



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DEL SISTEMA  
LACUSTRE ANTEOJOS ZONA DE PATZARUMI DEL PARQUE  
NACIONAL LLANGANATES**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTORA:** SUSANA MARGOTH CALDERÓN ZÁRATE

**DIRECTOR:** Ing. CARLOS ROLANDO ROSERO ERAZO MSc.

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Susana Margoth Calderón Zárate

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

Yo, SUSANA MARGOTH CALDERÓN ZÁRATE declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 05 de agosto de 2022.

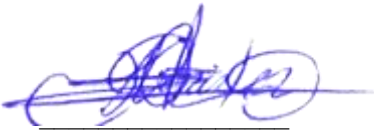
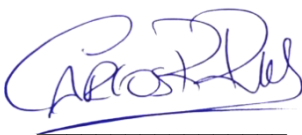



**Susana Margoth Calderón Zárate**

**060550791-2**

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

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DEL SISTEMA LACUSTRE ANTEOJOS ZONA DE PATZARUMI DEL PARQUE NACIONAL LLANGANATES**, realizado por la señorita: **SUSANA MARGOTH CALDERÓN ZÁRATE**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Juan Carlos Gonzáles García, PhD. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2022-08-05
Ing. Carlos Rolando Rosero Erazo, MSc. <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		2022-08-05
Ing. Sofía Carolina Godoy Ponce, MSc. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		2022-08-05

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a mis padres: César Calderón y Susana Zárate porque son mi apoyo y motivación para poder cumplir cada una de mis metas, además por todo el sacrificio y esfuerzo que han realizado para que logre cumplir este objetivo.

*Susana*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la sabiduría para poder culminar una etapa importante de mi vida, a mis padres por regalarme la oportunidad de tener una profesión, a mis hermanas, sobrinas por motivarme a seguir adelante, a mi compañero de vida por estar presente en cada momento y brindarme su apoyo incondicional.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y todos sus docentes quienes impartieron sus conocimientos, en especial agradezco a mi tutor el Ing. Carlos Rosero por la paciencia, tiempo e interés prestado durante la elaboración del presente trabajo.

También quiero expresar mi agradecimiento al Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica por facilitarme realizar los muestreos necesarios y correspondientes, así también al Grupo de Investigación-Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC) y a quienes laboran en el mismo, y de manera especial a la Ing. Nataly Figueroa y al Ing. Fredy Armijos por ser las personas que me ayudaron con mucho cariño y entrega a resolver los momentos difíciles.

*Susana*

## TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xii
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	1

## CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....	7
1.1. Limnología .....	7
1.1.1. <i>Definición</i> .....	7
1.1.2. <i>El agua</i> .....	7
1.1.2.1. <i>Importancia del agua</i> .....	7
1.1.3. <i>Sistemas acuáticos Lénticos</i> .....	8
1.1.3.1. <i>Origen de los lagos y lagunas</i> .....	9
1.2. Eutrofización y el estado trófico .....	9
1.2.1. <i>Definición</i> .....	9
1.2.2. <i>Proceso de la eutrofización</i> .....	9
1.2.3. <i>Causas de la eutrofización</i> .....	10
1.2.4. <i>Efectos del proceso de eutrofización</i> .....	10
1.2.5. <i>Niveles de Eutrofización</i> .....	11
1.2.5.1. <i>Oligotrófico</i> .....	11
1.2.5.2. <i>Mesotrófico</i> .....	11
1.2.5.3. <i>Eutrófico</i> .....	12
1.3. Métodos para la evaluación del Estado Trófico .....	12
1.3.1. <i>Índice del Estado Trófico de Carlson o TSI</i> .....	13
1.4. Parámetros fisicoquímicos y biológicos .....	14
1.4.1. <i>Clorofila</i> .....	14
1.4.2. <i>Conductividad</i> .....	15
1.4.3. <i>Fosfatos</i> .....	15
1.4.4. <i>Nitratos</i> .....	16
1.4.5. <i>Oxígeno disuelto</i> .....	16
1.4.6. <i>Potencial de hidrógeno</i> .....	17

1.4.7.	<i>Temperatura</i> .....	17
1.4.8.	<i>Turbiedad</i> .....	18
1.5.	<b>Parque Nacional Llanganates</b> .....	18
1.5.1.	<i>Laguna de Antejos</i> .....	19

## CAPÍTULO II

2.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	20
2.1.	<b>Tipo de Investigación</b> .....	20
2.2.	<b>Localización del Estudio</b> .....	20
2.3.	<b>Etapas de la investigación</b> .....	20
2.3.1.	<i>Muestreo</i> .....	20
2.3.1.1.	<i>Ubicación de los puntos de muestreo</i> .....	20
2.3.1.2.	<i>Recolección de las muestras</i> .....	22
2.3.1.3.	<i>Medición de los parámetros fisicoquímicos “in situ”</i> .....	23
2.3.2.	<i>Análisis de laboratorio</i> .....	25
2.3.2.1.	<i>Medición de Fosfatos</i> .....	25
2.3.2.2.	<i>Medición de Nitratos</i> .....	25
2.3.2.3.	<i>Medición de la concentración de la Clorofila “a”</i> .....	26
2.3.2.4.	<i>Determinación del nivel de eutrofización</i> .....	27
2.3.3.	<i>Análisis Estadístico</i> .....	28

## CAPÍTULO III

3.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	30
3.1.	<b>Parámetros fisicoquímicos medidos “in situ”</b> .....	30
3.1.1.	<i>Temperatura</i> .....	30
3.1.2.	<i>Potencial de hidrógeno</i> .....	33
3.1.3.	<i>Conductividad</i> .....	35
3.1.4.	<i>Oxígeno Disuelto</i> .....	37
3.2.	<b>Resultados de los análisis en el laboratorio</b> .....	39
3.2.1.	<i>Fosfatos</i> .....	39
3.2.2.	<i>Nitratos</i> .....	42
3.2.3.	<i>Medición espectrofotométrica de la clorofila “a”</i> .....	44
3.3.	<b>Cálculo de la concentración de clorofila “a”</b> .....	46
3.4.	<b>Determinación del Índice del Estado Trófico de Carlson modificado por Aisaki</b> .	49
3.5.	<b>Análisis Estadístico</b> .....	50



3.5.1. <i>Temperatura y Concentración de clorofila “a”</i> .....	50
3.5.2. <i>Potencial de Hidrógeno y Concentración de clorofila “a”</i> .....	52
3.5.3. <i>Conductividad y Concentración de clorofila “a”</i> .....	53
3.5.4. <i>Oxígeno Disuelto y Concentración de Clorofila “a”</i> .....	54
3.5.5. <i>Fosfatos y Clorofila “a”</i> .....	56
3.5.6. <i>Nitratos y Concentración de Clorofila “a”</i> .....	57
<b>CONCLUSIONES</b> .....	58
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	60
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1.</b>	Criterios de aplicación del Índice del Estado Trófico de Carlson. ....	13
<b>Tabla 1-2.</b>	Ubicación de los puntos de muestreo de la Laguna de Antejos 1 y 2. ....	21
<b>Tabla 2-2.</b>	Criterios y límites permisibles de la calidad del agua. ....	24
<b>Tabla 3-2.</b>	Escala del estado trófico de Carlson, 1997 modificada por Aisaki para clorofila "a" .....	28
<b>Tabla 4-2.</b>	Interpretación del Coeficiente de Pearson. ....	29
<b>Tabla 1-3.</b>	Estadística general de la temperatura de la Laguna de Antejos 1. ....	30
<b>Tabla 2-3.</b>	Estadística general de la temperatura de la Laguna de Antejos 2. ....	32
<b>Tabla 3-3.</b>	Estadística general de la potencial de hidrógeno de la Laguna de Antejos 1. .	33
<b>Tabla 4-3.</b>	Estadística general del potencial de hidrógeno de la Laguna de Antejos 2. ....	34
<b>Tabla 5-3.</b>	Estadística general de la conductividad de la Laguna de Antejos 1 .....	35
<b>Tabla 6-3.</b>	Conductividad de la Laguna de Antejos 2. ....	36
<b>Tabla 7-3.</b>	Oxígeno Disuelto de la Laguna de Antejos 1 .....	37
<b>Tabla 8-3.</b>	Oxígeno Disuelto de la Laguna de Antejos 2. ....	38
<b>Tabla 9-3.</b>	Estadística general de los fosfatos de la Laguna de Antejos 1. ....	39
<b>Tabla 10-3.</b>	Estadística general de los fosfatos de la Laguna de Antejos 2. ....	41
<b>Tabla 11-3.</b>	Estadística general de los nitratos de la Laguna de Antejos 1. ....	42
<b>Tabla 12-3.</b>	Estadística general de los nitratos de la Laguna de Antejos 2. ....	43
<b>Tabla 13-3.</b>	Valores de absorbancia del primer muestreo de la Laguna de Antejos 1. ....	44
<b>Tabla 14-3.</b>	Valores de absorbancia del segundo muestreo de la Laguna de Antejos 1. ....	45
<b>Tabla 15-3.</b>	Valores de la absorbancia de la Laguna de Antejos 2. ....	45
<b>Tabla 16-3.</b>	Valores corregidos de la turbidez de la Laguna de Antejos 1 del primer muestreo. ....	46
<b>Tabla 17-3.</b>	Valores corregidos de la turbidez de la Laguna de Antejos 1 del segundo muestreo. ....	46
<b>Tabla 18-3.</b>	Valores corregidos de turbidez de la Laguna de Antejos 2. ....	47
<b>Tabla 19-3.</b>	Cálculo de clorofila "a" para la Laguna de Antejos 1. ....	47
<b>Tabla 20-3.</b>	Cálculo de clorofila "a" de la Laguna de Antejos 2. ....	48
<b>Tabla 21-3.</b>	Resultados de la concentración de clorofila "a" de la Laguna de Antejos 1. ....	48
<b>Tabla 22-3.</b>	Resultados de la concentración de clorofila "a" de la Laguna de Antejos 2. ....	49
<b>Tabla 23-3.</b>	Resultados del Índice del Estado Trófico (TSI) .....	50
<b>Tabla 24-3.</b>	Coeficientes de correlación de Pearson de la Laguna de Antejos 1 y 2. ....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1.</b>	Zonación de los lagos. ....	8
<b>Figura 2-1.</b>	Proceso de la Eutrofización en la evolución ecológico .....	10
<b>Figura 3-1.</b>	Representación esquemática de los principales pasos del ciclo del fósforo en un lago.....	16
<b>Figura 1-2.</b>	Mapa de ubicación de los puntos de muestreo del Sistema Lacustre Anteojos del Parque Nacional Llanganates.....	22

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3.</b>	Temperatura de la Laguna de Antejos 1.....	31
<b>Gráfico 2-3.</b>	Temperatura de la Laguna de Antejos 2.....	32
<b>Gráfico 3-3.</b>	Potencial de Hidrógeno de la Laguna de Antejos 1.....	33
<b>Gráfico 4-3.</b>	Potencial de hidrógeno de la Laguna de Antejos 2.....	35
<b>Gráfico 5-3.</b>	Conductividad de la Laguna de Antejos 1.....	36
<b>Gráfico 6-3.</b>	Conductividad de la Laguna de Antejos 2.....	37
<b>Gráfico 7-3.</b>	Oxígeno Disuelto de la Laguna de Antejos 1.....	38
<b>Gráfico 8-3.</b>	Oxígeno Disuelto de la Laguna de Antejos 2.....	39
<b>Gráfico 9-3.</b>	Fosfatos de la Laguna de Antejos 1.....	40
<b>Gráfico 10-3.</b>	Fosfatos de la Laguna de Antejos 2.....	41
<b>Gráfico 11-3.</b>	Nitratos de la Laguna de Antejos 1.....	43
<b>Gráfico 12-3.</b>	Nitratos de la Laguna de Antejos 2.....	44
<b>Gráfico 13-3.</b>	Temperatura- Concentración de clorofila "a" de la Laguna de Antejos 1.....	51
<b>Gráfico 14-3.</b>	Temperatura- Concentración de clorofila "a" de la Laguna de Antejos 2.....	52
<b>Gráfico 15-3.</b>	pH - Concentración de clorofila "a" de la Laguna de Antejos 1.....	53
<b>Gráfico 16-3.</b>	pH- Concentración de clorofila "a" de la Laguna de Antejos 2.....	53
<b>Gráfico 17-3.</b>	Conductividad- Concentración de clorofila "a" de la Laguna de Antejos 1....	54
<b>Gráfico 18-3.</b>	Conductividad - Concentración de clorofila "a" de la Laguna de Antejos 2...	54
<b>Gráfico 19-3.</b>	OD - Concentración de clorofila "a" de la Laguna de Antejos 1.....	55
<b>Gráfico 20-3.</b>	OD - Concentración de clorofila "a" de la Laguna de Antejos 2.....	55
<b>Gráfico 21-3.</b>	Fosfatos- Concentración de clorofila "a" de la Laguna de Antejos 1.....	56
<b>Gráfico 22-3.</b>	Fosfatos - Concentración de clorofila "a" de la Laguna de Antejos 2.....	56
<b>Gráfico 23-3.</b>	Nitratos - Concentración de clorofila "a" de la Laguna de Antejos 1.....	57
<b>Gráfico 24-3.</b>	Nitratos - Concentración de clorofila "a" de la Laguna de Antejos 2.....	57

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** FOTOGRAFÍA DEL SISTEMA LACUSTRE ANTEOJOS.

**ANEXO B:** REGISTRO FOTOGRÁFICO.

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el estado trófico del sistema lacustre Antejos zona de Patzarumi del Parque Nacional Llanganates aplicando el método *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.10200 H. Chlorophyll*; se llevó a cabo en dos campañas de muestreo en 4 puntos tomados a “criterio” en la laguna de Antejos 1 y 2, aplicando el protocolo de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169 y 2176, se midieron los parámetros “in situ” potencial de hidrógeno (pH), oxígeno disuelto (OD), conductividad y temperatura, posteriormente se llevaron las muestras al laboratorio del Grupo de Investigación-Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático donde fueron analizadas las concentraciones de fosfatos, nitratos y clorofila “a”. Con los resultados obtenidos se realizó el análisis estadístico de los datos utilizando los programas Excel versión Microsoft Office Professional Plus 2019 y Minitab Statistical Software. Se concluye que la laguna de Antejos 1 presenta un estado oligotrófico y la laguna de Antejos 2 un estado mesotrófico. La correlación de los parámetros fisicoquímicos con respecto a la clorofila “a” es negativa baja para la conductividad, pH, OD y fosfatos; positiva moderada para la temperatura y nitratos. Finalmente los parámetros fisicoquímicos analizados en el sistema lacustre muestran que las variables de pH y OD se encuentran fuera del rango para uso agrícola, pecuario, fines recreativos mediante contacto secundario y preservación de la flora y fauna en aguas dulces frías establecidos en la normativa ambiental ecuatoriana, en cuanto a la temperatura se encuentra en el rango establecido para lagunas de páramo, la conductividad señala que las lagunas tienen agua pura y los nitratos se encuentran dentro del rango permisible para uso pecuario. Se recomienda realizar este tipo de estudios mediante el uso de sistemas de información satelital, que permitan corroborar los resultados obtenidos en esta investigación.

**Palabras clave:** <CLOROFILA A>, <EUTROFIZACIÓN>, <SISTEMA LACUSTRE>, <LIMNOLOGÍA >, <COEFICIENTE DE PEARSON >, <INDICE TRÓFICO>.



Ing. Leonardo Fabio Medina Ñuste MSc.  
1757773294

2003-DBRA-UTP-2022

## ABSTRACT

The aim of the current research was to evaluate the trophic state of the Antejos lake system, located in the Patzarumi area, belonging to the Llanganates National Park by using the Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.10200 H. Chlorophyll. This was carried out in two sampling campaigns and 4 points selected at "discretion" in the Laguna de Antejos 1 and 2, applying the protocol established by the INEN 2169 and 2176 Ecuadorian Technical Standard. Parameters like hydrogen potential (pH), dissolved oxygen (DO), conductivity and temperature were measured in situ. Then, the samples were taken to the laboratory belonging to the Development for the Environment and Climate Change Research Group where the concentrations of phosphates, nitrates and chlorophyll "a" were analyzed. With the results obtained, the statistical analysis of the data was carried out using Excel version Microsoft Office Professional Plus 2019 programs and Minitab Statistical Software. It is concluded that the Laguna de Antejos 1 presents an oligotrophic state and the Laguna de Antejos 2 a mesotrophic state. The correlation of the physicochemical parameters regarding chlorophyll "a" is low negative for conductivity, pH, DO and phosphates and moderate positive for temperature and nitrates. Finally, the physicochemical parameters analyzed in the lake system revealed that pH and DO variables are out of range for agricultural use, livestock and secondary-contact recreational purposes, as well as preservation of flora and fauna in cold freshwater established in the Ecuadorian environmental regulations; temperature is within the range established for páramo lagoons; conductivity indicates that the lagoons have pure water; and nitrates are within the permissible range for livestock use. It is recommended to use satellite information systems for this type of study, in order to confirm the results obtained.

**Keywords:** <CHLOROPHYLL A>, <EUTROPHICATION>, <LAKE SYSTEM>, <LIMNOLOGY>, <PEARSON'S COEFFICIENT>, <TROPHIC INDEX>.



Lic. Paúl Rolando Armas Pesántez. Mgs.

C.I. 0603289877





## INTRODUCCIÓN

El agua está considerado el epicentro del desarrollo sostenible y es esencial para el desarrollo socioeconómico, la energía y la producción de alimentos, los ecosistemas saludables y para la supervivencia misma de los seres humanos.(García & Miranda, 2018, p. 353)

El Parque Nacional Llanganates es reconocido por contener un amplio conjunto de lagunas que son sustentadas por afluentes tanto de origen glaciar como inundaciones en ciertas épocas del año, así como pantanos, zonas de páramo, bosques, turberas y humedales. Las características antes mencionadas permiten que este lugar albergue varios tipos de vegetación, además de ser considerado una fuente sustancial de suministro de agua para las poblaciones cercanas.

No obstante, actualmente el Parque Nacional Llanganates presenta algunos problemas que ponen en peligro el abastecimiento de agua para sectores como el agropecuario e hidroeléctricas. Uno de esos problemas es la contaminación debido a la actividad minera, asimismo las obras de transvase y las zonas anegadas al sobrepastoreo debido a la introducción de ganado vacuno y ovino que representa una de las causas de eutrofización que también contribuye a la degradación de los humedales. Un problema aún más profundo se lo encuentra en el olvido, la marginación y la pérdida de los conocimientos y prácticas ancestrales sobre el manejo de los humedales. Radicando el principal problema en que no existen estudios específicos del estado trófico de la Laguna de Anteojos para el monitoreo hidrológico que atienda sus particularidades. Por lo cual, el presente trabajo de investigación permitió generar información sobre el estado actual las lagunas de Anteojos, mostrando datos reales de las características fisicoquímicas y biológicas de dichos cuerpos de agua. Por esta razón, este estudio generó información primaria pertinente a limnología en el campo de la eutrofización que servirá como base para investigaciones posteriores.

El objetivo principal fue evaluar el estado trófico en el sistema lacustre Anteojos zona de Pantzarumi del Parque Nacional Llanganates, así también los objetivos específicos propuestos fueron Medir la concentración de clorofila “a” de las muestras recolectadas mediante un análisis espectrofotométrico; calcular el estado trófico del sistema lacustre anteojos mediante el uso del índice de Carlson 1997 modificado por Aizaki 1981; y realizar el análisis estadístico de correlación entre los parámetros fisicoquímicos y el valor de clorofila “a”.

La metodología aplicada en esta investigación fue *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 10200 H. Chlorophyll* aprobado por la Asociación Americana de Salud Pública (APHA, por sus siglas en inglés) (American Public Health Association, 2017, pp. 14-17)

lo cual se llevó a cabo en dos campañas de muestreo aplicando el protocolo de la, (NTE INEN 2169, 2013) y (NTE INEN 2176, 2013) “Agua, calidad del agua, técnicas, muestreo y conservación”.

## **JUSTIFICACIÓN**

Una de las metas del objetivo 3 (Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones) del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, es mantener el 16% de territorio nacional bajo conservación o manejo ambiental, razón por la cual es necesario realizar proyectos enfocados en evaluar las condiciones en las que se encuentran las áreas protegidas del país. Para identificar el grado trófico de una masa de agua y poder tener un dato comparativo con otros sistemas de agua, se utilizan índices del estado trófico calculados en base a diferentes parámetros y variables, como por ejemplo a partir del análisis de nutrientes (concentración de fósforo), de la capacidad de generar biomasa (clorofila “a”) y de la disponibilidad de espectro fotosintético en la vertical de la columna de agua (transparencia de la columna de agua). (Zambrano, 2018, pp. 1-20)

Así también la Organización de las Naciones Unidas menciona que, a nivel mundial, aumentará un 20% el número de lagos con florecimiento de algas perjudiciales por lo menos hasta el año 2050, y aproximadamente hasta el 2030 se espera que aumente la eutrofización de las aguas superficiales y las zonas costeras en todas partes. Asociado a lo anterior, nace la necesidad de profundizar en el tema para mostrar los daños causados por este fenómeno en los cuerpos de agua, así como la situación actual por la que atraviesan los recursos hídricos. (García & Miranda, 2018, p. 353). Por ende, el objetivo de la presente investigación consiste en evaluar el estado trófico en el sistema lacustre anteojos zona de Pantzarumi del Parque Nacional Llanganates para atender sus particularidades en caso de requerirlo.

## ANTECEDENTES

Precedentemente de los años 40 los contenidos de investigación acerca de la eutrofización eran insuficientes, sin embargo, actualmente en el ámbito científico este fenómeno ha tomado mayor importancia para su estudio, debido a que en distintas partes del mundo cada vez más investigadores prefieren abordar este fenómeno, primordialmente en los lugares donde este proceso se ha dado con mayor frecuencia en los cuerpos de agua. Al presente la eutrofización es una de las principales problemáticas que afecta al recurso hídrico. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas, a nivel mundial, el número de lagos con floraciones de algas perjudiciales aumentará un 20% por lo menos hasta el año 2050 y se espera que la eutrofización de las aguas superficiales y las zonas costeras aumente aproximadamente en todas partes hasta el 2030. (García & Miranda, 2018, p. 353)

Un primer trabajo corresponde al magister Robert Valles quien realizó su tesis doctoral: "Factores Causales de la Eutrofización y calidad del agua de la Laguna El Sauce – Tarapoto, 2017". En dicho trabajo la laguna El Sauce está ubicada en la Región San Martín, a 51 Kilómetros al sur de la ciudad de Tarapoto, enmarcada entre actividades ganaderas, agrícolas, turísticas, piscícolas y poblacionales, las cuales año tras año vienen alterando y acelerando su entorno y envejecimiento conllevando a una acelerada eutrofización, para ello se evaluó los factores causales del nivel de eutrofización o nivel trófico actual de la laguna El Sauce, donde se realizaron dos muestreos, una en época de estiaje y la otra en época de lluvia, con la finalidad de realizar una evaluación del nivel trófico más objetivo. Las variables fundamentales que se consideraron para la determinación de los factores causales del nivel trófico de la laguna fueron: el fósforo total, nitrógeno en forma de nitrato, la transparencia y la clorofila "a". El objetivo principal de dicha investigación fue determinar las causas y evaluar el nivel de eutrofización de la laguna El Sauce; así también diseñar un plan de mitigación que permita corregir los daños causados a la laguna. El estudio de investigación usado es de tipo aplicado, nivel y diseño cuasi experimental, la muestra la representó 16 litros de agua de la laguna el Sauce, las técnicas que se emplearon para este proceso fueron: La observación, recolección de datos y evaluación; los instrumentos de investigación fueron: Hoja de análisis y cálculo, hoja de datos y pruebas de laboratorio, concluyendo que el nivel de eutrofización de la laguna El Sauce es de eutrófico a hipertrófico, los principales factores causales son residuos generados por la actividad ganadera, vertimiento directo de las aguas residuales domésticas, la disposición de los residuos sólidos hacia la laguna, contaminación de agroquímicos de cultivos de arroz aledaños y creciente actividad turística. (Valles, 2017, pp. 2-12)

Por otra parte, el Ecuador tiene una gran variedad de lagunas de alta montaña de las cuales existen muy pocos estudios limnológicos que permitan conocer cómo se ven afectadas sus

características físicas, químicas y biológicas ya sea por actividades antrópicas o naturales.

En este sentido Mayra Toapanda a través de su tesis: “Determinación del estado trófico de la laguna de Yambo a través de la cuantificación de clorofila a” permitió obtener información actual de la calidad del agua de dicha laguna. El proyecto de investigación se realizó en la laguna de Yambo ubicada en el Cantón Salcedo, Provincia de Cotopaxi. Donde se recolectaron 5 muestras en diferentes estaciones de muestreo y se midió la concentración de clorofila a, mediante la aplicación del método espectrofotométrico *Standard Methods 10200 H* aprobado por la Asociación Americana de Salud Pública, para lo cual se llevó a cabo dos campañas de muestreo aplicando el protocolo de la NTE INEN 2176:2013, “Agua, calidad del agua, técnicas y muestreo”, además se aplicó el respectivo procedimiento de conservación y transporte de muestras detallada en la INEN NTE INEN 2169:2013, “Agua, calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras”. Con los datos obtenidos se calculó el Índice del estado trófico (TSI) de Carlson modificado por Aisaki 1981, obteniendo como resultado 73,61 categorizando a la laguna como eutrófica. Además, los parámetros medidos “in situ” dieron resultados de 8,90 de pH, 7,19 (mg/L) de oxígeno disuelto, 2220 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) de conductividad y 18,5 ( $^{\circ}\text{C}$ ) de temperatura. Concluyendo que dichos valores adjuntos con el Índice de Carlson ratifican que el agua de la laguna se encuentra en estado eutrófico, por ende, esta condición no permite la proliferación adecuada de especies acuáticas. (Toapanta, 2017, pp. 13-37)

Una investigación más reciente corresponde a Glenda Aguilar en el año 2020, en su trabajo de titulación donde busca evaluar la calidad del agua mediante la cuantificación de clorofila “A” de la laguna Busa que se encuentra ubicada en San Fernando, provincia del Azuay, para lo cual empleó el Índice de Carlson (1997) modificado por Aisaki *et al* (1981). Las muestras de agua se obtuvieron en dos salidas de campo en los meses de enero y febrero, las mismas fueron analizadas en los laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana, al comprobar los resultados con lo que se establece en la normativa TULSMA se concluye que la Laguna Busa está dentro de los rangos permisibles de los parámetros tales como pH,  $\text{DBO}_5$ , conductividad eléctrica y temperatura, sin embargo, se encuentra en un estado eutrófico. (Aguilar, 2020, pp. 2-6)

El Parque Nacional Llanganates se localiza en la zona central del territorio ecuatoriano, en las provincias de Cotopaxi, Tungurahua, Napo y Pastaza. Cuenta con humedales altoandinos característicos del Complejo Llanganati son las lagunas, ciénegas, turberas y pantanos localizados en amplias planicies estacionalmente inundables como la de las lagunas de Anteojos, Chaloacocha, Illos y la Cocha de Mulatos en el sector noroccidental del Parque Nacional Llanganates. La fuente de alimentación de estas lagunas es la escorrentía procedente de las ciénegas, turberas y pantanos de los cerros que las rodean en el lado occidental y algunas pocas elevaciones al interior de la planicie. Las lagunas están interconectadas entre sí y están rodeadas por pantanos y turberas, los cuales aumentan el área de la inundación de las lagunas durante las

épocas de lluvia. En este sector se identifican algunos desagüaderos que drenan a quebradas o ríos que finalmente desembocan en los ríos de la cuenca amazónica.

Actualmente en el Sistema Lacustre Antojos zona de Pantzarumi no presenta estudios relacionados al campo limnológico de su estado trófico.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Evaluar el estado trófico en el sistema lacustre Antejos zona de Pantzarumi del Parque Nacional Llanganates.

### **Objetivos Específicos**

- Medir la concentración de clorofila “a” de las muestras recolectadas mediante un análisis espectrofotométrico.
- Calcular el estado trófico del sistema lacustre antejos mediante el uso del índice de Carlson 1997 modificado por Aizaki 1981.
- Realizar el análisis estadístico de correlación entre los parámetros fisicoquímicos y el valor de clorofila “a”.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. Limnología

##### *1.1.1. Definición*

En 1922, el primer Congreso Internacional de Limnología realizado en la ciudad Kiel de Alemania define la limnología como “el estudio ecológico de todas las masas de agua continentales” sin importar su origen, dimensión o salinidad. Incluyendo los estuarios, cuyo estudio es compartido por los oceanógrafos (Roldan & Ramírez, 2008, p. 3).

En términos generales, la limnología es el estudio de las relaciones funcionales y de productividad de las comunidades de agua dulce, así también de la manera cómo las afecta el ambiente físico, químico y biológico (Wetzel, 2001, p. 4).

##### *1.1.2. El agua*

La Real Academia Española menciona que el agua es una sustancia cuyas moléculas están formadas por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno. Se caracteriza por ser líquida, inodora, insípida e incolora. Es el constituyente más abundante de la superficie terrestre y, más o menos puro, forma la lluvia, las fuentes, los ríos, los lagos, las lagunas y los mares; es un componente de todos los organismos vivos y aparece en compuestos naturales (Guerrero, 2010, p. 13).

En el agua se originó la vida y de ella sigue dependiendo, pues esta es fundamental para la subsistencia de todo tipo de vida en nuestro planeta, por que cubre el 71% de la superficie de la tierra. Todo proceso metabólico ocurre con su acción ya sea directa o indirecta y es medio natural para muchas formas de vida. La interacción entre el agua y la atmósfera constituye el principal factor determinante del clima (Roldan & Ramírez, 2008, p. 15).

##### *1.1.1.1. Importancia del agua*

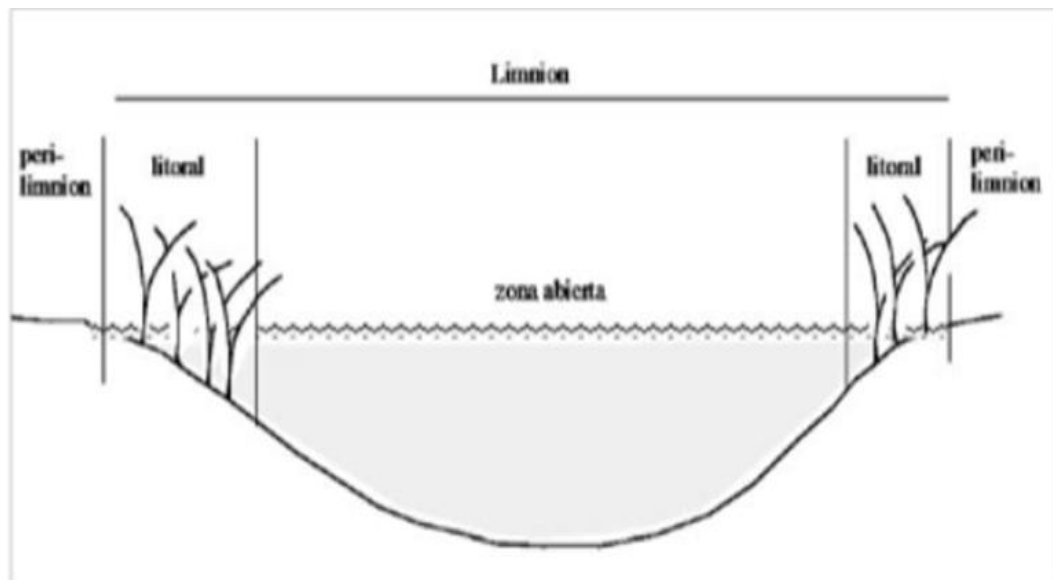
De la cantidad total del líquido vital disponible en el planeta aproximadamente el 3% es agua dulce, pero solo el 0,3 % se encuentra en forma de agua líquida superficial (Duke, 2014, p. 13) y de esta pequeña cantidad, según Margalet el 90 % se acopia en los lagos y lagunas; por lo cual son elementos fundamentales para la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad del planeta. Sin embargo, debido a que los lagos son sumideros de varias sustancias se encuentran entre los

ecosistemas acuáticos más frágiles. Los lagos y lagunas pueden contaminarse debido a procesos naturales o por actividades antrópicas que alteran el equilibrio del ecosistema (López & Madroño, 2015, p. 22).

### 1.1.3. Sistemas acuáticos Lénticos

Los sistemas lénticos incluyen todas las aguas que no presentan corriente continua, como los lagos, lagunas, charcas, humedales y pantanos. En dichos sistemas, según su tamaño puede haber corrientes de agua tales como olas o mareas (Murialdo, 2016, p. 41).

Se caracterizan por presentar una estructuración vertical, la separación entre epilimnión o capa superior del lago e hipolimnion o capa inferior se debe a la formación entre ambas de una zona llamada termoclina, en esta capa con la profundidad la temperatura del agua cambia rápidamente. Esto conlleva una estratificación de la masa de agua (Murialdo, 2016, p. 41).



**Figura 1-1.** Zonación de los lagos.

Fuente: (Murialdo, 2016, p. 41).

En estos sistemas se pueden diferenciar zonas desde el borde inundable (cuando los cuerpos de agua crecen) hasta el centro de aguas abiertas. Estas zonas reciben diferentes nombres:

- el perilimnión que pertenece a la zona pantanosa, inundable, que rodea el lago;
- el litoral, zona transcendental para la vida y en el que crecen plantas arraigadas (telmatófitos); y
- la zona abierta, por lo general desprovista de vegetación flotante y, según la profundidad del cuerpo de agua incluso puede faltar la vegetación submersa (Murialdo, 2016, p. 41).



### *1.1.3.1. Origen de los lagos y lagunas*

Los lagos y lagunas pertenecen a la categoría de aguas quietas o lénticas. Los lagos se han formado generalmente en las altas montañas debido a deshielos o movimientos tectónicos; en cambio, por proceso de inundación de llanuras o por acción conjunta entre el mar y los ríos en las partes bajas de los últimos se han formado las lagunas (Roldán & Ramírez, 2008, p. 50).

Un lago, laguna o ciénega son sistemas abiertos y continuos debido que interactúan constantemente con su entorno. Sin embargo, un lago se define como una extensión de agua rodeada de tierra por todas partes, y una laguna es algo semejante pero más pequeño (Roldán & Ramírez, 2008, p. 49).

Para Raasvelt y Tomic (1958) citados en (Roldán & Ramírez, 2008, p. 49) un lago es un cuerpo de agua de profundidades considerables; en cambio, una laguna se designa a los cuerpos de agua poco profundos.

## **1.2. Eutrofización y el estado trófico**

### *1.2.1. Definición*

La Eutrofización hace referencia al abastecimiento excesivo de nutrientes, especialmente compuestos de nitrógeno y fósforo, los mismos que provocan el crecimiento acelerado de algas y macrófitos (Lanza et al., 1999, p. 127).

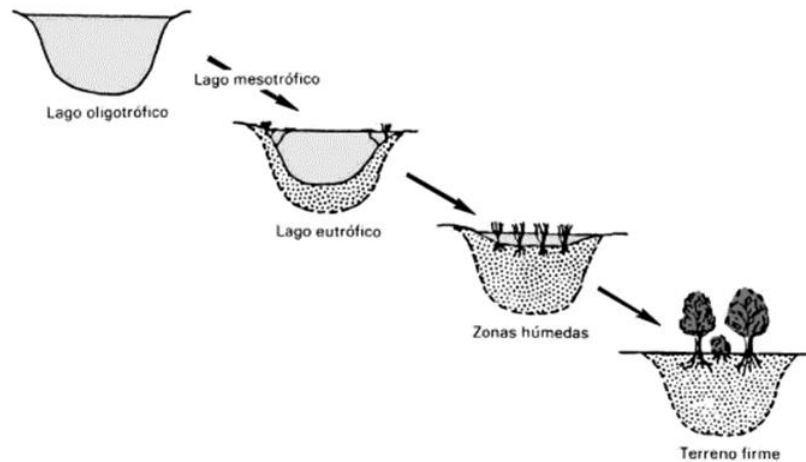
El término eutrofización deriva de la palabra griega que significa “bien nutrido”, describe un estado de los lagos o lagunas que implica el aumento en exceso de las algas. El crecimiento en exceso bajo condiciones eutróficas puede casualmente llevar a un severo deterioro del cuerpo de agua. Sin embargo, para mantener la cadena trófica de un ecosistema acuático es necesaria una cierta producción de las algas (Manahan, 2006, p. 159).

El estado trófico de los lagos y lagunas es un concepto primordial en la ordenación de los mismos, es decir, es la relación entre el estado de nutrientes y el crecimiento de la materia orgánica de un lago (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1997, p. 41).

### *1.2.2. Proceso de la eutrofización*

En un sistema acuoso el primer paso para la eutrofización es el ingreso de nutrientes para las especies vegetales ya sea por escorrentía de una cuenca o alcantarillado. El cuerpo de agua rico en nutrientes produce entonces gran cantidad de biomasa de plantas por fotosíntesis, junto con una cantidad menor de biomasa animal. La biomasa muerta se acumula en el fondo del lago, donde se descompone parcialmente, reciclando nutrientes como CO<sub>2</sub>, fósforo, nitrógeno y

potasio. Si el lago no es muy profundo, las plantas con raíces en el fondo comienzan a crecer, acelerando la acumulación de material sólido en el embalse. Eventualmente, se forma un pantano que finalmente se llena para producir una pradera o un bosque, perdiéndose el lago (Manahan, 2006, p. 159).



**Figura 2-1.** Proceso de la Eutrofización en la evolución ecológica

Fuente: (Ramalho, 2021, p. 23)

### 1.2.3. Causas de la eutrofización

La eutrofización generalmente es un fenómeno natural consecuencia de la evolución del ecosistema, que ocurre en cualquier sistema acuático continental o de aguas costeros (Roldán & Ramírez, 2008, p. 139); a escala geológica puede durar periodos de tiempo muy elevados y termina con la desaparición del lago (Camacho, 2001, p. 20). Dicho fenómeno es por ejemplo, responsable de enormes depósitos de carbón y de turba (Manahan, 2006, p. 159). Sin embargo, este proceso se ve acelerado por la actividad humana como la agricultura, vertimientos industriales y domésticos, dicho proceso ocasiona:

- Acrecentamiento de la producción de biomasa;
  - Reducción de la variedad de las especies;
  - Fuertes fluctuaciones de oxígeno disuelto; CO<sub>2</sub> Y pH;
  - Alta demanda bioquímica de oxígeno en el fondo;
  - Aparición de densas masas de algas y vegetación acuática que impiden el paso de la luz
- (Roldán & Ramírez, 2008, p. 139).

### 1.2.4. Efectos del proceso de eutrofización

Cuando los ecosistemas acuáticos ya están eutrofizados, se inicia a alterar la biota y la diversidad biológica, provocando una propagación excesiva de algas, cianobacterias y

macrófitos. El desarrollo de estos organismos provoca opacidad, lo que imposibilita que la luz penetre hasta zonas profundas de la columna de agua (Moreno et al., 2010, p. 28).

Las consecuencias directas son que en lugares cada vez menos profundos de la columna de agua se imposibilita llevar a cabo la fotosíntesis, lo que provoca la depreciación en la producción de oxígeno libre; así también, aumenta la actividad metabólica consumidora de oxígeno de los organismos descomponedores, estos empiezan a recibir exuberantes de materia orgánica generados en la superficie (Moreno et al., 2010, p. 28).

Por otro lado, el fondo del ecosistema acuático se va convirtiendo de manera progresiva en un ambiente anaerobio, lo que como consecuencia provoca el aumento en la concentración de gases como anhídrido sulfuroso (H<sub>2</sub>S), metano (CH<sub>4</sub>) y anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>), lo que hace poco factible la vida de la mayoría de las especies que forman dicho ecosistema. Por lo tanto, se da una masiva mortandad de biota en general, las sustancias tóxicas se bioacumulan, la sedimentación de los cuerpos de agua aumenta, reduciendo la vida útil, incrementando la aparición de organismos patógenos y vectores de enfermedad (Moreno et al., 2010, p. 28).

#### ***1.2.5. Niveles de Eutrofización***

Los niveles de eutrofización van desde el nivel más bajo de productividad biológica hasta el más alto, es decir, las clasificaciones del estado trófico de ecosistemas acuáticos se fundan en divisiones discretas y arbitrarias. Por ello la escala del índice de Karydis et al. (1983) propone la existencia de tres grandes estados tróficos que son: oligotrófico, mesotrófico y eutrófico (López et al., 2003, p. 196).

##### ***1.2.5.1. Oligotrófico***

Es el estado característico de los cuerpos de agua con un contenido bajo de nutrientes, presentan aguas claras, transparentes, con buen índice de penetración lumínica (Vásquez et al. 2012, p. 114) que generalmente generan una mayor diversidad en las comunidades de plantas y animales, así también existe un bajo nivel de productividad primaria y de biomasa. Lo que hace que tenga una buena calidad del agua para distintos usos (Vásquez et al., 2006, p. 62).

##### ***1.2.5.2. Mesotrófico***

Se define como el trófico intermedio de las aguas, se relaciona a que tiene concentraciones moderadas de nutrientes, lo que contribuye a un crecimiento adecuado fitoplanctónico (López et al., 2003, p. 196).

### 1.2.5.3. Eutrófico

Hace referencia al enriquecimiento de nutrientes, es decir, líquido con abundancia de nitrógeno y fósforo, mismos que estimula el crecimiento de algas y otros vegetales (Sánchez, 2007, p. 24) o materia orgánica. Está asociado a la alta presencia de fitoplancton nocivo concentrado en la superficie, lo que impide el paso de la luz y genera hipoxia (López et al., 2003, p. 196) además, se caracterizan por que sus aguas son turbias y la ausencia de macrófitos (Ramos et al., 2004, p. 3).

## 1.3. Métodos para la evaluación del Estado Trófico

Para evaluar el estado trófico de un ecosistema acuático y conocer su calidad se utilizan indicadores matemáticos, denominados índices de estado trófico (López & Madroño, 2015, p. 26).

Se consideran varios métodos para establecer el estado trófico de un sistema léntico que van desde la inspección visual hasta técnicas avanzadas como, por ejemplo, el método isotópico de marcaje con isotopos radiactivos, además de los sistemas de información satelital. Cada uno de los métodos son muy significativos como funcionales (Moreno et al., 2010, p. 28).

A continuación se presentan los métodos usuales para la evaluación del estado trófico de un cuerpo de agua de acuerdo a (Moreno et al., 2010, p. 28).

- **Análisis de los macrófitos y del fitoplancton:** Para su caracterización se recolectan muestras de macrófitos flotantes y sumergidos, se estima la cobertura referente en la superficie de cada área de muestreo, así como el índice de diversidad de Shannon-Wiener. Para el fitoplancton se toman muestras de agua, se fijan empleando una solución de lugol o alcohol etílico, posteriormente se realiza el análisis cualitativo y cuantitativo con la ayuda de un microscopio compuesto. Finalmente se estima la abundancia relativa porcentual y el índice de diversidad de Shannon-Wiener (Moreno et al., 2010, p. 28).
- **Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE):** En varios estudios sobre la eutrofización, realizado por la OCDE en 18 países, se pudo identificar en los ecosistemas lénticos las relaciones entre los diferentes factores y la condición trófica, que pueden ir desde oligotróficos hasta hipertróficos (Vásquez et al., 2012, p. 121).
- **Índice de eutrofización por nutrientes:** Los diferentes niveles tróficos para aguas costeras se establecen en base a los compuestos inorgánicos de nitrógeno, fósforo y silicio, dicho índice logra diferenciar los cambios en los niveles de nutrientes, siendo sólo sensible para determinadas concentraciones de nutrientes y no resulta apropiado para aguas cálidas. Sin embargo, se ha empleado para establecer el grado de eutrofización de lagunas costeras, estuarios, etc. (F.Montalvo et al., 2014, p. 1).
- **Índice del Estado trófico TRIX:** Desarrollado por Vollenweider et al. (1998) es un índice multivariado mediante la fórmula: (Gómez et al., 2017, pp. 80-81)

$$TRIX = [\log(Cl a \times |\%Od| \times NID \times PRS) + K] / m$$

Donde cada uno de los componentes representa un estado trófico variable:

Cl a = concentración de clorofila a mg/m<sup>3</sup>.

|\%Od| = valor absoluto de la desviación del por ciento de saturación de oxígeno disuelto.

NID = nitrógeno inorgánico disuelto

PRS= fósforo reactivo soluble.

Las constantes K = 1.5 y m = 1.2 son valores de escala introducidos para ajustar el valor límite más bajo del índice y la extensión de la escala trófica relacionada de 0 a 10 unidades TRIX (Gómez et al., 2017, p. 81).

### 1.3.1. Índice del Estado Trófico de Carlson o TSI

En 1997 el Dr. Robert Carlson propuso el índice del estado trófico, el mismo que es propio para medir el grado de eutrofia en aguas dulces lénticas, definiendo cinco estados generales: ultra oligotrófico, oligotrófico, mesotróficas, eutróficos o hipertrófico, sin embargo, la EPA 1991 propuso como un análisis de rutina en el monitoreo de la calidad de lagos realizado por voluntarios (Lanza, 2000, p. 30). Dicho índice se basa en medir la transparencia a través de un disco Secchi, la concentración de clorofila “a” y el fósforo total (Guillén, 2015, p. 187) variables justificables en la ecología acuática.

**Tabla 1-1.** Criterios de aplicación del Índice del Estado Trófico de Carlson.

Valor del índice	Categoría trófica
<30	Ultraoligotrófico
30-44	Oligotrófico
44-54	Mesotrófico
54-74	Eutrófico
>74	Hipereutrófico

**Fuente:** (López & Madroñero, 2015, p. 27).

**Realizado por:** Calderón, Susana, 2022.

Dicho índice varía entre 0 y 100, es decir, de oligotrófico a hipereutrófico, (Gómez et al., 2017, p. 80) el aumento de 10 unidades en la escala representa el doble de la biomasa de algas, por lo cual la clorofila “a” y el fósforo total en general se correlacionan muy significativamente con los valores del disco de Secchi.(Moreno et al., 2010, p. 28)

Posterior al trabajo de Carlson, en 1981 Alzaki propuso una modificación a dicho índice, en donde incluyó coeficientes específicos para cada uno de los elementos que es parte de la composición del estado trófico, se cuantifica la biomasa a partir de la medición de la clorofila tipo “a”. (López & Madroñero, 2015, p. 27)

Carlson desarrolló las siguientes fórmulas:

$$IET(Disco\ Secchi) = 10 \left( 6 - \frac{\ln\ disco\ Secchi}{\ln 2} \right)$$

$$IET(clorofila\ "a") = 10 \left( 6 - \frac{2.04 - 0.68 \ln\ clorofila\ "a"}{\ln 2} \right)$$

$$IET(TP) = 10 \left( 6 - \ln \frac{48}{\frac{TP}{\ln 2}} \right)$$

#### 1.4. Parámetros fisicoquímicos y biológicos

Los parámetros para evaluar la eutrofización se fundamentan en las concentraciones de los nutrientes limitantes, como la clorofila “a”, la transparencia del cuerpo hídrico, la saturación de oxígeno, entre otros. (García, 2016, párr. 4)

##### 1.4.1. Clorofila

Clorofila “del griego *cloros* = verde, y *phillon* = hoja. Pigmento de color verde que existe en las hojas y demás partes verdes de los vegetales” (Fuentes, 2008, p. 211).

Las clorofilas son un conjunto de pigmentos fotosintéticos que se encuentran en los cloroplastos de las células eucariotas, y en las procariontas en invaginaciones de las membranas. Existen cuatro tipos de clorofila “a”, “b”, “c” y “d”, cada una es característica de un grupo taxonómico. La clorofila “a” está presente en todos los grupos vegetales, la clorofila “b” es propia de algas verdes, briófitos, plantas superiores y algunos protistas provistos de algas verdes endosimbiontes y la clorofila “c” y “d” solo en algunas algas (Esteras & Sanchis, 2022, p. 111).

Uno de los parámetros para determinar el nivel de eutrofización en un cuerpo de agua es la concentración de clorofila “a”, porque es el principal pigmento fotosintético presente en las algas. La misma también es un indicador del grado de contaminación de los ecosistemas acuáticos y un importante índice del estado fisiológico del fitoplancton (Rivera et al., 2005, p. 96).

### **1.4.2. Conductividad**

Según *American Public Health Association; American Water Works Association*, 1992 citado en (Chacón, 2016, p. 22). “La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Dicha capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura de medición.”

Para facilitar el entendimiento, dimensionar y evaluar un proceso de eutrofización, se considera como variable fundamental la conductividad del agua, ya que esta se relaciona con la concentración de Sólidos Disueltos Totales, mismos que resultan de la actividad iónica, dicha valoración se complementará y deberá estar en correspondencia con la concentración de los iones resultantes del ciclo de degradación del nitrógeno y fósforo, cabe recalcar que dicha variable debe utilizarse únicamente para la evaluación de eutrofización en los ecosistemas acuáticos epicontinentales y no es aplicable para los sistemas estuarinos (Vásquez et al., 2012, pp. 118-119).

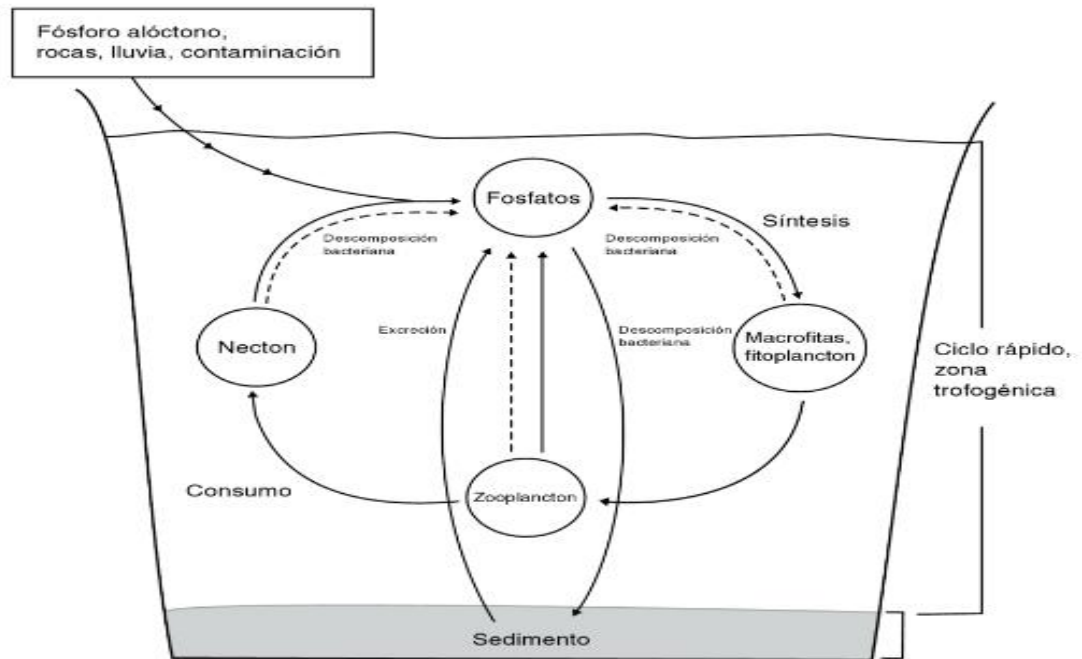
### **1.4.3. Fosfatos**

El fósforo “es un elemento biogénico que desempeña el papel más importante en el metabolismo biológico, es el macronutriente menos abundante y al mismo tiempo es el factor más limitante en la productividad primaria” (Roldán & Ramírez 2008, p. 249).

El fósforo es un elemento fundamental para el crecimiento tanto de plantas como de animales, sin embargo, la presencia en exceso de compuestos a base de fósforo incita al desarrollo de algas, las mismas que perjudican de manera notable la calidad de los cuerpos hídricos, ya que el fósforo es un elemento limitante para el desarrollo de estas formas de vida, pueden ser el origen a una secuencia de otros fenómenos (Menéndez & Pérez, 2007, p. 19).

Los fosfatos se forman inicialmente del fósforo orgánico disuelto, los mismos que estimulan el crecimiento del plancton y de plantas acuáticas, este mayor crecimiento en el cuerpo de agua puede llegar a saturarla y utilizar grandes cantidades de oxígeno, por lo cual dicho elemento presente en un lago se lo considera como un limitante por excelencia (Sánchez, 2007, p. 127).

La disponibilidad de los fosfatos en el agua aumenta si se encuentra en pH básicos y por el contrario disminuye en pH ácidos. Lo que por una parte explica porque los lagos con pH básicos son más productivo que aquellos que son ácidos (Roldán & Ramírez, 2008, p. 249).



**Figura 3-1.** Representación esquemática de los principales pasos del ciclo del fósforo en un lago.

Fuente: (Roldán & Ramírez 2008, p. 251).

#### 1.4.4. Nitratos

El nitrógeno es un componente esencial de la materia orgánica que interviene en la elaboración de los tejidos celulares de las plantas y de las algas (Teton, 2003, p. 123). Gracias a los agentes oxidantes o reductores presentes en el agua, el nitrógeno se convierte en subproductos como los nitratos, los mismos que son consumidos por la vegetación y el fitoplancton (Teton, 2003, p. 123).

El nitrógeno es uno de los macronutrientes más abundantes e importantes para el crecimiento de plantas acuáticas y algas. Muchas sustancias que llegan a las columnas de agua contienen nitrógeno y actúan como nutrientes para la vida vegetal (Sánchez, 2007, p. 127).

La forma más estable del nitrógeno en el agua es como nitrato (Villarreal, 2000, p. 34), las reacciones de los mismos en el agua dulce pueden causar el agotamiento del oxígeno. En dicho caso, los organismos acuáticos aerobios morirán (Sánchez, 2007, p. 127).

Según (Moreno, 2002, p. 93) la presencia del nitrato en el agua en concentraciones elevadas se comporta como un contaminante que puede producir fenómenos de eutrofización.

#### 1.4.5. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto (OD) es fundamental para la respiración de todas las formas de vida aerobia, este es levemente soluble en el agua y la cantidad real que puede estar presente está determinada



por varios factores como: la solubilidad del gas, la presión parcial del gas en la atmósfera, la temperatura y la pureza del agua. Así también, en cuerpos hídricos naturales las concentraciones dependen de las características fisicoquímicas y la actividad bioquímica de los organismos presentes en el agua. Por lo cual, en el control de la contaminación de las aguas naturales, realizar el análisis del oxígeno disuelto es básico (Chacón,2016, pp. 88-89).

Diversos autores indican que uno de los parámetros más importantes para definir el estado de un cuerpo de agua la cantidad de oxígeno disuelto (Sánchez, 2007, p. 123).

(Domènech & Peral, 2015, p. 186) mencionan que en un ecosistema acuático una barrera sustancial ante la contaminación está formada por el oxígeno disuelto, debido a que gracias a este se pueden eliminar los contaminantes del medio porque ocurren fenómenos de degradación aeróbica. No obstante, dichos procesos requieren del consumo de oxígeno, de manera que si la contaminación es intensa los niveles de oxígeno pueden disminuir y por ende afecta negativamente a la vida de los organismos acuáticos. Es decir, que si la disponibilidad de oxígeno disuelto es baja limita la capacidad auto purificadora de los cuerpos hídricos (Chacón, 2016, p. 89).

#### **1.4.6. *Potencial de hidrógeno***

El Potencial de hidrógeno o pH expresa la concentración o actividad del ion hidrógeno. Se emplea generalmente para expresar la intensidad de la condición ácida o básica de una solución, recalando que esto no quiera decir que mida la acidez o alcalinidad total (Chacón, 2016, p. 52).

Los valores del pH van entre 1-14, siendo 7 el valor que muestra la neutralidad. Los valores menores de 7 indican un aumento progresivo de la acidez, y valores mayores de 7, un aumento de la basicidad (Figueroa, 2010, p. 117).

#### **1.4.7. *Temperatura***

“La temperatura es una magnitud física que indica qué tan caliente o fría esta una sustancia y se mide con un termómetro” (Pérez,2016, p. 320). La temperatura ya sea de un sistema o cuerpo es una propiedad intensiva, debido a que depende del ambiente en el que se encuentra y no de la cantidad de materia ni de su naturaleza (Pérez, 2016, p. 322).

Para medir la temperatura se puede usar el Sistema Internacional, en dos escalas, Celsius y Kelvin. En la primera, las unidades que se usan son los grados Celsius (C), y en la escala Kelvin conocida también como temperatura absoluta, son los kelvins (K) (Lara et al., 2015, p. 88).

Diversos factores perturban directamente la temperatura del agua, tales como: la ubicación geográfica del cuerpo hídrico y la estación del año. Esta a su vez, afecta directamente a muchos de los procesos biológicos y fisicoquímicos, incluyendo a los nutrientes del agua. Especialmente

a la solubilidad de muchos elementos, como el oxígeno disuelto. Lo que quiere decir que a mayor temperatura menor solubilidad del oxígeno disuelto (Sánchez, 2007, p. 123).

La temperatura es un parámetro que también afecta al sabor del agua. El agua para consumo debe tener una temperatura comprendida entre 10 y 14 °C, ya que a partir de 15 °C, el agua pierde su sabor refrescante (Domènech & Peral, 2015, p. 22).

#### **1.4.8. Turbiedad**

La turbiedad “es una expresión de la propiedad óptica que causa la dispersión y la absorción de la luz en lugar de su transmisión, sin cambio en la dirección o nivel de flujo” (Chacón, 2016, p. 21).

Según Chapman y Kimstach, 1992 citados en (Sánchez, 2007, p. 126) mencionan que las partículas en suspensión en el agua dispersan el paso de la luz, provocando una reducción de la actividad fotosintética en plantas y algas, lo que trae como consecuencia que la concentración de oxígeno baje y el cuerpo hídrico pierda transparencia. Entonces, la turbidez o turbiedad mide en unidades nefelométricas de turbidez (NTU) el grado de la transparencia que posee un cuerpo de agua.

Dicha turbidez puede aumentar hasta niveles peligrosos para algunos organismos debido a la presencia de algas, sedimentos en suspensión como: arcillas, limos, partículas de sílice, entre otras y la materia orgánica en el agua.

Cabe recalcar que la turbidez del agua de un lago afecta inmediatamente a su valor ecológico, económico y recreativo (Ramos, 2004, p. 3).

### **1.5. Parque Nacional Llanganates**

Según Uzcátegui, 1992 citado en (Vázquez & Larrea, 2000, p. 9) desde el siglo XVII los antiguos habitantes de la Sierra llamaban a los Llanganates, *Yúrac Llanganati* que significa “cerro hermoso”, los mismos que fueron usados como lugares sagrados por los indígenas de la comarca de Rumiñahui, los habitantes de Píllaro, y después de la ocupación Inca se convirtieron en un importantes centro ceremonial llamado también “*huaca*”.

Una de las 26 áreas del Sistema Nacional de áreas Protegidas es el Parque Nacional Llanganates (Vázquez et al., 2000, p. 1) declarado como tal el 18 de enero de 1996 mediante la Resolución No. 00002 y el 19 de marzo del mismo año se publicó el Registro Oficial No. 907. (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2015, párr. 1)

Se encuentra ubicado en la zona central del territorio ecuatoriano (Coloma, 2007, p. 157) entre las provincias de Tungurahua, Cotopaxi, Napo y Pastaza, con una extensión de 219.931,81 ha. Gracias a sus numerosos ecosistemas altoandinos, gran rango altitudinal y aislamiento de la cordillera de los Andes, por lo que se le considera de gran importancia y ha sido reconocido a

nivel nacional e internacional. En el 2005 BirdLife International lo reconoció como IBA ya que se han registrado en la zona más de 400 especies de aves y en el año 2008 ha sido reconocida como Sitio RAMSAR la zona altoandina del parque (BirdLife International, y Aves y Conservación, 2014, p. 7).

Según Cañar et al. 1998 citado en (Coloma, 2007, p. 158) la topografía es sumamente irregular, presenta pendientes fuertes casi verticales, donde surgen enormes paredes rocosas, lo que ha favorecido a crear el aire mágico que se respira en el Parque. Los bosques de estribaciones, los ríos que surgen y avanzan hacia el oriente formando el Pastaza y el Napo y sus lagunas son elementos propios de los altos Llanganates.

### ***1.5.1. Laguna de Anteojos***

Las lagunas se hallan en el alto páramo de la Cordillera Oriental formando una parte importante en el Parque Nacional Llanganates, en el sector que encuentra por el cantón Salcedo está formado por aproximadamente 50 lagunas, entre las cuales por su singular forma sobresalen las llamadas Lagunas de Anteojos, las mismas que están unidas por un pequeño riachuelo (Mosquera, 2010, pp. 27-28). Se prevé que el nombre de Anteojos se debe a que una pequeña prolongación corta su parte central, lo que da la forma similar a unos anteojos, la misma tiene aproximadamente 1.100 metros de largo por 290 metros de ancho (Proaño, 2018, pp. 23-24).

Por el sector cruza la carretera que se dirige a la región Amazónica: Salcedo – Tena, dicha carretera hace mucho tiempo atrás fue planeada con el objeto de unir la Sierra con el Oriente, sin embargo, hasta la actualidad sigue inconclusa. Dicha laguna se encuentra ubicada a 32 kilómetros, es decir, a una hora de Salcedo, en el recorrido se puede encontrar ganado vacuno bravo, que pertenecen a las comunas de Sacha y Cumbijín cercanas al área protegida (Proaño, 2018, p. 23).

La laguna de Anteojos tiene una altura de 3950 metros, la temperatura oscila de 5°C a 23°C, con una precipitación pluviométrica (cm<sup>3</sup>) de 12mm-105mm (Mosquera, 2010, p. 27). La vegetación que se puede encontrar alrededor de la laguna es arbustiva tales como: romerillo de páramo, chuquiragua, puliza, pisag, mortíño, orejas de conejo, cacho de venado, amor sachá, genciana, cashpachina, achicoria amarilla, achupalla; y herbácea como las diferentes especies de almohadilla y pajonal (Proaño, 2018, pp. 26-27).

El paraje está formado por una extensa zona de forestación con especies arborícolas diversas aclimatadas al sector, el suelo es húmedo, negro y profundo, modificando el clima del sector (Mosquera, 2010, p. 27-28).

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Tipo de Investigación

El presente trabajo de investigación se desarrolló en la Laguna de Antejos zona de Patzarumi del Parque Nacional Llanganates, es de tipo no experimental, ya que no se manipulo ninguna variable. También es de carácter inductivo, ya que se basó en la observación de fenómenos que posteriormente fueron analizados principalmente el nivel o estado de una o diversas variables en un momento dado.

#### 2.2. Localización del Estudio

El Parque Nacional Llanganates se encuentra ubicado en la zona central del territorio ecuatoriano, en las provincias de Cotopaxi, Tungurahua, Napo y Pastaza localizado a 43 kilómetros al nororiente de la ciudad de Ambato (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica 2015, párr. 1). La zona de Pantzarumi se encuentra a 30 km desde la ciudad de Salcedo provincia de Cotopaxi cruzando la parroquia San Miguel. Presenta una altitud aproximadamente de 1200 msnm hasta los 4638 msnm y una precipitación anual que varía entre 1000-4000 mm.

El sistema Lacustre Antejos se halla en el alto páramo de la Cordillera Oriental, en el kilómetro 32 de la vía Salcedo-Tena.

#### 2.3. Etapas de la investigación

##### 2.3.1. Muestreo

###### 2.3.1.1. Ubicación de los puntos de muestreo

Se realizó una salida de campo previa, al Sistema Lacustre Antejos para ubicar los puntos de muestreo. En las dos lagunas se realizó un muestreo compuesto, donde se seleccionó a “criterio” 4 puntos a dos profundidades (superficial y a dos metros), en donde se recolectó un volumen parcial de agua con ayuda de una botella hidrográfica Van Dorn.

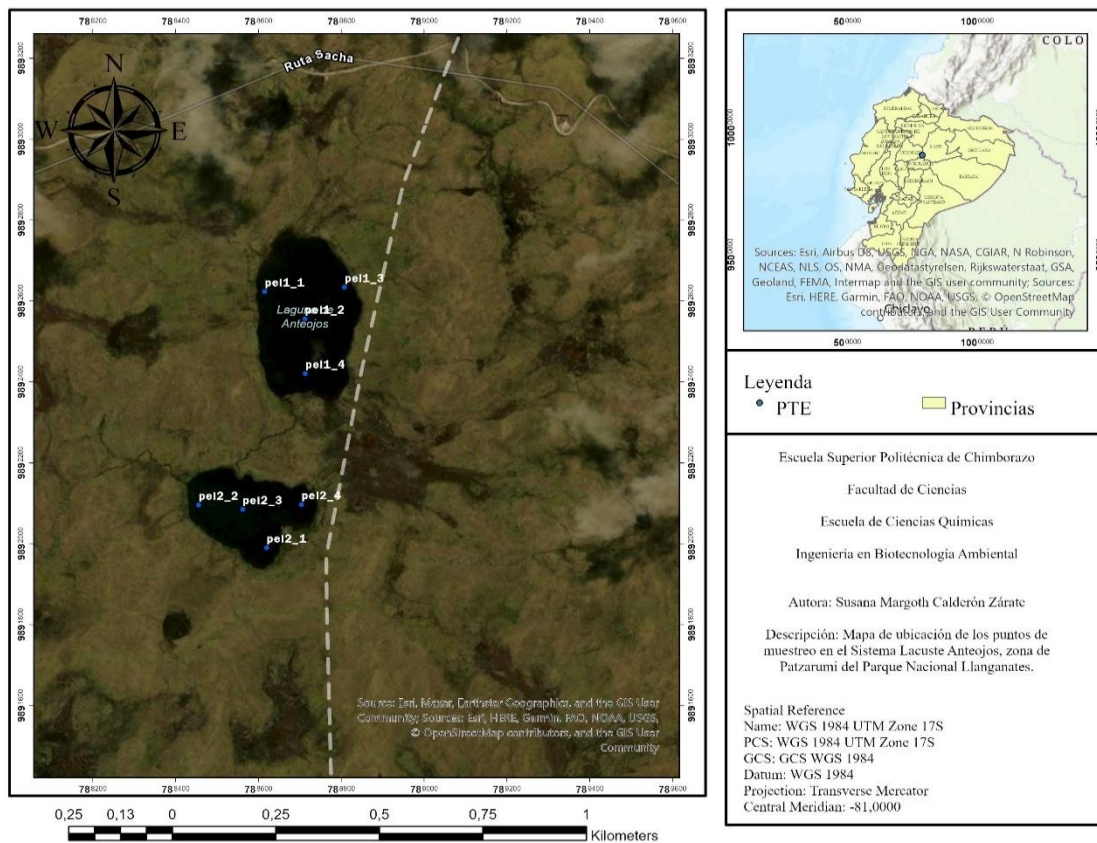
La ubicación de los distintos puntos de muestreo y su respectiva descripción se presentan en la siguiente tabla, considerando que a cada punto de muestreo se le designo un código, por ejemplo, el pell\_1 hace referencia al punto de eutrofización de la laguna de Antejos 1 en el

primer punto, así como el pel2\_1 significa punto de eutrofización de la laguna de Antejos 2 en el primer punto.

**Tabla 1-2.** Ubicación de los puntos de muestreo de la Laguna de Antejos 1 y 2.

<b>Código de los puntos de muestreo</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Descripción de cada punto de muestreo</b>
<b>Laguna de Antejos 1</b>			
pel1_1	788615	9892623	Orilla derecha de la laguna, punto norte.
pel1_2	788808	9892634	Punto medio de la laguna.
pel1_3	788713	9892421	Orilla izquierda de la laguna, punto norte.
pel1_4	788712	9892555	Punto medio en la orilla sur.
<b>Laguna de Antejos 2</b>			
pel2_1	788620	9891990	Punto sur a la orilla de la laguna.
pel2_2	788456	9892095	Orilla derecha de la laguna en un punto norte.
pel2_3	788562	9892085	Punto medio de la laguna.
pel2_4	788704	9892097	Orilla izquierda de la laguna, punto norte.

**Realizado por:** Calderón, Susana, 2022.



**Figura 1-2.** Mapa de ubicación de los puntos de muestreo del Sistema Lacustre Anteojos del Parque Nacional Llanganates.

**Realizado por:** Calderón, Susana, 2022.

### 2.3.1.2. Recolección de las muestras

El muestreo se realizó en dos campañas, la primera en el día 10 de diciembre del 2021 de 10H00 a 14H30 que corresponde a la época lluviosa, donde se tomaron las muestras en 4 puntos de la Laguna de Anteojos 1 y la segunda se realizó el día 29 de enero del 2022 de 13H10 a 14H54 tomando las muestras en 4 puntos de la Laguna de Anteojos 2 y de 15H10 a 16H30 las muestras en 4 puntos de la Laguna de Anteojos 1.

El muestreo se llevó a cabo aplicando las normas (NTE INEN 2176, 2013, pp. 1-11) que corresponde a la calidad del agua, muestreo y técnicas de muestreo y las normas (NTE INEN 2169, 2013, pp. 1-7) lo que pertenece a agua, calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de las muestras.

El procedimiento para la recolección de las muestras tanto superficiales como a profundidad se describe a continuación:

- Para la toma de muestras y lectura de los parámetros fisicoquímicos “*in situ*” se utilizó como transporte un bote inflable con remos y motor eléctrico, con capacidad para cuatro personas.
- Para la recolección de las muestras se registró la ubicación exacta de cada punto de muestreo mediante el uso del GPS. Además, se empleó por cada punto muestreo 2 botellas

ámbar de 500ml, para evitar el paso de la luz y la incidencia de la misma sobre el contenido del envase; en la etiqueta del envase anotaron la fecha, hora, origen de las muestras, las condiciones bajo las que fueron recogidas y las coordenadas.

- En la laguna 1 y 2 en cada punto de muestreo se recolectó la muestra de agua a dos profundidades una superficial y a dos metros, a excepción del pel2\_4 de la laguna 2 que se realizó en la superficie y a 0,5 metros, debido a la presencia de elevada cantidad de algas y sedimentos. Para la toma de las muestras, previamente se lavó tres veces las botellas ámbar de 500ml con el agua de la laguna para evitar la presencia de otras sustancias que podrían contaminar la muestra.
- Para la recolección de la muestra superficial se empleó directamente la botella ámbar sobre el cuerpo hídrico y para la toma de muestra a dos metros se utilizó la botella hidrográfica Van Dorn, con capacidad de dos litros y cierre automático, la misma se sumergió con las tapas de los extremos abiertas a una profundidad de dos metros, ya alcanzada dicha profundidad se envió el “mensajero” para que cierre las tapas, y una vez cerradas se levantó la botella para trasvasar el agua a una botella ámbar de 500ml.
- Las botellas con las muestras debidamente etiquetadas se almacenaron en una hielera a aproximadamente 4°C para su preservación y posteriormente fueron transportadas al Laboratorio del Grupo de Investigación Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC) de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

### 2.3.1.3. Medición de los parámetros fisicoquímicos “*in situ*”.

Los parámetros fisicoquímicos que se midieron “*in situ*” fueron: la temperatura en °C, pH, oxígeno disuelto en mg/L y conductividad en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  empleando el medidor multiparámetro previamente calibrado.

Para lo cual se realizó el siguiente procedimiento:

- Antes de iniciar con la medición se procedió a lavar la sonda con agua destilada.
- Para los parámetros de pH, temperatura y conductividad se tomó una muestra de 50ml en un vaso plástico debidamente lavado por tres veces con el agua de la laguna.
- Se introdujo la sonda en el vaso por aproximadamente cinco minutos hasta estabilizar el valor medido.
- Para el oxígeno disuelto con la sonda previamente lavada con agua destilada, se colocó directamente en el agua de la laguna por aproximadamente cinco minutos.
- Los datos obtenidos de todos los parámetros medidos en los diferentes puntos de muestreo se anotaron en una libreta de campo.

Los límites permisibles y criterios con los cuales se comparó los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 2-2.** Criterios y límites permisibles de la calidad del agua.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Criterio</b>	<b>Límite</b>	<b>Referencia</b>
<b>Temperatura</b>	°C	Lagos y lagunas alta montaña en los pisos frío y de páramo.	12 a 15	(Roldán & Ramírez, 2008, p. 169)
<b>Potencial de Hidrógeno</b>		Calidad admisible para aguas de uso agrícola.	6 - 9	(TULSMA, 2015, p. 312)
		Calidad admisible para uso pecuario.	6 - 9	(TULSMA, 2015, p. 316)
		Calidad para aguas destinadas para fines recreativos.	6,5 – 8,5	(TULSMA, 2015, p. 319)
		Calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto secundario.		
		Calidad admisible para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces frías	6,5 - 9	(TULSMA, 2015, p. 302)
		Sistemas Lénticos	6,5 – 7,5	(Roldán & Ramírez, 2008, p. 137)
<b>Oxígeno Disuelto</b>	mg/L	Calidad admisible para uso pecuario	3	(TULSMA, 2015, p. 316)
		Calidad para aguas destinadas para fines recreativos.	No menor a 6	(TULSMA, 2015, p. 317)
		Calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto secundario.		(TULSMA, 2015, p. 319)
		Calidad admisible para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces frías.	No menor a 6	(TULSMA, 2015, p. 302)
<b>Conductividad</b>	μS/cm	Agua pura	< 280	Massol (2010) citado en (Oña & Tonato, 2017, p. 20)
		Poco Contaminada	280 – 430	
		Contaminada	430 – 600	
		Muy contaminada	600 – 860	



		Excesivamente contaminada	> 860	
--	--	---------------------------	-------	--

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

### 2.3.2. Análisis de laboratorio

En el Laboratorio del Grupo de Investigación Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC) de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, procedió a determinar los parámetros químicos.

#### 2.3.2.1. Medición de Fosfatos

Se siguió estrictamente el procedimiento para Fosfatos del Manual de Instrucciones Series C99 Y C200 para el Fotómetro Multiparámetro de Sobremesa.

Procedimiento tomado de (Hanna Instruments [sin fecha], pp. 124-125).

- Debido al exceso de fosfato previamente se realizó una dilución 1/5 en cada una de las muestras.
- Seleccione el número correspondiente a Fosfato Rango Bajo en el nivel secundario del display pulsando PROGRAM.
- Enjuague, tape y agite la cubeta varias veces con muestra sin tratar. Llene la cubeta con 10 ml de muestra hasta la marca y coloque la tapa.
- Coloque la cubeta en el porta-cubetas y asegúrese de que la muesca de la tapa coincida perfectamente en la ranura
- Pulse ZERO y "SIP" parpadeará en el display.
- Espere unos pocos segundos y el display mostrará "-0.0-". Ahora el medidor está a cero y listo para medición.
- Retire la cubeta y añada el contenido de un paquete de reactivo HI 93713. Coloque la tapa y agítelo suavemente (durante aprox. 2 minutos) hasta que el polvo esté totalmente disuelto.
- Reinserte la cubeta en el instrumento
- Pulse TIMER y el display mostrará la cuenta atrás previa a la medición o, como alternativa, espere 3 minutos y pulse READ DIRECT. En ambos casos "SIP" parpadeará durante la medición.
- El instrumento muestra directamente la concentración en mg/l de Fosfato en el display.

#### 2.3.2.2. Medición de Nitratos

Se siguió estrictamente el procedimiento para Nitratos del Manual de Instrucciones Series C99 Y C200 para el Fotómetros Multiparámetro de Sobremesa.

Procedimiento tomado de (Hanna Instruments [sin fecha], pp. 102-103).

- Seleccione el número de programa correspondiente a Nitrato en el nivel secundario del display pulsando PROGRAM.
- Mediante la pipeta, llene la cubeta con 6 ml de muestra, hasta la mitad de su altura, y coloque la tapa.
- Coloque la cubeta en el porta-cubetas y asegúrese de que la muesca de la tapa coincida perfectamente en la ranura.
- Pulse ZERO y “SIP” parpadeará en el display
- Espere unos pocos segundos y el display mostrará "-0.0-". Ahora el medidor está a cero y listo para medición.
- Retire la cubeta y añada el contenido de un paquete de reactivo HI 93728.
- Coloque la tapa e inmediatamente agítelo vigorosamente durante exactamente 10 segundos moviendo la cubeta arriba y abajo. Siga mezclándolo invirtiendo la cubeta suave y lentamente durante 50 segundos, teniendo cuidado de que no se formen burbujas de aire. Queda un depósito, pero esto no afecta a la medición. El tiempo y el modo en que se agite podrían afectar sensiblemente a la medición.
- Reinserte la cubeta en el instrumento, teniendo cuidado de no agitarla.
- Pulse TIMER y el display mostrará la cuenta atrás previa a la medición o, como alternativa, espere 4 minutos y 30 segundos y pulse READ DIRECT. En ambos casos "SIP" parpadeará durante la medición.
- El instrumento muestra directamente la concentración en mg/l de nitrógeno en forma de nitrato en el display.

#### 2.3.2.3. Medición de la concentración de la Clorofila “a”

Según APHA, 1998 citado en (Rivera et al., 2005, p. 96) existen diferentes métodos procedimientos y modelos matemáticos para estimar la clorofila, desarrollados con el objeto de mermar los errores originados por la presencia de otros pigmentos fotosintéticos y de algunos compuestos químicos en el agua. Hay tres métodos generalmente usados para determinar la clorofila “a” en el fitoplancton que son: el espectrofotométrico, fluorométrico y la cromatografía líquida.

En esta investigación se utilizó el método espectrofotométrico, el procedimiento que se describe a continuación está basado en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 10200 H. Chlorophyll* aprobado por la Asociación Americana de Salud Pública (APHA, por sus siglas en inglés) (American Public Health Association, 2017, pp. 14-17)

El análisis de todas las muestras tomadas en las lagunas en las dos campañas, se realizaron en el Laboratorio del Grupo de Investigación Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC) de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Una vez recolectadas las muestras y correctamente reservadas a aproximadamente 4°C, se procedió a filtrar 200 ml de la misma al a través de un filtro de membrana Millipore de 0,45µm en un sistema de filtración al vacío, a los filtros se les extrajo toda la humedad posible, se doblaron para introducirlos en un tubo de centrífuga plástico de 15ml, se cerró el tubo con una tapa rosca y se envolvió con papel aluminio dicho tubo con el fin de evitar la fotodegradación. A continuación, se colocaron los tubos en un ultra congelador en total oscuridad durante 4 horas. Pasado este periodo de tiempo se retiró los tubos del ultra congelador, se dejó la muestra por 30 minutos a temperatura ambiente y se les agregó 10 ml de acetona al 90% a cada tubo, posteriormente las muestras se colocaron de modo vertical en una gradilla, debidamente tapadas se las mantuvo en refrigeración a 4°C en la oscuridad, por 21 horas.

Después de transcurridas las 21 horas, se realizó la clarificación del extracto colocando los tubos de cada una de las muestras en la centrífuga MIKRO 220R HETTICH a 2500 rpm durante 10 minutos, a continuación, con mucha precaución se trasvasó el sobrenadante a otro tubo de centrífuga de plástico de 15 ml de capacidad, evitando que se trasvase acetona con restos de la pulpa del filtro.

Finalmente se procedió a la medición espectrofotométrica, midiendo la absorbancia de la muestra a 664, 665 y 750 nm antes de acidificar y a los 90 segundos de acidificada la misma con 0,1 ml de HCl a 0.1 N.

#### 2.3.2.4. Determinación del nivel de eutrofización

Después obtenidas las mediciones espectrofotométricas a las diferentes absorbancias y de acuerdo al método 10200 *H. Chloropyll* para el cálculo de la clorofila “a” se realizó la corrección de la turbidez presente en el extracto, mediante la resta del valor obtenido de absorbancia de la banda 750 nm (turbidez en el extracto) al valor de las bandas 664 nm antes de la acidificación y 665 nm después de la acidificación, posteriormente se calculó la concentración de clorofila “a” con la siguiente ecuación:

$$(Ec. 1) \quad \text{Clorofila } a(mg/m^3) = \frac{F \times (DO_{664a} - DO_{665d}) \times V_1}{V_2 \times L}$$

Donde:

F= Factor de corrección de la absorbancia (26,7)

V<sub>1</sub>= Volumen del extracto (l)

$V_2$ = Volumen de muestra ( $m^3$ )

L= Recorrido de luz o ancho de la cubeta (cm)

$DO_{664a}$ = Densidad óptica del extracto a 664 nm antes de la acidificación (valor corregido)

$DO_{665b}$ = Densidad óptica del extracto a 665 nm después de la acidificación (valor corregido)

El método empleado para determinar el nivel trófico del Sistema Lacustre Anteojos es el que propuso el Dr. Robert Carlson y posteriormente modificado por Aizaki (Moreno et al., 2010, p. 29) en el que se utiliza la siguiente ecuación:

$$(Ec. 2) \quad TSI_{Clorof a} = 10 \times \left( 2,46 + \frac{\ln \text{clorofila "a"}}{\ln 2.5} \right)$$

Una vez obtenido los resultados del Índice del Estado Trófico para clorofila “a” ( $TSI_{clorof a}$ ) se compararon los valores del estado trófico de los cuerpos hídricos con la escala de Carlson, que se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 3-2.** Escala del estado trófico de Carlson, 1997 modificada por Aisaki para clorofila “a”.

Estado de Eutrofia	TSI	Clorofila “a” ( $mg/m^3$ )
Oligotrófico ( $TSI \leq 30$ )	0	0,04
	10	0,12
	20	0,34
	30	0,94
Mesotrófico ( $30 < TSI \leq 60$ )	40	2,60
	50	6,40
	60	20,00
Eutrófico ( $60 < TSI \leq 90$ )	70	56,00
	80	154,00
	90	427,00
Hipereutrófico ( $90 < TSI \leq 100$ )	100	1183,00

Fuente:(Moreno et al., 2010, p. 29).

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

### 2.3.3. Análisis Estadístico

Se calculó para cada parámetro fisicoquímico, el promedio en cada punto de muestreo, la media de todos los puntos, varianza y la desviación estándar con la cual se determinó la variabilidad entre los datos, todos los resultados se representaron en tablas y gráficas respectivamente.

Para la determinación de la correlación que existe entre los parámetros fisicoquímicos y el valor de clorofila “a”, se empleó el coeficiente de correlación de Pearson (r) que según (Alea, 2001, p. 72) es la medida primordial de asociación lineal entre dos variables cuantitativas. En dicho estadístico los valores varían entre -1 y 1. En cualquiera de los extremos de este rango la correlación es máxima, pero en sentidos opuestos. Es decir, mientras que una correlación cercana a 1 indica una asociación positiva (ambas variables crecen y decrecen conjuntamente), una correlación cercana a -1 indica lo contrario (si una variable crece la otra disminuye y viceversa) (Balzarini et al., 2015, p. 231). Para dicho coeficiente se utilizó el programa Microsoft Excel (versión Microsoft Office Professional Plus 2019) con la función COEF.DE.CORREL, además los resultados obtenidos se corroboraron con el uso de Minitab Statistical Software, con el mismo que se elaboró las gráficas correspondientes a cada correlación. Para la interpretación del coeficiente de Pearson sugieren la escala que se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 4-2.** Interpretación del Coeficiente de Pearson.

<b>Valor</b>	<b>Tipo de Correlación</b>
-1	Negativa grande y perfecta
-0,9 a -0,99	Negativa muy alta
-0,7 a -0,89	Negativa alta
-0,4 a -0,69	Negativa moderada
-0,2 a -0,39	Negativa baja
-0,01 a -0,19	Negativa muy baja
0	Nula
0,01 a 0,19	Positiva muy baja
0,2 a 0,39	Positiva baja
0,4 a 0,69	Positiva moderada
0,7 a 0,89	Positiva alta
0,9 a 0,99	Positiva muy alta
1	Positiva grande y perfecta

**Fuente:** (Toapanta, 2017, p. 19)

**Realizado por:** Calderón, Susana, 2022.

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Parámetros fisicoquímicos medidos “*in situ*”.

En las siguientes tablas se muestra el promedio de las medidas en cada punto de muestreo de los parámetros fisicoquímicos analizados en el agua de las lagunas; en las mismas se registran, además, la media, la desviación estándar y la varianza. En las gráficas se observa los límites superior e inferior con respecto a la media.

##### 3.1.1. *Temperatura*

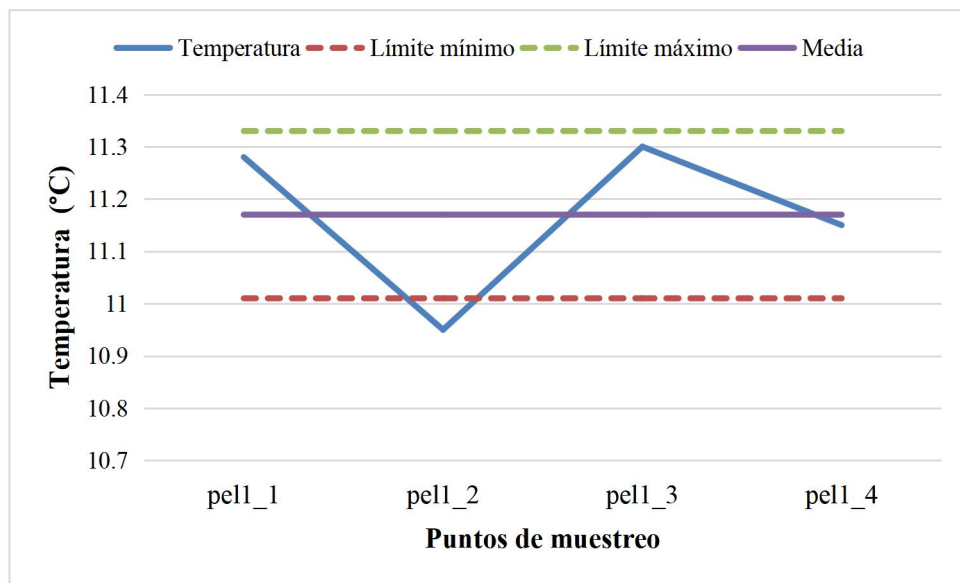
**Tabla 1-3.** Estadística general de la temperatura de la Laguna de Anteojos 1.

Temperatura (°C)						
Código de los puntos de muestreo	Muestreo		Promedio por punto	Media	Varianza	Desviación Estándar
	1	2				

pell_1	12,40	10,15	11,28	11,17	0,03	0,16
pell_2	12,10	9,80	10,95			
pell_3	12,50	10,10	11,30			
pell_4	12,20	10,10	11,15			

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

En la tabla 1-3 se presenta el resultado de la varianza de la temperatura de la Laguna de Anteojos 1 que fue de 0,03 lo que determinó que con relación a la media obtenida de 11,17 °C que se encuentra dentro del rango establecido por (Roldán & Ramírez, 2008, p. 169) para lagunas de montaña en los pisos frío y de páramo; cabe recalcar que los datos no presentan una dispersión importante.



**Gráfico 1-3.** Temperatura de la Laguna de Anteojos 1.

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

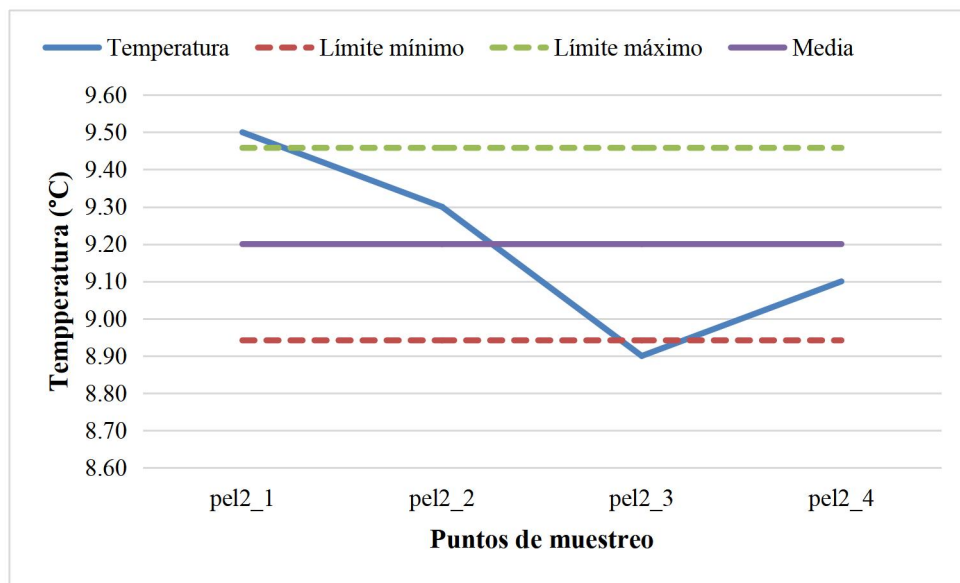
En el gráfico 1-3, se observa la dispersión de los datos de los puntos de muestreo con respecto a la media, se aprecia que no existe una variación importante ya que los valores se encuentran dentro del rango de desviación estándar que tiene por límites máximo 11,33 °C y mínimo 11,01 °C.

**Tabla 2-3.** Estadística general de la temperatura de la Laguna de Antejos 2.

Temperatura (°C)				
Código de los puntos de muestreo	Muestreo	Media	Varianza	Desviación Estándar
pel2_1	9,50	9,20	0,07	0,26
pel2_2	9,30			
pel2_3	8,90			
pel2_4	9,10			

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

En la Tabla 2-3 se presenta el resultado de la varianza de la temperatura de la Laguna de Antejos 2 que fue de 0,07 con respecto a la media de 9,20 °C, la misma que se encuentra fuera del rango según lo establecido por (Roldán & Ramírez, 2008, p. 169) para lagunas de alta montaña en los pisos frío y de páramo, por lo cual se considera que una posible causa es que la laguna se encuentra a mayor altitud por lo que presenta una temperatura más baja. Es importante mencionar que la temperatura del agua de los lagos puede variar continuamente debido a las condiciones meteorológicas atmosféricas y estacionales (Murialdo, 2016, p. 42).



**Gráfico 2-3.** Temperatura de la Laguna de Antejos 2.

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

En el gráfico 2-3, se estima la dispersión de los datos de los puntos de muestreo con respecto a la media, donde se observa que no existe una variación importante ya que los valores se encuentran muy cercanos al rango de desviación estándar que tiene por límites máximo 9,46 °C y mínimo 8,94 °C.



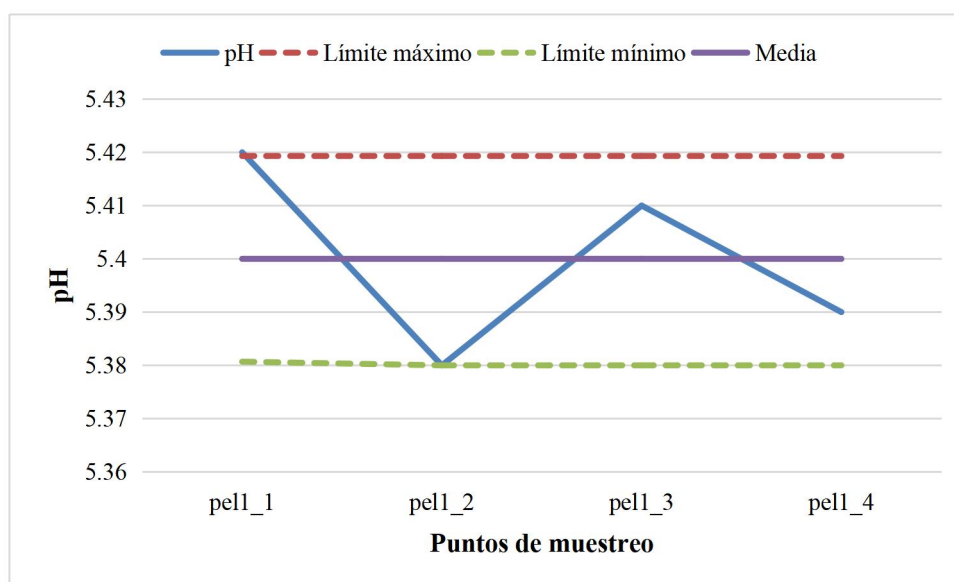
### 3.1.2. Potencial de hidrógeno

**Tabla 3-3.** Estadística general de la potencial de hidrógeno de la Laguna de Anteojos 1.

Potencial de hidrógeno (pH)						
Código de los puntos de muestreo	Muestreo		Promedio por punto	Media	Varianza	Desviación Estándar
	1	2				
pell_1	5,50	5,33	5,42	5,40	0,00	0,02
pell_2	5,46	5,29	5,38			
pell_3	5,51	5,31	5,41			
pell_4	5,47	5,30	5,39			

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

En la tabla 3-3, se muestran los datos obtenidos del potencial de hidrógeno de cada punto de muestreo de la Laguna de Anteojos 1, el valor de la media, la varianza y desviación estándar, donde se aprecia que el valor obtenido de la varianza es 0,00 lo que indica que no existe dispersión entre los datos. La media presenta un valor de 5,40 lo que indica que se encuentra fuera del rango para uso agrícola, pecuario, fines recreativos, fines recreativos mediante contacto secundario y preservación de la flora y fauna en aguas dulces frías establecido por el (TULSMA, 2015, pp. 302-319) que oscila en un rango de 6 a 9, considerándose un agua ácida.



**Gráfico 3-3.** Potencial de Hidrógeno de la Laguna de Anteojos 1.

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

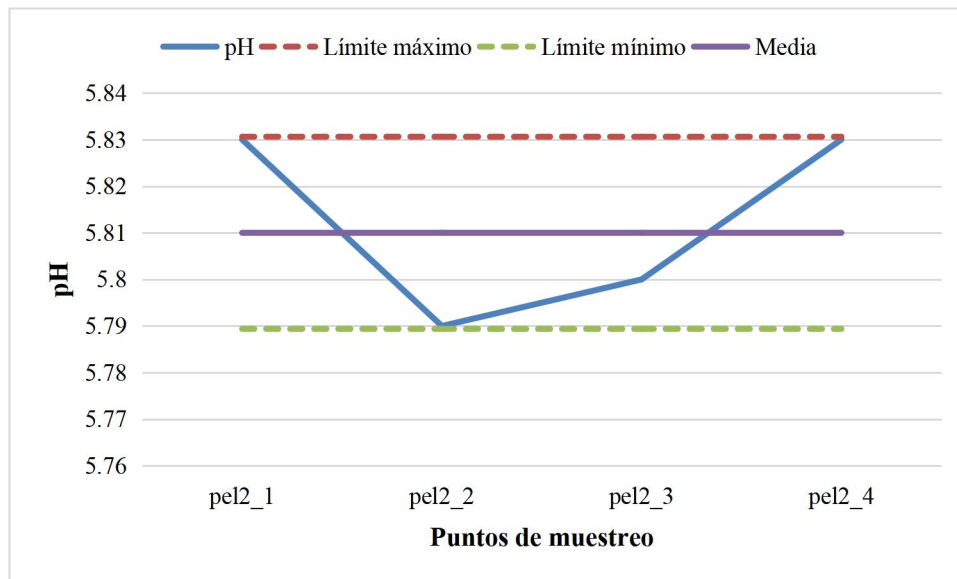
En el gráfico 3-3, se representa los valores obtenidos de la media, desviación estándar con los límites máximo y mínimo, cuyos valores son 5,42 y 5,38 respectivamente, además se puede observar que no existe dispersión entre los valores ya que se encuentran dentro de los rangos de desviación.

**Tabla 4-3.** Estadística general del potencial de hidrógeno de la Laguna de Anteojos 2.

<b>Potencial de Hidrógeno (pH)</b>				
<b>Código de los puntos de muestreo</b>	<b>Muestreo</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
<b>pel2_1</b>	5,83	5,81	0,00	0,02
<b>pel2_2</b>	5,79			
<b>pel2_3</b>	5,80			
<b>pel2_4</b>	5,83			

**Realizado por:** Calderón, Susana, 2022.

En la tabla 4-3, se muestran los datos obtenidos del potencial de hidrógeno de cada punto de muestreo de la Laguna de Anteojos 2, el valor de la media es de 5,81 valor que se encuentra fuera del rango establecido por el (TULSMA, 2015, pp. 302-319) para uso agrícola, pecuario, fines recreativos, fines recreativos mediante contacto secundario y preservación de la flora y fauna en aguas dulces frías que van de 6 a 9 en valores de pH. Además, se presenta la varianza y desviación estándar, donde se aprecia que el valor obtenido de la varianza es 0,00 lo que hace referencia a que no existe dispersión entre los datos.



**Gráfico 4-3.** Potencial de hidrógeno de la Laguna de Antejos 2.

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

En el gráfico 4-3, se observa los valores obtenidos de la media, desviación estándar con los límites máximo y mínimo, dichos valores son 5,83 y 5,79 respectivamente, donde se aprecia que no existe una variación entre los valores, debido a que se encuentran dentro de los rangos de desviación.

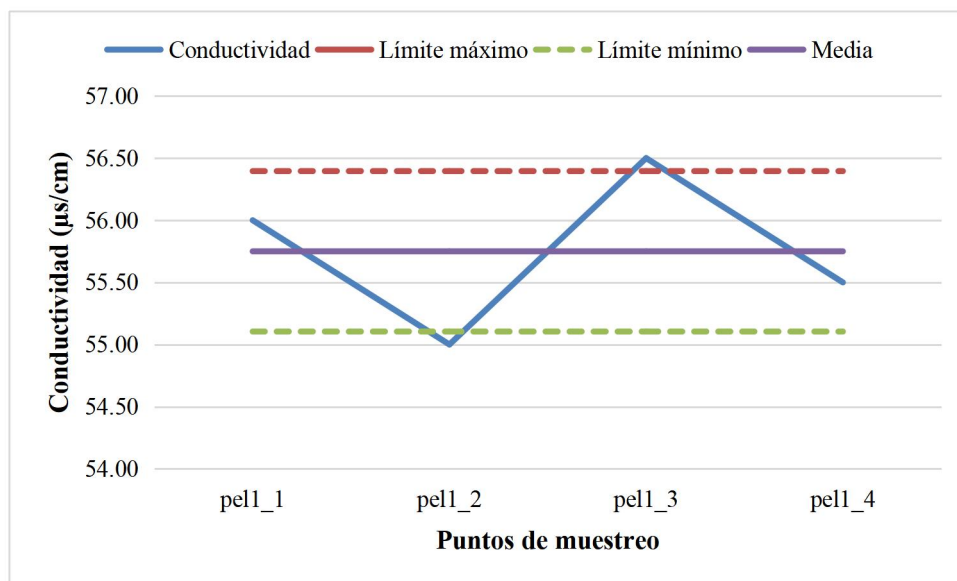
### 3.1.3. Conductividad

**Tabla 5-3.** Estadística general de la conductividad de la Laguna de Antejos 1

Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )						
Código de los puntos de muestreo	Muestreo		Promedio por punto	Media	Varianza	Desviación Estándar
	1	2				
pel1_1	28,00	84,00	56,00	55,75	0,42	0,65
pel1_2	27,00	83,00	55,00			
pel1_3	28,00	85,00	56,50			
pel1_4	26,00	85,00	55,50			

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

Los valores de la tabla 5-3 muestran los datos obtenidos de la media, varianza y desviación estándar, señalando que no existe una dispersión importante entre los valores. La media de la conductividad de todos los puntos de muestreo es de 55,75  $\mu\text{S}/\text{cm}$  que según los límites establecidos por Massol (2010) citado en (Oña & Tonato, 2017, p. 20) corresponde a un agua pura ya que presenta valores menores a 280 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).



**Gráfico 5-3.** Conductividad de la Laguna de Anteojos 1.

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

En el gráfico 5-3 se representa el análisis de la desviación estándar indicando que su límite máximo es 56,40  $\mu\text{S/cm}$  y el mínimo 55,10  $\mu\text{S/cm}$ . Observado que no existe una variación importante entre los valores de cada punto de muestreo.

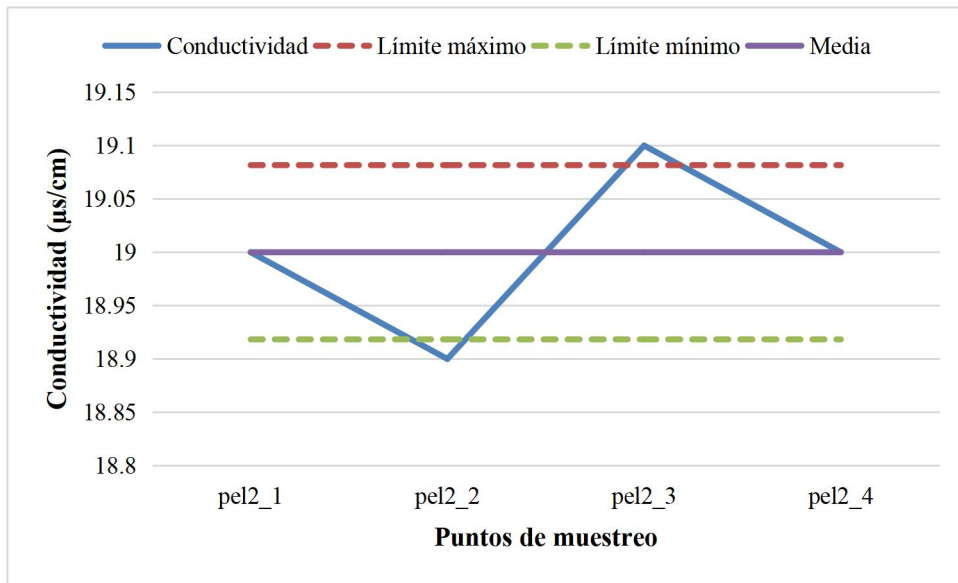
**Tabla 6-3.** Conductividad de la Laguna de Anteojos 2.

Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )				
Código de los puntos de muestreo	Muestreo	Media	Varianza	Desviación Estándar
pel2_1	19,00	19,00	0,01	0,08
pel2_2	18,90			
pel2_3	19,10			
pel2_4	19,00			

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

En la tabla 6-3 se aprecia que el valor más bajo de conductividad se encuentra en el punto de muestreo dos (pel2\_2) que es de 18,90  $\mu\text{S/cm}$  y el más alto en punto de muestreo tres (pel2\_3) con 19,10  $\mu\text{S/cm}$ , con una media de todos los puntos de muestreo de 19,00  $\mu\text{S/cm}$ , comparando dichos resultados con los límites determinados por Massol (2010) citado en (Oña & Tonato, 2017, p. 20) se considera que el agua de la laguna de Anteojos 2 es pura, porque presenta valores inferiores a 280  $\mu\text{S/cm}$ . Lo que indica también que existe una menor cantidad de sales disueltas en el agua, debido a que la conductividad y los sólidos totales disueltos son directamente

proporcionales (Sánchez, 2007, p. 126). Además, se presenta la varianza y desviación estándar, indicando que los valores obtenidos de conductividad no presentan una variación importante.



**Gráfico 6-3.** Conductividad de la Laguna de Antejos 2.

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

En el gráfico 6-3 se muestra la dispersión de los datos de conductividad obtenidos, observando que los límites máximo y mínimo son 19,08  $\mu\text{S/cm}$  y 18,92  $\mu\text{S/cm}$  respectivamente, además se puede apreciar que en los puntos de muestreo pel2\_2 y pel2\_3 salen del límite máximo y mínimo correspondientemente por 0,02.

### 3.1.4. Oxígeno Disuelto

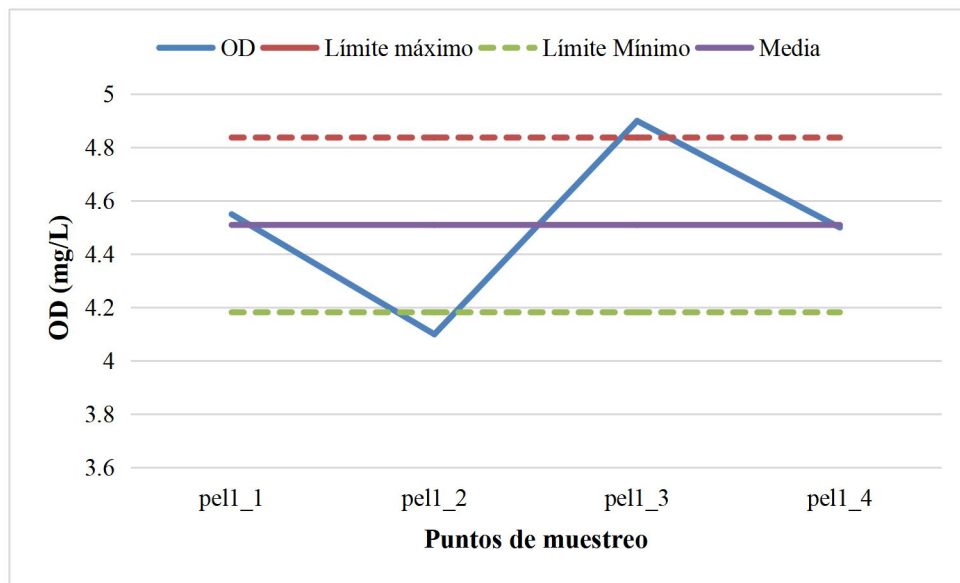
**Tabla 7-3.** Oxígeno Disuelto de la Laguna de Antejos 1

Oxígeno Disuelto (mg/L)						
Código de los puntos de muestreo	Muestreo		Promedio por punto	Media	Varianza	Desviación Estándar
	1	2				
pel1_1	5,80	3,30	4,55	4,51	0,11	0,33
pel1_2	5,30	2,90	4,10			
pel1_3	6,30	3,50	4,90			
pel1_4	5,90	3,10	4,50			

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

Los datos de la tabla 7-3 corresponden al promedio por cada punto de muestreo, la media, la varianza y la respectiva desviación estándar. La concentración promedio de oxígeno disuelto es de 4,51 mg/L; cotejando este resultado con (TULSMA, 2015, pp. 302-319) para uso pecuario se encuentra fuera de rango porque el máximo permisible es de 3 mg/L, así como para fines

recreativos, fines recreativos mediante contacto secundario y para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces frías, debido a que el resultado obtenido es menor a 6 mg/L.



**Gráfico 7-3.** Oxígeno Disuelto de la Laguna de Antejos 1.

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

En el gráfico 7-3 se aprecia la dispersión de los datos del oxígeno disuelto en la Laguna de Antejos 1, mostrando que los puntos de muestreo pell\_1 y pell\_4 se encuentran dentro de los límites de la desviación estándar, mientras que pell\_2 se aleja del límite mínimo por 0,08 y el pell\_3 se separa del límite máximo por 0,06.

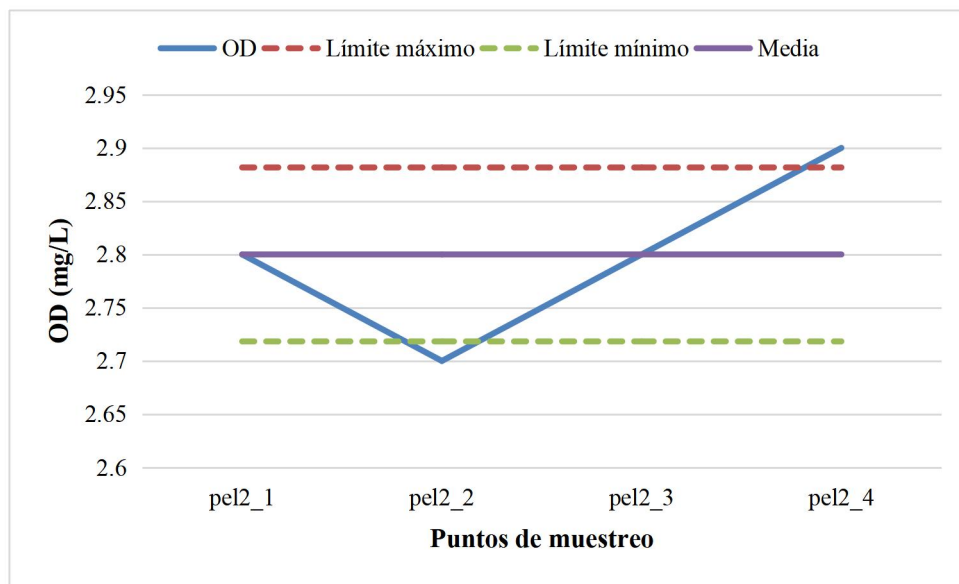
**Tabla 8-3.** Oxígeno Disuelto de la Laguna de Antejos 2.

Oxígeno Disuelto (mg/L)				
Código de los puntos de muestreo	Muestreo	Media	Varianza	Desviación Estándar
pel2_1	2,8	2,8	0,01	0,08
pel2_2	2,7			
pel2_3	2,8			
pel2_4	2,9			

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

Los valores de cada punto de muestreo de la Laguna de Antejos 2 se muestran en la tabla 8-3, así como la respectiva media, varianza y desviación estándar. El punto cuatro (pel2\_4) muestra el valor más alto de oxígeno disuelto de 2,9 mientras que el punto dos (pel2\_2) el valor más bajo de 2,7 mg/L y la concentración promedio es de 2,8 mg/L; equiparando este resultado con (TULSMA, 2015, pp. 302-319) para uso pecuario se encuentra dentro de rango ya que el máximo

permisible es de 3 mg/L. Sin embargo, para fines recreativos, fines recreativos mediante contacto secundario y para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces frías se encuentra fuera de rango debido a que no debe ser menor a 6 mg/L. Según (Vásquez et al., 2012, p. 116) menciona la sintomatología y uno de los efectos de la eutrofización es la baja en las concentraciones de oxígeno disuelto del agua. Así también, Hans Castro menciona que el oxígeno disuelto < 2 mg/L reduce el desarrollo y el crecimiento de por ejemplo, peces que mueren y originan las condiciones adecuadas para la eutrofización, por ende hace que el agua no sea apta para el consumo.(Castro, 2021, p. 49)



**Gráfico 8-3.** Oxígeno Disuelto de la Laguna de Antejos 2.

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

La dispersión de los datos de oxígeno disuelto de la Laguna de Antejos 2 se muestra en el grafico 8-3, exponiendo que en los puntos de muestreo pel2\_2 y pel2\_4 se aleja del límite mínimo y máximo respectivamente por 0,02. Mientras que pel2\_1 y pel2\_3 se encuentran dentro de los límites de la desviación estándar.

### 3.2. Resultados de los análisis en el laboratorio

Los resultados obtenidos en el Laboratorio del Grupo de Investigación Desarrollo para el Ambiente y Cambio climático se muestran en las tablas desde la 9-3 hasta la 15-3.

#### 3.2.1. Fosfatos

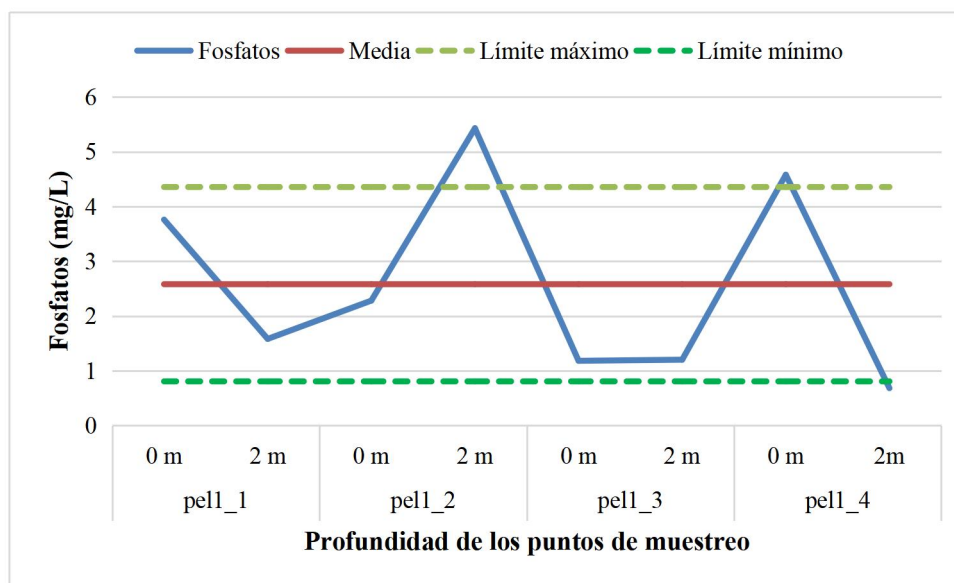
**Tabla 9-3.** Estadística general de los fosfatos de la Laguna de Antejos 1.

Fosfatos (mg/L)
-----------------

Código de los puntos de muestreo	Profundidad	Muestreo		Promedio por punto de profundidad	Media	Varianza	Desviación Estándar
		1	2				
pell_1	0m	7,02	0,50	3,76	2,58	3,15	1,78
	2m	2,25	0,90	1,58			
pell_2	0m	2,45	2,10	2,28			
	2m	10,30	0,55	5,43			
pell_3	0m	2,15	0,20	1,18			
	2m	1,40	1,00	1,20			
pell_4	0m	9,15	0,00	4,58			
	2m	1,20	0,15	0,68			

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

En la siguiente tabla se muestra que el promedio por cada punto de muestreo, la media, varianza y desviación estándar de todos los puntos de la laguna de Antejos 1, donde se observa que en el primer muestreo que corresponde a un clima lluvioso existe un valor mayor de fosfatos en el punto dos (pell\_2) a una profundidad de 2 metros y el valor más bajo del mismo es en el punto cuatro (pell\_4) correspondiente al segundo muestreo en la superficie de la laguna. La media de fosfatos presentes en la laguna es de 2,58 mg/L que según (Orquera & Cabrera, 2020, p. 105) en la escala de Carlson para fosfatos corresponde a un estado oligotrófico.



**Gráfico 9-3.** Fosfatos de la Laguna de Antejos 1.

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

En el gráfico se observa la dispersión de los valores de fosfatos en la Laguna de Antejos 1, mostrando la media, los límites: máximo de 4,36 mg/L y mínimo de 0,80 mg/L. Los puntos pell\_1 a 0m y 2m; pell\_2 a 0m; se encuentran dentro de los límites de desviación estándar



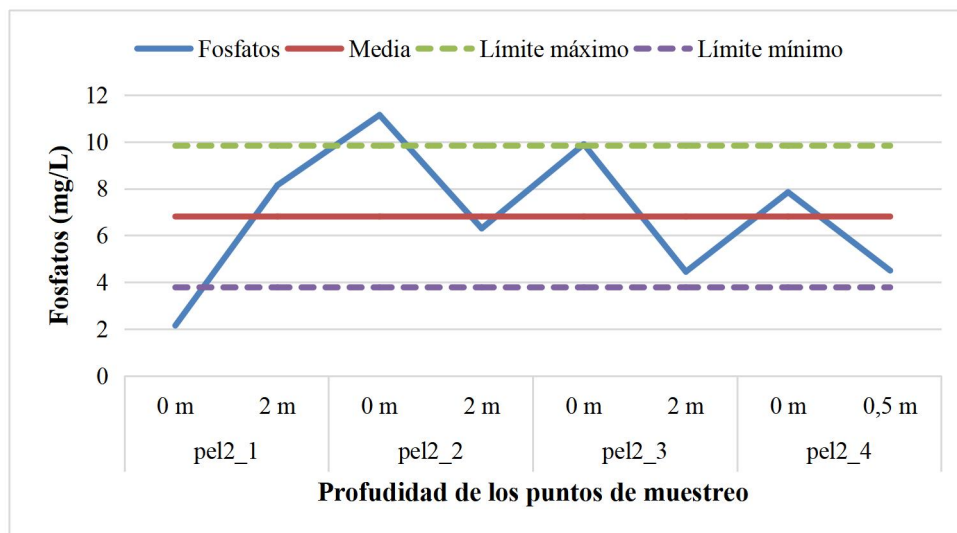
mientras que el punto pel1\_2 a 2m se aleja 1,07 del límite máximo y los en el punto pel1\_3 a 0m y 2m son los que más se acercan al límite mínimo.

**Tabla 10-3.** Estadística general de los fosfatos de la Laguna de Antejos 2.

Fosfatos (mg/L)					
Código de los puntos de muestreo	Profundidad	Muestreo	Media	Varianza	Desviación Estándar
pel2_1	0m	2,15	6,81	9,16	3,03
	2m	8,15			
pel2_2	0m	11,15			
	2m	6,30			
pel2_3	0m	9,90			
	2m	4,45			
pel2_4	0m	7,85			
	0,5m	4,50			

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

En la Laguna de Antejos 2 se observa que en el punto dos (pel2\_2) en la superficie de la laguna existe mayor cantidad de fosfato, y el punto uno (pel2\_1) obtiene el valor más bajo. En la tabla 10-3 también se observa que la media de fosfato presente en toda la laguna es de 6,81 mg/L que según la escala de valores de Carlson modificados en 1977-1980 citados en (Orquera & Cabrera, 2020, p. 105) el valor tiende a indicar que la laguna está en un estado mesotrófico.



**Gráfico 10-3.** Fosfatos de la Laguna de Antejos 2.

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

La dispersión de los datos de fosfatos de la Laguna de Antejos 2 se muestra en el gráfico 10-3, exponiendo que en los puntos de muestreo pel2\_1 a 0m se aleja del límite mínimo y el pel2\_2 a

0m se aleja del límite máximo. Mientras que pel2\_1 a 2m; pel2\_2 a 2m; pel2\_3 a 0m y 2m y pel2\_4 a 0m y 0,5m se encuentran dentro de los límites de la desviación estándar.

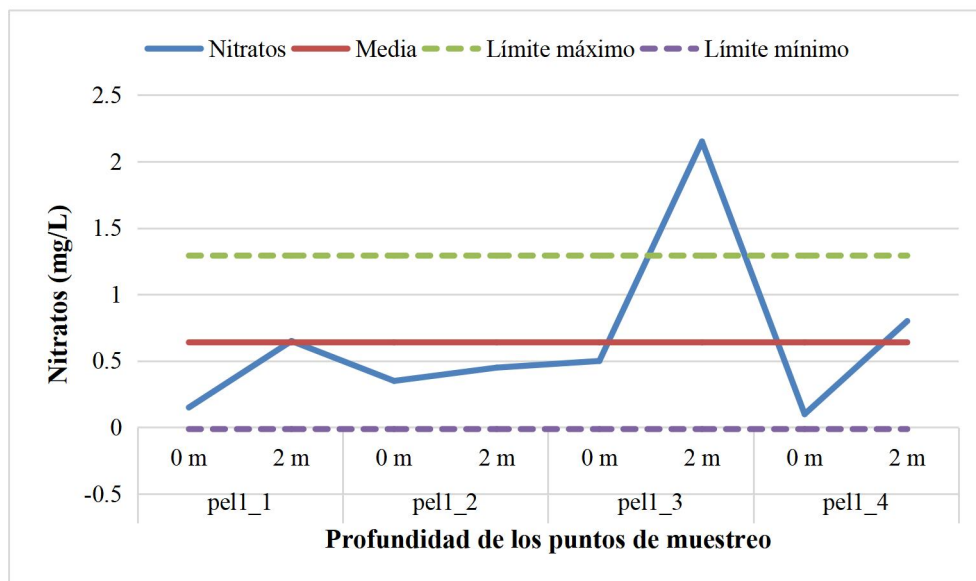
### 3.2.2. Nitratos

**Tabla 11-3.** Estadística general de los nitratos de la Laguna de Antejos 1.

Nitratos (mg/L)							
Código de los puntos de muestreo	Profundidad	Muestreo		Promedio por punto de profundidad	Media	Varianza	Desviación Estándar
		1	2				
pel1_1	0m	0,00	0,30	0,15	0,64	0,43	0,65
	2m	1,00	0,30	0,65			
pel1_2	0m	0,70	0,00	0,35			
	2m	0,50	0,40	0,45			
pel1_3	0m	0,80	0,20	0,50			
	2m	4,30	0,00	2,15			
pel1_4	0m	0,20	0,00	0,10			
	2m	0,60	1,00	0,80			

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

Los datos de la siguiente tabla corresponden a los valores de nitratos presentes en la Laguna de Antejos 1, así también se muestra la respectiva media, varianza y desviación estándar. El punto tres (pel1\_3) a 2m muestra el valor más alto de nitratos de 2,15 mg/L mientras que el punto cuatro (pel1\_4) el valor más bajo de 0,10 mg/L en la superficie de la laguna, es decir, a cero metros, la concentración promedio es de 0,64 mg/L; comparando este resultado con (TULSMA, 2015, p. 316) para uso pecuario se encuentra dentro de rango ya que el máximo permisible es de 10 mg/L.



**Gráfico 11-3.** Nitratos de la Laguna de Antejos 1.

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

En el gráfico 11-3 se exponen los datos de dispersión de los nitratos en toda la laguna a cero y dos metros, se muestra la media que es 0,64mg/L, el límite máximo es de 1,29 mg/L y el mínimo -0,01. El punto dos a dos metros (P2) se aleja del límite máximo, mientras que el resto de puntos están dentro de los límites de desviación estándar.

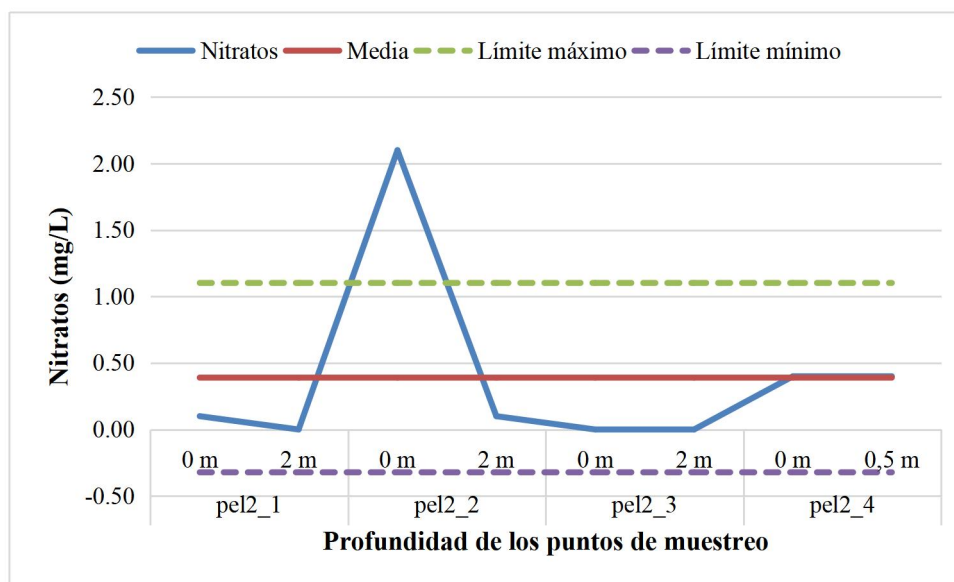
**Tabla 12-3.** Estadística general de los nitratos de la Laguna de Antejos 2.

Nitratos (mg/L)					
Puntos de muestreo	Profundidad	Muestreo	Media	Varianza	Desviación Estándar
pel2_1	0m	0,10	0,39	0,51	0,71
	2m	0,00			
pel2_2	0m	2,10			
	2m	0,10			
pel2_3	0m	0,00			
	2m	0,00			
pel2_4	0m	0,40			
	0,5m	0,40			

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

Los datos que se observan en la tabla 12-3 corresponden a los valores de nitratos presente en el Laguna de Antejos 2, se muestra también la media, varianza y desviación estándar. La ausencia de nitratos se evidencia en el punto uno (pel2\_1) a dos metros de profundidad y en el

punto tres (pel2\_3) tanto en la superficie como a dos metros al tener un resultado de 0,00 mg/L. La concentración promedio es de 0,39 mg/L; valor que no sobrepasa el límite máximo permisible de 10mg/L de acuerdo a la normativa ecuatoriana (TULSMA, 2015, p. 316)



**Gráfico 12-3.** Nitratos de la Laguna de Antejos 2.

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

El gráfico correspondiente a los nitratos con respecto a las profundidades de la Laguna de Antejos 2, donde se muestra la media con respecto a todos los puntos de muestreo, el límite máximo que es 1,10 mg/L y el mínimo -0,32. Evidenciando que el punto dos (pel2\_2) a cero metros se aleja del límite máximo.

### 3.2.3. Medición espectrofotométrica de la clorofila "a"

Después de la extracción de clorofila "a" se obtuvieron los siguientes valores de absorbancia posterior a la medición espectrofotométrica antes y después de acidificar las muestras de cada punto de muestreo, se observan en las tablas 13-3, 14-3 y 15-3.

**Tabla 13-3.** Valores de absorbancia del primer muestreo de la Laguna de Antejos 1.

Código de los puntos de muestreo	Profundidad	Antes de acidificar			Después de acidificar		
		664 nm	665 nm	750 nm	664 nm	665 nm	750 nm
pel1_1	0m	0,285	0,285	0,314	-0,008	-0,008	-0,009
	2m	0,004	0,003	0,002	-0,008	-0,007	-0,008

pel1_2	0m	0,279	0,278	0,267	0,873	0,872	0,721
	2m	-0,009	-0,009	-0,013	0,003	0,002	0,001
pel1_3	0m	-0,014	-0,013	-0,014	0,003	0,003	0,003
	2m	-0,007	-0,006	-0,008	0,002	0,002	0,000
pel1_4	0m	-0,010	-0,010	-0,011	0,131	0,130	0,000
	2m	0,010	0,010	0,007	0,000	0,000	0,000

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

**Tabla 14-3.** Valores de absorbancia del segundo muestreo de la Laguna de Antejos 1.

Código de los puntos de muestreo	Profundidad	Antes de acidificar			Después de acidificar		
		664 nm	665 nm	750 nm	664 nm	665 nm	750 nm
pel1_1	0m	0,015	0,013	-0,032	0,129	0,128	0,078
	2m	0,024	0,022	-0,028	0,033	0,031	-0,016
pel1_2	0m	0,019	0,017	-0,027	0,015	0,013	-0,030
	2m	0,019	0,016	-0,028	0,015	0,013	-0,030
pel1_3	0m	0,018	0,016	-0,029	0,017	0,015	-0,029
	2m	0,018	0,016	-0,028	0,017	0,015	-0,028
pel1_4	0m	0,018	0,015	-0,029	0,048	0,046	-0,002
	2m	0,016	0,014	-0,030	0,015	0,013	-0,030

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

**Tabla 15-3.** Valores de la absorbancia de la Laguna de Antejos 2.

Código de los puntos de muestreo	Profundidad	Antes de acidificar			Después de acidificar		
		664 nm	665 nm	750 nm	664 nm	665 nm	750 nm
pel2_1	0m	0,016	0,013	-0,030	0,015	0,012	-0,030
	2m	0,015	0,012	-0,031	0,024	0,024	-0,021
pel2_2	0m	0,018	0,015	-0,030	0,016	0,013	-0,030
	2m	0,017	0,014	-0,030	0,012	0,010	-0,033
pel2_3	0m	0,021	0,018	-0,030	0,025	0,022	-0,030
	2m	0,027	0,024	-0,030	0,025	0,023	-0,030
pel2_4	0m	0,018	0,015	-0,029	0,059	0,057	0,005
	0,5m	0,031	0,028	-0,029	0,023	0,023	-0,030

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

### 3.3. Cálculo de la concentración de clorofila “a”

Para realizar el cálculo de la concentración de clorofila “a”, a los datos obtenidos de la absorbancia fueron previamente corregidos y los resultados se muestran en las siguientes tablas.

**Tabla 16-3.** Valores corregidos de la turbidez de la Laguna de Antejos 1 del primer muestreo.

Código de los puntos de muestreo	Profundidad	Antes de acidificar		Después de acidificar	
		664 nm	665 nm	664 nm	665 nm
pel1_1	0m	0,029	0,029	0,001	0,001
	2m	0,002	0,001	0,000	0,001
pel1_2	0m	0,012	0,011	0,152	0,151
	2m	0,004	0,004	0,002	0,001
pel1_3	0m	0,000	0,001	0,000	0,000
	2m	0,001	0,002	0,002	0,002
pel1_4	0m	0,001	0,001	0,131	0,130
	2m	0,003	0,003	0,000	0,000

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

**Tabla 17-3.** Valores corregidos de la turbidez de la Laguna de Antejos 1 del segundo muestreo.

Código de los puntos de muestreo	Profundidad	Antes de acidificar		Después de acidificar	
		664 nm	665 nm	664 nm	665 nm
pel1_1	0m	0,047	0,045	0,051	0,050
	2m	0,052	0,050	0,049	0,047
pel1_2	0m	0,046	0,044	0,045	0,043
	2m	0,047	0,044	0,045	0,043
pel1_3	0m	0,047	0,045	0,046	0,044
	2m	0,046	0,044	0,045	0,043
pel1_4	0m	0,047	0,044	0,050	0,048
	2m	0,046	0,044	0,045	0,043

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

**Tabla 18-3.** Valores corregidos de turbidez de la Laguna de Antejos 2.

Código de los puntos de muestreo	Profundidad	Antes de acidificar		Después de acidificar	
		664 nm	665 nm	664 nm	665 nm
pel2_1	0m	0,046	0,043	0,045	0,042
	2m	0,046	0,043	0,045	0,045
pel2_2	0m	0,048	0,045	0,046	0,043
	2m	0,047	0,044	0,045	0,043
pel2_3	0m	0,051	0,048	0,055	0,052
	2m	0,057	0,054	0,055	0,053
pel2_4	0m	0,047	0,044	0,054	0,052
	0,5m	0,060	0,057	0,053	0,053

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

Los datos utilizados para el cálculo de concentración de la clorofila “a” se muestran a continuación:

**Tabla 19-3.** Cálculo de clorofila "a" para la Laguna de Antejos 1.

Código de los puntos de muestreo	Profundidad	Volumen filtrado (m <sup>3</sup> )	Volumen del extracto (l)	Longitud paso de luz (cm)	Valores corregidos por turbidez			
					Muestra 1		Muestra 2	
					DO <sub>664a</sub>	DO <sub>665d</sub>	DO <sub>664a</sub>	DO <sub>665d</sub>
pel1_1	0m	0,0002	0,01	1	0,029	0,001	0,047	0,050
	2m	0,0002	0,01	1	0,002	0,001	0,052	0,047
pel1_2	0m	0,0002	0,01	1	0,012	0,151	0,046	0,043
	2m	0,0002	0,01	1	0,004	0,001	0,047	0,043
pel1_3	0m	0,0002	0,01	1	0,000	0,000	0,047	0,044
	2m	0,0002	0,01	1	0,001	0,002	0,046	0,043
pel1_4	0m	0,0002	0,01	1	0,001	0,130	0,047	0,048
	2m	0,0002	0,01	1	0,003	0,000	0,046	0,043

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

**Tabla 20-3.** Cálculo de clorofila "a" de la Laguna de Anteojos 2.

Código de los puntos de muestreo	Profundidad	Volumen filtrado (m <sup>3</sup> )	Volumen del extracto (l)	Longitud paso de luz (cm)	Valores corregidos por turbidez	
					DO <sub>664a</sub>	DO <sub>665d</sub>
pel2_1	0m	0,0002	0,01	1	0,046	0,042
	2m	0,0002	0,01	1	0,046	0,045
pel2_2	0m	0,0002	0,01	1	0,048	0,043
	2m	0,0002	0,01	1	0,047	0,043
pel2_3	0m	0,0002	0,01	1	0,051	0,052
	2m	0,0002	0,01	1	0,057	0,053
pel2_4	0m	0,0002	0,01	1	0,047	0,052
	0,5m	0,0002	0,01	1	0,060	0,053

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

La concentración de clorofila "a" se obtuvo aplicando la ecuación 1 para cada uno de los puntos de muestreo de las lagunas; por ejemplo, se presenta el cálculo para la primera muestra del punto 0 a 0 metros de la Laguna de Anteojos 1.

$$\text{Clorofila } a(\text{mg}/\text{m}^3) = \frac{F \times (DO_{664a} - DO_{665d}) \times V_1}{V_2 \times L}$$

$$\text{Clorofila } a(\text{mg}/\text{m}^3) = \frac{26,7 \times (0,029 - 0,001) \times 0,01}{0,0002 \times 1}$$

$$\text{Clorofila } a(\text{mg}/\text{m}^3) = 37,38$$

**Tabla 21-3.** Resultados de la concentración de clorofila "a" de la Laguna de Anteojos 1.

Código de los puntos de muestreo	Profundidad	Muestreo		Promedio por muestra	Media de la concentración de clorofila "a"
		1	2		
pel1_1	0m	37,38	-4,01	16,69	-18,11
	2m	1,34	6,68	4,01	
pel1_2	0m	-185,57	4,01	-90,78	
	2m	4,01	5,34	4,67	
pel1_3	0m	0,00	4,01	2,00	
	2m	-1,34	4,01	1,34	
pel1_4	0m	-172,22	-1,34	-86,78	
	2m	4,01	4,01	4,01	

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.



En la tabla 21-3 se muestran las concentraciones de clorofila “a” correspondientes a cada punto de muestreo a cero y dos metros, también se indica el promedio por muestra obteniendo que el punto uno (pel1\_1) en la superficie de la laguna presenta el valor más alto de clorofila de 16,69 mg/m<sup>3</sup> y el más bajo se encuentra en el punto dos (pel1\_2) a cero metros con un valor de -90,78 mg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 22-3.** Resultados de la concentración de clorofila "a" de la Laguna de Antejos 2.

Código de los puntos de muestreo	Profundidad	Concentración de clorofila "a"	Media de la concentración de clorofila "a"
pel2_1	0m	5,34	3,17
	2m	1,34	
pel2_2	0m	6,68	
	2m	5,34	
pel2_3	0m	-1,34	
	2m	5,34	
pel2_4	0m	-6,68	
	0,5m	9,35	

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

Las concentraciones de clorofila “a” para la Laguna de Antejos 2 se muestran en la siguiente tabla donde se observan los datos obtenidos después del cálculo correspondiente, donde mayor concentración se tiene en el punto cuatro (pel2\_4) a 0,5m de la superficie con un valor de 9,35 mg/m<sup>3</sup> mientras, que el valor más bajo es de -6,68 mg/m<sup>3</sup> correspondiente al punto cuatro (pel2\_4) en la superficie de la laguna.

### 3.4. Determinación del Índice del Estado Trófico de Carlson modificado por Aisaki.

Para determinar el Índice del Estado Trófico del sistema Lacustre Antejos se utilizó la ecuación 2, como ejemplo se presenta el cálculo para la primera muestra del punto cero a cero metros de la Laguna de Antejos 1.

$$TSI_{Clorof a} = 10 \times \left( 2,46 + \frac{\ln \text{clorofila "a"}}{\ln 2.5} \right)$$

$$TSI_{Clorof a} = 10 \times \left( 2,46 + \frac{\ln 16,69}{\ln 2.5} \right)$$

$$TSI_{Clorof a} = 55,32$$

**Tabla 23-3.** Resultados del Índice del Estado Trófico (TSI)

<b>Laguna de Antejos 1</b>			
<b>Código de los puntos de muestreo</b>	<b>Profundidad</b>	<b>TSI por punto</b>	<b>Media por laguna</b>
<b>pel1_1</b>	0m	55,32	29,52
	2m	39,74	
<b>pel1_2</b>	0m	0,00	
	2m	41,43	
<b>pel1_3</b>	0m	32,18	
	2m	27,75	
<b>pel1_4</b>	0m	0,00	
	2m	39,74	
<b>Laguna de Antejos 2</b>			
<b>pel2_1</b>	0m	42,88	31,34
	2m	27,75	
<b>pel2_2</b>	0m	45,32	
	2m	42,88	
<b>pel2_3</b>	0m	0,00	
	2m	42,88	
<b>pel2_4</b>	0m	0,00	
	0,5m	48,99	

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

En la tabla 23-3 se muestran los resultados del Índice del Estado Trófico para clorofila “a” de cada punto de muestreo del sistema lacustre. En la misma, se indica que la media de la Laguna de Antejos 1 es de 29,52 que, según la escala del estado trófico de Carlson, 1997 corresponde un estado oligotrófico, mientras que la laguna de Antejos 2 se encuentra en un estado mesotrófico al presentar un valor de 31,34 como se indica en la tabla.

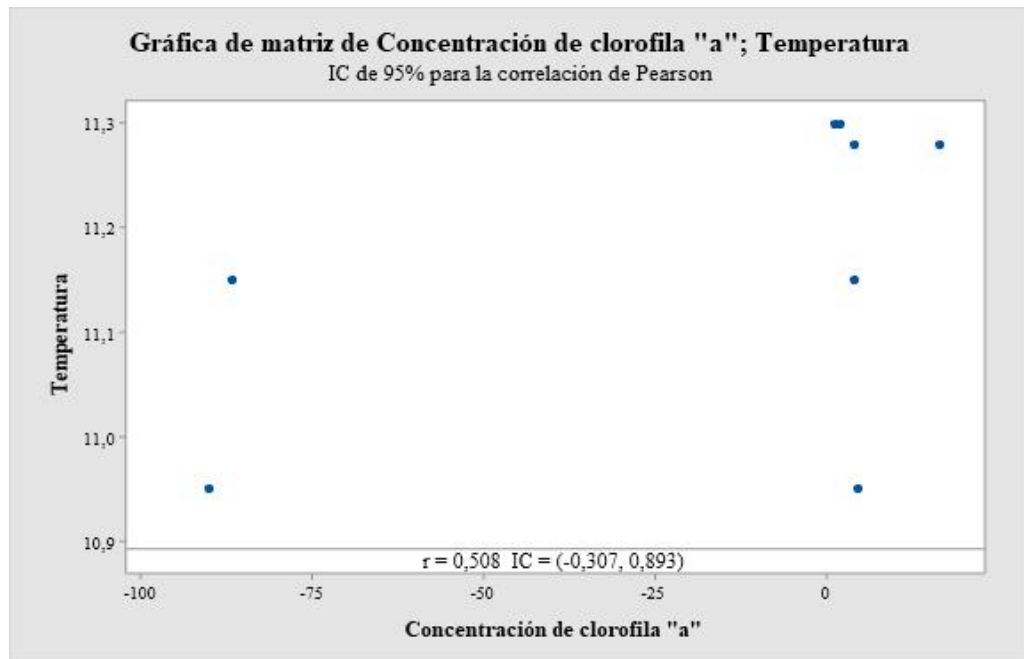
### 3.5. Análisis Estadístico

La relación que existe entre la concentración de clorofila “a” y los parámetros fisicoquímicos se presentan en las gráficas que se realizaron con los resultados obtenidos de cada laguna, en las que además se registran los datos estadísticos como el índice de confianza (IC) con respecto a la correlación de Pearson.

#### 3.5.1. Temperatura y Concentración de clorofila “a”

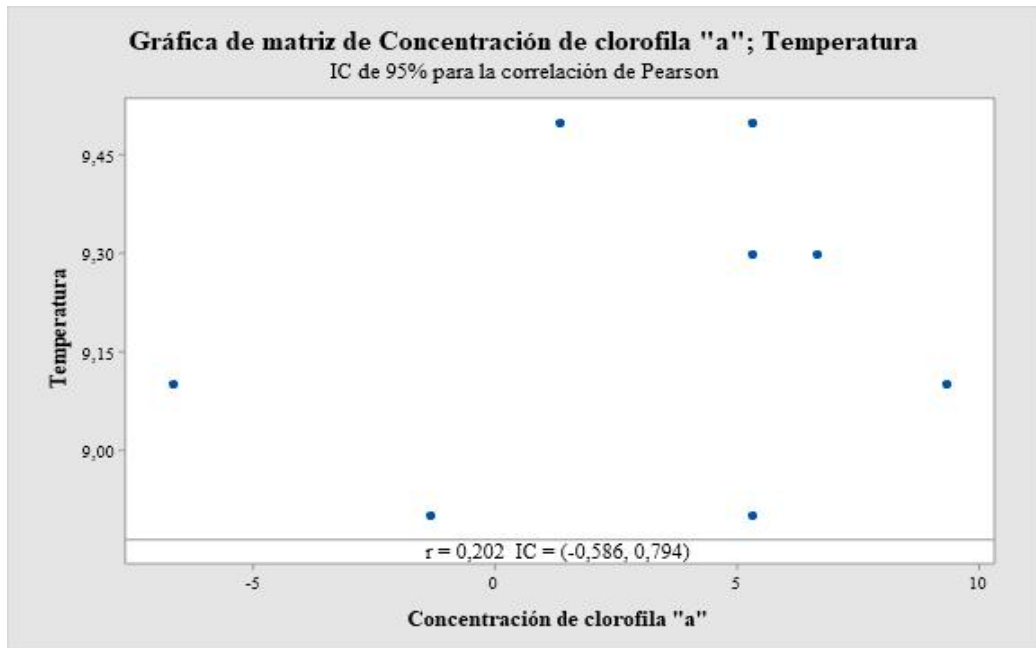
La relación entre la temperatura y la concentración de clorofila “a” se muestran en los gráficos 13-3 y 14-3; en el caso de la Laguna de Antejos 1 presenta un coeficiente de correlación de

Pearson de 0,508 que indica una correlación positiva moderada y en la Laguna de Antejos 2 de 0,202 corresponde a una correlación positiva baja, es decir, en ninguna de las dos lagunas se aprecia una relación importante, lo que puede deberse según (Roldán & Ramírez, 2008, p. 169) a que en las lagunas de páramo generalmente no existe una alta variabilidad de la temperatura a lo largo del año por lo cual no se reconocen niveles elevados que puedan favorecer el incremento de clorofila "a".



**Gráfico 13-3.** Temperatura- Concentración de clorofila "a" de la Laguna de Antejos 1.

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

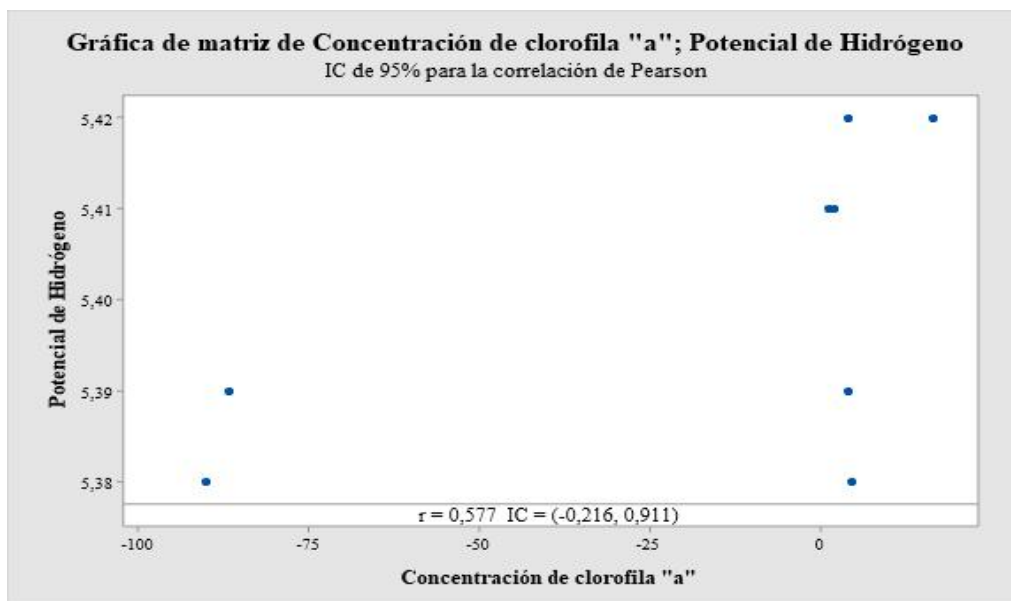


**Gráfico 14-3.** Temperatura- Concentración de clorofila "a" de la Laguna de Antejos 2.

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

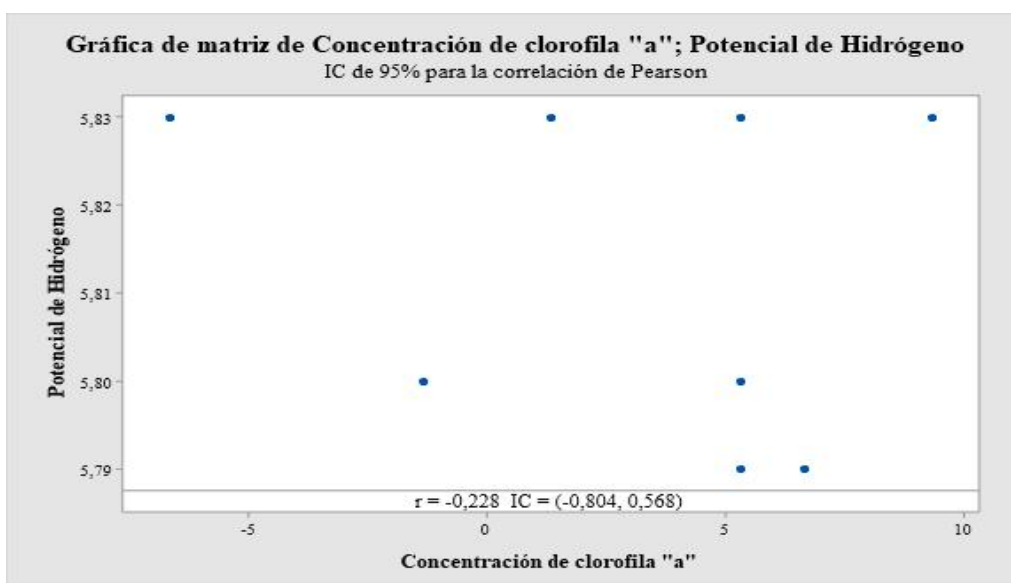
### 3.5.2. *Potencial de Hidrógeno y Concentración de clorofila "a"*

En el gráfico 15-3 se muestra que la correlación que existe entre el parámetro pH y concentración de clorofila "a" es de 0,577 para la Laguna de Antejos 1 que corresponde a una relación positiva moderada y para la Laguna de Antejos 2 es de -0,228 que indica que tienen una correlación negativa baja como se observa en el gráfico 16-3. Es decir, que el aumento del pH no contribuye a que exista un mayor desarrollo de algas y por ende aumente la concentración de clorofila "a".



**Gráfico 15-3.** pH - Concentración de clorofila "a" de la Laguna de Antejos 1.

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

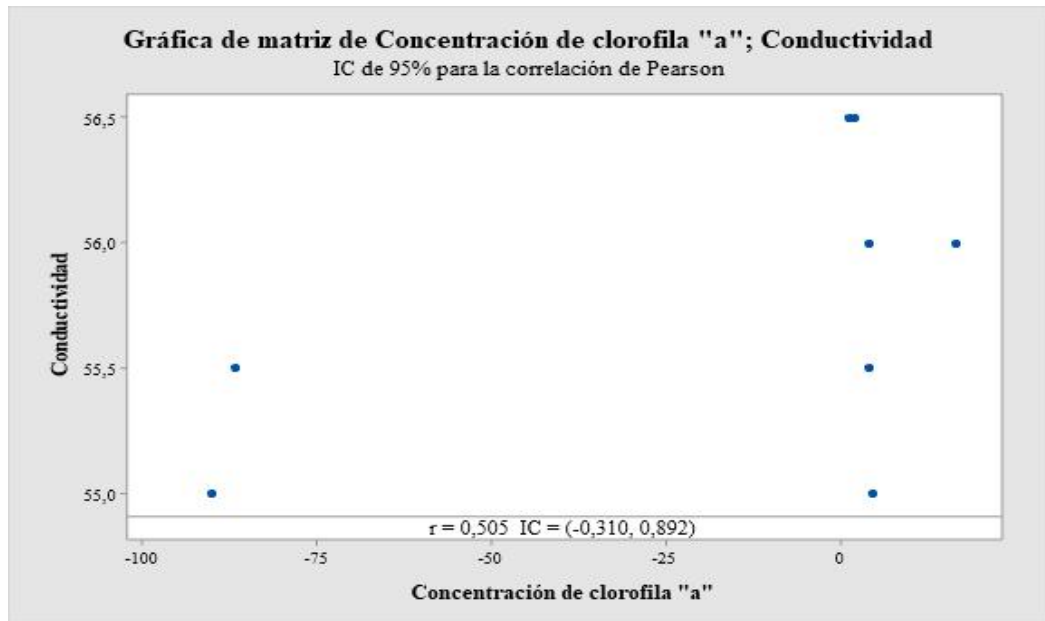


**Gráfico 16-3.** pH- Concentración de clorofila "a" de la Laguna de Antejos 2.

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

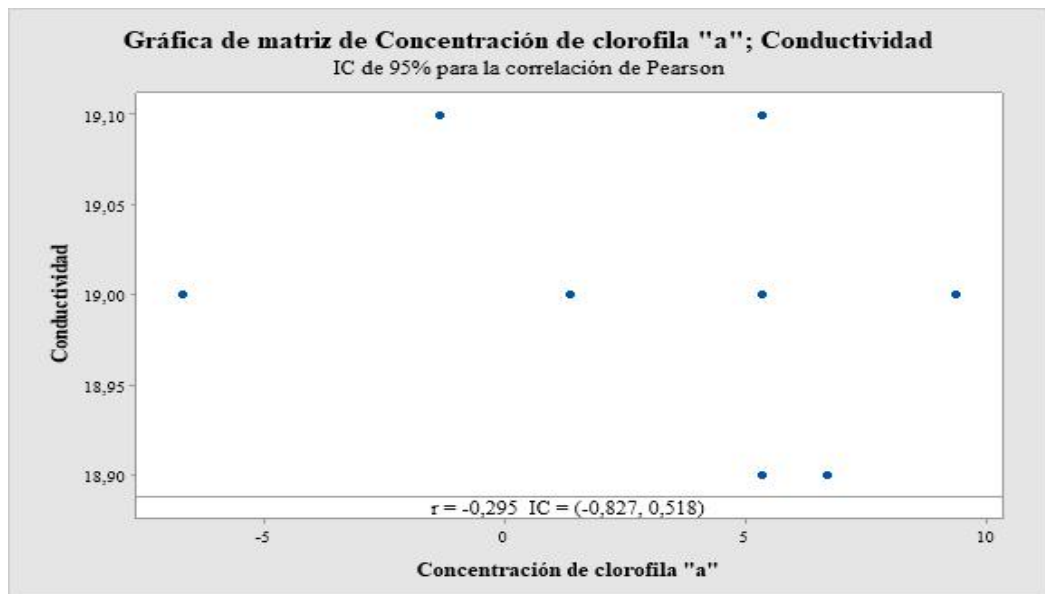
### 3.5.3. Conductividad y Concentración de clorofila "a"

Con respecto a la conductividad y la concentración de clorofila "a" se muestran en los gráficos siguientes, presentando una correlación positiva moderada, debido a que tiene un valor de  $r$  igual a 0,505 para la Laguna de Antejos 1 y para la Laguna de Antejos 2 las variables presentan una correlación negativa baja al tener un valor de -0,295, lo que indica según (Balzarini et al., 2015, p. 231) que si una variable crece la otra disminuye y viceversa.



**Gráfico 17-3.** Conductividad- Concentración de clorofila "a" de la Laguna de Antejos 1.

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.



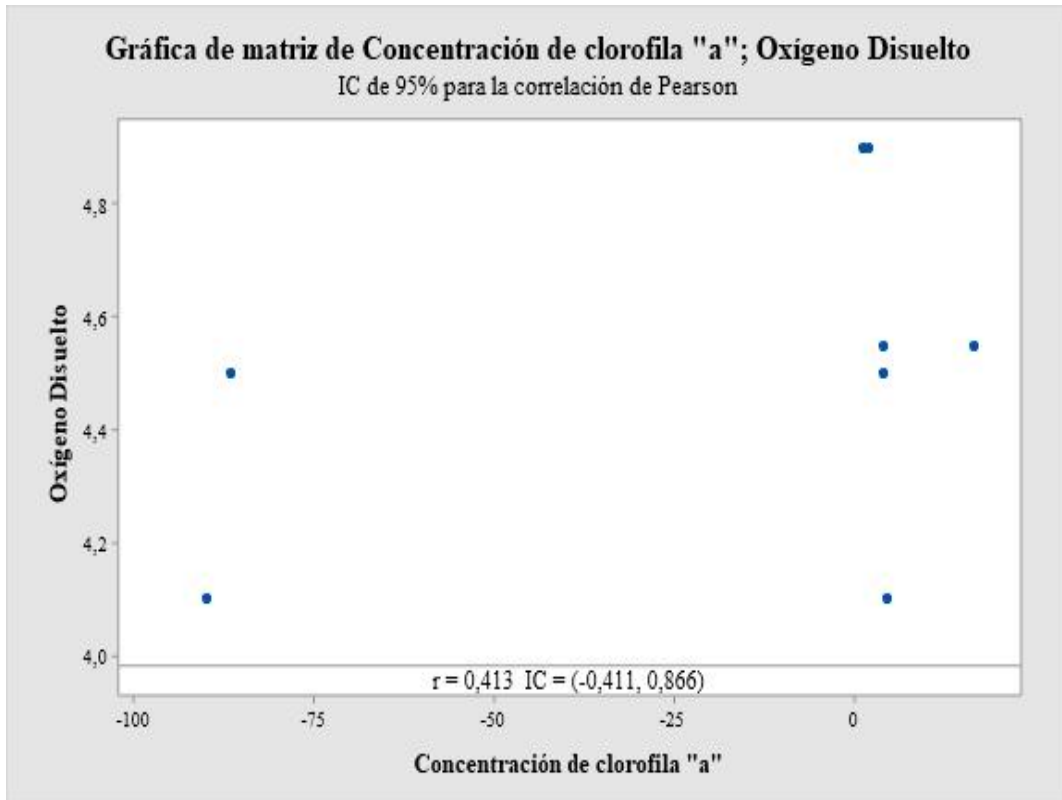
**Gráfico 18-3.** Conductividad - Concentración de clorofila "a" de la Laguna de Antejos 2.

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

### 3.5.4. Oxígeno Disuelto y Concentración de Clorofila "a"

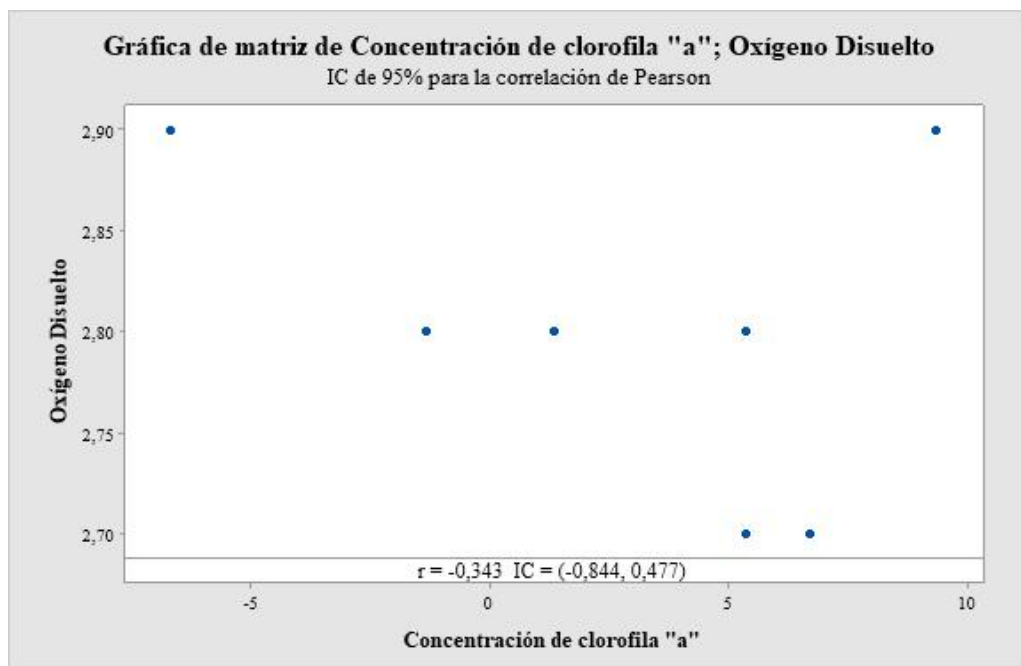
Después de calcular el coeficiente de Pearson, el valor obtenido de  $r$  es 0,413 que corresponde a una correlación positiva moderada para la Laguna de Antejos 1 y negativa baja para la Laguna de Antejos 2 al presentar un valor de -0,343. Lo que significa que la relación de las variables en la Laguna de Antejos 2 es inversamente proporcional que concuerda con (Sánchez, 2007, p. 123) que señala que el crecimiento en exceso de algas, plantas acuáticas y la alta concentración de materia orgánica trae consigo como consecuencia la disminución de la concentración de

oxígeno disuelto. Sin embargo, esto no ocurre en la Laguna de Antejos 1 debido a que el nivel trófico de la misma es bajo, lo que quiere decir, que no existe una reproducción elevada de algas que altere la concentración del oxígeno disuelto.



**Gráfico 19-3.** OD - Concentración de clorofila "a" de la Laguna de Antejos 1.

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

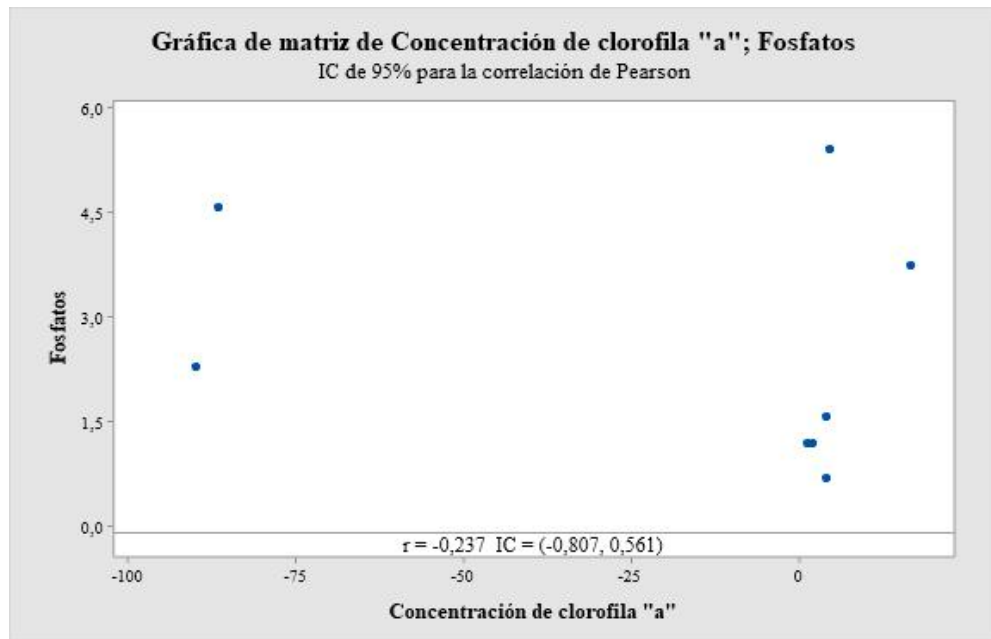


**Gráfico 20-3.** OD - Concentración de clorofila "a" de la Laguna de Antejos 2.

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

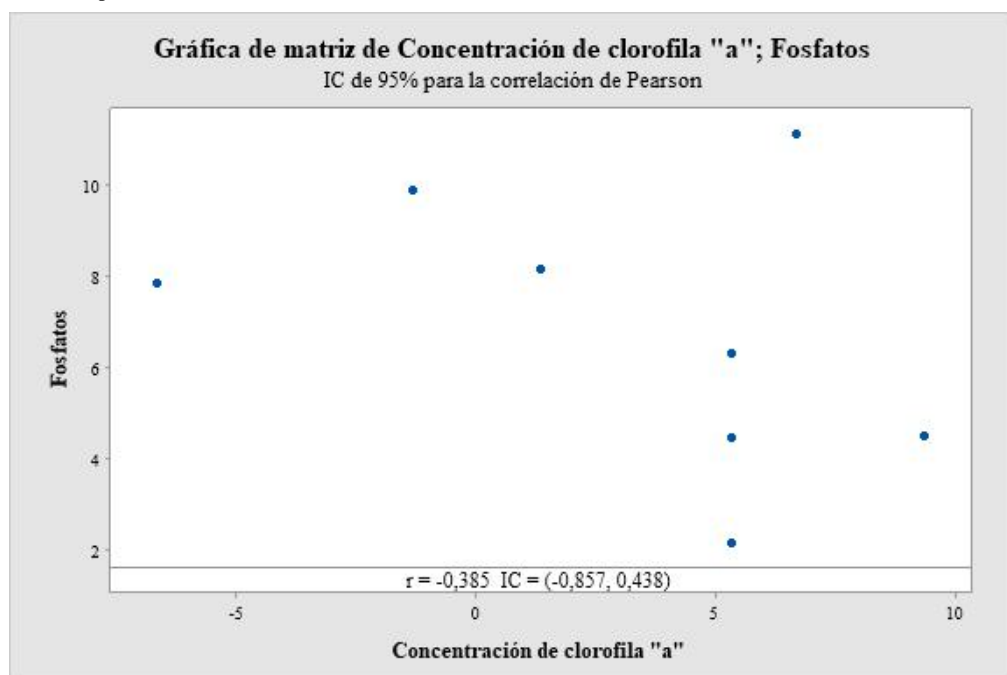
### 3.5.5. Fosfatos y Clorofila "a"

Para la relación entre los fosfatos y la concentración de clorofila "a" el valor resultante del coeficiente es -0,237 y -0,385 para la Laguna de Antejos 1 y Laguna de Antejos 2 respectivamente. Valores que corresponden a una relación negativa baja.



**Gráfico 21-3.** Fosfatos- Concentración de clorofila "a" de la Laguna de Antejos 1.

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.



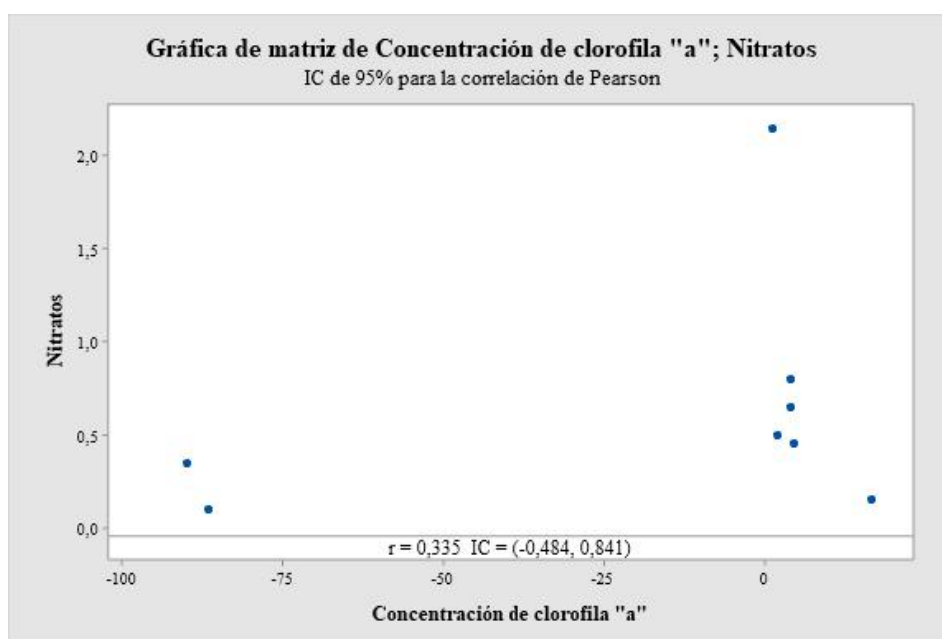
**Gráfico 22-3.** Fosfatos - Concentración de clorofila "a" de la Laguna de Antejos 2.

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.



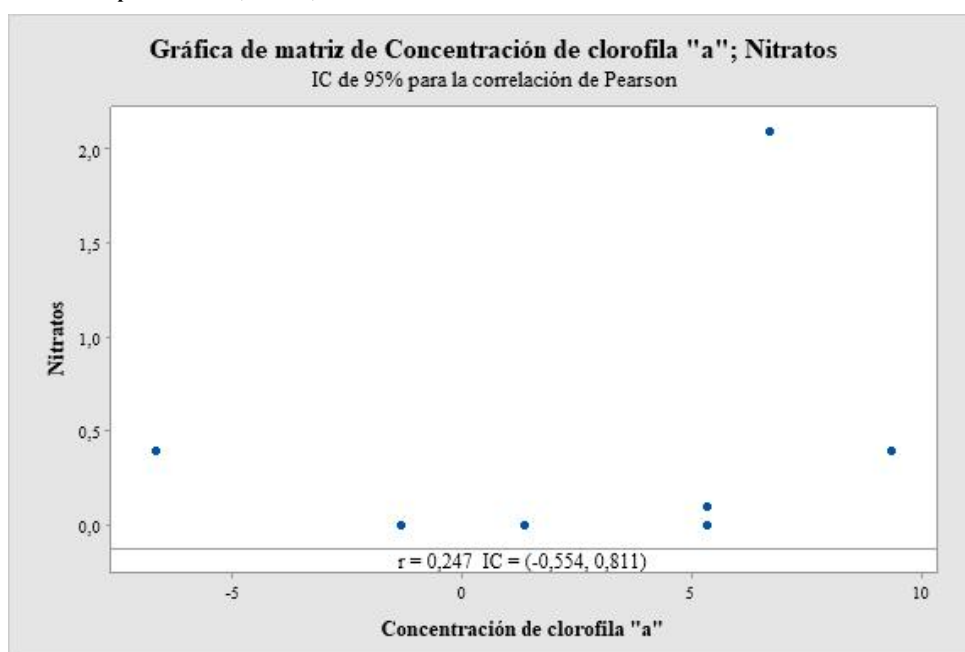
### 3.5.6. Nitratos y Concentración de Clorofila "a"

El valor del coeficiente de Pearson para la relación existente entre los nitratos y concentración de clorofila "a" es de 0,335 para la Laguna de Antejos 1 y para la Laguna de Antejos 2 es de 0,247. Las dos lagunas presentan una relación positiva baja.



**Gráfico 23-3.** Nitratos - Concentración de clorofila "a" de la Laguna de Antejos 1.

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.



**Gráfico 24-3.** Nitratos - Concentración de clorofila "a" de la Laguna de Antejos 2.

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

A continuación, se presenta en la tabla 24-3 de los coeficientes de correlación de Pearson de todos los parámetros físicoquímicos y la concentración de clorofila "a".

**Tabla 24-3.** Coeficientes de correlación de Pearson de la Laguna de Anteojos 1 y 2.

	Temperatura- Concentración de clorofila "a"	pH- Concentración de clorofila "a"	Conductividad- Concentración de clorofila "a"	OD- Concentración de clorofila "a"	Fosfatos- Concentración de clorofila "a"	Nitratos- Concentración de clorofila "a"
<b>Laguna de Anteojos 1</b>	0,505	0,577	0,505	0,413	-0,237	0,335
<b>Laguna de Anteojos 2</b>	0,202	-0,228	-0,295	-0,343	-0,385	0,247

Realizado por: Calderón, Susana, 2022.

## CONCLUSIONES

En el presente trabajo de investigación se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Los parámetros físicoquímicos analizados en el Sistema Lacustre Anteojos muestran que las variables de pH y OD se encuentran fuera del rango para consumo humano, uso agrícola, pecuario, fines recreativos, fines recreativos mediante contacto secundario y preservación de la flora y fauna en aguas dulces frías establecidos en la normativa ambiental ecuatoriana, en cuanto a la temperatura, conductividad y fosfatos el TULSMA no presenta límites permisibles por lo cual se compararon los resultados con los criterios propuestos por otros autores donde la temperatura se encuentra en el rango establecido para laguna de páramo y la conductividad señala que las lagunas tienen agua pura. Con respecto a los nitratos se encuentran dentro del rango permisible para uso pecuario establecidos en el TULSMA.
- En cada punto de muestreo se obtuvo la concentración promedio de clorofila "a" siendo la más alta en la Laguna de Anteojos 1 el punto uno (pel1\_1) en la superficie de la laguna, presenta un valor de 16,69 mg/m<sup>3</sup> mientras que en la Laguna de Anteojos 2 la mayor concentración se tiene en el punto cuatro (pel2\_4) a 0,5m de la superficie con un valor de

9,35 mg/m<sup>3</sup>, con referencia a la media general de las lagunas la mayor concentración presenta la Laguna de Antejos 2 con un valor de 3,17 mg/m<sup>3</sup> que equiparando dichos valores con trabajos de investigación previos realizados en cuerpos hídricos con similares características como es el caso de las lagunas de Mojanda que presentaron concentraciones de clorofila en un rango de 1,0 a 5,6 mg/m<sup>3</sup> (Oña & Tonato, 2017, pp. 35-43) por lo que se entiende que este tipo de sistemas lacustres presentan bajos niveles de concentración de clorofila “a”. Resultados que fueron obtenidos a través del método espectrofotométrico 10200 *H Chloropyll* aprobado por la APHA, concluyendo también que dicho método es factible y efectivo para la medición del índice trófico de los cuerpos de agua.

- La laguna de Antejos 1 presenta un Índice de Estado Trófico (TSI) de Carlson modificado por Aisaki de 29,52 que de acuerdo con la tabla 3-2 donde se presenta la escala del índice del estado trófico de Carlson 1997 la laguna se encuentra en un estado oligotrófico que indica que son cuerpos de agua cristalinos, pobres en nutrientes y ausencia de algas o fitoplancton en la superficie, mientras que la laguna de Antejos 2 tiene un TSI de 31,34 que de acuerdo a la escala de Carlson se encuentra en un estado mesotrófico lo que señala que el agua de la laguna contiene nutrientes en niveles moderados, con un crecimiento adecuado de algas y fitoplancton.
- El nivel de correlación entre los parámetros fisicoquímicos y la concentración de clorofila “a” establecido con el coeficiente de correlación de Pearson (r), obteniendo una relación de positiva baja a moderada entre la temperatura y la concentración de clorofila “a”, con respecto al potencial de hidrógeno, conductividad y la concentración de clorofila “a” se presenta una relación de negativa baja a positiva moderada lo que indica que el pH y la conductividad no contribuye a que exista un mayor desarrollo de fitoplancton, el oxígeno disuelto y la concentración de clorofila “a” tienen una relación inversamente proporcional lo que significa que mientras una variable aumente la otra disminuye, y finalmente la correlación que existe entre los fosfatos y la concentración de clorofila “a” corresponde a una relación negativa baja (inversamente proporcional), mientras, que con los nitratos tiende a una relación positiva baja.

## **RECOMENDACIONES**

- Realizar este tipo de estudios mediante metodologías de vanguardia como el uso de sistemas de información geográfica, que permitan corroborar los resultados obtenidos en esta investigación.
- Se recomienda realizar un monitoreo periódico con más puntos de muestreo a diferentes profundidades, para llevar el control sobre la calidad del agua de las lagunas, lo que permitirá conservar y preservar el sistema lacustre.
- Efectuar un estudio más profundo acerca de los parámetros fisicoquímicos y los nutrientes presentes en los cuerpos hídricos con el fin de obtener datos que generen mayor información sobre su comportamiento en el agua de las lagunas.
- Colocar una estación meteorológica cerca del sistema lacustre para conocer la época lluviosa y seca con el fin de que se puedan realizar investigaciones para conocer si existe una variación de los nutrientes en las lagunas con respecto al clima.

- Realizar estudios acerca de las zonas intervenidas en el Parque Nacional Llanganates para conocer los impactos del cambio del uso del suelo en las microcuencas que alimentan las lagunas.

## BIBLIOGRAFÍA

**AGUILAR MORA, Glenda Marisol.** Determinación del estado trófico actual de la laguna Busa cantón San Fernando mediante cuantificación de la clorofila “A” [en línea] 2020. (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado) Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca-Ecuador, 2020. pp. 1-81 [Consulta: 15 mayo 2022], Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19563/1/UPS-CT008897.pdf>.

**ALEA RIERA, M.V.** *Estadística con SPSS v.10.0* [en línea]. S.l.: Edicions Universitat Barcelona, 2001 [Consulta: 11 junio 2022]. ISBN 978-84-8338-257-8. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=ffoUYc\\_ZawC&pg=PA164&dq=Canavos,+G.,+\(1988\)+Probabilidad+y+Estad%C3%ADstica.+Aplicaciones+y+M%C3%A9todos.+M%C3%A9xico,+McGrawHill.&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjhwom3hcP4AhWhSzABHWmzAW8Q6AF6BAGDEAI#v=onepage&q=coeficiente%20de%20pearson&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=ffoUYc_ZawC&pg=PA164&dq=Canavos,+G.,+(1988)+Probabilidad+y+Estad%C3%ADstica.+Aplicaciones+y+M%C3%A9todos.+M%C3%A9xico,+McGrawHill.&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjhwom3hcP4AhWhSzABHWmzAW8Q6AF6BAGDEAI#v=onepage&q=coeficiente%20de%20pearson&f=false).

**AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION y WATER ENVIRONMENT FEDERATION.** *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 2017.

**BALZARINI, M., DI RIENZO, J., TABLADA, M., BRUNO, C., CÓRDOBA, M., ROBLEDO, W. y CASANOVES, F.** *Estadística y Biometría: Ilustraciones del uso de InfoStat en problemas de agronomía*. 2ª ed. Argentina: Brujas, 2015. ISBN 978-987-591-575-6, p.231

**BIRDLIFE INTERNATIONAL, Y AVES Y CONSERVACIÓN.** *Servicios Ecosistémicos del Parque Nacional Llanganates* [en línea]. 2014. S.l.: s.n. [Consulta: 12 junio 2022]. Disponible en: <http://datazone.birdlife.org/userfiles/file/TESSA/TESSA-Llanganates-Ecuador.pdf>.

**CAMACHO, José (ed.)** Eliminación biológica de fósforo en aguas residuales urbanas. España: Universidad de Castilla La Mancha, 2001. ISBN 978-84-8427-106-2, pp. 328-331

**CASTRO SALAZAR, Hans.** *Química ambiental básica* [en línea]. S.l.: Editorial CORHUILA, 2021. [Consulta: 16 julio 2022]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/176264>.

**CHACÓN CHAQUEA, M.** *Análisis físico y químico de la calidad del agua* [en línea]. S.l.: Ediciones USTA, 2016. [Consulta: 13 junio 2022]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/68990>.

**COLOMA SANTOS, A.** "Guía del Patrimonio de Áreas Naturales Protegidas del Ecuador". *ECOLAP, MAE*, (2007) pp. 157-164.

**DOMÈNECH, X. y PERAL, J.** *Química ambiental de sistemas terrestres* [en línea]. S.l.: Editorial Reverté, 2015. [Consulta: 10 junio 2022]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/46752>.

**DUKE, S.** *La tierra y la importancia del agua: The Earth and the Role of Water* [en línea]. S.l.: Carson-Dellosa Publishing, 2014. [Consulta: 17 abril 2022]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=RWFxDwAAQBAJ&pg=PA14&dq=importancia+del+agua+de+los+lagos&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjwhdiQ4\\_n3AhVhLH0KHfKMCSQQ6AF6B-AgJEA#v=onepage&q=importancia%20del%20agua%20de%20los%20lagos&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=RWFxDwAAQBAJ&pg=PA14&dq=importancia+del+agua+de+los+lagos&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjwhdiQ4_n3AhVhLH0KHfKMCSQQ6AF6B-AgJEA#v=onepage&q=importancia%20del%20agua%20de%20los%20lagos&f=false).

**ESTERAS PÉREZ, F.J. y SANCHIS DUATO, E.** *Glosario botánico ilustrado* [en línea]. S.l.: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2022. [Consulta: 13 junio 2022]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/219257>.

**FIGUEROA, M.** *Química* [en línea]. S.l.: Firmas Press, 2010. [Consulta: 13 junio 2022]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/36341>.

**F.MONTALVO, J.; GARCÍA RAMIL, I. de los A.; ALMEIDA RODRÍGUEZ, M.; BETANZOS VEGA, A.; & GARCÍA GARCÍA, N.** "Modelación de la eutroficación e índice de calidad del agua en algunas bahías del archipiélago Sabana Camagüey". *Tecnología Química*, vol. 34, n° 3 (2014), pp. 307-323. [Consulta: 4 julio 2022] ISSN 2224-6185. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S222461852014000300009&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S222461852014000300009&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

**FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.** *Lucha Contra La Contaminación Agrícola De Los Recursos Hídricos* [en línea]. S.l.: Food & Agriculture Org, 1997. pp. 41-45. [Consulta: 4 abril 2022]. ISBN 978-92-5-303875-6. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=LYdW3nQ3KvoC&pg=PA41&dq=eutrofizaci%C3%B3>

n&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjEqsyFjIn4AhWJrHIEHSirDswQ6AF6BAgEEAI#v=onepage&q=eutrofizaci%C3%B3n&f=false.

**FUENTES YAGÜE, J.L.** *Iniciación a la botánica* [en línea]. S.l.: Mundi-Prensa, 2008. [Consulta: 13 junio 2022]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/35838>.

**GARCÍA, F. y MIRANDA, V.** Eutrofización, una amenaza para el recurso hídrico. *Agenda pública para el desarrollo regional, la metropolización y la Sostenibilidad* [en línea]. México: s.n., 2018. [Consulta: 18 diciembre 2021]. Disponible en: <http://ru.iiec.unam.mx/id/eprint/4269>.

**GARCÍA LOZANO, M.** "Eutrofización: una visión general". *CienciAcierta* [en línea], 2016, 47(70), pp. 1-5. [Consulta: 9 junio 2022]. ISSN 2683-1848 Disponible en: <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2016/09/26/eutrofizacion-una-vision-general/>.

**GÓMEZ ORTEGA, R., DE LA LANZA ESPINO, G., TOVILLA HERNÁNDEZ, C., BARBA MACÍAS, E., VALLE MORA, J., CASTAÑEDA LÓPEZ, O. y RAMOS SANTIAGO, E.,** 2017. "Cambios ambientales y tróficos a través de un análisis a largo plazo del sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México". *Revista Ciencias Marinas y Costeras* [en línea], 2017, 9(2), p. 75. [Consulta: 9 junio 2022]. ISSN 1659-407X, 1659-455X. Disponible en: <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/revmar/article/view/10069>

**GUERRERO LEGARRETA, M.** *El agua* [en línea]. S.l.: FCE - Fondo de Cultura Económica, 2010. [Consulta: 24 mayo 2022]. ISBN 978-607-16-0354-8. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/72081>.

**GUILLÉN OTERINO, A.** *Lago de Sanabria, presente y futuro de un ecosistema en desequilibrio* [en línea]. S.l.: Antonio Guillén Oterino, 2015. [Consulta: 9 mayo 2022]. ISBN 978-84-608-2818-1. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=R7Q4DwAAQBAJ&pg=PT186&dq=indice+de+estado+trofico+de+carlson+\(1977\)&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi7\\_6C6g6L4AhWgs4QIHX\\_VAcgQ6AF6BAgCEAI#v=onepage&q=indice%20de%20estado%20trofico%20de%20carlson%20\(1977\)&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=R7Q4DwAAQBAJ&pg=PT186&dq=indice+de+estado+trofico+de+carlson+(1977)&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi7_6C6g6L4AhWgs4QIHX_VAcgQ6AF6BAgCEAI#v=onepage&q=indice%20de%20estado%20trofico%20de%20carlson%20(1977)&f=false).

**HANNA INSTRUMENTS.** *Manual de Instrucciones Series C 99 y C 200 Fotómetros Multiparámetro de Sobremesa*. S.l.: s.n.



**LANZA ESPINO, G. de la, PULIDO, S.H. y PÉREZ, J.L.C.** *Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores)* [en línea]. S.l.: Plaza y Valdes, 2000. [Consulta: 9 junio 2022] ISBN 978-968-856-853-8. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=DfXiBOYXb98C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=DfXiBOYXb98C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

**LANZA-ESPINO, G. de la, CÁCERES MARTÍNEZ, C., ADAME MARTÍNEZ, S. y HERNÁNDEZ PULIDO, S.** *Diccionario de hidrología y ciencias afines* [en línea]. S.l.: Plaza y Valdes, 1999. [Consulta: 31 mayo 2022] ISBN 978-968-856-711-1. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=My27250twg0C&pg=PA65&dq=limnologia+definicion&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi4K\\_zoPn3AhVhSjABHXemCQ0Q6AF6BAGFEAI#v=onepage&q=limnologia%20definicion&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=My27250twg0C&pg=PA65&dq=limnologia+definicion&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi4K_zoPn3AhVhSjABHXemCQ0Q6AF6BAGFEAI#v=onepage&q=limnologia%20definicion&f=false).

**LARA BARRAGÁN GÓMEZ, A., NÚÑEZ TREJO, H., CERPA CORTÉS, G. y CHÁVEZ CHÁVEZ, A.** *Introducción a la física* [en línea]. S.l.: Grupo Editorial Patria, 2015. [Consulta: 13 junio 2022]. ISBN 978-607-438-918-0. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/39447>.

**LÓPEZ CORTÉS, D.J., GÁRATE LIZÁRRAGA, I., BUSTILLOS GUZMÁN, J.J., MURILLO MURILLO, I. y ALONSO RODRÍGUEZ, R.** "Variabilidad del estado trófico y la biomasa del fitoplancton de Bahía Concepción, Golfo de California (1997-1999)" *Hidrobiológica* [en línea], 2003, (México) 13(3), pp. 195-206. [Consulta: 3 junio 2022]. Disponible en: <https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/647/1/L%C3%B3pez-D.pdf>

**LÓPEZ MARTÍNEZ, M.L. y MADROÑERO PALACIOS, S.M.,** 2015. "Estado trófico de un lago tropical de alta montaña: Caso Laguna de la Cocha". *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* [en línea], 2015, 25(2), pp. 21-42. [Consulta: 24 mayo 2022]. ISSN 1909-7735, 0124-8170. Disponible en: <http://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/1430>

**MANAHAN, S.E.** *Introducción a la química ambiental* [en línea]. S.l.: Reverté, 2006. [Consulta: 31 mayo 2022] ISBN 978-84-291-7907-1. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=5NR8Dik1n68C&printsec=frontcover&hl=es&source=gsbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=5NR8Dik1n68C&printsec=frontcover&hl=es&source=gsbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

**MENÉNDEZ GUTIÉRREZ, C. y PÉREZ OLMO, J.M.** *Procesos para el tratamiento biológico aguas residuales* [en línea], Editorial Félix Varela, 2007. [Consulta: 13 junio 2022]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/152077>.

**MINISTERIO DEL AMBIENTE, AGUA Y TRANSICIÓN ECOLÓGICA.** Parque Nacional Llanganates – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. [en línea]. 2015 [Consulta: 19 junio 2022]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/16764/>.

**MORENO FRANCO, D.P., QUINTERO MANZANO, J. y LÓPEZ CUEVAS, A.** "Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia" ContactoS [en línea], 2010, (Colombia-México) pp. 25-33. Disponible en: <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n78ne/eutrofia2.pdf>

**MORENO MERINO, L.M.** *La depuración de aguas residuales urbanas de pequeñas poblaciones mediante infiltración directa en el terreno* [en línea]. S.l.: IGME, 2002. [Consulta: 15 mayo 2022]. ISBN 978-84-7840-464-3. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=MBESfg8LP3gC&pg=PA95&dq=nitrogeno+en+el+agua&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj2pWh\\_7D4AhVbZzABHbX3AOgQ6AF6BAGKEAI#v=onepage&q=nitrogeno%20en%20el%20agua&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=MBESfg8LP3gC&pg=PA95&dq=nitrogeno+en+el+agua&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj2pWh_7D4AhVbZzABHbX3AOgQ6AF6BAGKEAI#v=onepage&q=nitrogeno%20en%20el%20agua&f=false).

**MOSQUERA ABAMBARI, T.** Propuesta para la creación del centro de interpretación ambiental en el Parque Nacional Llanganates, provincia de Tungurahua [en línea] (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado) Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador-Quito. 2010. pp. 27-29 [Consulta: 10 junio 2022]. Disponible en: [http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/13311/1/41640\\_1.pdf](http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/13311/1/41640_1.pdf).

**MURIALDO, R.** *Ecología, ecosistemas, ecotoxicología: conceptos fundamentales* [en línea]. España: Editorial Brujas, 2016. [Consulta: 26 mayo 2022]. ISBN 978-987-591-782-8. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/78234>.

**NTE INEN 2169.** *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y Conservación de muestras* [en línea]. 2013. S.l.: s.n. [Consulta: 18 junio 2022]. Disponible en: <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACION-DE-MUESTRAS.pdf?x42051>.

**NTE INEN 2176.** *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo* [en línea]. 2013. S.l.: s.n. [Consulta: 18 junio 2022]. Disponible en: <https://www.trabajo.gob.ec/wp->

content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2176-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-T%C3%89CNICAS-DE-MUESTREO.pdf?x42051.

**OÑA LOACHAMIN, Jenny Paola, & TONATO CAZAGALLO, Cristhian Alexander.** Determinación del Estado Trófico de las lagunas de Mojanda a través de la cuantificación de clorofila «a». [en línea] (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado) Universidad Central del Ecuador, Quito-Ecuador. 2017. pp. 9-15. [Consulta: 12 abril 2022]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/13140/1/T-UCE-0012-38.pdf>.

**ORQUERA, Estefanía.; & CABRERA, Marcelo.** "Caracterización del Estado Trófico de la Laguna de Yambo mediante análisis de fósforo". *InfoANALÍTICA*, vol. 8, n°1 (2020), (Ecuador) pp. 99-11.

**PÉREZ MONTIEL, H.** *Física general* [en línea]. S.l.: Grupo Editorial Patria, 2016. [Consulta: 13 junio 2022]. ISBN 978-607-744-281-3. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/40438>.

**PROAÑO PROAÑO, Elisa Valeria.** Guía de flora del Parque Nacional Llanganates, en el sector de la Laguna de Antejos [en línea] (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado) Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga-Ecuador. 2018. pp. 23-30 [Consulta: 15 junio 2022]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8508>.

**RAMALHO, R.S.** *Tratamiento de aguas residuales* [en línea]. S.l.: Reverte, 2021. [Consulta: 18 abril 2022]. ISBN 978-84-291-9207-0. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=T9MfEAAAQBAJ&pg=PA23&dq=eutrofizaci%C3%B3n&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjEqsyFjIn4AhWJrHIEHSirDswQ6AF6BAgLEAI#v=onepage&q=eutrofizaci%C3%B3n&f=false>.

**RAMOS RODRÍGUEZ, E., CONDE PORCUNA, J.M. y MORALES BAQUERO, R.** "El zooplancton como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas lénticos". *Ecosistemas* [en línea], 2004, (España) VIII(2), pp. 1-9. [Consulta: 3 junio 2022]. ISSN 1132-6344, 1697-2473. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54013203>

**RIVERA R, C., ZAPATA, A., PINILLA, G., DONATO, J., CHAPARRO, B. y JIMÉNEZ, P.** "Comparación de la estimación de la Clorofila-a mediante los métodos espectrofotométrico y fluorométrico". *Acta Biológica Colombiana* [en línea], 2005, (Colombia) 10(2), pp. 95-103. [Consulta: 30 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3190/319028577004.pdf>

**ROLDÁN PÉREZ, G. y RAMÍREZ RESTREPO, J.J.** *Fundamentos de limnología neotropical* [en línea]. Segunda. Colombia: Universidad de Antioquia, 2008. [Consulta: 17 mayo 2022]. ISBN 978-958-714-144-3. Disponible en: [https://books.google.es/books?id=FA5Jr7pXF1UC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?id=FA5Jr7pXF1UC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false).

**SÁNCHEZ, O.** *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México* [en línea]. S.l.: Instituto Nacional de Ecología, 2007. [Consulta: 15 abril 2022]. ISBN 978-968-817-856-0. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=uWlrkIx-r3oC&printsec=frontcover&dq=indice+de+estado+trifico+de+carlson+\(1977\)&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiH3sv0jqL4AhUnZt8KHft1Bbk4ChDoAXoECAUQA#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=uWlrkIx-r3oC&printsec=frontcover&dq=indice+de+estado+trifico+de+carlson+(1977)&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiH3sv0jqL4AhUnZt8KHft1Bbk4ChDoAXoECAUQA#v=onepage&q&f=false).

**TETON, J.** *Guía técnica de la acuariofilia* [en línea]. S.l.: Ediciones AKAL, 2003. ISBN 978-84-89840-24-9. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=6vrjovWkQicC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=6vrjovWkQicC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false).

**TOAPANTA AIMACAÑA, Mayra Elizabeth.** Determinación del estado trófico de la laguna de Yambo a través de la cuantificación de clorofila “a” [en línea] (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado) Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. 2017. pp. 3-12 [Consulta: 13 febrero 2022]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/13141/1/T-UCES-0012-39.pdf>.

**TULSMA 2015.** *Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente. Libro VI Anexo I.* S.l.: s.n.,

**VALLES ANGULO, Robert Heli.** Factores causales de la eutrofización y calidad del agua de la laguna El Sauce – Tarapoto [en línea] (Trabajo de titulación) (Doctorado) Instituto Científico y Tecnológico del Ejército “GRAL DIV EDGARDO MERCADO JARRIN”, Lima, Perú. 2017. pp. 13-49 [Consulta: 10 abril 2022]. Disponible en: <http://repositorio.icte.ejercito.mil.pe/bitstream/123456789/236/1/Tesis%20Doctoral%20Robert%20Valles%20Angulo.pdf>.

**VÁSQUEZ, C., ARIZA, A. y PINILLA, G.** "Descripción del estado trófico de diez humedales del altiplano Cundiboyacense". *Universitas Scientiarum* [en línea], 2006, (Colombia) 11(2) pp. 61-75. [Consulta: 3 junio 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/499/49911206.pdf>

**VÁSQUEZ ZAPATA, G.L., HERRERA OROZCO, L., CANTERA KINTZ, J.R., GALVIS CASTAÑO, A., CARDONA ZEA, D.A. y HURTADO SÁNCHEZ, I.C.** "Metodología para determinar niveles de eutrofización en ecosistemas acuáticos". *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, n° 24 (2012), (Colombia) pp. 112-128. ISSN 2500-7459, 0120-4173.

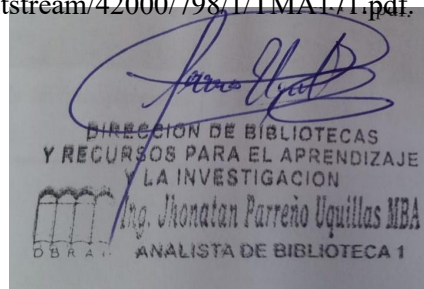
**VÁZQUEZ, M.A. y LARREA, M.** *Biodiversidad en el Parque Nacional Llanganates: un reporte de las evaluaciones ecológicas y socioeconómicas rápidas*. Ecuador: EcoCiencia, Fundación Ecuatoriana de Estudios Ecológicos, 2000. ISBN 978-9978-41-638-9, pp. 9-11.

**VÁZQUEZ, M.A., LARREA, M., BENÍTEZ, V., CHIRIBOGA, C., MORALES, M., ORTIZ, A., NEILL, D. y AGUILAR, R.** "Parque Nacional Llanganates: Visión general y perspectivas de conservación". *EcoCiencia* [en línea], 2000, (Ecuador) pp. 1-13. [Consulta: 15 junio 2022] Disponible en: <http://documentoskoha.s3.amazonaws.com/6592.pdf>

**VILLARREAL MORALES, J.** *Cucunubá: modelo para un desarrollo sostenible* [en línea]. S.l.: U. Jorge Tadeo Lozano, 2000. [Consulta: 21 mayo 2022]. ISBN 978-958-9029-30-5. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=LOpB\\_Y6eKd4C&pg=PA34&dq=nitrogeno+en+el+agua&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj2pWh\\_7D4AhVbZzABHbX3AOgQ6AF6BAgGEAI#v=onepage&q=nitrogeno%20en%20el%20agua&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=LOpB_Y6eKd4C&pg=PA34&dq=nitrogeno+en+el+agua&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj2pWh_7D4AhVbZzABHbX3AOgQ6AF6BAgGEAI#v=onepage&q=nitrogeno%20en%20el%20agua&f=false).

**WETZEL, R.G.** *Limnology: Lake and River Ecosystems* [en línea]. S.l.: Gulf Professional Publishing, 2001. [Consulta: 7 marzo 2022]. ISBN 978-0-12-744760-5. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=no2hk5uPUcMC&printsec=frontcover&hl=es&source=gb\\_s\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=no2hk5uPUcMC&printsec=frontcover&hl=es&source=gb_s_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false).

**ZAMBRANO ALCÍVAR, Ariana Romina.** Evaluación del grado de eutrofización de la laguna natural El Carmen y su situación con las épocas del año [en línea] (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado) Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Ecuador. 2018. pp. 4-20 [Consulta: 12 abril 2022]. Disponible en: <https://repositorio.esпам.edu.ec/bitstream/42000/798/1/TMA171.pdf>.



## ANEXOS

### ANEXO A. FOTOGRAFÍA DEL SISTEMA LACUSTRE ANTEOJOS.



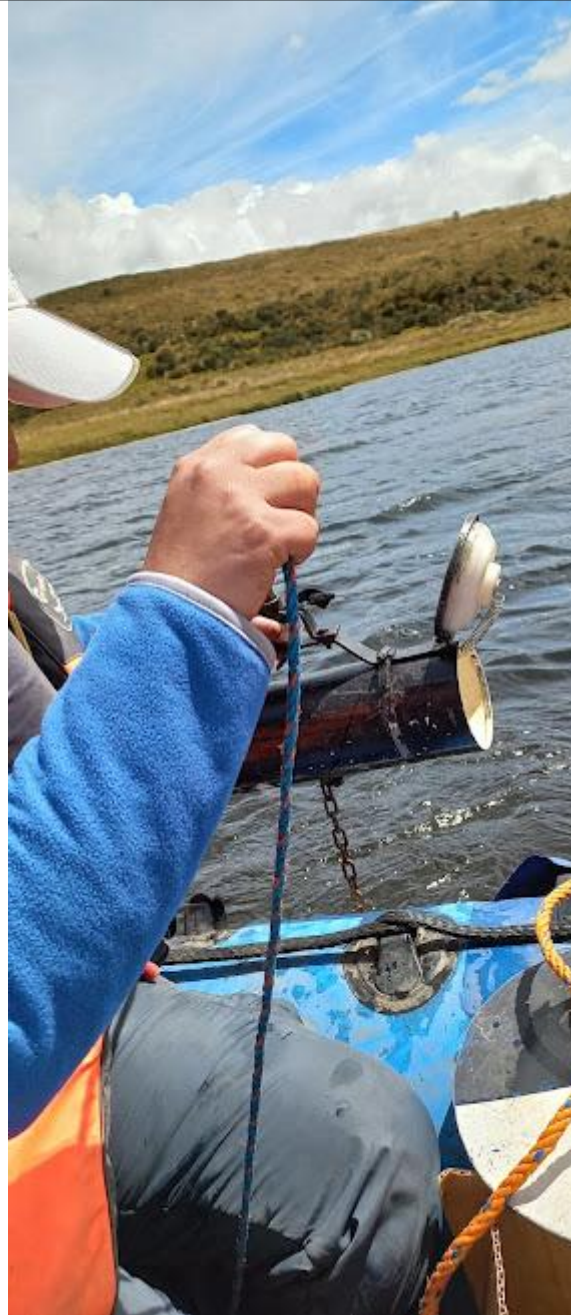
**ANEXO B. REGISTRO FOTOGRÁFICO**



**Fotografía 1.** Medición de la transparencia del agua con el Disco Secchi.



**Fotografía 2.** Lavado de la botella ámbar previo a la recolección de la muestra.



**Fotografía 3.** Recolección de las muestras con la botella hidrográfica Van Dorn.



**Fotografía 4.** Colocación de la membrana millipore de 0.45  $\mu\text{m}$  en el sistema de filtrado al vacío.





**Fotografía 5.** Filtración de las muestras en el sistema de filtrado al vacío.



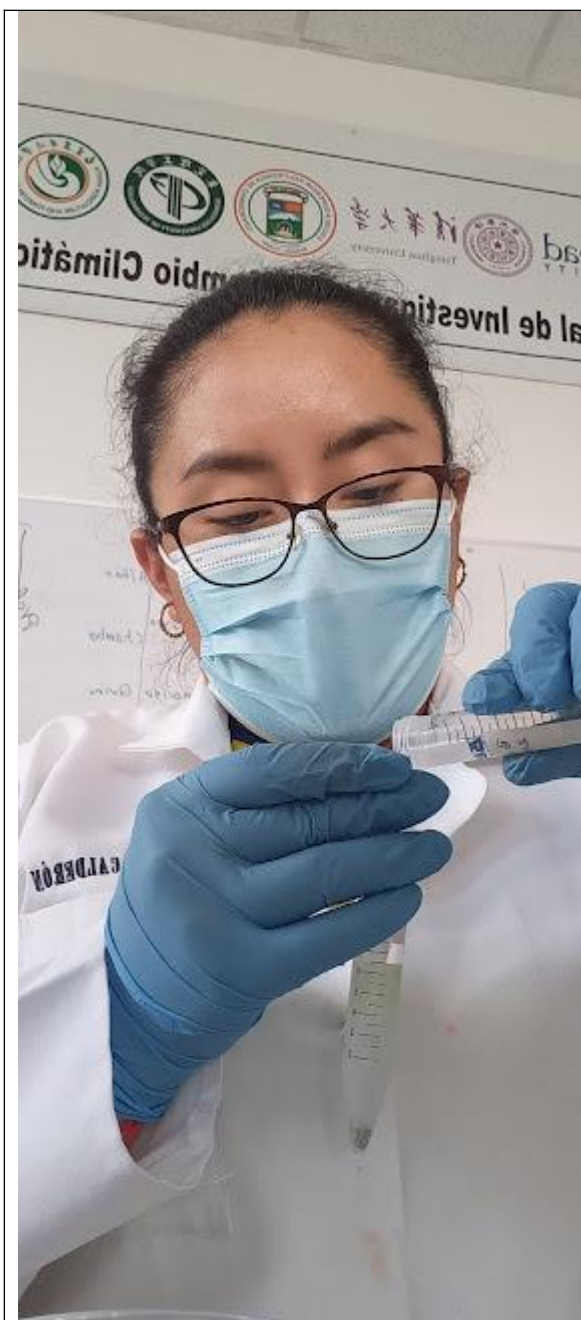
**Fotografía 6.** Colocación de la membrana millipore de 0.45  $\mu\text{m}$  en el tubo de centrifuga plástico,



**Fotografía 7.** Colocación de acetona al 90% en el tubo de centrifuga plástico que contiene la membrana millipore de 0,45  $\mu\text{m}$ .



**Fotografía 8.** Muestras centrifugadas.



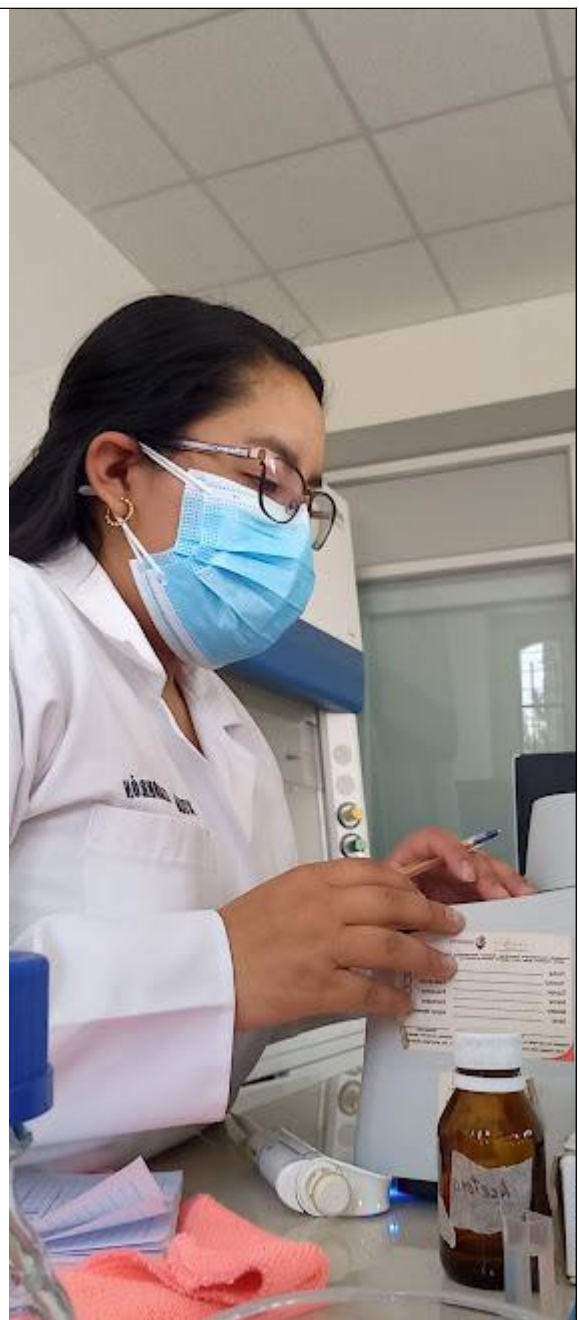
**Fotografía 9.** Trasvase de la acetona al 90% después de la centrifugación.



**Fotografía 10.** Colocación de los reactivos en las muestras para la medición de fosfatos.



**Fotografía 11.** Colocación de 0,1 HCl a las muestras de agua (acidificación).



**Fotografía 12.** Lectura de la absorbancia.



epoch

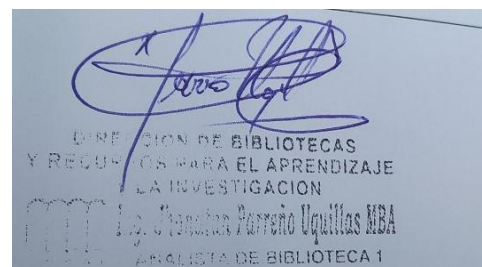
Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 05 / 01 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Susana Margoth Calderón Zarate
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería en Biotecnología Ambiental
<b>Título a optar:</b> Ingeniera en Biotecnología Ambiental
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.



2003-DBRA-UTP-2022