Clasificación de los lagos con base en su estado trófico

En el índice de Carlson modificado se distinguen 3 categorías de estado trófico:

- **Oligotrófico.** – El agua es cristalina y transparente lo cual permite una buena penetración de la luz hacia el fondo, presenta flora y fauna controlada, posee buena oxigenación y bajo contenido de nutrientes (Smith y Smith, 2007).
- **Mesotrófico.** - Es la categoría intermedia entre oligotrófico y eutrófico, en estos cuerpos de agua existe un nivel moderado de nutrientes por lo que el número de organismos acuáticos tiende a incrementar, además su transparencia se ve afectada y se refleja en el aumento de la turbidez del agua. (Vásquez et al., 2006: pp.61-75).
- **Eutrófico.** - El agua presentan gran cantidad de nutrientes especialmente de fósforo y nitrógeno, existe excesivo crecimiento de productores primarios, las propiedades organolépticas como el sabor, color y olor se ven afectadas, la luz no penetra hacia el fondo del cuerpo de agua lo cual impide la realización de fotosíntesis de las plantas bentónicas, se produce disminución del oxígeno disuelto debido a que las bacterias lo utilizan para la degradación de la materia orgánica y pérdida de la vida acuática del ecosistema (Espinosa et al., 2012: pp.33-42)

El nivel de este índice varía de cero a cien de oligotrófico a eutrófico. A continuación, se presenta una tabla con las categorías y escalas de los indicadores que conforman el índice de estado trófico de Carlson modificado por Toledo (IETM):

Tabla 1-1. Criterio de aplicación del IETM

Categoría trófica	Valor del índice
Oligotrófico	<45
Mesotrófico	45-55
Eutrófico	>55

Fuente:(Moreira y Sabando, 2016)

Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2020

1.2.7. Monitoreo de variables Físico-químicas

1.2.7.1. Temperatura

La temperatura es uno de los parámetros físicos más importantes en los ecosistemas superficiales, mediante esta variable se determina el grado de calor que posee un determinado cuerpo de agua. Interviene en la química del agua, específicamente en la aceleración o retraso de las reacciones, solubilidad del oxígeno y nutrientes, condensación de compuestos y velocidad de fotosíntesis de productores primarios. La temperatura regula y controla las actividades biológicas de los seres vivos e influye en otras propiedades físicas del agua como la conductividad eléctrica, densidad, pH y viscosidad (Ortega y Pesántez, 2018).

La variabilidad de este parámetro depende de condiciones ambientales como el clima y la meteorología, sin embargo, también puede verse influenciado por actividades antropogénicas que provocan contaminación térmica e impactos significativos a la flora y fauna existente en el medio acuático (Jimenez, 2001).

La determinación de la temperatura debe realizarse *in situ* mediante el uso de termómetros de mercurio o de equipos electrónicos más precisos y confiables como multiparámetros, generalmente se mide en grados Centígrados o grados Fahrenheit (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, 2003).

1.2.7.2. pH

El pH al igual que la temperatura es un parámetro habitual en las pruebas químicas del agua. Este parámetro permite determinar el grado de acidez o alcalinidad de líquidos, su escala varía de 0 a 14, cuando el cuerpo de agua presenta valores menores a 7 se consideran aguas ácidas, valores mayores a 7 alcalinas y si se encuentra en un valor de 7 se califican como aguas neutras (Mansilla, 2014, pp.2076-2082).

Las aguas naturales presentan pH entre 6 y 9, gran parte de estas aguas son ligeramente alcalinas debido a que contienen bicarbonatos y carbonatos de metales alcalinos y alcalinotérreos (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, 2003). En cuerpos de agua que forman parte de sistemas lénticos se encuentran valores de pH que oscila entre 6,5 y 7,5, los valores de pH menores a 2 y mayores a 10 se consideran limitantes para el ciclo vital de los organismos acuáticos (Roldán y Ramírez, 2008).

La determinación de este parámetro se realiza mediante el potenciómetro, el cual proporciona la medida a partir de la diferencia de potencial utilizando dos celdas electroquímicas denominadas electrodos (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, 2003).

1.2.7.3. Turbidez

La turbidez permite determinar la cantidad total de material suspendido que dificulta el paso de luz en un cuerpo de agua, su presencia se debe tanto a materiales orgánicos (microorganismos, limus y algas), como a materiales inorgánicos (arcilla, arena y partículas de roca). En sistemas lénticos la mayor parte de turbidez depende de dispersores coloidales y a otros extremadamente finos (Roldán y Ramírez, 2008). El origen natural de este parámetro se da principalmente por aportes de sedimentos provenientes de la erosión de las cuencas y el origen antropogénico por vertimiento de aguas residuales domésticas o industriales a los cuerpos de agua (Sierra, 2012).

Cuando el material particulado proviene de fuente externa se considera turbidez alóctona y cuando se origina dentro del mismo cuerpo se denomina turbidez autóctona. La turbidez, al relacionarse con la transmisión de la luz resulta ser un parámetro primordial en los medios acuáticos, ya que tiene influencia directa en el proceso de fotosíntesis y en el flujo de energía dentro del ecosistema (Roldán y Ramírez, 2008).

La determinación de la turbidez se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro el cual proporciona las medidas en unidades nefelométricas de turbidez (UNT) (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, 2003).

1.2.7.4. Color

El color es un parámetro que se encuentra íntimamente relacionado con la turbidez debido a que influyen en la transmisión de la luz, no obstante, los dos parámetros son analizados de forma independiente. Difieren en el tipo de material por el cual son producidos, mientras que la turbiedad está determinada por materiales de mayor tamaño, el color se define por materiales de menor tamaño como partículas disueltas y coloides (Sierra, 2012).

La variedad de color depende de sustancias disueltas, suspendidas y del tipo de plancton presente en el cuerpo de agua, sin embargo, el principal responsable del color son los sólidos disueltos que se producen por la descomposición de la materia orgánica (humus) y por ciertos materiales inorgánicos principalmente de hierro y manganeso. Cuando los sistemas lénticos se catalogan oligotróficos presentan una coloración azul o verdosa y cuando se consideran eutróficos su coloración es amarillenta o azul grisáceo pardo (Roldán y Ramírez, 2008).

El agua presenta un color verdadero que se deriva de sustancias en solución y un color aparente producido por sustancias suspendidas. La medición del color aparente se realiza en muestras sin previa filtración, mientras que para la determinación del color verdadero se requiere de dicho proceso. Este parámetro se obtiene mediante un equipo denominado colorímetro (Deloya, 2006, pp.31-40).

1.2.7.5. Transparencia de Secchi

Es la medida de la profundidad de penetración de la luz en una columna de agua. La transparencia depende de la cantidad de partículas en el agua, que pueden ser inorgánicas (como sedimentos y sales disueltas) u orgánicas (como algas y fitoplancton), que actúan dispersando o absorbiendo la luz e impidiendo que esta llegue a las zonas más profundas (AWRI, 2020). Se pueden sacar conclusiones sobre el estado trófico de un lago midiendo la profundidad de Secchi, puesto que la transparencia del agua está directamente relacionada con el Fósforo Total y la Clorofila-a (RMBEL, 2020).

Respecto a la dinámica térmica y estacional, existen reportes de que la transparencia aumenta en invierno en comparación con los meses de verano, esto se debe a la disminución de la luz solar y las bajas temperaturas que son limitantes del crecimiento de algas, lo que se traduce en un incremento de la transparencia (GLOBE, 2005; Luque, 2003).

La transparencia se determina a través de la profundidad de Secchi, Secchi Depth o SD (por sus siglas en inglés), que es la profundidad a la que el ojo humano deja de ver un disco de plástico o metal de 20 cm de diámetro con cuadrantes alternos en blanco y negro denominado Disco de Secchi (Delegido et al., 2019). El valor, en metros, obtenido de esta medición ayuda al cálculo de la zona eufótica que es en donde se realiza el proceso fotosintético, mismo que acaba en la profundidad donde la luz solo llega con un 1% de la energía que tiene en la superficie (Margalef, 1983). Se calcula con la siguiente fórmula:

$$z = 2.5 * SD$$

Donde:

- Z: Profundidad fótica
- SD: Profundidad de Disco de Secchi.

1.2.7.6. Conductividad eléctrica

Es la medida de la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica. La conductividad eléctrica en el agua tiene que ver con la presencia de sólidos inorgánicos disueltos como los aniones cloruro, nitrato, sulfato y fosfato o cationes de sodio, magnesio, calcio, hierro y aluminio, por lo que su medición es de suma utilidad cuando se evalúa la calidad de un ambiente acuático. Los valores normales de conductividad están entre 30 y 60 $\mu S/cm$; resultados por debajo de estos valores indican oligotrofia o baja producción, y valores por encima indican eutrofia o alta producción (Roldán y Ramírez, 2008).

Respecto a la relación de la conductividad con la dinámica térmica, se sabe que en los embalses y lagos, durante el periodo de mezcla, la conductividad del agua suele ser baja y casi uniforme en toda la columna de agua, esto debido ya sea acción del viento que favorece la mezcla de toda la columna o por acción de las lluvias que disminuyen la concentración de los sólidos disueltos totales. No es así el caso durante la estratificación térmica, pues la conductividad eléctrica es directamente proporcional a la temperatura, así, el agua de la superficie tiende a evaporarse concentrando los sólidos disueltos en el agua restante (EPA, 2012; Host, 2006; Luque, 2003). El hipolimnion también puede presentar valores altos de CE, esto dependerá de la materia orgánica particulada proveniente del epilimnion, ya que las bacterias ubicadas en este estrato la descomponen generando iones "nuevos" (de carbonato y bicarbonato) y al no haber circulación o mezcla del agua, los valores de la CE del hipolimnion se elevan (EPA, 2012; Host, 2006).

1.2.7.7. Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto (OD) es uno de los indicadores más importantes de la calidad del agua, ya que es fundamental para la supervivencia de los peces y otros organismos acuáticos. Su determinación se realiza in situ empleando sondas de Oxígeno Disuelto o en el laboratorio a través del método de Winkler. Los niveles de concentración de oxígeno disuelto pueden expresarse como miligramos por litro (mg/L), partes por millón (ppm) o como porcentaje de saturación (%) (LCWA, 2020).

El oxígeno puede ingresar a un lago o embalse a través de tres rutas diferentes:

- a. Difusión atmosférica, donde el oxígeno del aire es difundido al agua superficial debido a la diferencia de las concentraciones entre ambas.
- b. Fotosíntesis: con la consecuente liberación de oxígeno como subproducto.
- c. Aireación natural, ya sea por el viento, ríos y arroyos que acarrean agua oxigenada al lago (LCWA, 2020)

En verano durante la estratificación térmica, la concentración de OD en el epilimnion permanece alta debido a la fotosíntesis y la difusión de la atmósfera; sin embargo, las condiciones en el hipolimnion varían con el estado trófico. En los lagos eutróficos (más productivos) el OD hipolimnético disminuye en el verano porque está aislado de todas las fuentes de oxígeno, además los organismos que se ubican en este estrato realizan procesos de respiración y descomposición de los residuos de materia orgánica (algas muertas) consumiendo el oxígeno del hipolimnion haciendo que esta capa se vuelva hipóxica e incluso anóxica. Por su parte, en los lagos oligotróficos, la baja biomasa de algas permite una penetración de luz más profunda y menos descomposición, por lo que las concentraciones de OD pueden aumentar con la profundidad por debajo de la termoclina, así, el agua más fría estaría conteniendo un mayor OD, pues el oxígeno es más soluble a menor temperatura (Roldán y Ramírez, 2008; LCWA, 2020).

Estas diferencias entre los lagos eutróficos y oligotróficos tienden a desaparecer con la mezcla producida en invierno donde el oxígeno es casi constante en toda la columna de agua.

1.2.7.8. Clorofila

La clorofila es un pigmento fotorreceptor presente en plantas, algas y cianobacterias, cuya función es la absorción de energía solar para la transformación en energía química durante la primera etapa de la fotosíntesis (Lodish et al., 2000). Estructuralmente, las clorofilas son tetrapirroles cíclicos que contienen un átomo central de magnesio y una "cola" larga de hidrocarburo (fitol). (Anderson, 2018; Sujatha, 2015).

La clorofila abarca una familia de moléculas denominadas clorofila a, b, c y d. De todas, la clorofila-a es la de mayor importancia, pues es dominante y está presente en todos los organismos fotosintéticos, por tanto, su concentración es lo que se informa durante el análisis de clorofila. No así el caso de la clorofila b, c y d, cuyas concentraciones son despreciables, pues no todos los organismos fotosintéticos contienen este pigmento, más bien se los consideran como "pigmentos accesorios", ya que como tales ayudan a la clorofila-a a expandir el espectro de luz absorbida (Anderson, 2018).

- Clorofila-a

La clorofila-a es un indicador de la biomasa de algas, puesto que constituye del 1% al 2% de su peso seco. Las algas son importantes en los lagos porque agregan oxígeno al agua como subproducto de la fotosíntesis; sin embargo, la elevada proliferación de estas puede ser peligrosa para los peces y la calidad del agua (Steer, 2016).

La presencia de algas en un lago depende de muchos factores como la transparencia, la temperatura y la disponibilidad de nutrientes en el agua (especialmente fósforo y nitrógeno). La dinámica funciona de la siguiente manera: en invierno, la baja temperatura limita el crecimiento de algas por lo que los nutrientes están distribuidos casi uniformemente en toda la columna de agua; con la llegada del verano, el agua se calienta favoreciendo a la aparición de algas que consumen los nutrientes de los estratos superiores, haciendo que la luz penetre menos y las algas tienden a ubicarse en la parte superior del lago donde hay suficiente luz para la fotosíntesis. Agotados los nutrientes, las algas mueren y se depositan en las zonas profundas donde las bacterias las descomponen agotando el oxígeno en esta zona (EPA, 2019; Steer, 2016).

La clorofila-a de las aguas continentales se determina por métodos espectrofotométricos, mismo que abarca el método tricromático (clorofila a, b y c a diferentes longitudes de onda: 664, 647 y 630 nm respectivamente) y el método de medición de clorofila-a en presencia de feofitina.

1.2.8. Parámetros Químicos

1.2.8.1. Nitratos

Los nitratos NO_3^- son una forma oxidada del nitrógeno; provienen de la descomposición de la materia vegetal y animal, de efluentes industriales y de lixiviados de tierras de cultivo donde se utilizan abonos que contienen nitratos como componentes en sus formulaciones (Bolaños et al., 2017: pp.15-27).

Para lagos estratificados profundos, la concentración de nitratos es mayor durante los eventos de mezcla debido a la resuspensión de los nutrientes de los sedimentos. Y generalmente decrece a finales de verano puesto que han sido captados por las algas y plantas acuáticas para su crecimiento. Junto con el fósforo, los nitratos en cantidades excesivas pueden acelerar la eutrofización, afectando principalmente al oxígeno disuelto (Moreta, 2008, p.9).

1.2.8.2. Fósforo total

El fósforo existe en diferentes formas en el agua. Puede estar disuelto, unido a partículas de suelo y rocas o contenido en plantas y animales vivos o en descomposición. El fósforo total es una medida de todas estas formas de fósforo combinadas. Las plantas y las algas utilizan fácilmente el fósforo disuelto (ortofosfatos), que generalmente se encuentra en bajas concentraciones, por lo que es el nutriente limitante de la producción primaria (Tierney y O'Boyle, 2018). Si se agregan cantidades excesivas de este compuesto al agua (ya sea por la descarga de efluentes industriales no tratados, detergentes, sistemas sépticos y escorrentías de tierras agrícolas o céspedes fertilizados), pueden propiciar el crecimiento de algas y plantas acuáticas en grandes cantidades. Cuando estas mueren, las bacterias las descomponen consumiendo oxígeno y depositando fosfatos en los espacios entre las partículas de sedimento. Si el agua se desoxigena (como en verano), el fosfato se libera de los sedimentos aumentando aún más el fósforo disponible (Murphy, 2007; Tierney y O'Boyle, 2018).

1.2.8.3. Materia Orgánica

La materia orgánica es toda clase de sustancia que involucra dentro de su estructura molecular el carbono, puede ser de dos tipos: a) la de origen biológico, que comprende todos los residuos y desechos provenientes de organismos vivos, incluso los mismos organismos; y b) la de origen antrópico, en la que encuentran todas las sustancia sintetizadas por el hombre a través de procesos industriales (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, 2003).

La concentración de materia orgánica en el agua se determina directamente con la medida del carbono orgánico total (COT) e, indirectamente, midiendo la capacidad reductora del carbono existente con la determinación de la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

La Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO, es una medida indirecta de los compuestos orgánicos biodegradables en el agua. La prueba de DBO también se conoce como " DBO_5 ", ya que se basa en la medición de la disminución del oxígeno disuelto en una muestra de agua de control durante un período de cinco días en el que la muestra se mantiene a 20 °C en condiciones oscuras. Durante este periodo, las bacterias aeróbicas descomponen la materia orgánica de la muestra y consumen oxígeno disuelto en proporción a la cantidad de material orgánico presente. Es el método más usado, debido principalmente a su bajo costo. El agua no contaminada normalmente tiene un valor de DBO_5 de 2 mg/L, pero los que reciben efluentes pueden tener más de 10 mg/L (EEA, 2020).

1.2.8.4. Alcalinidad

La alcalinidad se define como la medida de las sustancias alcalinas presentes en un cuerpo de agua, este parámetro se relaciona con las formas de carbono inorgánico disuelto en el agua. (Roldán y Ramírez, 2008). Un cuerpo de agua es considerado alcalino cuando en su composición presenta iones hidroxilo $[\text{OH}^-]$, carbonatos $[\text{CO}_3^{2-}]$ y bicarbonatos $[\text{HCO}_3^-]$, sin embargo, la alcalinidad de las aguas naturales se debe específicamente a la presencia de $[\text{CO}_3^{2-}]$ y $[\text{HCO}_3^-]$ los mismos que se integran a partir de materiales naturales del suelo (Sierra, 2012).

Las bases fuertes se consideran otra causa de origen de la alcalinidad, estas provienen de las aguas residuales industriales que son evacuadas a los ecosistemas hídricos. Es un parámetro muy importante ya que a concentraciones aceptables, permite un buen funcionamiento del metabolismo de los organismos acuáticos, su análisis se realiza *ex situ* mediante método de valoración química utilizando el principio de neutralización (Sierra, 2012).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Características e identificación de la zona de estudio

2.1.1. Descripción General

La zona lacustre de Atillo se encuentra entre los 3200 y 3600 m.s.n.m., dentro del Parque Nacional Sangay, en la parroquia Cebadas del cantón Guamote, provincia de Chimborazo. Este lugar presenta una topografía irregular de tipo montañoso, con grandes extensiones de pajonales en cuyos alrededores se realizan actividades de ganadería, agricultura y en menor medida la cacería y la pesca. No tiene poblaciones inmediatamente cercanas, sin embargo, es considerado como centro turístico para las poblaciones de Riobamba (MAAE, 2015, pp.4-5).

Su temperatura oscila entre los 6 y 12 °C, presenta dos estaciones: una de abundante lluvia en los meses de enero a abril y otra de menos precipitación en los meses de mayo a diciembre (Yáñez et al., 2019: pp.1-16). Según los datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología el Sistema Lacustre de Atillo posee una recarga pluviométrica de 4000 mm/año (INAMHI, 2014).

Este sistema lacustre de Atillo cuenta con 18 lagunas, siendo la más extensa la laguna Magdalena-Atillo, que se encuentra a 3485 m.s.n.m., junto a la vía Guamote-Macas a 80 km de la ciudad de Riobamba. La laguna está rodeada de totoras y pajonales, su agua es de coloración verdeazulada, presenta un área y una profundidad aproximada de 257,22 ha y 20 m respectivamente.

Como principal afluente de la laguna Magdalena-Atillo se encuentra la laguna Kuyuk a 3450 m.s.n.m., sus aguas son de coloración verde azulada, presenta una superficie aproximada de 2,8 ha y su profundidad está alrededor de los 7 m. Es de libre y fácil acceso al público siendo así la más visitada respecto a las otras lagunas presentes en este sistema lacustre.

Dentro de este mismo sistema lacustre, a una mayor altura (3526 m.s.n.m.) se sitúa la laguna Negra, dado que su ubicación está entre la región interandina y amazónica se encuentra influenciada por los vientos procedentes del oriente y de las montañas. La laguna está rodeada de riscos y de grandes extensiones de pajonales, el color de sus aguas varía entre negro, verde y azulado dependiendo de las condiciones meteorológicas. Presenta un área de aproximadamente 8,2 ha y una profundidad de alrededor de los 45 m.



Laguna Magdalena



Laguna Atillo



Laguna Kuyuk



Laguna Negra

Figura 1-2. Sistema Lacustre de Atillo

Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2020

2.1.1.1. Ubicación geográfica

El sistema Lacustre Magdalena-Atillo se encuentra en la zona 17 de América del Sur, con coordenadas UTM_WGS84 (775996; 9758069).

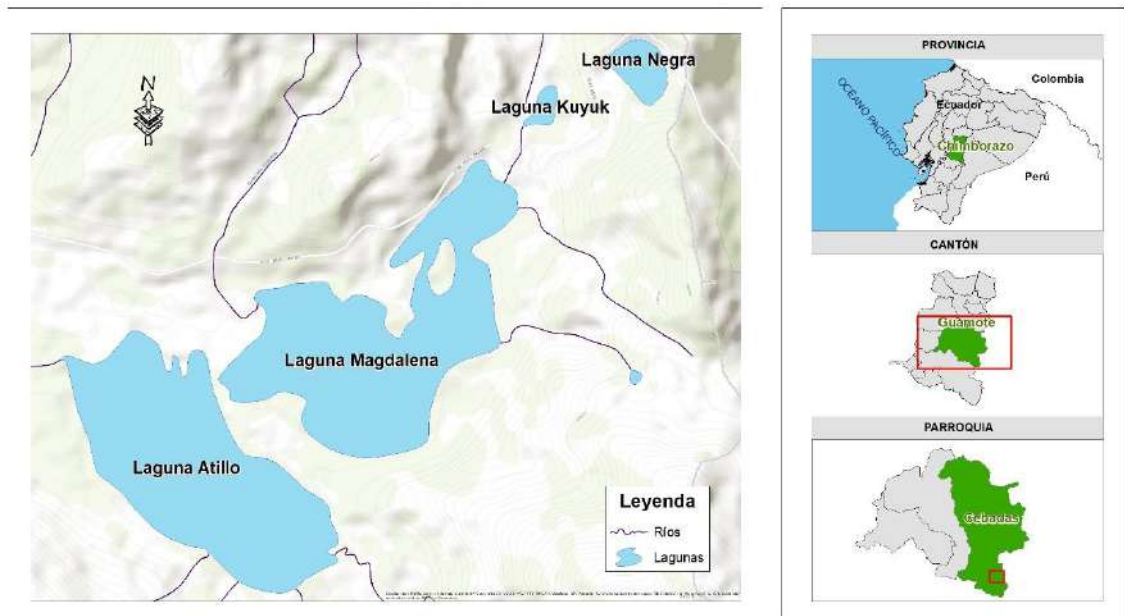


Figura 2-2. Ubicación geográfica del área de estudio
Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2020

2.2. Muestreo

Tomando en cuenta que es un área protegida, antes de iniciar las campañas de muestreo, se realizó el proceso de obtención del permiso de investigación científica en el Sistema Único de Información Ambiental (SUIA) bajo el nombre del proyecto principal “Los sistemas lacustres del centro del Ecuador como fuente o sumideros de Dióxido de Carbono como determinante para su conservación”, el mismo que se encuentra en el anexo C. Una vez iniciado este proceso de autorización se procedió a muestrear procurando mantener la integridad ecológica del sistema evitando así dañar la flora y fauna presente.

2.2.1. Determinación de los puntos de muestreo

El establecimiento del sitio óptimo y el número de puntos de muestreo se realizó previo a una visita preliminar, con la finalidad de realizar una prospección, análisis y definición de los factores determinantes del muestreo.

Para ello se tomó en consideración la representatividad en cuanto al tamaño del área de investigación, objetivos planteados, tipos de datos requeridos, factores topográficos determinantes de la accesibilidad y la ubicación de efluentes y afluentes. Respecto a los intervalos de medición, se establecieron de acuerdo a la profundidad encontrada en cada punto de muestreo.

El punto de recolección de la muestra es lo más representativo de las características totales del cuerpo de agua, lo que significa que la muestra no debe tomarse cerca de las orillas, ni recibir influencia de afluentes, especialmente en lo que se refiere a turbulencia, velocidad y apariencia física.

La accesibilidad fue otro criterio considerado en la presente investigación, los puntos de muestreo debían presentar facilidades en cuanto a: acceso vehicular, transporte de muestras y carga de equipos/materiales, todo esto con la finalidad de reducir el riesgo de accidentes.

Con base en lo antes mencionado, se estableció lo siguiente: cuatro puntos de muestreo en la laguna Magdalena, dado que: es accesible, cuenta con la entrada de afluentes y presenta varios islotes; dos puntos de muestreo en la laguna Atillo debido a su difícil acceso y porque su representatividad está justificada por la uniformidad de sus aguas. Así mismo, se decide incorporar un punto de muestreo en la laguna Kuyuk, pues, se considera el principal afluente de la laguna Magdalena y un punto de muestreo en la laguna Negra, ya que, al situarse a una mayor altura respecto a los cuerpos de agua antes mencionados, se puede considerar como un valor de comparación.

La representación gráfica de los puntos de muestro se pueden visualizar en la siguiente imagen:

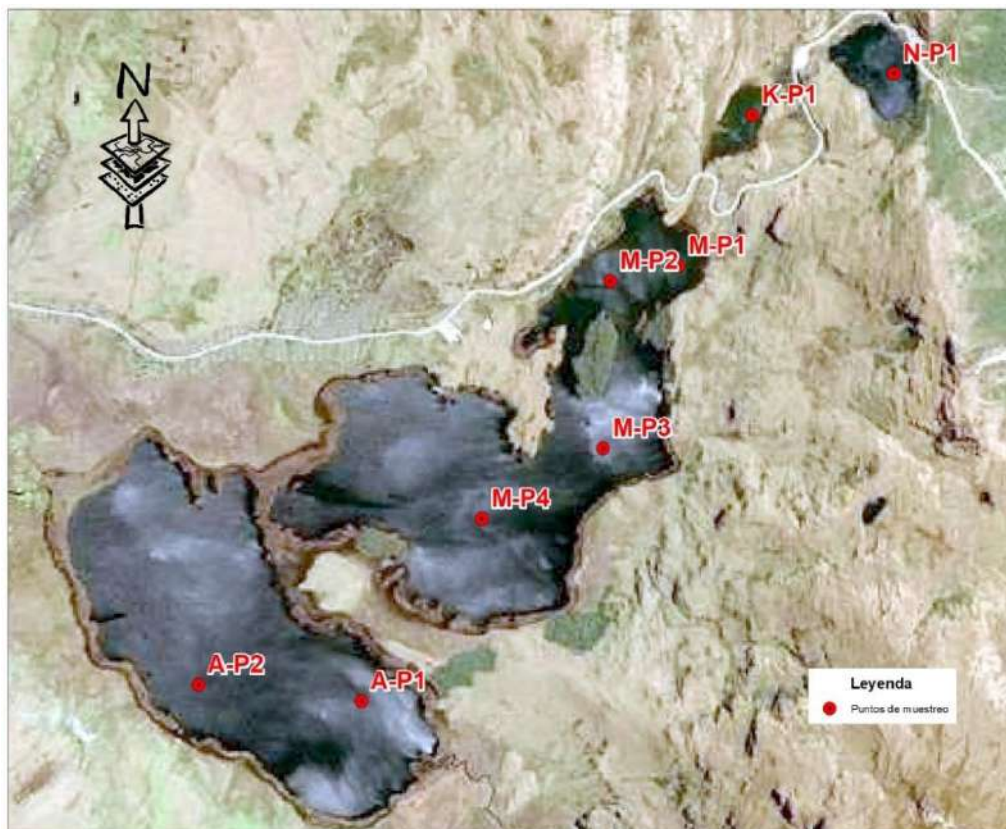


Figura 3-2. Ubicación de los puntos de muestreo
Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2020

A continuación, se enlistan los puntos de muestreo de cada laguna con sus respectivas coordenadas:

Tabla 1-2. Coordenadas de los puntos de muestreo

Laguna	Punto	COORDENADAS	
		Proyección UTM_WGS84	
		X	Y
Magdalena	M-P1	776816	9758244
	M-P2	776535	9758180
	M-P3	776506	9757492
	M-P4	776006	9757203
Atillo	A-P1	775510	9756452
	A-P2	774839	9756519
Negra	N-P1	777703	9759035
Kuyuk	K-P1	777120	9758865

Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2020

Los intervalos de medición de acuerdo a la profundidad encontrada se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 2-2. Intervalos de medición

Consideración de la columna de agua	Punto de muestreo y profundidad total	Profundidad cualitativa	Muestra para parámetros in situ	Muestra para parámetros ex situ
< 10 m	M-P3 (8m)	Par	Se toma cada dos metros	Se toma en la superficie, en el medio y en el fondo.
	M-P4 (8m)			
	K-P1 (7m)	Impar		
> 10 m	M-P1 (16m)	Par	Se toma cada dos metros	Se toma cada cinco metros
	M-P2 (20m)			
	N-P1 (45m)	Impar	Se toma cada dos metros y medio.	
	A-P1 (15m)			
	A-P2 (15m)			

Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2020

2.2.2. Tipo de muestra

De acuerdo con los objetivos de esta investigación, se tomaron muestras en serie que consistió en extraer volúmenes de agua de diferentes profundidades, en un punto específico del área de estudio, para lo cual se siguieron los lineamientos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 2176 2013) sobre Calidad del Agua, Muestreo, Técnicas de Muestreo.

2.2.3. Frecuencia

Se realizó un muestreo mensual en todos los puntos a diferentes profundidades durante el periodo noviembre 2020 – enero 2021.

2.3. Materiales y métodos

2.3.1. *Materiales, equipos y reactivos utilizados en el proyecto*

2.3.1.1. *Materiales*

- Botellas ámbar de 500 y 1000 ml.
- Embudo
- Recipiente de plástico de 5 L.
- Vasos de precipitación de 100 ml.
- Pipetas de 1, 5 y 10 ml.
- Probetas de 100, 500 y 1000 ml.
- Matraces Erlenmeyer de 250 ml.
- Balones de aforo de 100, 500 y 1000 ml.
- Tubos Falcon de 15 ml.
- Pera de succión.
- Filtros de membrana (millipore, de 0.45 μm , 47mm de diámetro).
- Pinzas.
- Papel aluminio.
- Cinta adhesiva.
- Rotulador.
- Gradillas.
- Toallas absorbentes.
- Espátula.
- Papel filtro.
- Piseta.
- Celda para turbidímetro.
- Celdas de muestra de 10 ml para fotómetro.

- Celda de cuarzo para UV visible de 1 cm de paso de luz.

2.3.1.2. Equipos

- GPS.
- Multiparámetro AZ86031 water quality meter.
- Botella de Van Dorn.
- Disco Secchi.
- Cámara fotográfica.
- Cooler.
- Espectrofotómetro.
- Centrífuga.
- Fotómetro HACH.
- Equipo de filtración al vacío.
- Equipo de valoración química.
- Turbidímetro.
- Conductivímetro.
- Aparato de DBO respirométrico.
- Termoreactor.
- Computador.
- Bote.
- Refrigerador.

2.3.1.3. Reactivos

- Agua destilada.
- Acetona al 90%.
- Alcohol al 70%.
- Bolsas de polvo de reactivo de nitrato NitraVer 5.
- Kit de fósforo total o total Test 'N Tube.
- Almohadillas de polvo de nutrientes
- Comprimidos de hidróxido de potasio
- Ácido sulfúrico 0,05N
- Naranja de metilo
- Fenolftaleína

- Solución buffer pH 4, 7 y 10.
- Solución de cloruro de potasio 0,01 M.
- Solución saturada de carbonato de magnesio.

2.3.2. Toma, identificación y conservación de la muestra

2.3.2.1. Toma de muestra

Para la toma de muestras de parámetros de campo y los análisis complementarios:

- Se midió la profundidad del agua en el punto de muestreo.
- Se ingresó la botella Van Dorn totalmente abierta y se bajó lentamente hasta la profundidad deseada. En muestras profundas se evitó hacer contacto con el sedimento.
- Se soltó el mensajero de metal para provocar el mecanismo de cierre hermético de los extremos de la botella extractora.
- Se ascendió la botella extractora hacia la superficie.
- Se trasegó la muestra de agua a un recipiente limpio.
- Se midió y anotó inmediatamente los parámetros in situ: temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y pH.
- Finalmente, con ayuda de un embudo se trasvasó la muestra hacia una botella ámbar de un litro de capacidad para su análisis en el laboratorio.

2.3.2.2. Identificación de la muestra

A cada una de las botellas ámbar con muestra de agua, se le colocó una etiqueta con la siguiente información:

- Fecha y hora de muestreo.
- Nombre de la Laguna.
- Coordenadas del punto de muestreo.
- Punto y profundidad de la muestra.
- Nombre de la persona quien toma la muestra.
- Condiciones atmosféricas

2.3.2.3. Conservación y transporte de la muestra

Las muestras se transportaron en un cooler y se conservaron a 4 °C en un refrigerador, no se requirió conservantes químicos puesto que el análisis en el laboratorio se realizó dentro de las 24 horas posteriores al muestreo.

2.3.3. Medición de los parámetros de campo

2.3.3.1. Temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y pH

Para la medición de temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y pH:

- Se extrajo la muestra de diferentes profundidades en los respectivos puntos de muestreo con ayuda de la botella Van Dorn.
- Se trasvasó la muestra a un balde limpio e introducir las tres sondas del multiparámetro AZ86031 water quality meter.
- Finalmente se anotó de inmediato los valores de temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y pH.

2.3.3.2. Transparencia de Secchi

Para la determinación de la transparencia de Secchi:

- Se introdujo el disco de Secchi al agua del lado sombreado del bote.
- Se anotó la profundidad a la que el disco dejó de ser visible.
- Se elevó lentamente el disco de Secchi hasta su aparición y se registró dicha profundidad.
- Ambas profundidades fueron promediadas y registradas como el valor límite de visibilidad en la columna de agua.

En la siguiente tabla se resumen los métodos usados para el muestreo y medición de parámetros de campo

Tabla 3-2. Métodos usados para el muestreo y medición de parámetros de campo

Parámetro	Método
Toma, identificación y conservación de la muestra	NTE INEN 2176:2013 Agua, calidad del agua, muestreo, técnicas de muestreo. NTE INEN 2169:1998 Agua, calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras.
Temperatura	Manual de Técnicas Analíticas para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos y Contaminantes Marinos (Aguas, Sedimentos Y Organismos), INVEMAR.
Oxígeno Disuelto	Stándar Méthods 23th Edition 2017 - 4500-O G
pH	Stándar Méthods 23th Edition 2017 - 4500-H ⁺ B
Conductividad eléctrica	Stándar Méthods 23th Edition 2017 - 2510 A
Transparencia de Secchi	ISO 7027-2:2019 Calidad del agua. Determinación de la turbidez. Parte 2: Métodos semicuantitativos para la evaluación de la transparencia de las aguas.

Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2020

2.3.4. Medición de los parámetros de laboratorio

2.3.4.1. Color

Para determinar el color se utilizó el siguiente procedimiento:

- Se ingresó en el fotómetro el número de programa almacenado por el usuario el cual corresponda a la determinación del color.
- Se realizó un blanco para lo cual se colocó 10 ml de agua destilada en la celda del fotómetro y se procedió a encerrar el equipo.
- Se colocó 10 ml de muestra en la celda del fotómetro y se procedió a su lectura.
- Finalmente, se anotó el valor obtenido en la medición.

2.3.4.2. Turbiedad

Para determinar la turbiedad se utilizó el siguiente procedimiento:

- Se colocó la muestra de agua hasta el cuello de la celda y se procedió a tapar.
- Se ingresó la celda en el equipo y se cubrió la misma con el escudo para la luz.
- Se inició la lectura en 2 NTU, si el equipo no estabilizaba la lectura en ese rango se cambió a un valor de 20, 200 o 2000 NTU hasta que arroje un dato relativamente estable.
- Finalmente, se anotó el valor más alto que se obtuvo durante la medición.

2.3.4.3. *Clorofila-a*

Para el análisis de clorofila se tomaron en cuenta únicamente aquellas muestras que abarcaban la zona fótica esto es 2,5 veces la profundidad del disco de Secchi. La determinación espectrofotométrica de clorofila-a por el método tricromático implica 5 fases: filtración, extracción, clarificación, lectura de la muestra y cálculo de la concentración de clorofila-a, mismas que se detallan a continuación:

Filtración

- Se filtraron 600 ml de volumen de muestra a través de un filtro de membrana (millipore, de 0.45 μm , 47mm de diámetro).
- Con el fin de evitar la degradación de la clorofila, se añadió 2 ml de solución saturada de carbonato de magnesio a la muestra justo antes de que se complete el proceso de filtrado.

Extracción

- El filtro se dobló en cuatro partes y se introdujo en un tubo Falcon de 15 ml de capacidad.
- Se agregó 6ml de acetona al 90%, se tapó y agitó durante 1 minuto.
- La muestra se refrigeró a 4 °C por 18 horas en oscuridad.

Clarificación

- Transcurridas las 18 horas se centrifugó el extracto a 3000 r.p.m. durante 20 minutos.
- Se trasvasó el sobrenadante a otro tubo Falcon de 15 ml de capacidad, evitando el paso de acetona con el material sedimentado.

Lectura

- Previamente, se encendió el equipo con 3 ml de acetona al 90%.
- Luego se transfirió 3 ml del extracto a una celda de cuarzo de 1 cm de paso de luz.
- Se midió la absorbancia a diferentes longitudes de onda: 664, 647 y 630 nm y una última lectura a 750 nm para la corrección de la turbidez propia de la solución de acetona.

Cálculo

- La concentración de clorofila-a se determinó empleando la siguiente ecuación:

$$Cl a \left(\frac{mg}{m^3} \right) = V_e * \frac{(11,85(A_{664} - A_{750})) - (1,54(A_{647} - A_{750})) - (0,08(A_{630} - A_{750}))}{V_f * L}$$

Donde:

A_{664} = Absorbancia a 664 nm.

A_{647} = Absorbancia a 647 nm.

A_{630} = Absorbancia a 630 nm.

A_{750} = Absorbancia a 750 nm.

V_f = Volumen de muestra filtrada (m^3).

V_e = Volumen del extracto en acetona (L).

L = Longitud de paso de la celda (cm).

2.3.4.4. Nitratos

Para la determinación de nitratos se utilizó el siguiente procedimiento:

- Se ingresó en el fotómetro el número de programa almacenado por el usuario el cual corresponda a la determinación de nitratos.
- En la celda del fotómetro se colocó 10 ml de muestra y sobre esta se añadió una bolsa de polvo de reactivo de nitrato nitraVer 5, se agitó la mezcla hasta que el cronómetro sonó en un minuto.
- Se presionó la segunda opción del temporizador y se esperó por un lapso de 5 minutos, ya que durante este tiempo ocurre el período de reacción.
- Se realizó un blanco para lo cual se colocó 10 ml de agua destilada en la celda del fotómetro y se procedió a encerrar el equipo.
- Se colocó la muestra preparada en el fotómetro y se anotó el valor de su concentración.

Nota: Los valores fueron obtenidos en concentraciones de mg/L de Nitrógeno ($NO_3 - N$). En vista de que se requieren valores en concentración mg/L de Nitrato (NO_3^-) se procedió a realizar una conversión de valores teniendo en cuenta que 1 ppm de $NO_3 - N$ es equivalente a 4,427 ppm de NO_3^- .

2.3.4.5. Fósforo total

Para determinar fósforo total se utilizó el siguiente procedimiento:

- Se tomó 5ml de muestra y se colocó en un tubo para fósforo total.
- Se realizó un blanco, para lo cual se tomó 5ml de agua desionizada y se colocó en un tubo para fósforo total.
- Se colocó una bolsa de polvo de persulfato de potasio en el tubo para fósforo total, se tapó y agitó.
- Se encendió el termoreactor y se esperó que alcance una temperatura de 150 °C.
- Se colocó el tubo en el termoreactor y se esperó a que se caliente durante 30 minutos.
- Una vez concluido los 30 minutos, se retiró el tubo del termoreactor y se dejó enfriar a temperatura ambiente.
- Se tomó el tubo y se agregó 2ml de hidróxido de sodio, luego tapó y agitó para garantizar una mezcla homogénea.
- Se ingresó en el fotómetro el número de programa almacenado por el usuario el cual corresponda a la determinación del fósforo total.
- Se presionó el temporizador del fotómetro y se esperó por un lapso de tiempo de 2 minutos.
- Se tomó el tubo del blanco y se colocó en el adaptador del fotómetro con el logo de Hach de cara al frente del instrumento, se tapó el adaptador y se encendió el equipo.
- Nuevamente, en el adaptador del fotómetro se colocó el tubo con la muestra preparada con el logo de Hach de cara al frente del instrumento, se tapó el adaptador y se anotó el valor de su concentración.

Nota: Los valores fueron obtenidos en concentraciones de mg/L de fosfato. En vista de que se requieren valores en concentración de ug/L de Fósforo Total se procedió a realizar una conversión de valores teniendo en cuenta que 1 ppm de PO_4 es equivalente a 3,06 ppm de $PO_4 - P$.

2.3.4.6. Alcalinidad

La alcalinidad en las muestras de agua se determina de la siguiente manera:

- Se preparó el equipo de titulación colocando el valorante (ácido sulfúrico 0,05 N) en la bureta graduada.
- En un matraz Erlenmeyer se colocó 100 ml de la muestra de agua.

- Se añadieron 5 gotas de fenolftaleína (dado que la muestra no se tornó rosa fue indicativo de que no hay presencia de carbonatos).
- En la misma disolución, se determina la concentración de bicarbonatos, para lo cual se adicionaron 5 gotas de anaranjado de metilo.
- Se tituló hasta que la muestra cambió de color amarillo a rosado.
- Se anotó el volumen de ácido sulfúrico 0,05 N consumido.
- La alcalinidad total se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Alcalinidad total} = \frac{T * N * 50000}{\text{ml de muestra utilizada}}$$

Donde

T = Volumen de ácido sulfúrico consumido en la titulación.

N = Normalidad del ácido sulfúrico.

2.3.4.7. *Materia orgánica*

Para determinar la materia se utilizó el siguiente procedimiento:

- Con base en el tipo de muestra se eligió la cantidad de agua requerida, al tratarse de un agua limpia se tomó un volumen de 420 ml de muestra y se colocó en una botella ámbar.
- Se añadieron las almohadillas de polvo de nutrientes a la muestra.
- Se colocó un agitador magnético para garantizar la mezcla del agua y por ende las condiciones naturales del medio.
- Se colocó el tapón hermético en el cuello de la botella.
- Con la ayuda de una espátula se añadieron dos comprimidos de hidróxido de potasio en el tapón hermético.
- Se encendió el aparato de DBO respirométrico y se programó el equipo con base en el volumen de muestra a utilizar (420 ml), en este caso se eligió una escala de medición de DBO de 35 mg/L.
- Se colocó la botella en el equipo, se conectó el tubo correspondiente a la botella con la muestra y se apretó el tapón.
- Al término de cinco días se anotó el valor más alto que se obtuvo durante ese lapso de tiempo.

Tabla 4-2. Métodos utilizados para el análisis de parámetros de laboratorio

Parámetro	Método	Manual
Color	2120 C	Standard Methods for the examination of water and wastewater, 23th Edition.
Turbiedad	2130 B	
Clorofila a	10200 H	
Nitratos	4500 NO ₃ -E	
Fósforo total	4500 P- E	
Alcalinidad	2320 B	
Materia orgánica	5210 D	

FUENTE: (Baird et al., 2017: p.161)

Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2020

2.4. Procesamiento de datos

El procesamiento de datos se realizó mediante el uso de Microsoft Excel para el almacenamiento, análisis y la representación gráfica del conjunto de datos y SPSS Statistics en el cálculo de los coeficientes de correlación de los parámetros estudiados.

La evaluación de la variabilidad vertical espaciotemporal de la temperatura se determinó mediante el gradiente de temperatura con respecto a la profundidad, a partir de la siguiente formula:

$$GT = \frac{T_0 - T_f}{P_f - P_0}$$

Donde:

GT= Gradiente de temperatura (°C/m)

T₀= Temperatura inicial (°C)

T_f= Temperatura final (°C)

P₀= Profundidad inicial (m)

P_f= Profundidad final (m)

Para determinar la relación entre la estructura térmica y los parámetros fisicoquímicos y químicos, se utilizaron pruebas paramétricas (coeficiente de correlación de Pearson) y no paramétricas (coeficiente de correlación de Spearman) dependiendo de la normalidad de los datos analizados mediante la prueba de Shapiro Wilk la cual es idónea para este estudio ya que trabaja con un número inferior a 50 datos (Sampieri et al., 2014). Las correlaciones significativas se seleccionaron

con base en un grado de significancia inferior a 0,05. Al tratarse de dos pruebas equivalentes el valor de sus coeficiente oscila entre -1 y $+1$, en el primer caso la relación se considera perfecta negativa y se presenta cuando el comportamiento entre las variables es inversamente proporcional, en el segundo caso se considera una relación perfecta positiva y tiene lugar cuando el comportamiento entre las variables es directamente proporcional. Una correlación nula entre las variables es representada mediante un valor del coeficiente igual a 0. La interpretación cualitativa de los coeficientes se encuentra representada en la tabla 5-2.

Tabla 5-2. Interpretación de los coeficientes de correlación

Rango de valores r_{xy}	Interpretación
$0,00 \leq [r_{xy}] < 0,10$	Correlación nula
$0,10 \leq [r_{xy}] < 0,30$	Correlación débil
$0,30 \leq [r_{xy}] < 0,50$	Correlación moderada
$0,50 \leq [r_{xy}] < 1,00$	Correlación fuerte

FUENTE: (Hernández, 2018)

Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2021

El establecimiento del estado trófico de la laguna Magdalena-Atillo se realizó mediante el Índice de Estado Trófico de Carlson modificado el cual utiliza los indicadores:

- Índice de estado trófico para Transparencia de Secchi: se determina a partir del promedio de los datos obtenidos en el parámetro de transparencia de Secchi durante el periodo de tiempo muestreado en cada uno de los puntos, utilizando la siguiente ecuación:

$$IETM_{DS} = 10 \left(6 - \frac{0.64 + \ln(DS)}{\ln(2)} \right)$$

- Índice de estado trófico para clorofila-a: se determina a partir del promedio de los datos obtenidos en el parámetro de clorofila-a durante el periodo de tiempo muestreado en cada uno de los puntos, utilizando la siguiente ecuación:

$$IETM_{Clorf a} = 10 \left(6 - \frac{2.04 - 0.695 \ln(Clorf a)}{\ln(2)} \right)$$

- Índice de estado trófico para fósforo total: se determina a partir del promedio de los datos obtenidos en el parámetro de fósforo total durante el periodo de tiempo muestreado en cada uno de los puntos, utilizando la siguiente ecuación:

$$IETM_{Pt} = 10 \left(6 - \frac{\ln\left(\frac{80.32}{Pt}\right)}{\ln(2)} \right)$$

El índice de estado trófico total se obtiene mediante el valor promedio de los índices de transparencia de Secchi, clorofila-a y fósforo total de cada punto durante el periodo de tiempo muestreado, aplicando de la siguiente formula:

$$IETM_{promedio} = \frac{IETM_{DS} + IETM_{Clorf\ a} + IETM_{Pt}}{3}$$

CAPITULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Variabilidad vertical espaciotemporal de la temperatura

3.1.1. Resultados de temperatura de las diferentes lagunas muestreadas

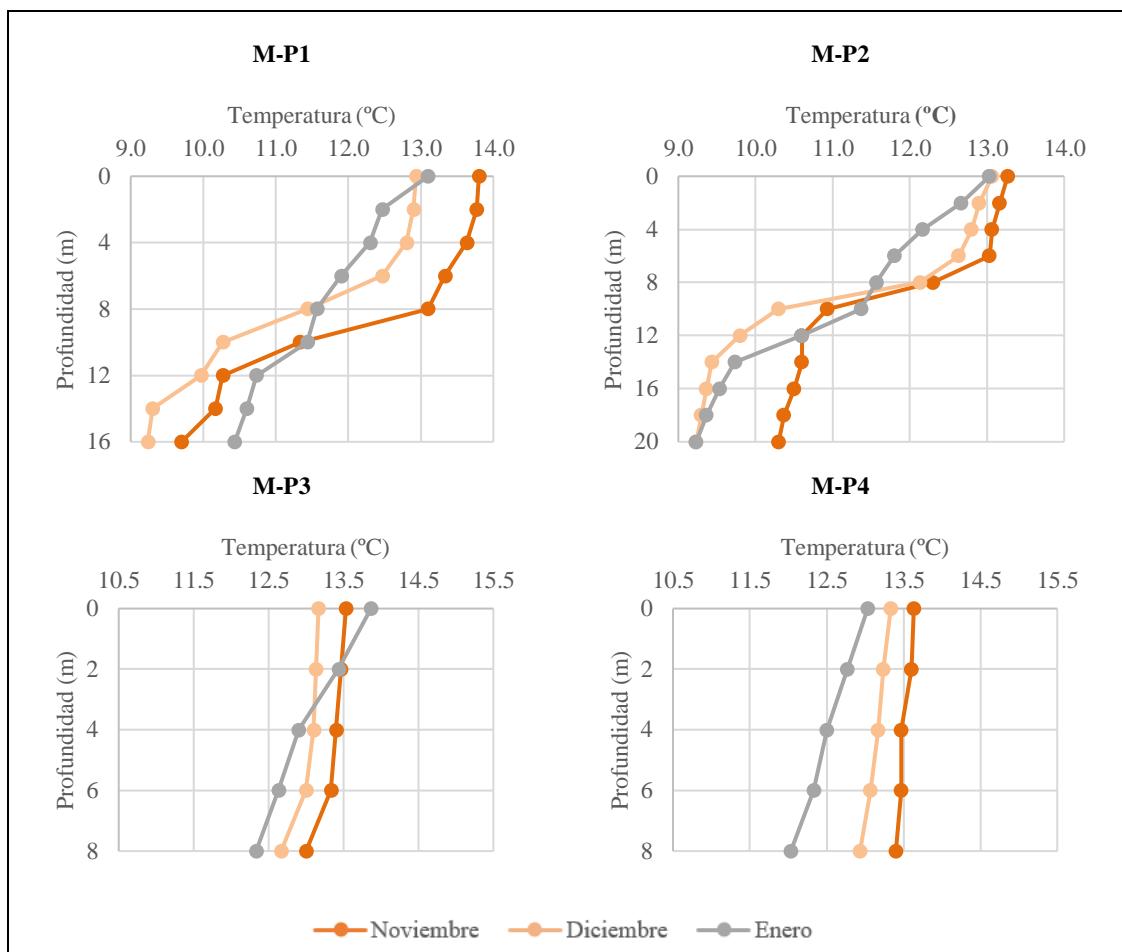


Gráfico 1-3. Variabilidad de temperatura en los diferentes puntos de muestreo de la laguna Magdalena

Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2021

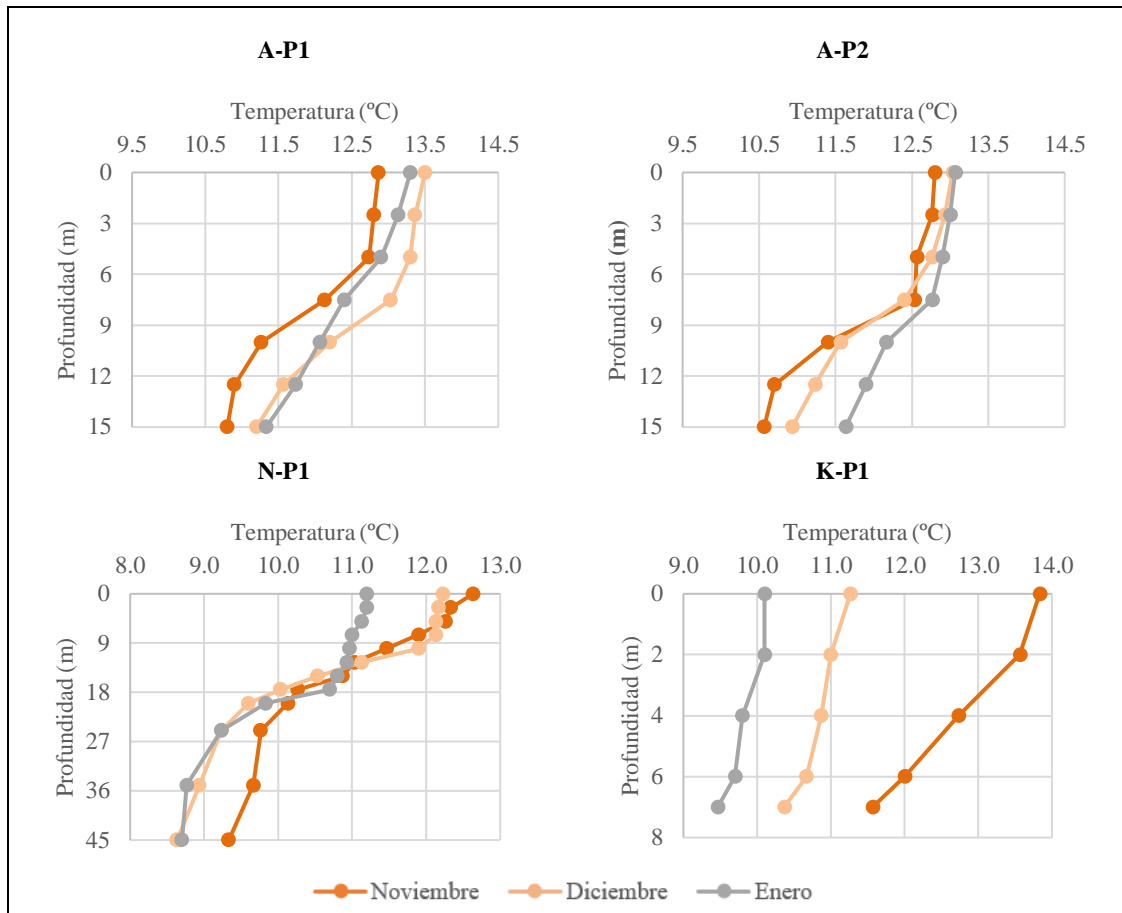


Gráfico 2-3. Variabilidad de temperatura en los diferentes puntos de muestreo de las lagunas Atillo, Negra y Kuyuk
 Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2021

Las gráficas presentan la variabilidad de temperatura en unidades de grados centígrados (°C) en cada uno de los ocho puntos de muestreo para el periodo estudiado, en el cual se observa un decrecimiento de la temperatura respecto a la profundidad. En las zonas más profundas (M-P1 y M-P2) a nivel superficial se tuvo temperaturas menores a 14 °C y en el fondo superiores a 8 °C. El mes de noviembre presentó valores más elevados respecto a diciembre y enero pudiendo ser a causa de una mayor temperatura y escasa precipitación.

En los puntos M-P3 y M-P4 al ser considerados las zonas menos profundas de la laguna Magdalena presentan un perfil homotermal, lo cual se comprueba mediante la ayuda del gráfico 1-3. En los puntos A-P1 y A-P2 se aprecia que el perfil de temperatura presenta una tendencia a un comportamiento homotermal, esto puede ser a causa de la influencia directa del viento el cual provoca que sus aguas se mantengan en constante movimiento. Dicho comportamiento se comprueba con su contraparte (punto M-P1) que a pesar de tener similar profundidad su columna de agua sí muestra una estratificación térmica lo cual podría estar relacionado a la estabilidad de sus masas de agua por la presencia de barreras de viento como: islotes y montañas muy cercanas del punto de muestreo que favorecen la redirección del viento.

El punto N-P1 al tener una mayor profundidad y estar ubicada a mayor altura respecto a los otros puntos de muestreo, se puede observar de mejor manera cómo las condiciones climatológicas influyen en los primeros 18 metros de la columna de agua por lo que la variabilidad de temperatura se concentra solo en dicha sección. En el caso de la zona más profunda al no verse influenciada de forma significativa por las condiciones climatológicas se tiene un comportamiento de temperatura similar en casi todos los meses muestreados.

El punto K-P1 al tratarse de una zona poco profunda similar al punto M-P3 y M-P4 se observó un comportamiento homotermal en toda la columna de agua durante los meses de muestreo, debido a su poca profundidad, la masa de agua se encuentra bastante influenciada por las condiciones climatológicas del lugar.

Los resultados obtenidos en todos los puntos de muestreo se pueden corroborar con la bibliografía de (Roldán y Ramírez, 2008) quienes mencionan que la diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo de los lagos tropicales es más reducida, teniendo como ejemplo la investigación en el lago Titicaca en Bolivia, situado a 3.800 msnm, el cual presenta temperaturas superficiales que varían entre 10,1 y 12,5 °C, y en el fondo, entre 9,4 y 11,4 °C. Las temperaturas obtenidas en esta investigación (tabla 1-3) son similares a las del lago Titicaca ya que al tratarse de dos cuerpos de agua de alta montaña el comportamiento térmico tiende a ser similar tanto en la superficie como en el fondo, comprobándose así la semejanza de los datos con la bibliografía mencionada.

3.1.2. Gradiente de temperatura de las diferentes lagunas muestreadas

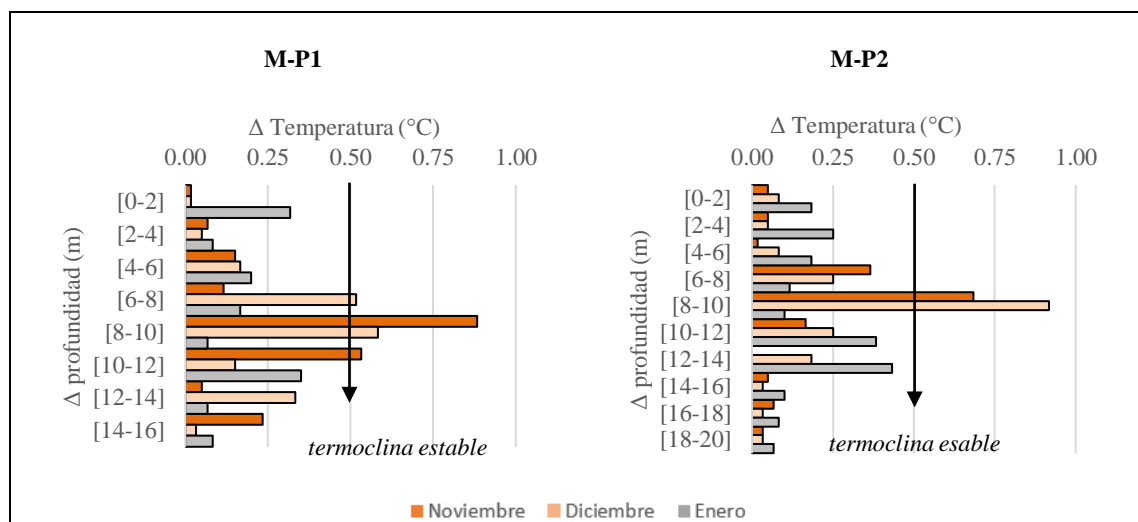


Gráfico 3-3. Gradiente de temperatura en los puntos de muestreo M-P1 y M-P2

Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2021

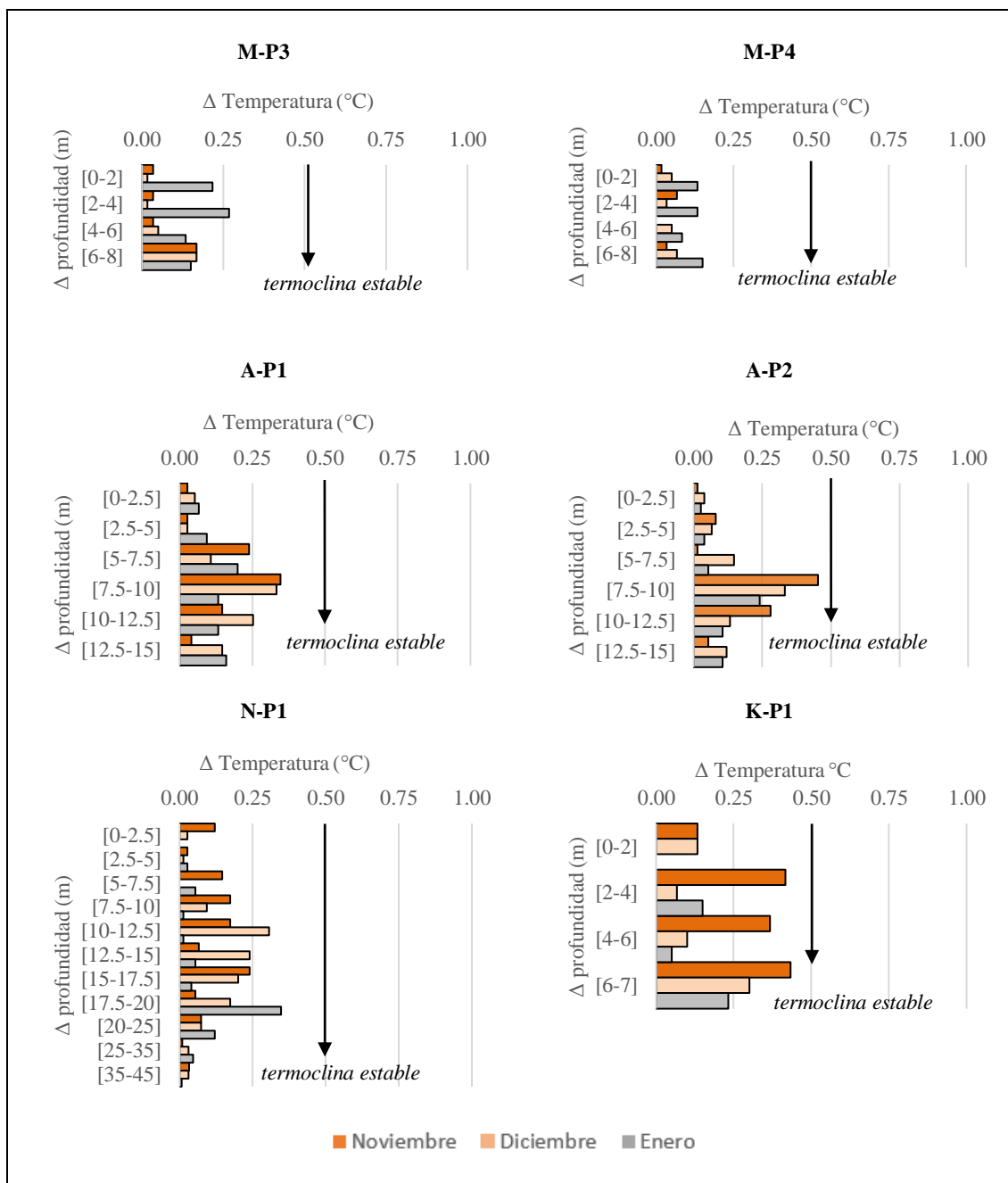


Gráfico 4-3. Gradiente de temperatura en los puntos de muestreo M-P3, M-P2, A-P1, A-P2, N-P1 y K-P1

Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2021

(Roldán y Ramírez, 2008) mencionan que para la zona tropical y ecuatorial la termoclina es definida como aquella zona donde el gradiente térmico oscila entre 0,2 a 0,5 °C/m. En este estudio se tomó en cuenta las zonas donde el gradiente superaba los 0,5 °C/m dado que a partir de este valor se considera una termoclina estable. En estudios realizados en el lago San Pablo indican que el mayor gradiente de variación dentro del estrato de 5 a 10 m, tuvo valores de hasta 0,25 °C/m, determinándose que no existe la formación de una termoclina estable, dando como resultado la ausencia de una estratificación estable (Rodríguez y Miño, 2018).

Tomando en cuenta lo anterior, en los puntos profundos de la laguna Magdalena se determinó la presencia de una estratificación térmica con zonas diferenciables. Para el punto M-P1 el metalimnion tuvo presencia en la profundidad de 8 a 12 metros y de 6 a 10 metros en noviembre y diciembre respectivamente, lo que alude que dentro de este estrato se encuentra una termoclina que podría ser considerada estable, ya que el gradiente del mes de noviembre y del mes de diciembre superan el valor considerado como estable ($0,5\text{ }^{\circ}\text{C/m}$). En el punto M-P2, la termoclina se presentó en el estrato de 8 a 10 metros durante el mes de noviembre y diciembre.

Con base en los resultados de M-P1 y M-P2 se puede asumir la existencia de una estratificación térmica en ambos puntos con zonas claramente diferenciables. El metalimnion (termoclina) en el punto M-P1 se presenta en una profundidad de 8 a 12 metros y de 6 a 10 metros en el mes de noviembre y diciembre respectivamente; y en el punto M-P2 a una profundidad de 8 a 10 metros durante el mes de noviembre y diciembre. En ambos puntos se considera la presencia de una termoclina estable ya que supera un gradiente de $0,5\text{ }^{\circ}\text{C/m}$ (gráfico 2-3). La capa del epilimnion se encuentra por encima y la zona del hipolimnion por debajo de los valores antes descritos. Por otra parte los puntos A-P1 y A-P2 presentaron valores más aproximados al $0,5^{\circ}\text{C/m}$, estando así más propensos a formar una termoclina estable. En cuanto a los puntos M-P3, M-P4, N-P1 y K-P1 no sobrepasaron el valor de $0,5^{\circ}\text{C/m}$ por lo cual se considera la ausencia de una termoclina estable.

La presencia de una termoclina estable depende de factores como: periodos de calentamiento y escasas precipitaciones (Roldán y Ramírez, 2008), en los muestreos de noviembre y diciembre se obtuvieron datos de una termoclina estable debido a la presencia de los dos factores antes mencionados, a diferencia del mes de enero (inicio de lluvias) donde se evidenció la ausencia de termoclinas estables en todos los puntos muestreados.

3.2. Relación entre la estructura térmica y los parámetros fisicoquímicos y químicos

3.2.1. *Parámetros in situ*

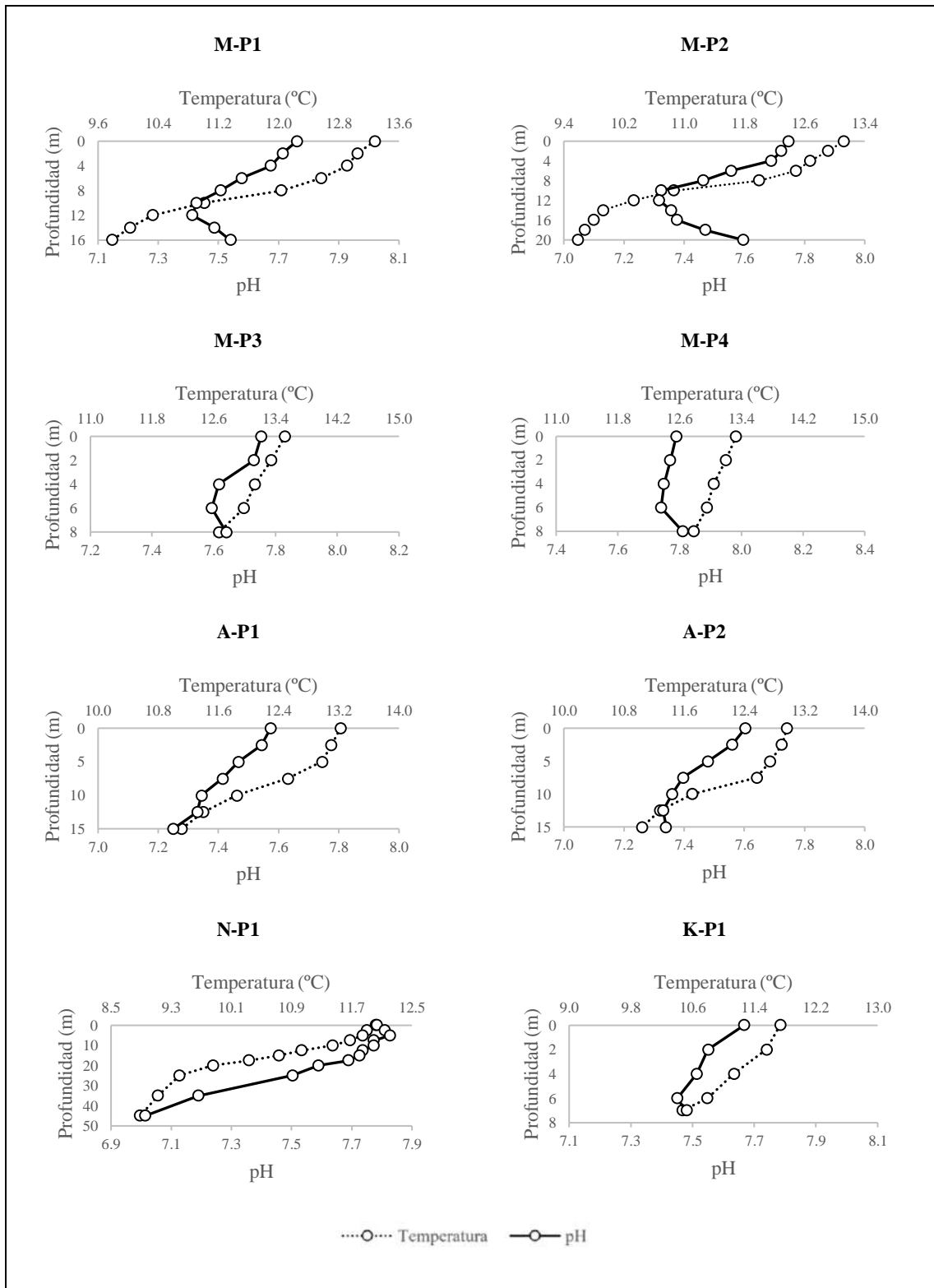


Gráfico 5-3. Perfiles de pH y Temperatura en los diferentes puntos de muestreo

Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2021

Los valores de pH de la mayoría de lagos están entre 6 y 9. En lagos de altas montañas tropicales estos valores cambian de forma poco significativa en función de la profundidad. Los lagos naturales de altas montañas presentan valores de pH entre 6,5 y 7,5 (Roldán y Ramírez, 2008)

Los resultados de pH obtenidos en este estudio se mantuvieron dentro de un rango de 6,5 a 8 muy similares a valores de estudios realizados en Colombia en lagos naturales de alta montaña teniendo como ejemplo: la Tota cuyo valor de pH reside entre 6,5 a 8,5; la Cocha con un valor de 6,5 a 7,5 y Fúquene con un pH 7 a 8,5 (Roldán y Ramírez, 2008)

En M-P3, M-P4, A-P1, A-P2, N-P1 y K-P1 se observan valores más altos de pH en la superficie respecto al fondo pudiendo ser a causa de la remoción CO_2 en las actividades fotosintéticas. Por su parte en la zona profunda al predominar la respiración existe el aumento en la concentración de CO_2 el cual forma ácido carbónico que se disocia rápidamente en bicarbonatos y en hidrógeno, siendo este último el causante de la disminución del pH (FONDRIEST, 2019; Roldán y Ramírez, 2008).

Los puntos M-P1 y M-P2 siguieron un comportamiento similar a los otros puntos pero, únicamente hasta los 10 y 8 metros respectivamente. A partir de esa profundidad el pH siguió un comportamiento distinto lo cual puede ser por el desprendimiento del carbonato de calcio presente en los sedimentos, el cual se disocia liberando carbonatos que a su vez interactúan con el agua dando como resultado bicarbonatos e iones hidroxilos, siendo este último el responsable del incremento del pH de estas columnas de agua (Sáñez y Trujillo, 2014).

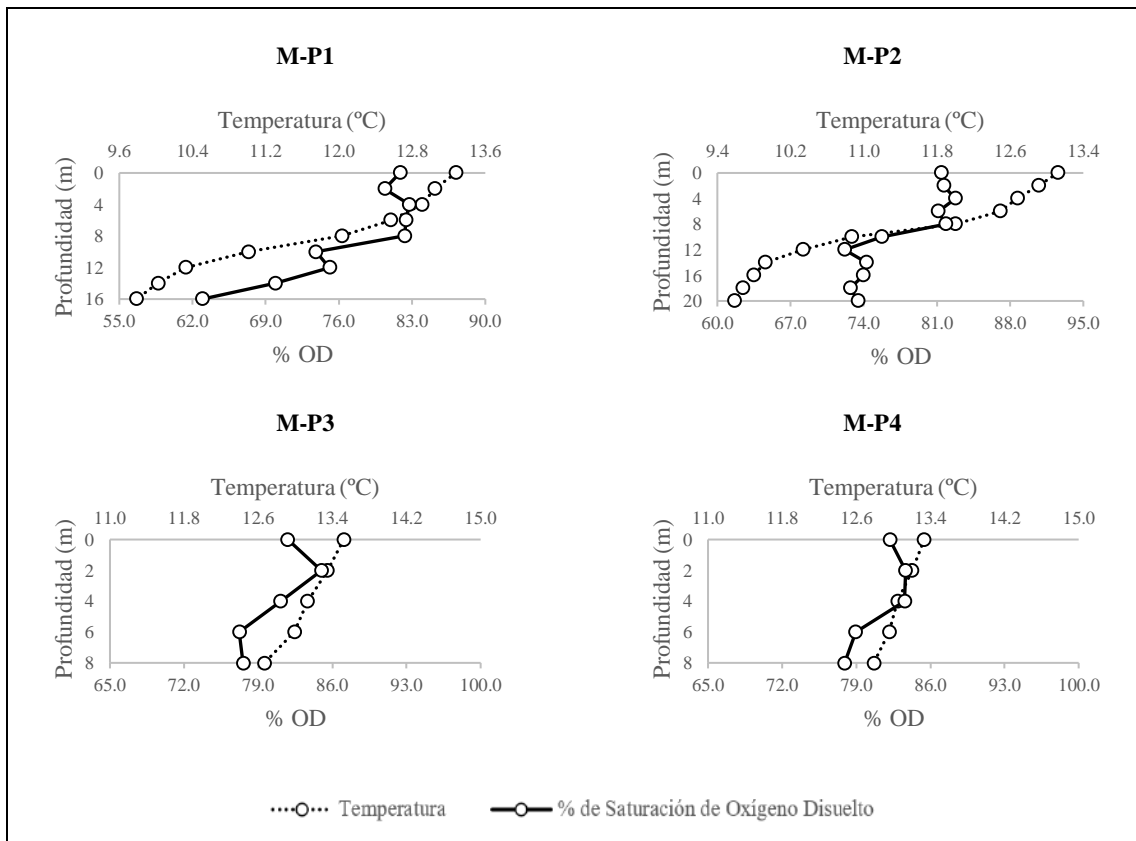


Gráfico 6-3. Perfiles de Oxígeno Disuelto y Temperatura en los puntos de muestreo de la laguna Magdalena

Realizado por: Patarón Nancy y Rivera Bexy, 2021

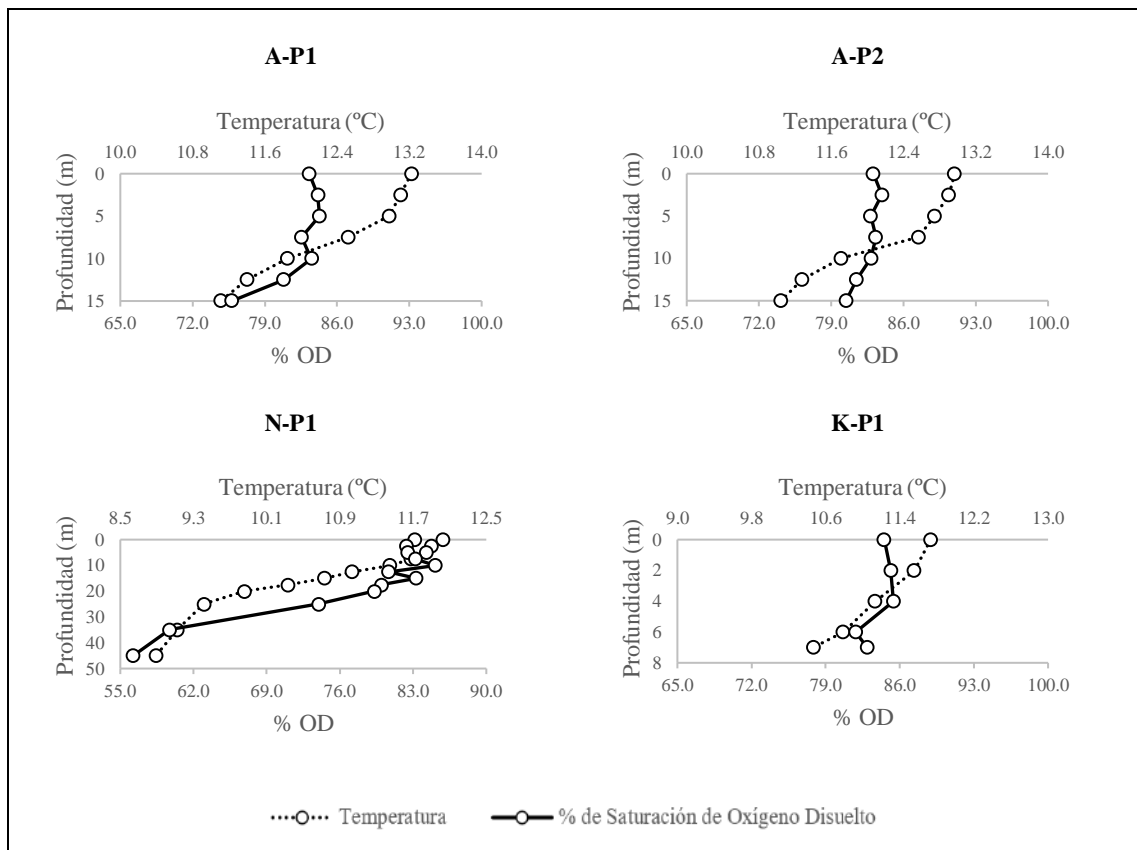


Gráfico 7-3. Perfiles de Oxígeno Disuelto y Temperatura en los puntos de muestreo de las lagunas Atillo, Negra y Kuyuk

Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2021

El aporte de oxígeno a los cuerpos de agua depende de factores principales como: altitud, procesos fotosintéticos, precipitación, afluentes y agitación moderada. Este oxígeno es utilizado para la respiración de los organismos presentes en el agua y para la oxidación de materia orgánica.

En el presente estudio se obtuvo un valor promedio de 93,3% de saturación de oxígeno disuelto superficial, este resultado puede constatare con lo establecido por (Vila y Mühlhauser, 1987: pp.95-103) quienes mencionan que los cuerpos de agua de alta montaña al encontrarse a menor presión atmosférica suelen presentar un porcentaje de saturación de oxígeno no mayor al 95%.

En todos los puntos se observa que la superficie presenta los valores más altos de oxígeno disuelto respecto al fondo, esto por posibles razones como: procesos fotosintéticos y por la agitación moderada, por su parte, la disminución del oxígeno disuelto en la zona profunda puede ser a causa de su consumo por parte de los organismos para llevar a cabo sus procesos de respiración y por la baja capacidad de accionamiento del viento en esta zona (FONDRIEST, 2019; Roldán y Ramírez, 2008)

La transparencia de los cuerpos tomados en cuenta en esta investigación, permiten de manera favorable el paso de luz solar y por ende el desarrollo de los procesos fotosintéticos a mayores profundidades dando como resultado que el oxígeno disuelto se distribuya de manera proporcional entre los estratos.

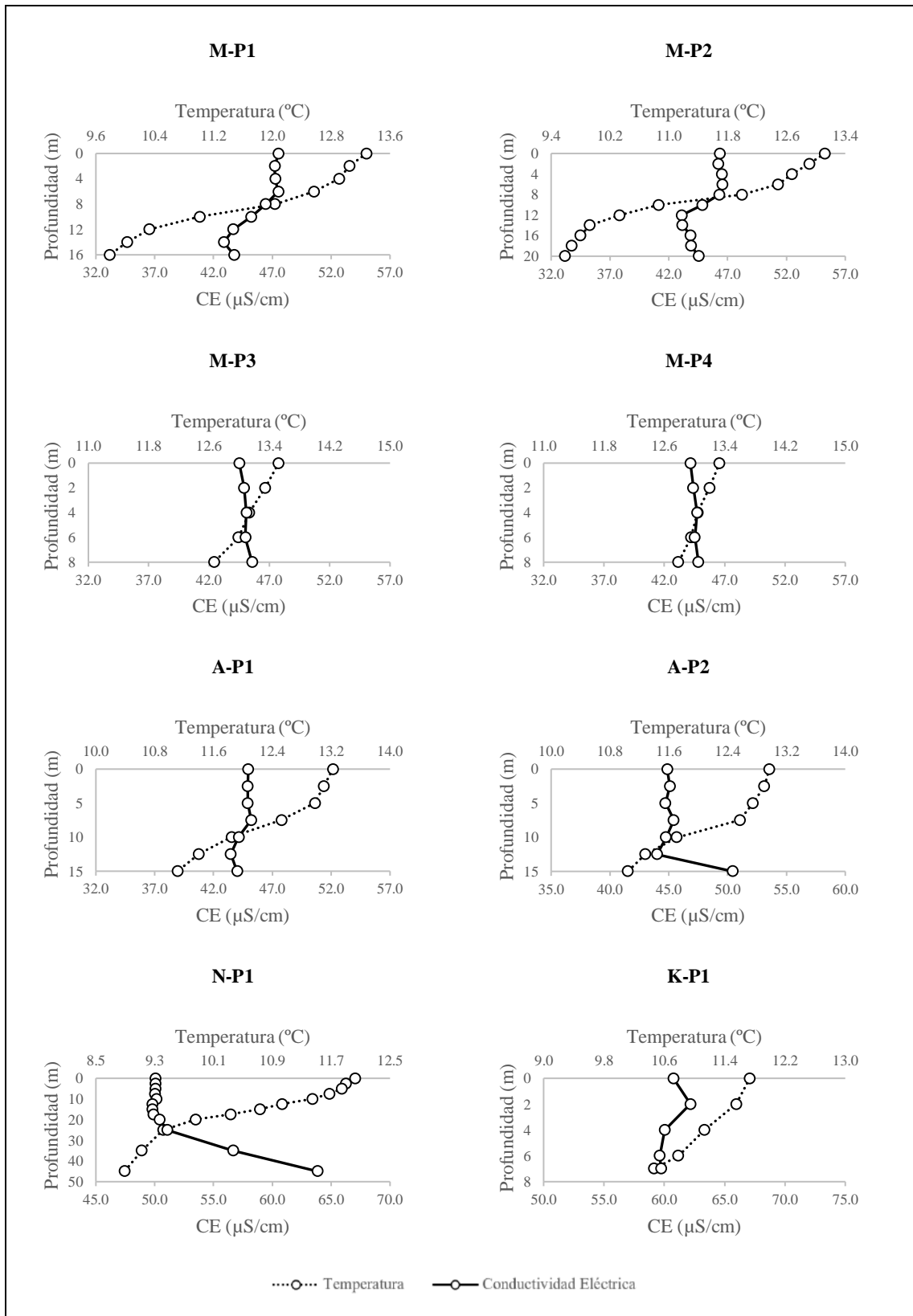


Gráfico 8-3. Perfiles de Conductividad Eléctrica y Temperatura en los diferentes puntos de muestreo

Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2021

La conductividad eléctrica es una medida de los sólidos disueltos en el agua, es uno de los parámetros más importantes ya que a partir de esta se puede conocer la estructura, funcionamiento y estado actual de un cuerpo de agua. Los lagos oligotróficos de altas montañas tropicales presentan valores con rangos entre 30 y 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Roldán y Ramírez, 2008).

En la presente investigación se observaron valores mínimos: 42,867; 43,467; 50,100 y 59,633 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y valores máximos: 47,533; 50,433; 63,833 y 62,167 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de la laguna Magdalena, Atillo, Negra y Kuyuk respectivamente. Con base en los datos obtenidos se puede interpretar que la laguna Magdalena y Atillo se encuentran dentro del rango de oligotrofia y la laguna Negra y Kuyuk superan este límite de forma leve.

En la laguna Negra la conductividad eléctrica hasta los 25 metros de profundidad presentó una carga iónica relativamente semejante y poco variable, a partir de esa profundidad los valores de conductividad se incrementaron pudiendo ser a causa de una posible remoción de sedimentos. Por su parte el aumento de la conductividad en la laguna Kuyuk podría estar relacionado a una mayor intervención antrópica, dicha acción estaría alterando levemente el estado natural de la laguna, pues, al ser un lugar de libre y fácil acceso al público es la más visitada respecto a las otras lagunas presentes en este sistema lacustre.

Un estudio realizado en el lago la Tota (Colombia) mostró valores de conductividad eléctrica de 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$, al tratarse de un lago con similar altitud (3015 m.s.n.m.) puede tomarse como punto de comparación con los datos obtenidos en esta investigación.

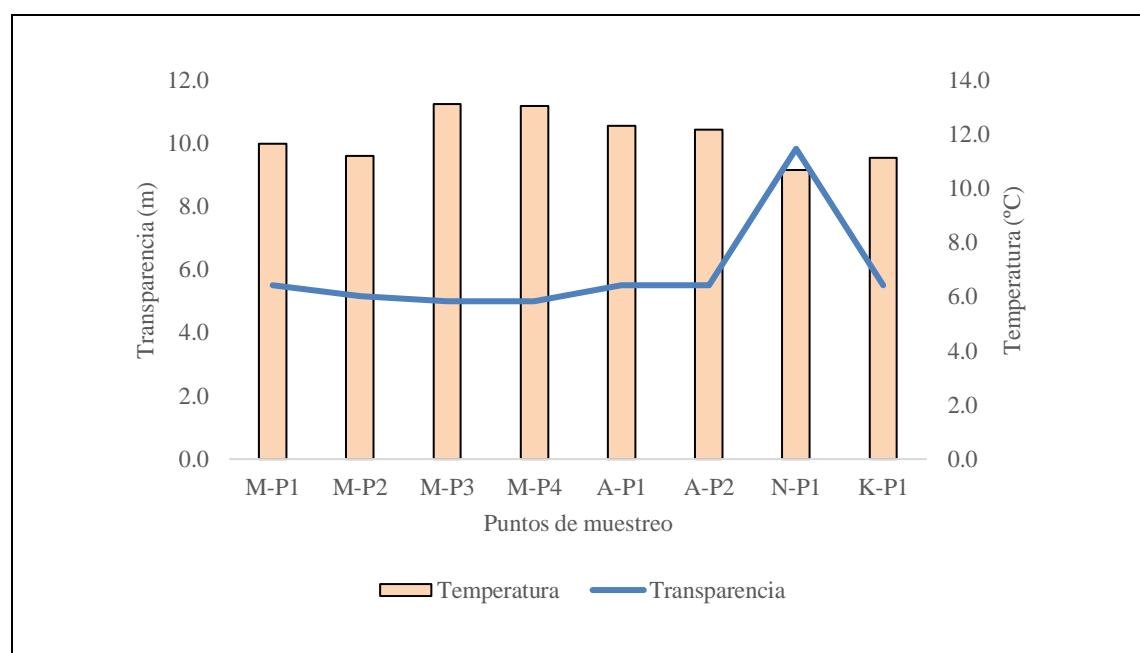


Gráfico 9-3. Resultado de Transparencia y Temperatura en los diferentes puntos de muestreo
Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2021

Los cuerpos de agua considerados oligotróficos generalmente presentan transparencias altas, estudios realizados en Colombia en los lagos la Tota y la Cocha presentan transparencias de 11 y 13 m respectivamente. En este estudio se encontraron valores de transparencia promedio máximos de: 9,83 m en el punto N-P1; 5,5 m en los puntos A-P1, A-P2, K-P1 y M-P1; 5,17 m en el punto M-P2 y 5 m en los puntos M-P3 y M-P4.

Respecto al límite de la zona fótica se determinó empleando la fórmula de la sección 1.2.7.5., obteniéndose valores de 24,58 m en el punto N-P1; 13,75 m en los puntos A-P1, A-P2, K-P1 y M-P1; 12,92 m en el punto M-P2 y 12,5 m en los puntos M-P3 y M-P4. Cabe mencionar que dichos valores fueron utilizados como punto de partida para la determinación del número de muestras sometidas a análisis de clorofila.

3.2.2. *Parámetros ex situ*

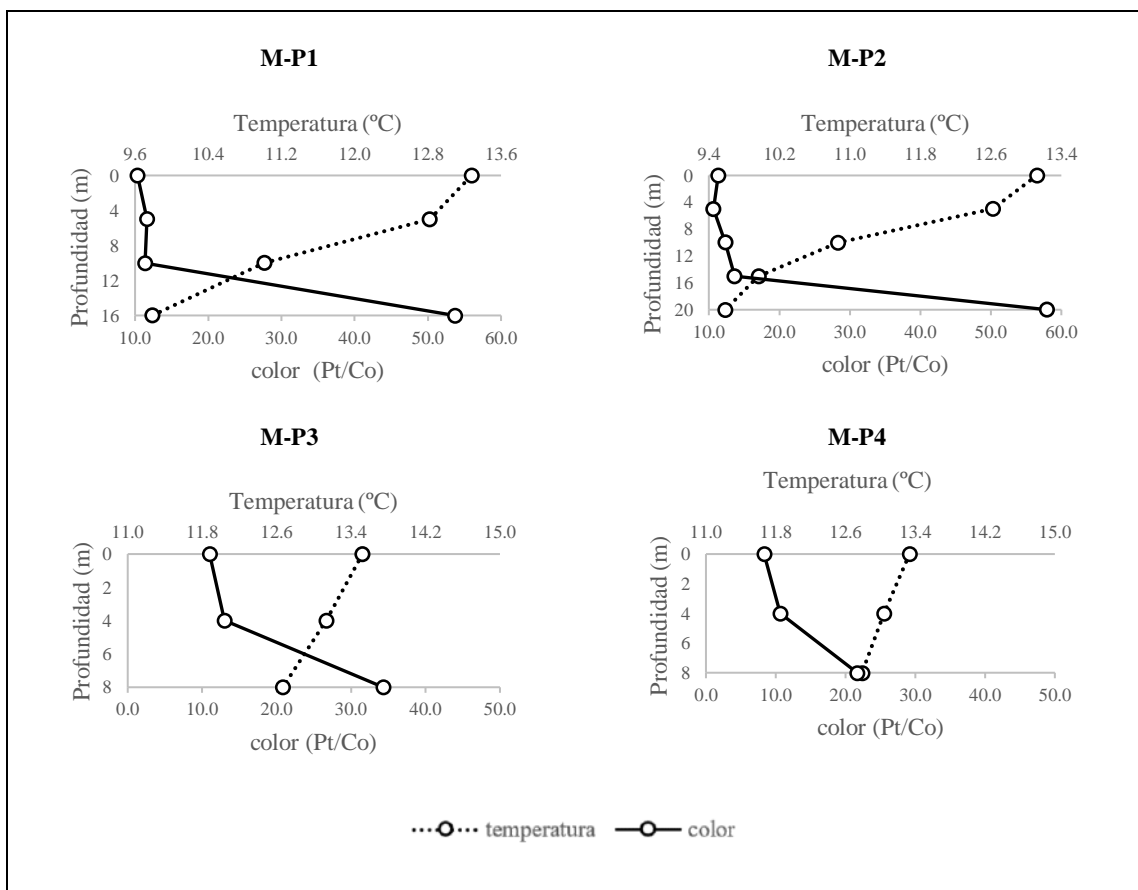


Gráfico 10-3. Perfiles de Color y Temperatura en los diferentes puntos de muestreo de la laguna Magdalena

Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2021

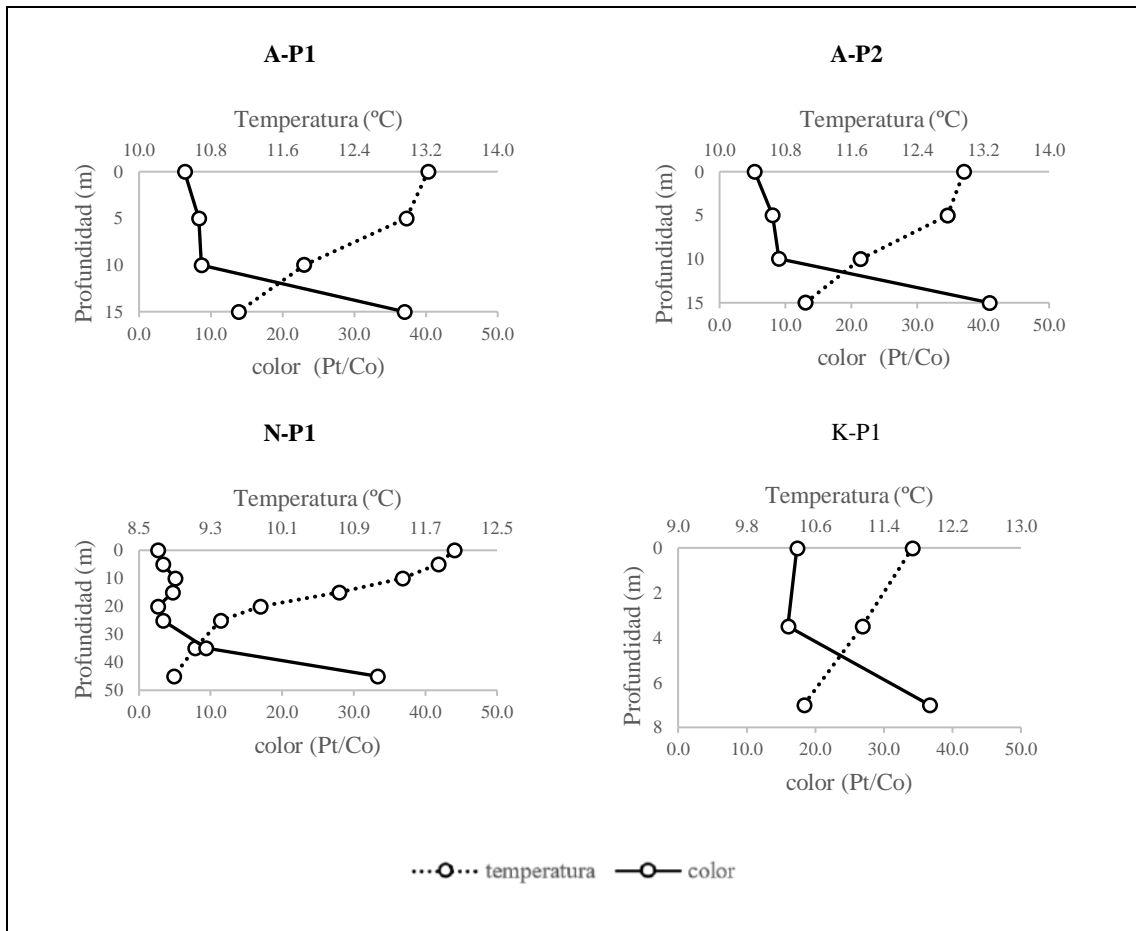


Gráfico 11-3. Perfiles de Color y Temperatura en los diferentes puntos de muestreo de las lagunas Atillo, Negra y Kuyuk

Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2021

El color es uno de los parámetros físicos que permite detectar a simple vista el estado actual de un ecosistema acuático. La gama de colores en un cuerpo de agua es muy variable, va desde el azul hasta el rojo, esto depende de las sustancias químicas disueltas, de las suspendidas, o del tipo de plancton; Por lo regular, lagos menos productivos u oligotróficos, tienen colores azulados o verdosos (Roldán y Ramírez, 2008).

En los muestreos de estas lagunas se apreciaron coloraciones verdeazuladas de sus aguas siendo un indicativo de tendencia hacia un estado oligotrófico (Roldán y Ramírez, 2008). Así mismo, a través del análisis en el laboratorio se puede corroborar que estas aguas muestran inclinación a la oligotrofia dado que los resultados obtenidos son bajos. Se observaron valores mínimos: 8,333; 5,333; 2,667 y 16,000 unidades de Pt-Co y valores máximos: 58,000; 41,000; 33,333 y 36,667 unidades de Pt-Co de la laguna Magdalena, Atillo, Negra y Kuyuk respectivamente.

Los resultados de este parámetro pueden ser comparados con los obtenidos en un estudio realizado en la laguna Mapaguña-Chimborazo (color mínimo de 40 y máximo de 79 unidades de Pt-Co)

(Murgueitio et al., 2014: pp.3-5), pues, al tratarse de dos cuerpos de agua de alta montaña ubicados en la misma zona geográfica los valores tienden a ser similares.

En todos los puntos muestreados se pudo visualizar un color relativamente similar y poco variable hasta antes de su última profundidad, a partir de ahí los valores de color se incrementaron pudiendo ser a causa de una mayor presencia de sólidos suspendidos y disueltos producto de la descomposición de la materia orgánica.

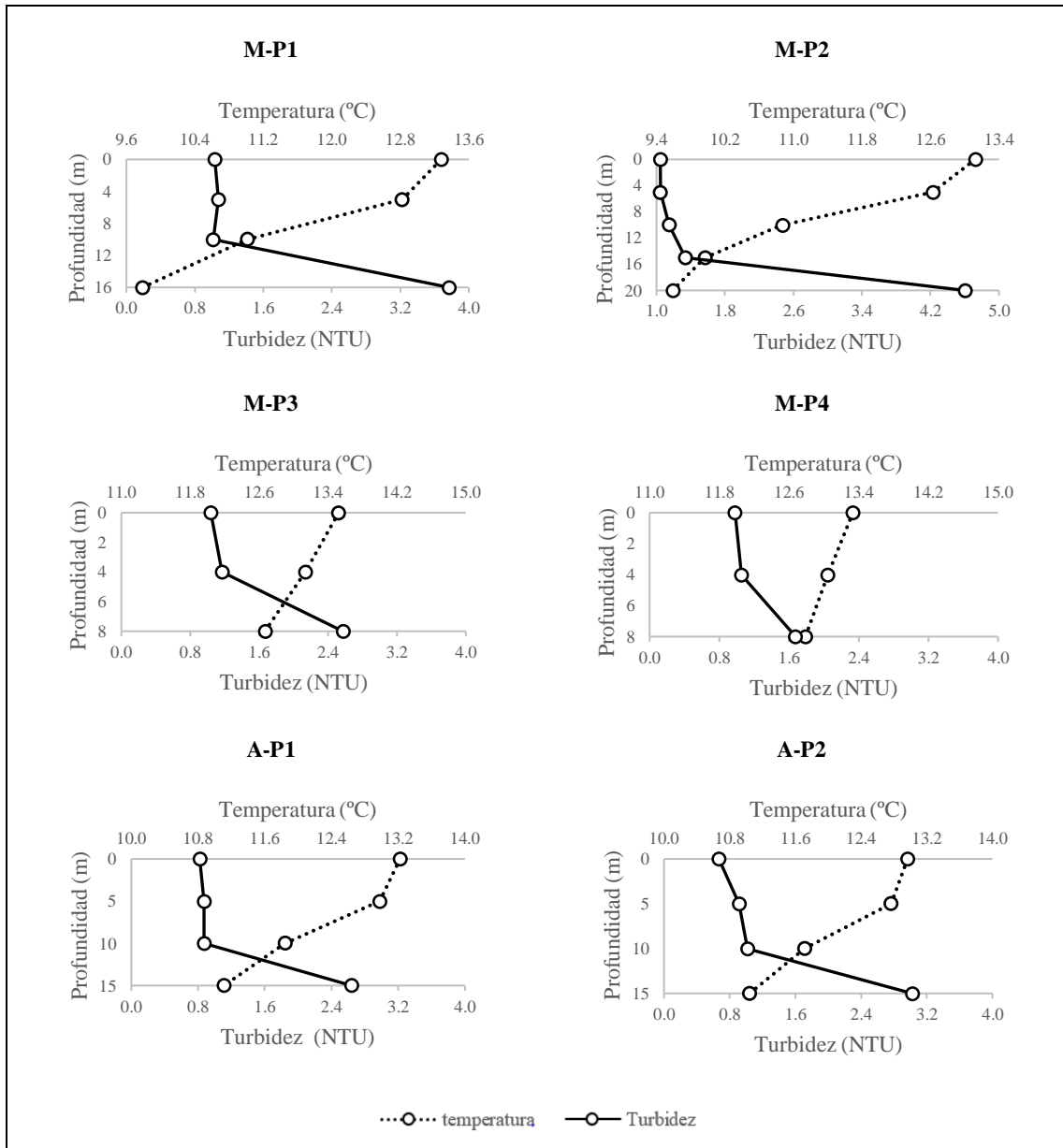


Gráfico 12-3. Perfiles de Turbidez y Temperatura en los puntos de las lagunas Magdalena y Atillo
Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2021

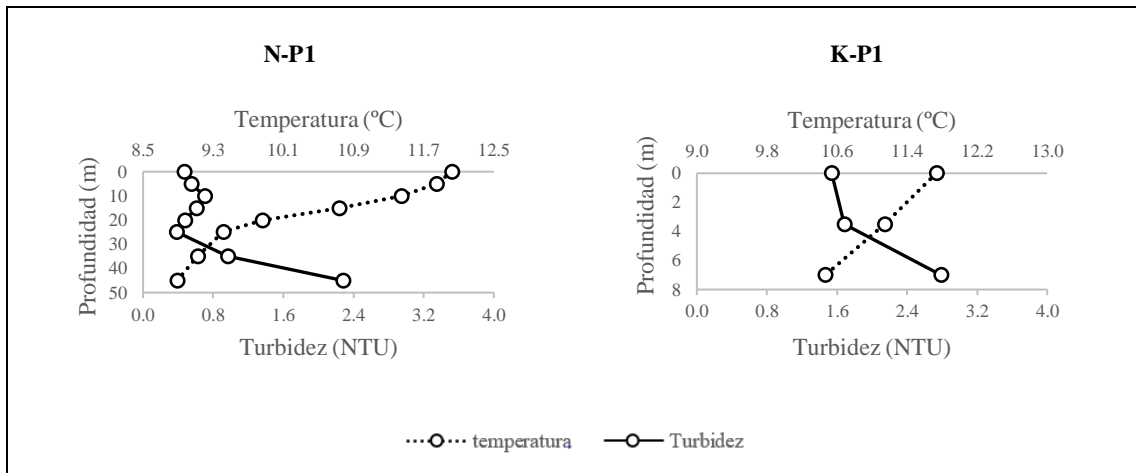


Gráfico 13-3. Perfiles de Turbidez y Temperatura en las lagunas Negra y Kuyuk
Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2021

Los cuerpos de agua que se encuentran en bajas alturas tienen una mayor turbidez debido al arrastre de materiales desde las zonas más altas (Roldán y Ramírez, 2008), en esta investigación dicho transporte de material es mínimo ya que se encuentra en una zona de alta montaña.

En todos los puntos muestreados se pudo visualizar una turbidez relativamente similar y poco variable hasta antes de su última profundidad, a partir de ahí los valores de turbidez se incrementaron pudiendo ser a causa de una mayor presencia de sólidos suspendidos producto de la descomposición de la materia orgánica. Teniendo así valores mínimos: 0,982; 0,669; 0,379 y 1,539 NTU y valores máximos: 4,605; 3,023; 2,281 y 2,788 NTU de la laguna Magdalena, Atillo, Negra y Kuyuk respectivamente.

Los resultados de este parámetro pueden ser comparados con los obtenidos en un estudio realizado en el lago Titicaca el cual presentó una turbidez mínima de 0,20 y máxima de 110 NTU, esta última debido a que una zona del lago Titicaca se encuentra conectada con una fuente de tipo industrial lo cual hace que la cantidad de material suspendido aumente (Autoridad Binacional de Lago Titicaca, 2014), en el sistema lacustre de Atillo no se presentan valores de esa magnitud ya que los cuerpos de agua en estudio no cuentan con ese tipo de afluente. A pesar de presentar un valor máximo atípico, el lago Titicaca puede tomarse como referencia ya que ambos cuerpos de agua son considerados de alta montaña y se encuentran dentro de Sudamérica.

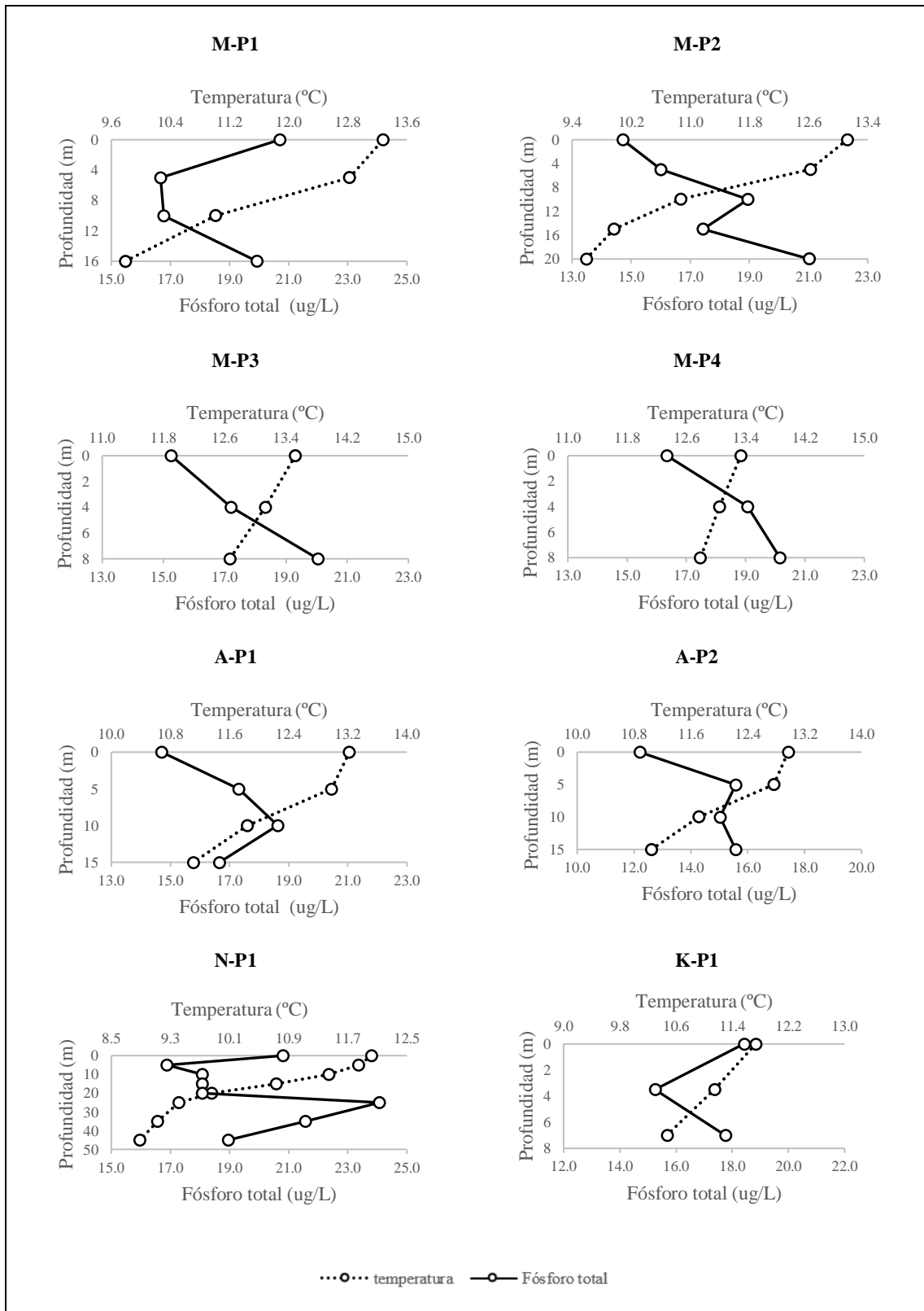


Gráfico 14-3. Perfiles de Fósforo total y Temperatura en los diferentes puntos de muestreo
 Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2021

El fósforo es el elemento biogénico más importante en la cadena trófica y a la vez el menos abundante por lo que se le considera como un factor limitante. (Vila y Mühlhauser, 1987: pp.95-103) mencionan que cuando la concentración de O₂ se mantiene en toda la columna de agua (superficie-fondo) provoca que parte del fósforo disuelto migre hacia los sedimentos. Este comportamiento se observa en los puntos M-P2, M-P3, M-P4, A-P1 y A-P2 donde se obtuvieron valores de fondo superiores a los valores superficiales.

En tanto que, en los puntos M-P1, N-P1 y K-P1 se observa que los valores de fondo son más bajos respecto a la superficie, no obstante, su diferencia no es muy significativa, este comportamiento podría atribuirse a los sedimentos de estas zonas, pues, pueden presentar poca capacidad de retención del fósforo como complejo hierrofosfato, lo cual podría traducirse en una posible tendencia hacia la eutrofización (Gunkel, 2003).

En todos los puntos muestreados se visualizó una concentración de fósforo total relativamente diferenciada entre cada profundidad analizada, lo cual podría estar relacionado a la dinámica fotosintética en estos cuerpos de agua.

En este estudio se observaron valores: 18,017; 15,714; 19,567 y 17,139 µg/L de la laguna Magdalena, Atillo, Negra y Kuyuk respectivamente. Estos valores pueden ser comparados con los obtenidos en un estudio realizado en el lago la Tota el cual presentó una concentración de fósforo total de 39,21 µg/L, dado que ambos cuerpos de agua son considerados de alta montaña y se encuentran dentro de Sudamérica pueden tomarse como un valor de referencia.

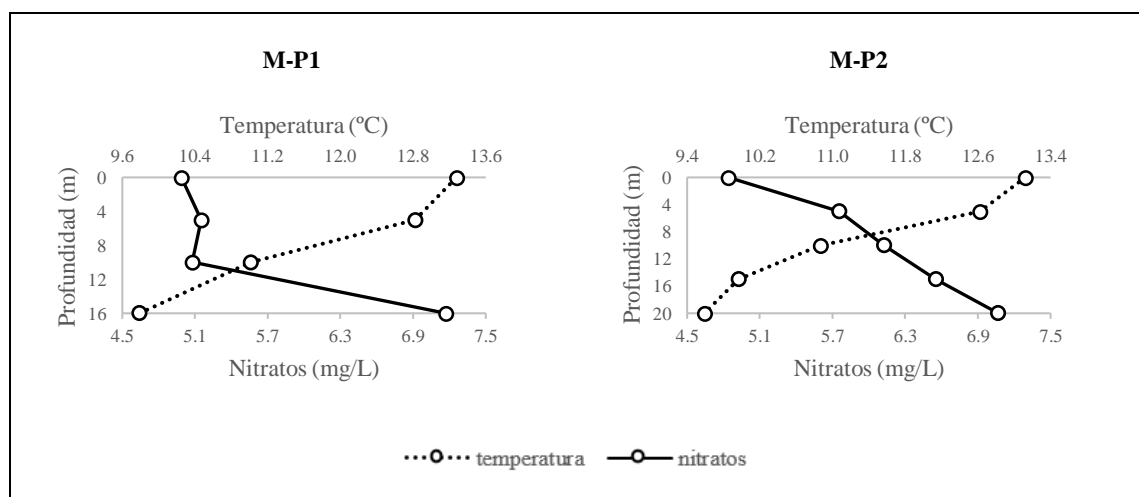


Gráfico 15-3. Perfiles de Nitratos y Temperatura en los puntos de muestreo M-P1 y M-P2
Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2021

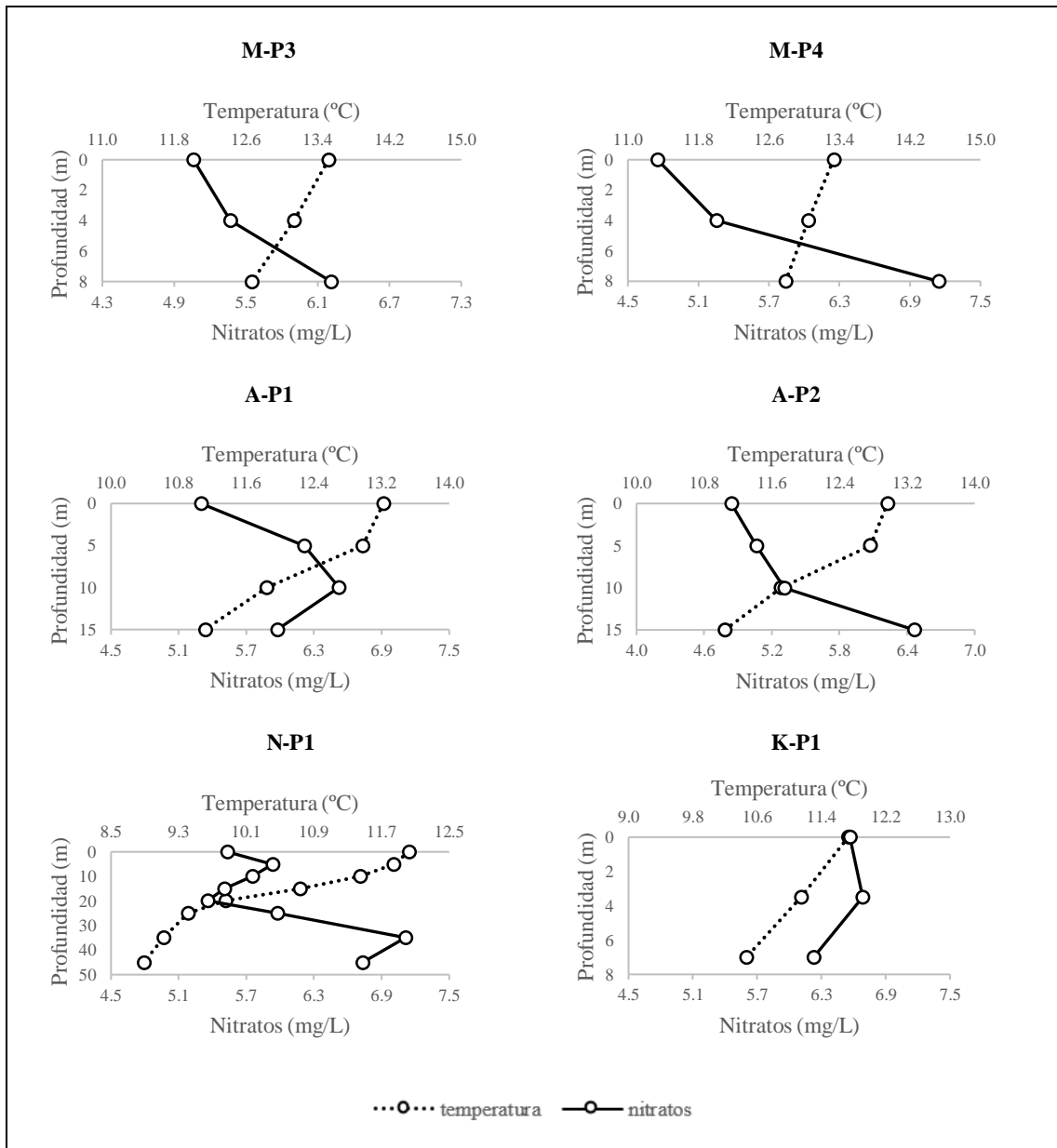


Gráfico 16-3. Perfiles de Nitratos y Temperatura en los puntos de muestreo M-P3, M-P4, A-P1, A-P2, N-P1 y K-P1

Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2021

En la zona profunda debido al proceso de degradación del materia orgánica se encuentra una mayor proporción de nitratos (Wang y Wang, 2009: pp.1445-1451). Esto se aprecia notablemente en los puntos M-P1, M-P2, M-P3, M-P4, A-P1, A-P2 y N-P1 donde se obtuvieron valores inferiores en la superficie respecto al fondo. En tanto que en K-P1 se tuvo un valor de fondo inferior al de la superficie con una concentración relativamente similar, lo cual puede atribuirse a un posible incremento de la tasa de difusión de nitratos del sedimento-agua o por perturbaciones físicas y biológicas provocando una migración de los nitratos hacia el estrato superior (Valdés y Real, 1994).

La variabilidad de la concentración de nitratos entre cada profundidad estudiada, podría estar relacionado a una distribución microbiológica en toda la columna de agua que provoca un aumento del contenido de nitratos a partir de los procesos de degradación.

En este estudio se observaron valores: 5,768; 5,711; 5,983 y 6,493 mg/L en la laguna Magdalena, Atillo, Negra y Kuyuk respectivamente. Estos valores pueden ser comparados con los obtenidos en un estudio realizado en la laguna San Nicolás (Perú) el cual presentó una concentración de nitratos de 6,2 mg/L, dado que ambos cuerpos de agua se encuentran en una zona similar dentro de Sudamérica pueden tomarse como un valor de referencia.

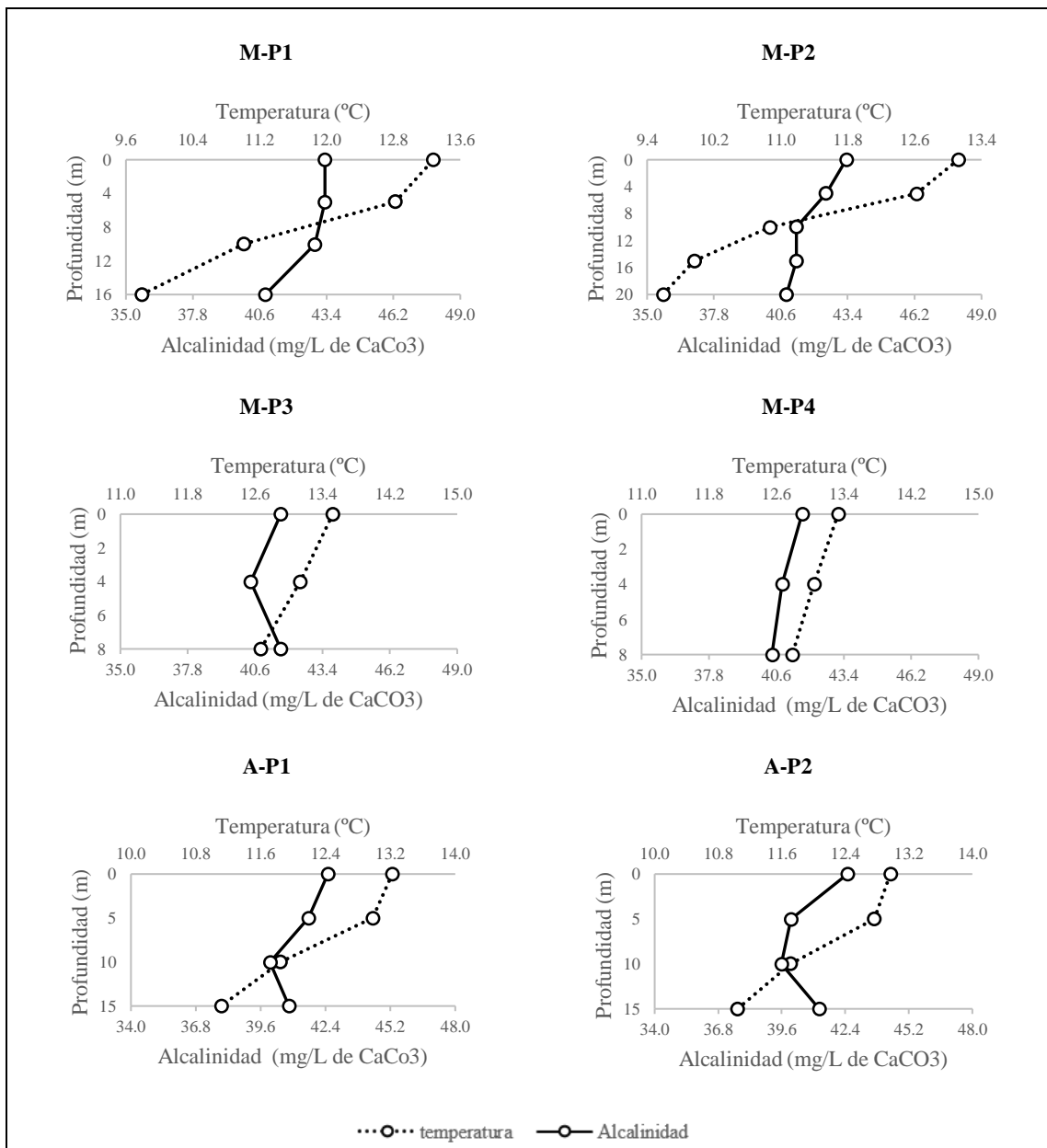


Gráfico 17-3. Perfiles de Alcalinidad y Temperatura en los diferentes puntos de muestreo de las lagunas Magdalena y Atillo
 Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2021

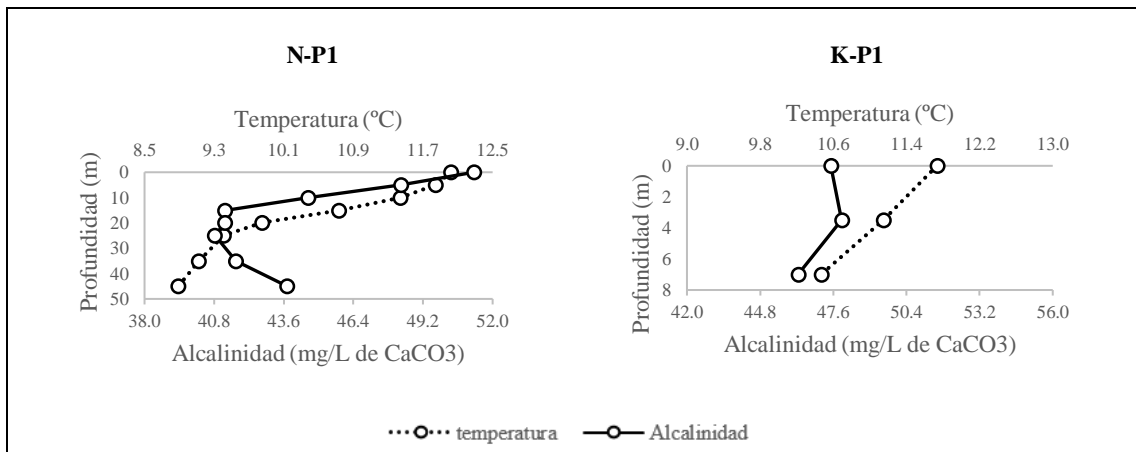


Gráfico 18-3. Perfiles de Alcalinidad y Temperatura en las lagunas Negra y Kuyuk
Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2021

La valoración química de la alcalinidad se realizó mediante el uso de fenolftaleína (viraje a pH 8,3) al colocar este indicador sobre la muestras se observó que no hubo cambio alguno, indicando que el pH es inferior a su punto de viraje y por lo tanto el carbono inorgánico disuelto únicamente está en las formas de HCO_3^- y CO_2 libre (Roldán y Ramírez, 2008).

Los resultados obtenidos en este estudio muestran una alcalinidad máxima de 43,333; 42,500; 51,250 y 48,750 mg/L de $CaCO_3$ en las lagunas Magdalena, Atillo, Negra y Kuyuk respectivamente. Según la clasificación de Kevern 1989 citada en (Perdomo, 2015) estas lagunas estarían dentro del rango de una alcalinidad baja, que corresponde a un valor inferior a 75 mg/L de $CaCO_3$. A la vez, estos valores pueden ser comparados con los obtenidos en un estudio realizado en el lago la Tota cuyo valor fue de 30-80 mg/L $CaCO_3$ (Roldán y Ramírez, 2008) dado que ambos cuerpos de agua se encuentran en una altura similar pueden tomarse como un valor de referencia.

En todos los puntos de la laguna Magdalena, Atillo, Negra y Kuyuk se apreciaron valores superiores o similares en la superficie respecto al fondo lo cual podría estar relacionado con la liberación de hidróxidos durante los procesos fotosintéticos, pues este compuesto es considerado uno de los principales responsables del incremento de la alcalinidad (Roldán y Ramírez, 2008).

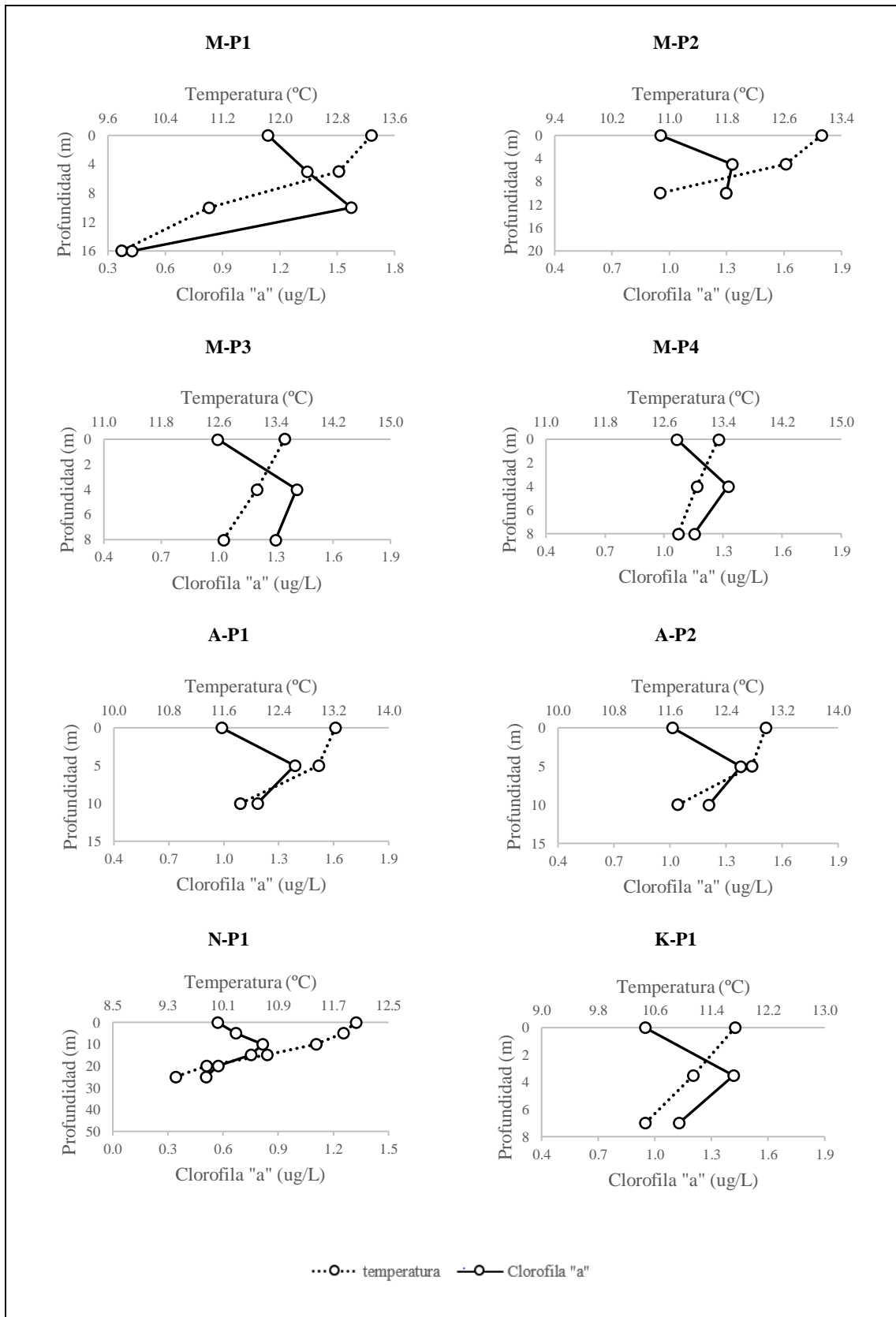


Gráfico 19-3. Perfiles de Clorofila-a y Temperatura en los diferentes puntos de muestreo
Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2021

La clorofila-a se considera como un indicador de la presencia fitoplanctónica, por tanto que, valores inferiores a 10 mg/L hace referencia a un cuerpo de agua con bajas cantidades de biomasa (Roldán y Ramírez, 2008). Con base en la bibliografía se puede argumentar que el sistema lacustre en estudio no presenta grandes cantidades de fitoplancton, pues, muestran valores de 1,573; 1,387; 0,814 y 1,417 $\mu\text{g/L}$ en la laguna Magdalena, Atillo, Negra y Kuyuk respectivamente. Estos valores pueden ser comparados con los reportados en un estudio realizado en la laguna Cristalina y Negra (Colombia) las cuales presentaron una concentración de clorofila-a de 0,11 y 1,585 $\mu\text{g/L}$ correspondientemente, dado que ambos cuerpos de agua se encuentran a una similar altura pueden tomarse como un valor de referencia.

A lo largo de la columna de agua el fitoplancton tiende a migrar hacia ciertos estratos debido a factores como: nutrientes, gases y la radiación solar, siendo este último el mayor motivo de migración vertical del fitoplancton, pues, al incidir de manera directa en los cuerpos de agua de gran altitud provoca daños fisiológicos en el ADN de estos organismos (Rocha, 2015, pp.1-79; Vila y Mühlhauser, 1987: pp.95-103). Mediante esto, se puede inferir que este comportamiento tuvo lugar en todos los puntos muestreados ya que a partir de los 5 m de profundidad se encontraron las máximas concentraciones de clorofila.

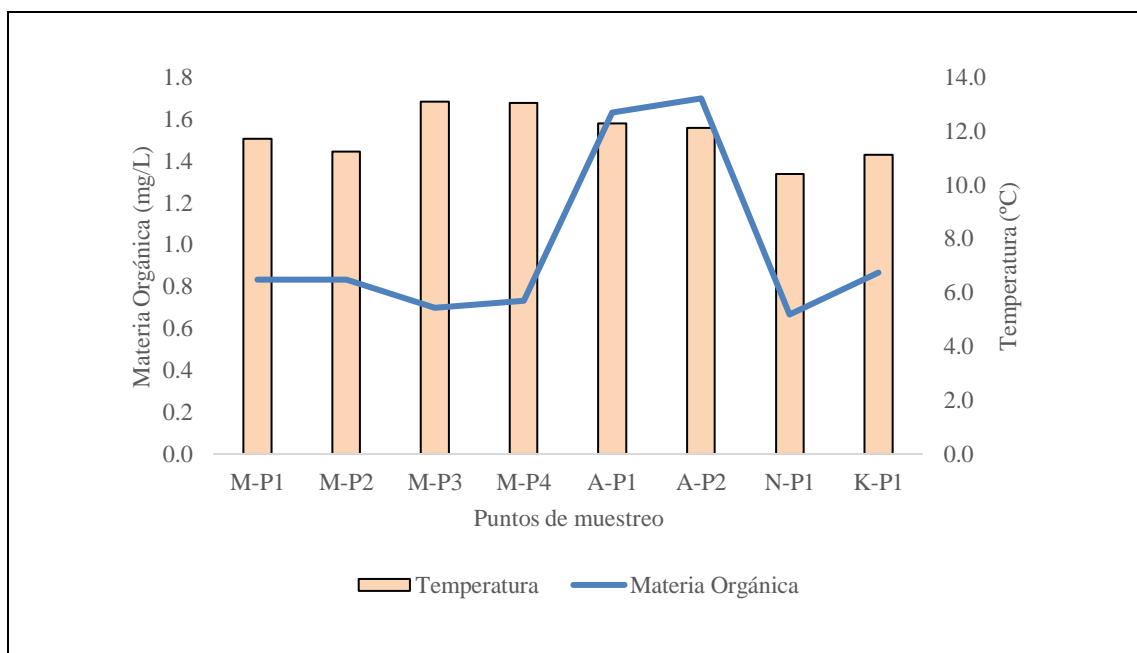


Gráfico 20-3. Resultados de Materia Orgánica (DBO_5) y Temperatura en los diferentes puntos de muestreo

Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2021

La materia orgánica se determinó a partir de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), pues, al ser considerado un indicador de este parámetro se puede medir su contenido a partir del oxígeno requerido por los microorganismos en el proceso de degradación de materiales orgánicos (Raffo y Ruiz, 2014). Según (Roldán y Ramírez, 2008) los lagos con un estado oligotrófico la producción y la degradación de materiales se encuentran en equilibrio, es decir, cuando hay una baja productividad se espera que la degradación de compuestos también sea baja.

Para la preservación de la vida acuática y silvestre la normativa ecuatoriana considera un criterio de calidad inferior a 20 mg/L de DBO_5 (Ministerio del Ambiente, 2015). Durante el análisis de este parámetro se obtuvieron resultados de 0,787; 1,667; 0,667 y 0,867 mg/L en la laguna Magdalena, Atillo, Negra y Kuyuk respectivamente. Tomando en cuenta este criterio y los valores obtenidos durante los análisis se puede decir que la materia orgánica presente en estos cuerpos de agua es baja. Con base en la bibliografía mencionada y los resultados obtenidos se puede inferir que si existe un equilibrio entre la productividad y la descomposición, pues, los bajos niveles de nutrientes, clorofila y demanda bioquímica de oxígeno así lo corroboran.

3.2.3. Correlaciones

Tabla 1-3. Matriz de correlación de temperatura con los parámetros in situ y ex situ en los diferentes puntos de muestreo

Laguna	Punto			Parámetros in situ						Parámetros ex situ						
				Temperatura	Profundidad	Transparencia	pH	% OD	CE	Color	Turbidez	Fósforo total	Nitratos	Alcalinidad	Clorofila	Materia orgánica
Magdalena	M-P1	Temperatura	Coefficiente de correlación	1	-,977**	,000	,804**	,894**	,972**	-,800	-,400	-,014	-,800	,949	,536	-,866
	M-P2	Temperatura	Coefficiente de correlación	1	-1,000**	,000	,527	,791**	,709*	-,900*	-1,000**	-,871	-,946*	,964**	-,615	,000
	M-P3	Temperatura	Coefficiente de correlación	1	-,992**	. ^a	,750	,773	-,948*	-,923	-,923	-,999*	-,978	,000	-,671	-,154
	M-P4	Temperatura	Coefficiente de correlación	1	-,997**	. ^a	-,082	,752	-,905*	-,923	-,896	-,979	-,937	,988	-,367	,000
Atillo	A-P1	Temperatura	Coefficiente de correlación	1	-1,000**	. ^a	1,000**	,679	,739	-1,000**	-,949	-,465	-,463	,784	-,155	,000
	A-P2	Temperatura	Coefficiente de correlación	1	-1,000**	. ^a	,964**	,750	-,071	-1,000**	-1,000**	-,632	-,918	,261	-,182	-,996
Negra	N-P1	Temperatura	Coefficiente de correlación	1	-1,000**	,866	,970**	,748**	-,526	-,627	-,476	-,436	-,624	,762*	,457	-,866
Kuyuk	K-P1	Temperatura	Coefficiente de correlación	1	-,987**	-,866	,858	,704	,761	-,857	-,930	,157	,742	,748	-,343	-,866
**La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).																
* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).																
a. No se puede calcular porque al menos una variable es constante.																

Realizado por: Patarón Nancy y Rivera Bexy, 2021

Para la interpretación cualitativa de los coeficientes se utilizó la tabla 5-2 propuesta por (Hernández, 2018), además se ha agrupado en función de su comportamiento (directo o inverso) con la finalidad de proporcionar un análisis más comprensivo de la relación entre la estructura térmica y los parámetros fisicoquímicos y químicos. Con base en lo antes mencionado se tiene lo siguiente:

Correlaciones inversas: El coeficiente de correlación entre profundidad y temperatura en todos los puntos es superior a $-0,977$, dicho valor indica una fuerte correlación. (López et al., 2017: pp.94-119) menciona que la temperatura del agua disminuye al aumentar la profundidad, dicha tendencia es la más común en los cuerpos de agua de alta montaña, siendo el caso de las lagunas en estudio.

El color y la temperatura presentaron valores de: $-0,900$; $-1,000$ y $-1,000$ en el punto M-P2, A-P1 y A-P2 respectivamente; la turbidez y la temperatura de: $-1,000$ y $-1,000$ en el punto M-P2 y A-P2 correspondientemente; el fósforo total y la temperatura de $-0,999$ en el punto M-P3, los nitratos y la temperatura de $-0,946$ en el punto M-P2. Todos los coeficientes de correlación denotan que existe una fuerte relación entre dichos parámetros y la temperatura.

Correlaciones directas: El pH y la temperatura presentaron valores de $0,804$; $1,000$; $0,964$ y $0,970$ en los puntos M-P1, A-P1, A-P2 y N-P1 respectivamente, el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto y la temperatura de $0,894$; $0,791$ y $0,748$ de los puntos M-P1, M-P2 y N-P1 respectivamente, la alcalinidad y la temperatura de $0,964$ y $0,762$ en los puntos M-P y N-P1 respectivamente. Todos los coeficientes de correlación denotan que existe una fuerte relación entre dichos parámetros y la temperatura.

Correlación directa e inversa: La conductividad eléctrica y la temperatura presentaron valores de $0,972$; $0,709$, $-0,948$ y $-0,905$ en los puntos M-P1, M-P2, M-P3 y M-P4 respectivamente. Todos los coeficientes de correlación denotan que existe una fuerte relación entre dichos parámetros y la temperatura.

La presencia de sólidos disueltos y suspendidos en el agua dificultan la penetración de la radiación solar, cuando los cuerpos de agua son transparentes permiten el paso de la luz a zonas más profundas otorgando al sistema una distribución vertical de la temperatura, a mayor profundidad de penetración de luz el límite de la zona fótica aumentará, por lo que las comunidades fitoplanctónicas se extienden a zonas más profundas y se convierte en el principal responsable de la disminución espacial en la concentración de nutrientes (como nitratos y fósforo total) y el aumento superficial de pH, alcalinidad y oxígeno disuelto resultante de sus procesos fotosintéticos. El material alóctono y autóctono presente en el cuerpo de agua se disgrega por acción de la temperatura y de los microorganismos, que por acción de la gravedad se van depositando en las partes bajas de la columna de agua lo cual conlleva a un aumento de la turbidez

(sólidos suspendidos), el color aparente (sólidos suspendidos y disueltos) y la conductividad eléctrica (sólidos disueltos).

3.3. Determinación del Estado trófico

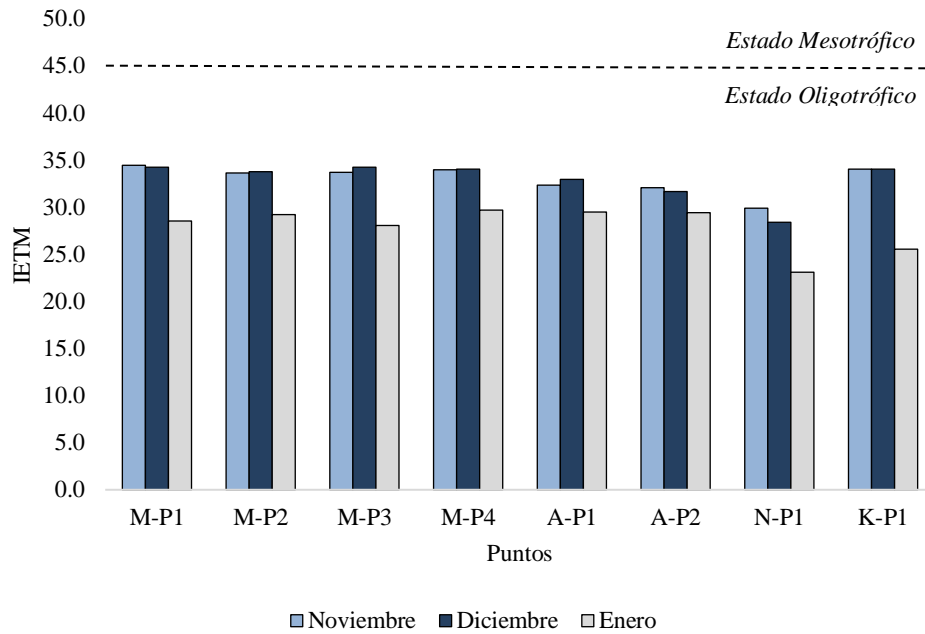


Gráfico 21-3. Índice de Estado Trófico Modificado en los diferentes puntos de muestreo
Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2021

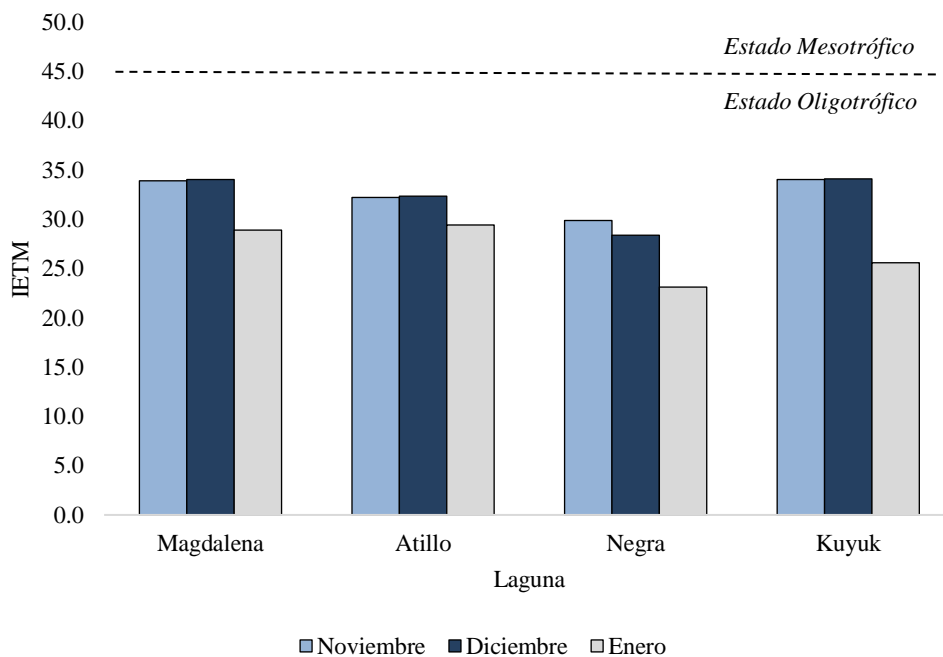


Gráfico 22-3. Índice de Estado Trófico Modificado en las diferentes lagunas muestreadas
Realizado por: Patarón, Nancy y Rivera, Bexy, 2021

Los resultados del Índice de Estado Trófico Modificado (IETM) fueron de 27,154, 31,230, 31,343 y 32,305 de las lagunas Negra, Kuyuk, Atillo y Magdalena, respectivamente. Según la escala de Toledo citada por (Moreira y Sabando, 2016) al tratarse de valores inferiores a 45 se puede considerar que todos los cuerpos de agua en estudio se encuentran dentro de un estado oligotrófico.

Las lagunas Kuyuk, Magdalena y Atillo presentan valores similares entre sí lo cual puede ser a causa de su interconexión, por otra parte, la laguna Negra al encontrarse distante de las lagunas antes mencionadas presenta un valor relativamente bajo respecto a las demás.

CONCLUSIONES

- A partir de los análisis in situ y ex situ se puede concluir que la estructura térmica influyó en los parámetros fisicoquímicos y químicos de forma independiente en los seis puntos muestreados de la laguna Magdalena-Atillo, siendo directa con el pH, oxígeno disuelto y alcalinidad e inversa con el color, turbidez, fósforo total y nitratos. Cabe mencionar la conductividad eléctrica fue el único parámetro que presentó una relación inversa con ciertos puntos y directa en los restantes.
- En todos los puntos se observó una variabilidad vertical espaciotemporal de la temperatura misma que está definida por las condiciones climatológicas, meteorológicas y la profundidad de cada cuerpo de agua. La presencia de barreras de viento afectó en mayor proporción a dos puntos de la laguna Magdalena (M-P1 y M-P2) teniendo como resultado la formación de una termoclina estable durante los meses de noviembre y diciembre, pues, al tratarse de meses con menos precipitación favorece la estratificación térmica de la columna de agua, por el contrario, el mes de enero al ser una época de transición hacia los meses más lluviosos se observa la tendencia homotermal corroborada por la ausencia de gradientes amplios de temperatura.
- En la laguna Magdalena-Atillo se obtuvieron correlaciones superiores a 0,709 lo cual indica una fuerte relación entre la estructura térmica y el parámetro que presentó una significancia inferior a 0,05. La estructura térmica del punto M-P2 tuvo una correlación con los siguientes parámetros fisicoquímicos y químicos: oxígeno disuelto, conductividad, color, turbidez, nitratos y alcalinidad, cabe mencionar que la relación entre la conductividad y la temperatura fue la única que tuvo lugar en todos los puntos de la laguna Magdalena. Por otra parte la estructura térmica del punto A-P2 presentó una relación con la turbidez, pH y color; en este caso los parámetros que mantuvieron una correlación en ambos puntos de la laguna Atillo fueron el color y pH.
- Se determinó el estado trófico que presenta la laguna Magdalena-Atillo del parque Nacional Sangay mediante el uso del Índice de Estado Trófico Modificado por Toledo (1985) el cual utiliza las medidas de transparencia secchi, clorofila “a” y fósforo total. Este índice fue aplicado en cada uno de los puntos de muestreo durante los tres meses analizados y a partir de estos datos se determinó el índice de Estado Trófico Global. Se puede concluir entonces que tanto a nivel de muestreo como de temporalidad la laguna se encuentra en un estado oligotrófico.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer análisis de sedimentos de este conjunto de lagunas a fin de conocer la proporción de fósforo retenido en los sedimentos ya que es uno de los factores contribuyentes al estado trófico de un cuerpo de agua.
- Para determinar qué otros factores están siendo influenciados por la estructura térmica de la columna de agua se recomienda tomar en cuenta análisis de otros parámetros como por ejemplo: dióxido de carbono, dureza y carga microbiana.
- Ampliar estudios de parámetros in situ con sondas especializadas en nutrimentos a distintas profundidades de las lagunas.

BIBLIOGRAFIA

ANDERSON, H., Clorofila: definición, estructura, función y fotosíntesis. [en línea]. 2018. [Consulta: 6 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.microscopemaster.com/chlorophyll.html>.

ARBAT, M., *Distribucion de temperatura y velocidad en embalses* [en línea]. S.l.: s.n. 2015. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/95799/TMAB1de2.pdf>.

AUTORIDAD BINACIONAL DE LAGO TITICACA, *Evaluación de la calidad del agua del lago Titicaca Perú-Bolivia*. S.l.: s.n. 2014.

AWRI, Manual del instructor - Transparencia del agua. [en línea]. 2020. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.gvsu.edu/wri/education/instructors-manual-water-transparency-8.htm>.

BAIRD, R. et al., Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. , pp. 161. 2017.

BENJUMEA, C. y TORO, A., Evaluación de la estratificación térmica y su relación con el oxígeno disuelto del agua en la ciénaga Cachimbero, municipio de Cimitarra, Santander. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia.*, vol. 18, no. 2, pp. 55-60. 2007.

BOLAÑOS, J. et al., Determination of nitrites, nitrates, sulfates and phosphates in drinking water as indicators of contamination caused by human activities, in two cantons of Alajuela, province of Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, vol. 30-4, pp. 15-27. 2017. DOI 10.18845/tm.v30i4.3408.

BUTCHER, J. et al., Sensitivity of lake thermal and mixing dynamics to climate change. *Climatic Change*, vol. 129, no. 1-2, pp. 295-305. 2015. ISSN 01650009. DOI 10.1007/s10584-015-1326-1.

CHAPA, C. & GUERRERO, R., Eutrofización: Abundancia que mata. *reserchgate*. 2010.

COLMENAR, E., La limnología estudia los fenómenos físicos y biológicos relativos a las aguas continentales: un termómetro para las aguas. *Ambienta: La revista del Ministerio de Medio Ambiente*, pp. 1-4. 2002.

CONTRERAS, M. et al., Guía metodológica y protocolos de muestreo de flora y fauna acuática en aguas continentales de Chile. *Fondo de investigacion*, 2018.

CONVENCIÓN DE RAMSAR & GRUPO DE CONTACTO EHAA, *Estrategia Regional para la Conservación y Uso Sostenible de Humedales Altoandinos*. S.l.: s.n. 2008.

CONVENCIÓN DE RAMSAR SOBRE LOS HUMEDALES., *Perspectiva mundial sobre los humedales: Estado de los humedales del mundo y sus servicios a las personas*. S.l.: s.n. 2018.

DELEGIDO, J. et al., Turbidez y profundidad de disco de Secchi con Sentinel-2 en embalses con diferente estado trófico en la Comunidad Valenciana. *REVISTA DE TELEDETECCIÓN Asociación Española de Teledetección* [en línea], 2019. [Consulta: 24 julio 2020]. ISSN 1988-8740. DOI 10.4995/raet.2019.12603. Disponible en: <https://doi.org/10.4995/raet.2019.12603>.

DELOYA, A., Métodos de análisis físicos y espectrofométricos para el análisis de aguas residuales. *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 19, no. 2, pp. 31-40. 2006. ISSN 0379-3982.

EEA, Freshwater quality. [en línea]. 2020. [Consulta: 30 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/freshwater-quality/freshwater-quality-assessment-published-may-2>.

EPA, Conductivity, monitoring and assessment. [en línea]. 2012. [Consulta: 21 noviembre 2020]. Disponible en: <https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/vms59.html>.

EPA, Great Lakes Chlorophyll-a Monitoring. [en línea], 2019. [Consulta: 7 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.epa.gov/great-lakes-monitoring/great-lakes-chlorophyll-monitoring>.

ESPINOSA, C. et al., Evaluación del riesgo de eutrofización del embalse monaquito-piedra azul, Estado Trujillo, Venezuela. *Revista de la Facultad de Ingeniería*, vol. 27, no. 4, pp. 33-42. 2012. ISSN 07984065.

FAFARD, P., How and Why Lakes Stratify and Turn Over: We explain the science behind the phenomena – IISD Experimental Lakes Area. [en línea]. 2018. [Consulta: 14 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.iisd.org/ela/blog/commentary/lakes-stratify-turn-explain-science-behind-phenomena/>.

FONDRIEST, pH of Water - Environmental Measurement Systems. [en línea]. 2019. [Consulta: 25 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/ph/>.

FRANGÓPULOS, M., *Fundamentos de Limnología*. S.l.: s.n. 2019.

GLOBE, *Protocolo de Transparencia del Agua*. S.l.: s.n. 2005.

GUNKEL, G., Limnología de un Lago Tropical de Alta Montaña, en Ecuador: Características de los sedimentos y tasa de sedimentación. *scielo.sa.cr* [en línea], 2003. [Consulta: 9 junio 2020]. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442003000200010&script=sci_arttext&tlng=en.

HERNÁNDEZ, D., *Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones* *On the proper use of the Pearson correlation coefficient: definitions, properties and assumptions* [en línea]. S.l.: Sociedad Venezolana de Farmacología Clínica y Terapéutica. 2018. [Consulta: 23 febrero 2021]. Disponible en: <https://orcid.org/0000-0003->

HOST, G., Why is conductivity important? [en línea]. 2006. [Consulta: 21 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.lakeaccess.org/russ/conductivity.htm>.

INAMHI, *Anuario Meteorológico*. S.l.: s.n. 2014.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS, Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros isicoquímicos y contaminantes marinos (agua, sedimentos y organismos). *invemar*. 2003.

JIMENEZ, B., *La Contaminación Ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. México: s.n. 2001. ISBN 968-18-6042-X.

KARPOWICZ, M. & EJSMONT, J., Effect of metalimnetic gradient on phytoplankton and zooplankton (Rotifera, Crustacea) communities in different trophic conditions. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 189, no. 8, pp. 1-13. 2017. ISSN 15732959. DOI 10.1007/s10661-017-6055-7.

LCWA, Dissolved Oxygen. [en línea]. 2020. [Consulta: 22 noviembre 2020]. Disponible en: http://www.lake.wateratlas.usf.edu/library/learn-more/learnmore.aspx?toolsection=lm_dissolvedox.

LEWIS, W., Ecological Zonation in Lakes. [en línea]. 2020. [Consulta: 28 octubre 2020]. Disponible en: <https://www.climate-policy-watcher.org/lake-ecosystems/ecological-zonation-in-lakes.html>.

LOACHAMIN, O. et al., *Determinación del estado trófico de las lagunas de Mojanda a través de la cuantificación de clorofila "a"* [en línea]. Quito: Quito: UCE. 2017. [Consulta: 21 julio 2020]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/13140>.

LODISH, H. et al., Photosynthetic Stages and Light-Absorbing Pigments. [en línea], 2000. [Consulta: 6 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK21598/>.

LÓPEZ, M. et al., Estructura térmica del Lago Guamués, un lago tropical de alta montaña. *Revista Luna Azul*, vol. 44, no. 44, pp. 94-119. 2017. ISSN 19092474. DOI 10.17151/luaz.2017.44.7.

LÓPEZ, M. & MADROÑERO, S., Estado trófico de un lago tropical de alta montaña: Caso Laguna de la Cocha. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 25, no. 2, pp. 1-21. 2015. ISSN

0124-8170. DOI 10.18359/rcin.1430.

LUQUE, J., *Limnología del Lago de Sanabria: un sensor de las oscilaciones climáticas del Atlántico Norte durante los últimos 6.000 años.* S.l.: s.n. 2003.

MAAE, Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) - Inicio | Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador. , pp. 4-5. 2015.

MAE, Sitios RAMSAR | Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador. *Ministerio del Ambiente.* 2015.

MANSILLA, G., Potencial de hidrogeniones - pH. *Revista de Actualización Clínica Investiga,* vol. 40, pp. 2076-2082. 2014.

MARGALEF, R., *Limnología* [en línea]. Michigan: Universidad de Michigan. 1983. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books/about/Limnología.html?id=VlfwAAAAMAAJ&redir_esc=y.

MINISTERIO DE AMBIENTE DEL ECUADOR, Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural (a). . 2012.

MINISTERIO DEL AMBIENTE, *Registro Oficial 387 - AM 140.* S.l.: s.n. 2015. ISBN 9789290772231.

MOREIRA, J. & SABANDO, B., *Determinación del nivel de eutrofización del Embalse Sixto Durán Ballén mediante índices de estado trófico.* S.l.: ESPAMMFL. 2016.

MORETA, J., La Eutrofización De Los Lagos Y Sus Consecuencias. [en línea], pp. 9. 2008. ISSN 00347744. Disponible en: http://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2377/2/ResumenEjecutivo.pdf%0Ahttps://www.academia.edu/1439928/La_eutrofización_de_los_lagos_y_sus_consecuencias._Ibarra_2008%0Ahttp://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2637/1/TESSIS.pdf.

MURGUEITIO, E. et al., Caracterización fisicoquímica de las aguas de la laguna de Mapaguiña , provincia de Chimborazo . *Universidad de las Fuerzas Armadas* [en línea], pp. 3-5. 2014. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/9701>.

MURPHY, S., General Information on Phosphorus. [en línea]. 2007. [Consulta: 30 noviembre 2020]. Disponible en: <http://bcn.boulder.co.us/basin/data/NEW/info/TP.html>.

ORTEGA, L. & PESÁNTEZ, A., *Diagnóstico de la calidad del agua de la laguna recreacional*

del Parque Infantil “Marco Romero Heredia”, ubicada en Azogues - Provincia del Cañar. S.l.: Universidad de Cuenca. 2018.

PERDOMO, A., *Predicción de parámetros físico químicos de calidad del agua mediante el uso de sensores remotos : caso estudio Embalse del Neusa* [en línea]. S.l.: s.n. 2015. Disponible en: <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/1751/T069.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

RAFFO, E. & RUIZ, E., Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Journal of the American Chemical Society*, 2014.

RAMÍREZ, A. & VIÑA, G., *Limnología colombiana: aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis* [en línea]. S.l.: s.n. 1998. [Consulta: 28 octubre 2020]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books/about/Limnología_colombiana.html?id=puZFAAAAAYAAJ&redir_esc=y.

RMBEL, Profundidad de Secchi. [en línea]. 2020. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.rmbel.info/primer/secchi-depth/>.

ROCHA, S., Efectos in situ de la radiación solar (UV y PAR) sobre la fluorescencia del fitoplancton del Lago Titicaca (Lago Menor , Bolivia). , pp. 1-79. 2015.

RODRÍGUEZ, J. & MIÑO, C., *Evaluación del estado trófico en relación al comportamiento de los parámetros físicos y biológicos del Lago San Pablo, Ecuador* [en línea]. S.l.: UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE. 2018. [Consulta: 23 julio 2020]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8580>.

ROLDÁN, G. & RAMÍREZ, J., Fundamentos de limnología neotropical. [en línea], 2008. [Consulta: 22 julio 2020]. Disponible en: <https://repositorio.accefyn.org.co/handle/001/71>.

ROMERO, I., *Estratificación en lagos y embalses Apellidos, nombre Inmaculada Romero Gil* [en línea]. S.l.: Universitat Politècnica de València. 2019. [Consulta: 25 febrero 2021]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/116294>.

RUÍZ, T., *Análisis comparativo de índices de Eutrofización en Lagunas Costeras del estado Sonora, México.* S.l.: Centro de Investigaciones del Noroeste, S.C. 2017.

SAMPIERI, R. et al., *Metodología de la investigación.* 6. S.l.: s.n. 2014. ISBN 9781626239777.

SÁNEZ, L. & TRUJILLO, J., aEfecto de la concentración del ácido nítrico del lavado ácido en la eficiencia de la remoción de carbonatos del proceso carbón en la columnas. , 2014.

SIERRA, C., *CALIDAD DEL AGUA – Evaluación y diagnóstico –.* primera ed. Medellín: s.n.

2012. ISBN 9788578110796.

SMITH, T. & SMITH, R., *Ecología*. sexta edic. Madrid-España: s.n. 2007. ISBN 9788478290840.

STEER, J., Estructura y reacciones de la clorofila. [en línea]. 2016. [Consulta: 7 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.ch.ic.ac.uk/local/projects/steer/chloro.htm>.

SUJATHA, B., *Photosynthesis* [en línea]. S.l.: Springer India. 2015. [Consulta: 6 noviembre 2020]. ISBN 9788132222866. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-81-322-2286-6_22.

THE RAMSAR CONVENTION SECRETARIAT, La importancia de los humedales | Ramsar. *Acerca de La Convención Ramsar y su misión*. 2014.

TIERNEY, D. & O'BOYLE, S., *Water Quality in 2016: An indicators report*. S.l.: s.n. 2018. ISBN 9781840957839.

URRUTIA, R., Eutroficación y floraciones algales. *CRHIAM y Centro de Ciencias Ambientales EULA - Chile*. 2014.

VALDÉS, D. & REAL, E., Flujos de amonio, nitrito y fosfato a través de la interfase sedimento-agua en una laguna tropical. , vol. 20, no. 1, pp. 80-97. 1994.

VÁSQUEZ, C. et al., Descripción del estado trófico de diez humedales del altiplano Cundiboyacense. *Universitas Scientiarum*, vol. 11, no. 2, pp. 61-75. 2006. ISSN 0122-7483.

VELÁSQUEZ, J. et al., Determinación de la calidad ambiental de la ciénaga Colombia. Caucasia - Antioquia - Colombia. *redalyc.org*, vol. 10, no. 1, pp. 187-199. 2007. ISSN 0124-177X.

VILA, I. & MÜHLHAUSER, H., Dinámica de lagos de altura, perspectivas de investigación. *Archivos de biología y medicina experimentales*, vol. 20, pp. 95-103. 1987.

WANG, Haijun & WANG, Hongzhu, Mitigation of lake eutrophication: Loosen nitrogen control and focus on phosphorus abatement. *Progress in Natural Science*, vol. 19, no. 10, pp. 1445-1451. 2009. ISSN 10020071. DOI 10.1016/j.pnsc.2009.03.009.

WWAP, *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos, 2017: Aguas residuales: el recurso no explotado - UNESCO Biblioteca Digital*. S.l.: s.n. 2017.

WWF INTERNATIONAL, Los humedales altoandinos. , pp. 1-20. 2010.

YÁNEZ, M. et al., Valoración económica del servicio limnológico de la laguna Magdalena-Atillo, Riobamba-Ecuador TT - Economic valuation of the limnetic service of Magdalena-Atillo

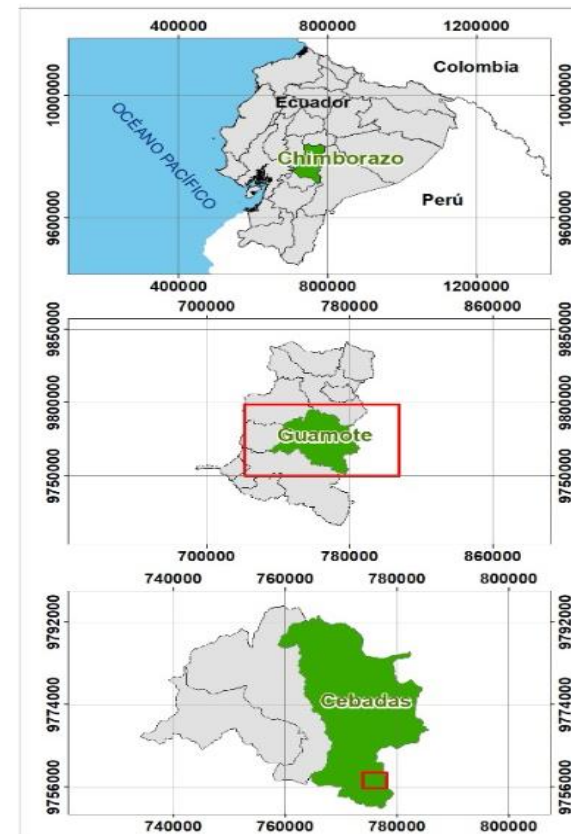
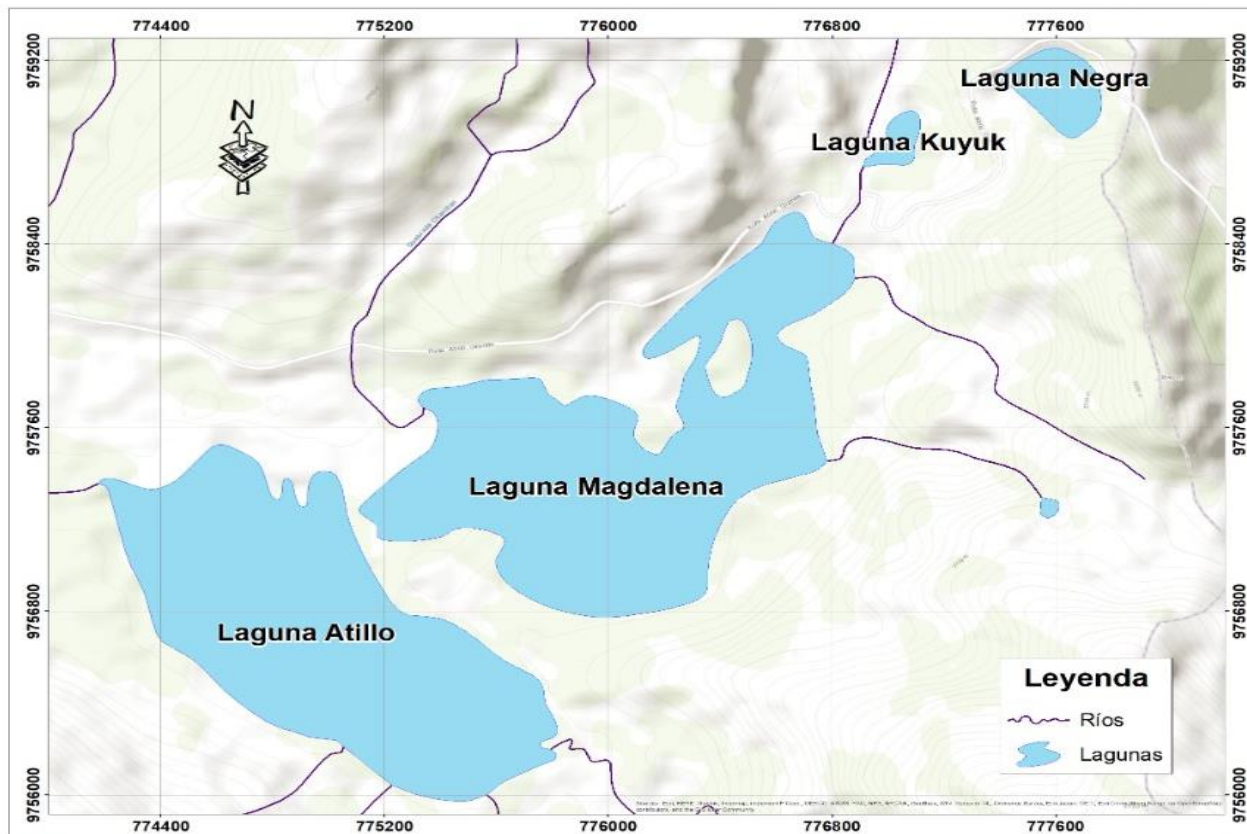
lake - Riobamba Ecuador. *Enfoque UTE* [en línea], vol. 10, no. 2, pp. 1-16. 2019. [Consulta: 9 junio 2020]. ISSN 1390-6542. DOI 10.29019/enfoqueute.v10n2.332. Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422019000200001&lang=pt.


YANG, Y. et al., Diurnal and Seasonal Variations of Thermal Stratification and Vertical Mixing in a Shallow Fresh Water Lake. *Journal of Meteorological Research*, vol. 32, no. 2, pp. 219-232. 2018. ISSN 21980934. DOI 10.1007/s13351-018-7099-5.



Firmado electrónicamente por:
**JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS**

ANEXOS
ANEXO A. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

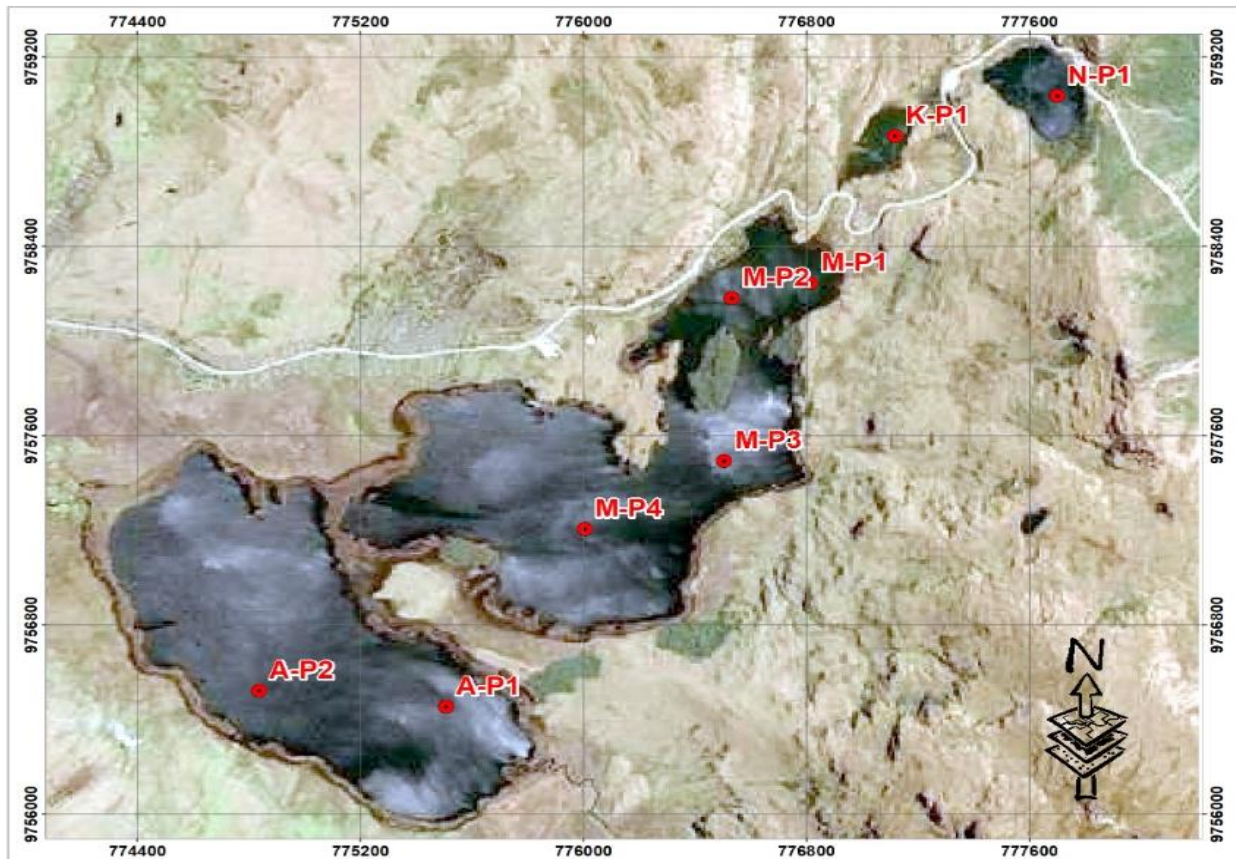


 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL	
INFLUENCIA DE LA ESTRUCTURA TÉRMICA EN LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y QUÍMICOS DE LA LAGUNA MAGDALENA-ATILLO DEL PARQUE NACIONAL SANGAY	
TÍTULO DEL MAPA:	01 Ubicación del área de estudio
ELABORADO POR:	Nancy Patarón Cunduri - Bexy Rivera García
FECHA:	2020-11-24
ESCALA:	1:8.000

UBICACIÓN	
PAÍS:	Ecuador
PROVINCIA:	Chimborazo
CANTÓN:	Guamote
PARROQUIA:	Cebadas

NOTAS:	
DATOS DE GEORREFERENCIACIÓN	
Proyección:	Universal Transversal de Mercator
Datum:	WGS 1984
Zona de referencia:	17 Sur
ESCALA GRÁFICA	
	

ANEXO B. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO



LEYENDA

● Puntos de muestreo

Laguna	Punto	COORDENADAS	
		Proyección UTM_WGS84	
		X	Y
Magdalena	M-P1	776816	9758244
	M-P2	776535	9758180
	M-P3	776506	9757492
	M-P4	776006	9757203
Atillo	A-P1	775510	9756452
	A-P2	774839	9756519
Negra	N-P1	777703	9759035
Kuyuk	K-P1	777120	9758865


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

INFLUENCIA DE LA ESTRUCTURA TÉRMICA EN LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y QUÍMICOS DE LA LAGUNA MAGDALENA-ATILLO DEL PARQUE NACIONAL SANGAY

TÍTULO DEL MAPA: 02 Ubicación de los puntos de muestreo

ELABORADO POR: Nancy Patarón Cunduri - Bexy Rivera García


FECHA: 2020-11-24 **ESCALA:** 1:8.000

UBICACIÓN

PAÍS: Ecuador
 PROVINCIA: Chimborazo
 CANTÓN: Guamote
 PARROQUIA: Cebadas

NOTAS:

DATOS DE GEORREFERENCIACIÓN
 Proyección:..... Universal Transversal de Mercator
 Datum:..... WGS 1984
 Zona de referencia:..... 17 Sur

ESCALA GRÁFICA


ANEXO C. PERMISO DE INVESTIGACIÓN OTORGADO POR EL MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA

AUTORIZACIÓN DE RECOLECCION DE ESPECIMENES DE ESPECIES DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA No. 822

ESTUDIANTES E INVESTIGADORES (SIN FINES COMERCIALES)

1.- AUTORIZACIÓN DE RECOLECTA DE ESPECÍMENES DE ESPECIES LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA

2.- CÓDIGO

MAAE-ARSFC-2020-0822

3.- DURACIÓN DEL PROYECTO

FECHA INICIO	FECHA FIN
2020-11-28	2021-05-28

4.- COMPONENTE A RECOLECTAR

Plantae

El Ministerio del Ambiente y Agua, en uso de las atribuciones que le confiere la Codificación a la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre autoriza a:

5.- INVESTIGADORES /TÉCNICOS QUE INTERVENDRÁN EN LAS ACTIVIDADES DE RECOLECCION

Nº de C./Pasaporte	Nombres y Apellidos	Nacionalidad	Nº REGISTRO SENESCYT	EXPERIENCIA	GRUPO BIOLÓGICO
0650294788	PATARON CUNDURI NANCY LILIANA	Ecuatoriana	tesista-ingenieria		Chlorophyceae
2000116042	ACOSTA LEON YAHIR JARED	Ecuatoriana	tesista-ingenieria		Chlorophyceae
2350599292	GOROZABEL PALMA ROBINSON JOSE	Ecuatoriana	tesista-ingenieria		Chlorophyceae
2100789805	RIVERA GARCIA BEXY SELENA	Ecuatoriana	tesista-ingenieria		Chlorophyceae

6.- PARA QUE LLEVEN A CABO LA RECOLECCION DE ESPECIMENES DE ESPECIES LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA:

ANEXO D. PREPARACIÓN DEL BOTE



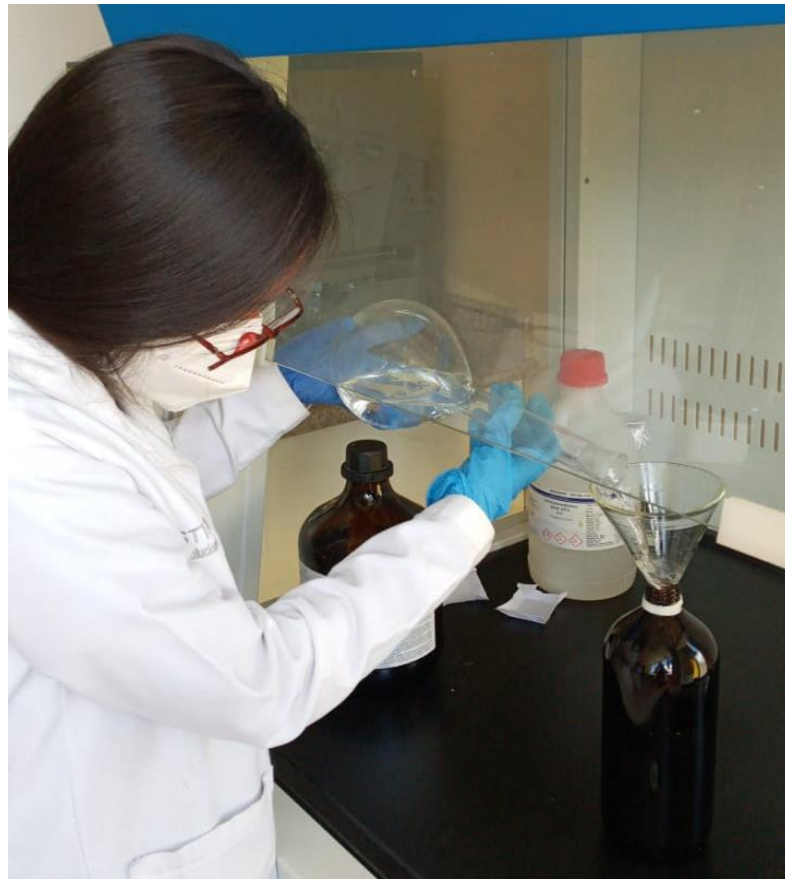
ANEXO E. MEDICIÓN DE PARÁMETROS IN SITU



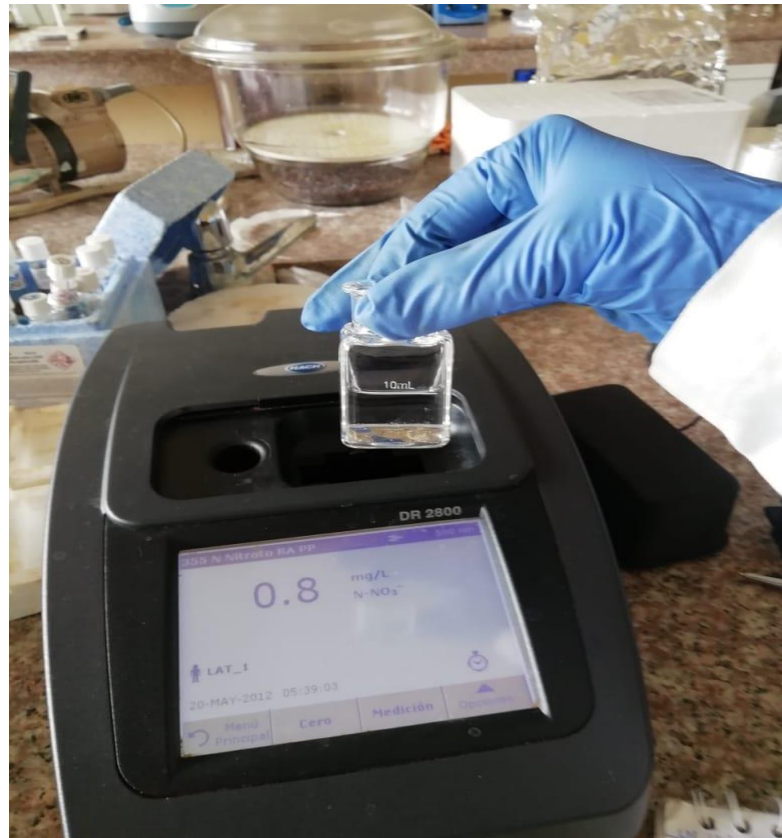
ANEXO F. MEDICIÓN DE LA TRANSPARENCIA DEL AGUA



ANEXO G. PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE ACETONA



ANEXO H. MEDICIÓN DE COLOR, NITRATOS Y FÓSFORO



ANEXO I. MEDICIÓN DE TURBIDEZ



ANEXO J. MEDICIÓN DE LA ALCALINIDAD



ANEXO K. ADICIÓN DE SOLVENTE A LOS FILTROS DE CLOROFILA-A



ANEXO L. DETERMINACIÓN DE CLOROFILA-A



ANEXO M. DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 11 / 06 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: BEXY SELENA RIVERA GARCÍA NANCY LILIANA PATARÓN CUNDURI
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: CIENCIAS
Carrera: INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL
Título a optar: INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. CPA. Jhonatan Rodrigo Parreño Uquillas. MBA.
 Firmado electrónicamente por: JHONATAN RODRIGO PARREÑO UQUILLAS

11-06-2021
1118-DBRA-UTP-2021