



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
SEDE IBARRA**

ESCUELA:

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES ECAA

CARRERA:

**LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES Y ECO
DESARROLLO**

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:

**EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE EUTROFIZACIÓN DE LA
LAGUNA DE YAHUARCOCHA**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión sostenible y aprovechamiento de los recursos naturales

SUB LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Ambiente y biodiversidad

AUTOR: Oscar Danilo Méndez Landázuri

ASESORA: Dra. Moraima Cristina Mera Aguas

Ibarra, febrero – 2022

Ibarra, 14 de febrero 2022

Dra. Moraima Cristina Mera Aguas

ASESORA

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA), de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f:)



Dra. Moraima Cristina Mera Aguas

C.I. 1001743721

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI):

(f): 

N.N. Dra. Moraima Cristina Mera Aguas

C.I. 1001743721



(f):

N.N. Edmundo René Recalde Posso

C.I. 1001774494



(f):

N.N. Paola Alexandra Chávez Guerrero

C.I. 1002744090

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo MÉNDEZ LANDÁZURI OSCAR DANILO, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: “Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derechos de disponer de sus derechos o autorizar las utilizations de sus obras o prestaciones, a título gratuito u oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia”.

Ibarra, 14 de febrero de 2022

(f):



MÉNDEZ LANDÁZURI OSCAR DANILO

C.C.: 100433896-6

AUTORÍA

Yo, MÉNDEZ LANDÁZURI OSCAR DANILO, portador de la cédula de ciudadanía N° 100433896-6, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.

Ibarra, 14 de febrero de 2022



(f):

MÉNDEZ LANDÁZURI OSCAR DANILO

C.C.: 100433896-6

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo: MÉNDEZ LANDÁZURI OSCAR DANILO, con CC: 100433896-6, autor del trabajo de grado intitulado: Evaluación del estado actual de eutrofización de la laguna de Yahuarcocha, previo a la obtención del título profesional de Licenciatura en Ciencias Ambientales y Eco Desarrollo, en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede- Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCESI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Ibarra, 14 de febrero de 2022



(f.)

MÉNDEZ LANDÁZURI OSCAR DANILO

C.C. 100433896-6

**DECLARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ÉTICO EN LA
ELABORACIÓN, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Por medio de la presente declaro conocer y aplicar en la elaboración, desarrollo y evaluación de Proyecto de Titulación: EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE EUTROFIZACIÓN DE LA LAGUNA DE YAHUARCOCHA, lo propuesto en el Código de Ética de la investigación y el aprendizaje de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, aprobado por el Consejo Superior de la PUCE con fecha 15 de enero de 2018

Para constancia firma:

f): 

MÉNDEZ LANDÁZURI OSCAR DANILO

C.C. 100433896-6

Ibarra, 14 de febrero del 2022

DEDICATORIA

A mi familia, especialmente a mi madre que con amor y apoyo incondicional forjaron el camino correcto para perseguir mis metas

AGRADECIMIENTO

A todas las personas e instituciones que hicieron posible este trabajo; a la Dra. Moraima Mera por su valioso aporte académico; al cuerpo de bomberos de la ciudad de Ibarra por su apoyo logístico

ÍNDICE

CERTIFICADO ASESOR.....	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	iii
ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS	iv
AUTORÍA.....	v
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN	vi
DEDICATORIA.....	viii
AGRADECIMIENTO	ix
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
CAPÍTULO I.....	3
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO II	5
OBJETIVOS.....	5
2.1 OBJETIVO GENERAL:.....	5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	5
2.3 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	5
CAPÍTULO III.....	6
ESTADO DEL ARTE.....	6
3.1 LIMNOLOGÍA.....	6
3.1.1 Definición	6
3.1.2 Eutrofización	6
3.1.3 Proceso de eutrofización.....	6
3.2 Importancia de los recursos hídricos.....	7
3.3 Los sistemas acuáticos lenticos.....	7
3.4 Medio físico	8
3.5 Geomorfología	8

3.6	Geología.....	8
3.7	Hidrogeología.....	9
3.8	Precipitación	9
3.9	Hidrología superficial y subterránea.....	9
3.10	Calidad de agua	10
3.11	Tipo de suelo	10
3.12	Uso de suelo.....	10
3.13	Climatología	11
3.14	Características de los contaminantes.....	11
3.14.1	Distribución química	11
3.14.2	Concentración.....	12
3.15	Antecedentes de estudios similares	12
CAPÍTULO IV		15
MATERIALES Y MÉTODOS		15
4.1	MATERIALES.....	15
4.2	MÉTODOS	16
4.2.1	Ubicación Geográfica.....	16
4.2.2	Muestreo aleatorio estratificado	16
4.2.3	Implementación en el área de estudio	18
4.2.4	Toma de muestras	21
4.2.5	Métodos de análisis de los parámetros influyentes en el aumento de la eutrofización	22
-	Determinación Nitratos (NO ₃).....	23
-	Determinación de Amonio (NH ₄)	24
-	Determinación fosfatos (PO ₄)	24
4.2.6	Procedimientos para la evaluación de las características físico químicas del agua de la laguna de Yahuarcocha	25
PARÁMETROS DE CONTROL.....		26
-	Determinación de la temperatura	26
-	Determinación del Color en unidades de color (UC)	27
-	Determinación de la Turbidez.....	27
-	Determinación del pH	28
-	Determinación de la concentración de Clorofila	28
5.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	31
CAPÍTULO V.....		32

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
5.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICO - QUÍMICA.....	32
Coordenadas Geográficas de los Puntos de Muestreo	¡Error! Marcador no definido.
- Promedios generales	33
- Determinación de Nitritos (NO₂).....	34
Formas de Nitrógeno - Nitratos ppm	35
- Resultados.....	37
PROPUESTA	54
Antecedentes	54
Justificación	54
Metas	55
Objetivos	56
OBJETIVO GENERAL	56
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	56
Análisis FODA.....	57
PROPUESTAS.....	58
Remediación Física	58
Remediación Química	61
Remediación Biológica	63
- Matriz de estrategias	65
CAPÍTULO VI.....	66
CONCLUSIONES.....	66
CAPÍTULO VII	68
RECOMENDACIONES.....	68
CAPÍTULO VIII.....	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
ANEXOS	73

REGISTROS DE CAMPO.....73
REGISTROS DE LABORATORIO74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Equipos de Campo	15
Tabla 2. Coordenadas y Profundidad.....	21
Tabla 3. Criterios de Evaluación del Estado Trófico	30
Tabla 4. Coordenadas Geográficas. Puntos de Muesreo.....	32
Tabla 5. Promedios Generales	33
Tabla 6. Concentración de Nitritos	34
Tabla 7. Concentración de Nitratos.....	35
Tabla 8. Concentración de Amonio	37
Tabla 9. Concentración de Fosfatos.....	39
Tabla 10. Concentración de Oxígeno.....	40
Tabla 11. Temperatura Promedio.....	42
Tabla 12. Unidades de Color.....	43
Tabla 13. Promedio Turbidez.....	46
Tabla 14. Promedio pH	48
Tabla 15. Concentración de Clorofila	51
Tabla 16. Criterios Índice de Estado Trófico	53
Tabla 17. FODA.....	57
Tabla 18. Matriz de Estrategias.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa Puntos de Muestreo -----	19
Figura 2. Área de Influencia Eutrofización-----	20
Figura 3. Dispersión de Nitritos-----	34
Figura 4. Dispersión de Nitratos -----	36
Figura 5. Dispersión de Amonio -----	37
Figura 6. Dispersión de Fosfatos -----	39
Figura 7. Dispersión del Oxígeno -----	41
Figura 8. Dispersión de Temperatura -----	42
Figura 9. Dispersión Unidades de Color -----	44
Figura 10. Dispersión de Turbidez -----	46
Figura 11. Dispersión de Unidades de pH -----	49
Figura 12. Dispersión de Concentración de Clorofila -----	51

RESUMEN

La laguna de Yahuarcocha intuye un ecosistema de gran categoría ecológica, económica y turística en el Ecuador. En este trabajo de investigación se parte de la identificación del problema y el objetivo central de “Evaluar el estado actual de eutrofización y su afectación en las aguas de la laguna de Yahuarcocha” para llegar a determinar las zonas más afectadas por la eutrofización, por la contaminación de nutrientes o la presencia de pigmentos fotosintéticos en los cuerpos de agua dulce.

Para la investigación se utilizó el método de muestreo aleatorio estratificado para abarcar una mayor cobertura de la laguna; con el uso de dispositivos, se tomaron las muestras en distintos estratos y se analizaron parámetros como: turbidez, fosfatos, nitratos, amonio, oxígeno disuelto, color, clorofila, entre otros. Las conclusiones dieron a conocer que el estado actual de las aguas de la laguna de Yahuarcocha, se encuentran en estado Eutrófico, según los resultados obtenidos por el Índice de Estado trófico (IET); el índice se determinó por los valores elevados de la concentración de clorofila a fosfatos y la profundidad del espejo de agua que indica el disco Secchi.

Palabras clave: Eutrofización; estado trófico; Yahuarcocha; Clorofila.

ABSTRACT

The Yahuarcocha lagoon intuitis an ecosystem of great ecological, economic and tourist category in Ecuador. This research work starts from the identification of the problem and the central objective of "To evaluate the current state of eutrophication and its impact on the waters of the Yahuarcocha lagoon" to determine the areas most affected by eutrophication, due to nutrient contamination or the presence of chlorophyll pigments in freshwater bodies.

For the investigation, the systematic diagonal sampling method was used to cover a greater coverage of the lagoon; With the use of devices, samples were taken in different strata and parameters such as: turbidity, phosphates, nitrates, ammonium, dissolved oxygen, color, chlorophyll, among others, were analyzed. The conclusions showed that the current state of the waters of the Yahuarcocha lagoon are in a Eutrophic state, according to the results obtained by the Trophic State Index (IET); the index was determined by the high values of the concentration of chlorophyll a, phosphates and the depth of the water mirror indicated by the Secchi disc.

Keywords: Eutrophication, trophic state, chlorophyll, trophic state, Yahuarcocha.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La dotación de agua a nivel mundial está sometida al ciclo hidrológico que consiste en una serie de cambios de estado, características físicas, químicas, biológicas, microbiológicas y estos cambios intervienen en los procesos naturales de renovación periódica de la dotación de agua en cuencas hídricas como océanos, ríos y lagos.

Los contaminantes de las aguas son compuestos de distinto origen y naturaleza química que muchas veces han pasado inadvertidos y que sólo se evidencian sus efectos; como en el caso del proceso de evolución de la laguna de Yahuarcocha, la cantidad de sustancias biológicamente activas han sido arrastradas al agua por medio de los pobres canales de alimentación y restricción de salida de los mismos, que comenzó a hacerse notable a principios del año 2000 (GADMI, 2019)

La presencia de elementos indeseables, tóxicos, y la variación en las concentraciones permisibles de los contaminantes en la cuenca hídrica de Yahuarcocha, posiblemente están produciendo distintos comportamientos ambientales desfavorables, sumado las actividades antrópicas o la falta de ellas en el caso de la implementación de procesos de recuperación, han causado la contaminación de las aguas de la laguna o la pérdida de su calidad (Quevedo, 2021)

Actualmente, los nutrientes que expulsan la biomasa de algas desde el fondo de la laguna de Yahuarcocha, así como el aumento de materia orgánica que es arrastrada por la escorrentía de los afluentes, estaría causando la degradación o cambio de la calidad del agua; es decir, habría un punto crítico de contaminación por eutrofización que se evidencia con el cambio de la coloración del agua debido a las distintas especies químicas que liberan nutrientes en la laguna. Como efecto resultante se estaría produciendo una degradación anóxica en el estrato inferior de la laguna de Yahuarcocha (Rodríguez, 2017).

El presente trabajo de investigación, busca solucionar una necesidad específica a través de un proyecto de desarrollo, cuyo objetivo primordial fue la evaluación del estado

actual de eutrofización y su afectación en las aguas de la laguna de Yahuarcocha; para este fin se empleó el método de muestreo aleatorio estratificado para abarcar una mayor cobertura de la laguna, con el uso de dispositivos se toman las muestras a distintos estratos y mediante kits rápidos se realizan los análisis de las mismas; la toma de las muestras fue de la parte media de cada transecto a distintas profundidades hasta llegar al estrato más profundo de la laguna sin exceder de los 7 metros, mediante el uso de una pequeña embarcación y un GPS para ubicar las posiciones y coordenadas en cada transecto.

El presente proyecto establece la actual condición del cuerpo de agua mencionado, determinando las concentraciones influyentes en el desarrollo de la eutrofización, si se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097 sobre la conservación de los cuerpos de agua y tener noción de como todos estos parámetros tienen su actividad a distintos estratos de profundidad.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1 Objetivo general:

Evaluar el estado actual de eutrofización y su afectación en las aguas de la laguna de Yahuarcocha para el informe actualizado de su evolución

2.2 Objetivos específicos:

- Establecer los puntos de muestreo de la laguna en donde se recogerán las muestras para obtener y tabular los datos sobre el avance de la eutrofización de la laguna de Yahuarcocha.
- Determinar las concentraciones de los factores incidentes en el avance de la eutrofización para la verificación de su estado actual según los límites máximos permisibles estimados por la normativa nacional vigente.
- Presentar una propuesta de tratamiento del agua de la laguna en base a los datos obtenidos para prevenir y remediar el avance de la eutrofización

2.3 Pregunta de investigación

¿Los parámetros influyentes en el avance de la evolución de la eutrofización de la laguna de Yahuarcocha están dentro de los límites máximos permisibles para conservar la flora y fauna?

CAPÍTULO III

ESTADO DEL ARTE

3.1 Limnología

3.1.1 Definición

La limnología es la ciencia, más adecuada para realizar el análisis de las características físicas y biológicas de un cuerpo de agua dulce (Gómez et al., 2013), siendo el caso del presente estudio, la laguna de Yahuarcocha, como un medio adecuado de representar los cambios evolutivos del lago.

3.1.2 Eutrofización

La eutrofización es uno de los problemas ambientales más frecuentes que sufren, sobre todo, los lagos y embalses. Se trata del deterioro natural de la calidad de las aguas y que se puede ver afectado aún más cuando existen factores de intervención humana; es decir, la aceleración de la pérdida de la calidad del agua en lagos y lagunas se podría dar por las malas prácticas en el manejo ambiental por parte de la comunidad. “El control del proceso de eutrofización es hoy uno de los problemas más importantes y urgentes de la ecología y en particular de la limnología” (Espinoza y Rodríguez, 2012).

Las concentraciones de nutrientes, más influyentes en el proceso de eutrofización, son los macronutrientes, tales como el fósforo y las formas de nitrógeno, que permiten un medio favorable de desarrollo de organismos fotosintéticos (Ledesma et al., 2013).

3.1.3 Proceso de eutrofización

Fontúrbel (2005), se refiere a la eutrofización como un proceso se origina por el enriquecimiento de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, siendo de gran importancia en la cadena alimentaria; sin embargo, cuando se descargan con altas concentraciones en aguas superficiales y expuestas a buenas condiciones de luminosidad, necesariamente conduce al cambio de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos.

3.2 Importancia de los recursos hídricos

Para todos es sabido que el agua es un recurso de gran importancia y un factor muy apreciado y necesario para el desarrollar la vida en todo el planeta.

El cuidar y conservar de este recurso vital es de interés en todo el mundo porque d la contaminación de éste recurso, causa actualmente un sinnúmero de enfermedades graves para los seres humanos como producto de las epidemias, agentes bacterianos, virales y químicos, y la muerte para los demás seres vivos.

El agua es un recurso natural que no caduca, sino que pasa por cambios de estado y conservación en base a los contaminantes en ella, por ello el agua es un medio que sirve para desarrollar un sinfín de actividades de uso humano, agrícola, económico, etc. (Gil et al., 2012).

En la actualidad existe una gran presión sobre los recursos hídricos a nivel mundial. Céspedes (2020) sostiene que el 69% del agua dulce disponible se utiliza para prácticas agrícolas, el 23% a la industria y el 8% al consumo doméstico. El mismo Autor señala que, aproximadamente seis mil millones de habitantes del planeta han acaparado 54% del agua dulce disponible en ríos, lagos y acuíferos subterráneos y que; en el 2025, el hombre consumirá el 70% del agua disponible. Esta estimación se ha realizado considerando únicamente el crecimiento demográfico.

3.3 Los sistemas acuáticos lenticos

Los sistemas acuáticos lenticos están reconocidos en los que contienen aguas estancadas o que no fluyen. Estos sistemas logran formarse generalmente donde existen depresiones sean grandes o pequeñas pero que tienen la condición de no permitir fácilmente la salida del agua, es decir, estanques donde no fluye el agua. Los sistemas lenticos significan entonces que son cerrados. En el transcurso del tiempo, los métodos naturales van transformando dicho cuerpo en un pantano o en un humedal y finalmente se transformará en tierra seca (García et al., 2016)

3.4 Medio físico

La Laguna de Yahuarcocha, es un atractivo turístico ubicado a las afueras del este del cantón Ibarra, provincia de Imbabura. La laguna está a una altitud de 2190 metros sobre el nivel del mar (2190 msnm).

La coloración del agua se ha visto afectada con paso de los años, debido a la proliferación de organismos fotosintéticos, algas y organismos foto autótrofos, cuyos efectos en el medio acuático causan que una gran cantidad de materia orgánica se acumule, agravando la cantidad de clorofila y nutrientes presente en el agua por el proceso de eutrofización (Rivas et al., 2009).

3.5 Geomorfología

En el Plan de Desarrollo del GAD del canton Ibarra señala que la geomorfología de la ciudad de Ibarra y su forma geográfica de la superficie, muestra las características morfológicas, que establecen las condiciones para que el sistema lacustre de Yahuarcocha sea considerado como un cuerpo de agua de tipo endorreico, que simboliza a los cuerpos de agua que no tienen salida de sus aguas al mar o que tiene canales de alimentación, siendo el caso de la laguna de Yahuarcocha (GADMI, 2019).

Se toma en cuenta que la geomorfología de la ciudad de Ibarra, condiciona la forma de la laguna de Yahuarcocha, lo que se establece como una laguna al que se arrastra materia orgánica por los pequeños canales de alimentación como son:

1. Canal del río Tahuando
2. Quebrada manzano huaico
3. Polo Golo
4. San Antonio

3.6 Geología

La caracterización geológica de la provincia de Imbabura está compuesta por dos tipos de suelo principales: el suelo de tipo arenas limosas, que constituye la proporción de suelo más predominantes sobre la superficie; mientras que en estratos más profundos, existe la presencia de suelo de tipo limos de baja plasticidad, lo que evita la deformación del suelo (Quiróz et al., 2018). Para el caso del sector de la laguna de

Yahuarcocha, este último tipo de suelo evita la deformación geomorfológica; lo que evita que la laguna del mismo nombre, cuente con la presencia de entradas y salidas de agua subterránea, impidiendo la recirculación del medio y reduce la capacidad de autodepuración del medio.

3.7 Hidrogeología

La provincia de Imbabura es considerada como la provincia de los lagos, debido a la presencia de un número considerable de lagos, que sirven como un referente para el desarrollo de proyectos, obras o actividades de tipo económicas; no obstante la materialización de estos elementos deben darse de tal manera que no perturben a los cuerpos de agua, ríos o áreas de afluencia.

El deterioro de las aguas de la laguna de Yahuarcocha, se plantea por varios factores, sean estos físicos o químicos, como por ejemplo por el tipo de suelo en estratos inferiores de la laguna, que se dice estar compuestos por un estrato de arena limosa, la misma que impide la circulación subterránea del agua; los factores humanos también son importante destacarlos por ser una zona turística, los pobladores locales y visitantes realizan derrames ilegales de aceites, grasas, desechos orgánicos e inorgánicos en las orillas de la laguna (MAGAP, 2016)

3.8 Precipitación

La laguna de Yahuarcocha podría beneficiarse por la retroalimentación hídrica. No obstante, este proceso basado en la recirculación de agua, podría traer consigo distintos focos de contaminación, como por ejemplo el arrastre de lodos y sedimentos como resultado de la precipitación, como como lo señalan (Amador y Veliz, 2015).

La precipitación afecta también de manera directa a las condiciones climáticas, la humedad, la temperatura y el aumento de los cauces de abastecimiento con aguas contaminadas por el arrastre de materia orgánica.

3.9 Hidrología superficial y subterránea

Los niveles de precipitación de la laguna de Yahuarcocha no suponen un aumento elevado en milímetros, pero las lluvias causan un efecto negativo en el cuerpo de agua, debido al estrato inferior, la laguna no tiene salidas de agua subterránea, resultando en

la acumulación excesiva de materia orgánica por arrastre de la materia orgánica, causando un estancamiento que, a la larga, convertirá al medio en un pantano o humedal (GADMU, 2019)

3.10 Calidad de agua

Al respecto el GADMU (2019) señala que “Las aguas de la laguna de Yahuarcocha se han visto afectadas por diversos factores expuestos como resultado de múltiples estudios realizados por las distintas universidades del país, así como también por organismos que están bajo la responsabilidad del monitoreo y control de los cuerpos de agua dulce” (p. 28).

La calidad del agua de la laguna se ha determinado que tiene condiciones de anoxia, como resultando de una acumulación de lodos y sedimentos, esto significa que se convierte en un medio nutritivo para el crecimiento de vegetación acuática o de organismos autótrofos, que tolera el avance del proceso de eutrofización.

3.11 Tipo de suelo

Según el GADMU (2019), el suelo de la provincia de Imbabura “es de textura franco arenoso; características físicas, pendiente suave o ligeramente inclinada; esto es señalado en la zona donde se encuentra la laguna de Yahuarcocha; nivel freático, profundo (más de 100 cm); pH, ligeramente neutro” (p. 28).

El área tiene un revestimiento de suelos de molisoles; mayoritariamente son suelos de color negro, muy comunes en áreas que han dado lugar a la formación de un espacio superior espeso, oscuro y rico en humus.

Este prototipo de suelos, se encuentran en zonas de producción agrícola, en la parte más baja del estrato del suelo, se encuentra una buena concentración de carbonatos de calcio, mostrando procesos de translocación de arcillas lo que puede generar un horizonte argílico.

3.12 Uso de suelo

El uso de la superficie que está alrededor de la laguna de Yahuarcocha está compuesto por un centro urbano y turístico, compuesta en su mayoría por casas, restaurantes,

frangas de cultivo, aspecto que se convierte en un foco de contaminación, desafortunadamente, el lago está rodeado de laderas y pendientes que arrastran materia orgánica en épocas lluviosas.

Para el caso puntual del sector de estudio, el MAGAP (2016) sostiene que, “la tierra presenta ligeras limitaciones, los factores limitantes para el uso óptimo en actividades agropecuarias son pendientes entre 5-12%, profundidad de la capa arable entre 51-100 cm y el régimen de humedad rústico (húmedo durante época lluviosa). Estas clases de tierras pueden ser utilizadas para el desarrollo de actividades agrícolas, pecuarias o forestales con especies adaptadas ecológicamente y se localizan con una mayor extensión en las parroquias (p. 149).

3.13 Climatología

La laguna de Yahuarcocha se ubica a una altitud promedio de 2190 msnm lo que representa una presión atmosférica moderada, por consiguiente, las precipitaciones son pocas o de baja intensidad.

La temperatura ambiental promedio de la ciudad de Ibarra y por consiguiente de la zona donde se asienta la laguna de Yahuarcocha es de 23 a 30 grados centígrados, datos meteorológicos recogidos y publicados por la estación meteorológica de la ciudad de Ibarra (GADMI, 2019).

3.14 Características de los contaminantes

3.14.1 Distribución química

Los compuestos químicos se distinguen unos de otros por sus características y su capacidad de poder intervenir, controlar su movilidad y degradación. De manera independiente de su naturaleza contaminante, su estructura química, causa que los contaminantes, como son la clorofila, fosfatos y nitrógeno, en base a sus concentraciones, crean un medio favorable para la proliferación de organismos, en el lecho del lago, puesto que es en el estrato inferior donde se desarrolla la biomasa contaminante (Álvarez et al., 2017).

Las concentraciones de estos contaminantes no se pueden degradar a un nivel total, puesto que son necesarios en concentraciones establecidas por normativa, según el país del medio, para que los cuerpos de agua puedan desarrollar sus procesos de autodepuración, o cualquier propósito al que es destinado (Reyes, Galván y Aguilar, 2005).

3.14.2 Concentración

Las concentraciones elevadas de organismos fotosintéticos, aumentan los procesos de desnitrificación, que consumen grandes cantidades de oxígeno, el descenso de los niveles de oxígeno, aumenta la demanda de oxígeno necesario para los procesos de degradación de la materia orgánica a nivel químico y microbiológico, puesto que no podrán degradar la enorme cantidad de biomasa en el fondo (Graco, Ledesma Y Girón, 2007)

Se entendería entonces que, mientras se tengan compuestos químicos con mucha concentración, los contaminantes podrán ejercitar absolutamente sus efectos tóxicos en los microorganismos degradadores, obstaculizando así la autodepuración del medio. Si se tiene, a lo contrario, elementos con muy bajas concentraciones contaminantes, el medio regula de mejor forma los procesos degradativos (Durán, et al., 2011).

3.15 Antecedentes de estudios similares

A nivel internacional, Ledesma et al. (2020) determinan el estado actual de eutrofización en el embalse Río Tercero de Cordoba Argentina., se emplea como referencia los métodos y resultados alcanzados en el desarrollo de esta investigación para el desarrollo del presente trabajo. El marco metodológico seguido en esta investigación se basa en el muestreo aleatorio estratificado presentado por (Zapata et al., 2005). Las muestras obtenidas son de una profundidad de 20 centímetros. Los parámetros analizados fueron: temperatura del agua, formas de nitrógeno, fosfatos, clorofila a, pH, oxígeno disuelto y transparencia, utilizando siempre la profundidad del disco de Secchi y los totales de nitrógeno, fósforo y clorofila.

En el año 2019 se realizó la actualización del plan de manejo integral de la laguna de

Yahuarcocha; en la toma de muestras, en el almacenamiento, conservación y análisis, se realizaron con métodos informáticos (GADMI, 2019); lo que genera un compendio documental suficiente con la información relevante para el desarrollo del presente trabajo.

De la misma manera, (OCDE, 2015) muestra que se aplicó el Programa Internacional para la Organización, Cooperación y Desarrollo Económico de aguas interiores en la clasificación del estado trófico.

Los resultados de dicha investigación, según Revista Ciencia Agronómica (2013) demuestran que, en el objeto de estudio, es decir en el embalse del Río Tercero, al menos en ese espacio de estudio, se encontraría notando un detrimento en la calidad del agua y un desarrollo paulatino de eutrofia, que va desde meso trófico a eutrófico. Aspecto que es de suponer, sería similar a los fenómenos que podrían presentarse también en la laguna de Yahuarcocha (Ledesma et al., 2013).

Para la presente investigación se realizó una visita de reconocimiento el 05 de julio del 2018 y con ayuda de un GPS marca: Garmin, modelo: etrex20, se determinó la ubicación de los seis puntos de muestreo, se lo realiza para un número de muestras según cada estrato de profundidad y para la selección de puntos de muestreo, son los conocimientos previos y la asignación visual por un juicio técnico, en lagos de cuencas alargadas se deben establecer áreas de estudio (Ledesma et al., 2013).

Trabajo realizado mediante la metodología experimental de muestreo, recolección de muestras, medición “in situ”, análisis de laboratorio, determinación de nitratos, determinación de fosfatos, determinación del índice de eutrofización por nutrientes “IE” de Karydis y proyecciones gráficas (Montalvo et al., 2014)

Esta metodología sugiere tomar muestras compuestas en botellas plásticas de un litro de capacidad con un volumen parcial de aproximadamente 250 ml a cuatro diferentes profundidades: (0 m; 0,5 m; 1 m; y 1,5 m); para este efecto se utilizó el muestreador “Botella de Van Dorn”, marca Wildco Instruments, modelo 3-1120-G45 el cual es sumergido con los extremos abiertos y cuando llega a la profundidad deseada se deja caer un mensajero que permite el cerrado hermético del muestreador; la muestra

compuesta se realiza de sub muestras mezcladas en proporciones conocidas, mediante la cual se puede obtener un promedio de una característica determinada del cuerpo de agua, el volumen de la muestra recogida debe ser suficiente para los análisis requeridos y para cualquier repetición del análisis, el uso de volúmenes muy pequeños de muestra puede ser causa de que no sean representativos. Entre los resultados que muestra esta investigación se destaca que los parámetros analizados pH, oxígeno disuelto, temperatura, transparencia Secchi, nitratos y fosfatos se relacionan entre sí, la presencia de valores sobre los límites permisibles, así como por debajo de los mismos afecta al estado de la laguna, repercutiendo a la biodiversidad, estado estético, saturación de oxígeno y uso del cuerpo de agua estudiado.

A nivel provincial y local, la investigación del tema propuesto en este trabajo se lleva a cabo teniendo como órgano rector al gobierno de Imbabura el mismo que pone en marcha el Plan de Manejo Integral de la cuenca hidrográfica de la laguna de Yahuarcocha; para esto el GAD de Ibarra hace uso de la Ordenanza que reglamenta el uso y ocupación del suelo, el mismo que en su artículo 310 determina que:

La Dirección de Desarrollo Económico Local, Gestión Ambiental del GADI, en coordinación con la Dirección de Planificación de Desarrollo Urbano y Rural, serán encargados de actualizar cada dos años el Plan de Manejo de la laguna de Yahuarcocha, en donde se establecerán las políticas para el aprovechamiento turístico y conservación medio ambiental dentro de la cuenca hidrográfica de la laguna (GADMI, 2019).

Durante el año 2019 se realizaron estudios de diversos parámetros influyentes en la proliferación de algas en la laguna de Yahuarcocha lo que deriva en el aumento de nutrientes, clorofila y que por tanto reducirá la concentración de oxígeno.

CAPÍTULO IV MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 MATERIALES

Para el desarrollo de la presente investigación, se utilizaron los siguientes materiales, reactivos y métodos detallados a continuación:

Equipos

Tabla 1.

Equipos de Campo

Equipo	Marca	Modelo
Colorímetro	LaMotte	Smart 2 Colorimeter
Disco Secchi	Field master	Estándar disco secchi
Potenciómetro	Horiba	F-71G
Conductímetro	EUTECH INSTRUMENTS	OAKTON
Espectrofotómetro	OPTIZEN Alpha	Espectrofotómetro UV-VIS
Equipo de filtrado al vacío	DURAN	DURAN WHEATON KIMBLE
Bomba de succión al vacío	-	-
Centrifugadora Vortex	FISHER TOUCH VORTEX MIXER	NRO. 945410
Hielera	-	-
GPS	Garmin	MAP 64S
Oxímetro	InstruLabQ	Oxitop

Materiales

- Vasos de precipitación
- Morteros
- Celdas de espectrofotómetro
- Frascos Boeco
- Membranas millipore
- Embudos
- Probetas

- Tubos de ensayo

Reactivos

- Acetona alcalinizada
- Ácido clorhídrico al 0,1 Normal
- refrigerante

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Ubicación Geográfica

Se utilizó el método de muestreo aleatorio estratificado para abarcar una mayor cobertura de la laguna de Yahuarcocha, cada zona de estudio cubrió un área de 500 metros a la redonda con ayuda de una pequeña embarcación y un GPS que permitió ubicar las posiciones y coordenadas en cada transecto.

Para el proceso metodológico de la investigación se partió del análisis y comprensión de la ubicación exacta del objeto de estudio. Laguna de Yahuarcocha tiene una profundidad de entre 4 a 6 metros, es de tipo endorreico y su forma es irregular (Echeverría y Stephen, 2016), razón por la cual se estableció las áreas de estudio para cubrir en su totalidad la superficie.

El área de la laguna de Yahuarcocha, tiene un área de 240,5 hectáreas, pero la profundidad actual del medio de estudio no es igual en todos los puntos, por tanto se recurre al estimado de la profundidad expresado en el mapa batimétrico realizado por el GAD de Imbabura (GADMI, 2019).

Del paisaje de la laguna de Yahuarcocha se puede decir que se compone de varias lomas que adornan el paisaje, localizadas al suroccidente de la misma; éstas se muestran erosionadas y rodeando a la laguna con pendientes fuertes y escarpadas; sin embargo, se puede distinguir con facilidad la presencia de cultivos en las orillas, construcciones o sitios turísticos a más de las plantas de totora (MAGAP, 2016).

4.2.2 Muestreo aleatorio estratificado

La dispersión de los contaminantes en el área del medio de estudio, varían en función de la profundidad, ubicación y concentración de biomasa contaminante en el fondo,

por ello se realiza la implementación de zonas de estudio de impacto ambiental, en la que los contaminantes puedan ser representados y descritos por estratos de profundidad previamente determinados, como lo sugiere (Perevochtchikova, 2013).

La toma de las muestras se hizo en tres fechas diferentes, en los meses de marzo, abril y mayo del 2021 respectivamente; para el análisis de las muestras se trabajó en el laboratorio tomando en cuenta la normativa que establece la calidad del agua NTE-INEN-ISO 5667-1:2014 que orienta el manejo y técnicas de muestreo. Así mismo, la norma NTE-INEN-ISO-5667-3:2014 orienta la conservación y manipulación de las muestras de agua

Para establecer los puntos de muestreo se partió del modelo digital topográfico ArcGIS, el mismo que permitió representar el área de estudio mediante las capas georreferenciadas de las aguas de la laguna de Yahuarcocha del portal cartográfico de libre acceso del Ecuador, a través del link: <https://www.geoportaligm.gob.ec/>.

Logrado el plano se procedió a ubicar los puntos o marcadores en el mismo, al momento de establecerse los puntos, permitió mostrar sus coordenadas exactas de donde se obtuvieron las muestras del medio ambiental de estudio.

Es necesario indicar que para ubicar cada punto de muestreo se debió diseñar áreas de estudio para cubrir toda la superficial de las aguas de la laguna de Yahuarcocha, esto con la finalidad de determinar la dispersión según la: (profundidad, tipo de suelo, pendiente, vegetación) del medio.

Tras marcar seis puntos en el plano georreferenciado, con eje en cada uno de éstos se trazaron circunferencias con un área de 500 metros; con esto se logró una medida referencial de área por cada punto de muestreo.

Las coordenadas X, Y, fueron programadas en el dispositivo de posicionamiento geográfico global GPS para poder trasladarnos al medio físico de estudio y realizar la toma de muestras.

Los estratos se determinaron en base a la batimetría realizada en las aguas de la laguna de Yahuarcocha, con lo que se establecieron las profundidades en cada zona

preestablecida, con esto también se cuidó de tener algo más de certeza al momento de tomar las muestras.

Una vez posicionados en el punto marcado por el GPS, se procedió a preparar y sumergir el equipo de recolección de muestras de agua denominado botella de Van Dorn, en la que se establecieron marcas por cada metro de profundidad; la recolección de muestras se dio en base a la profundidad a la que se hizo llegar el dispositivo antes mencionado.

4.2.3 Implementación en el área de estudio

Para la toma de muestras se siguió el método de muestreo sistemático. De acuerdo con Otzen, y Manterola (2017), este método consiste en un tipo de muestreo aleatorio estratificado, donde se hace una selección de puntos de estudio que cubran un área total del cuerpo de agua.

En la toma de muestras concurren los siguientes pasos:

1. Disposición de los recipientes para la toma de muestras
2. Preparación de los formatos de recolección de la información
3. Acondicionamiento para el traslado de las muestras
4. Disposición de los equipos e instrumentos de campo para análisis “in situ”
5. Preparación de equipo de protección y de asistencia (GPS, guantes, cámara fotográfica, etc.)
6. Planificación y organización de la logística

Se dividió la laguna en seis secciones cuyo centro ha sido señalado, para abarcar una mayor cobertura y poder realizar una correcta dispersión de los parámetros influyentes en la eutrofización a los distintos estratos de profundidad; dichas zonas de muestreo se grafican en la figura 1.



Figura 1.

Mapa Puntos de Muestreo

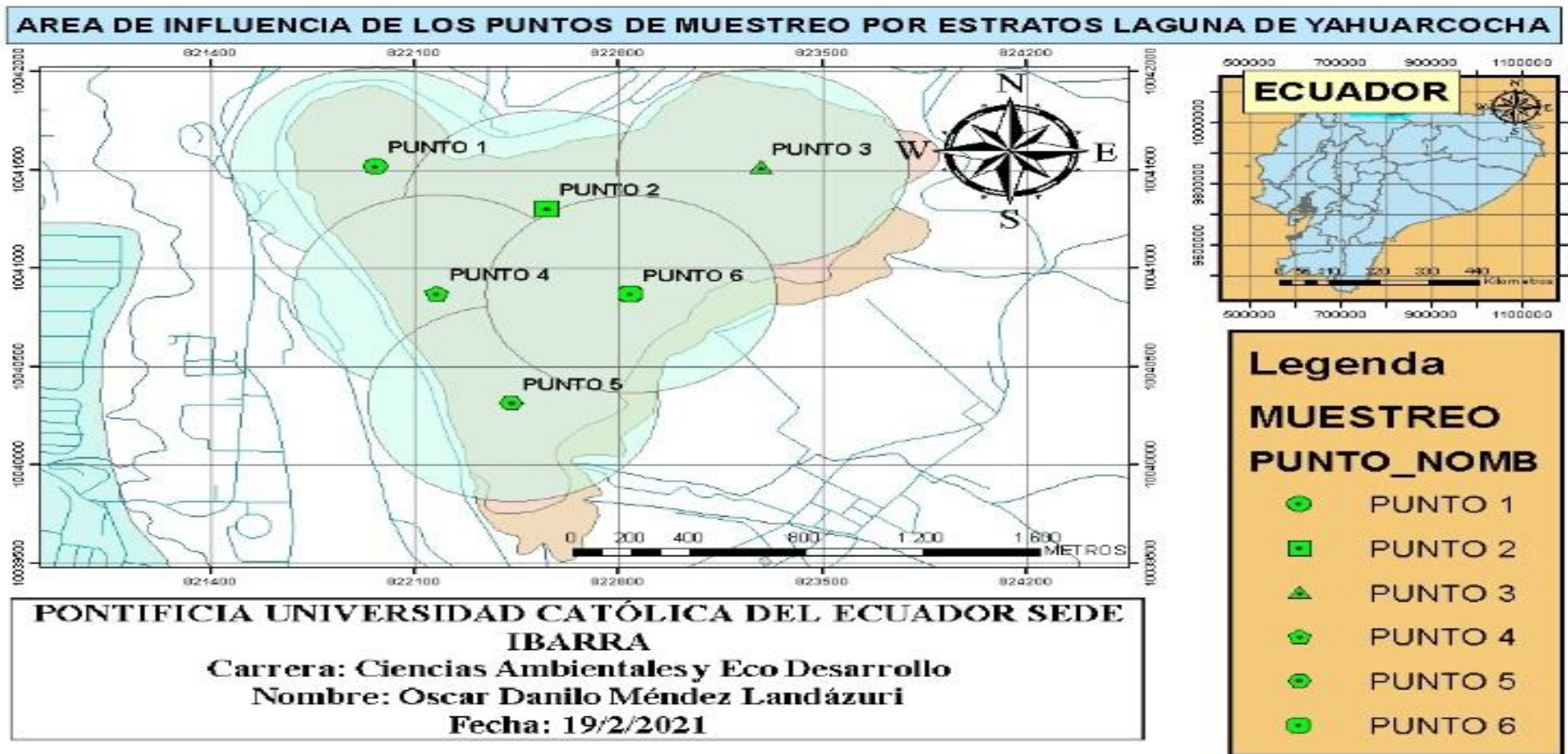


Figura 2.

Área de Influencia Eutrofización

Con respecto a la ubicación de los puntos de muestreo, se estableció un intervalo entre cada zona escogida, con referencia al área de influencia entre cada ubicación, con una distancia adecuada de 500 metros a la redonda de cada punto como se detalla en el mapa de la figura 2.

4.2.4 Toma de muestras

Se establecieron 6 puntos para la recolección de las muestras, cada estrato tomó como base las profundidades planteadas en el mapa batimétrico, se recolectaron las muestras en un frasco Boeco de 500 ml. con la debida precaución para no cometer errores de percepción al momento de introducir la botella de Van Dorn y confundir el punto más profundo del estrato.

En base al área de estudio, los puntos de muestreo y profundidades de cada zona se establecieron en los siguientes términos:

Tabla 2.

Coordenadas y Profundidad

PUNTO	COOR_Y	COOR_X	PROFUNDIDAD MÁXIMA (metros)
1	10041521,7601	821964,842318	4 m
2	10041306,3464	822557,230160	5 m
3	10041516,8644	823291,595254	5 m
4	10040875,5189	822180,256079	6 m
5	10040317,4014	822434,835978	5 m
6	10040870,6231	822841,184663	5 m

Una vez homogenizada la botella de Van Dorn se procedió de la siguiente manera:

- Recolección de la muestra
- Traslado de la muestra al frasco Boeco y se llenó totalmente sin dejar espacios de aire.

- Etiquetado de los frascos con los datos de estratos y profundidades
- Se guardaron los frascos con muestras de agua de cada estrato en la hielera para conservarlas, tomando en cuenta que tienen un tiempo de 48 horas para ser analizada sin que haya afectación de propiedades.

Se necesitaron un total de 30 frascos Boeco para la toma de muestras de agua para el análisis en el laboratorio de química y un total de 30 frascos ámbar para el proceso de determinación de concentración de clorofila; esto para impedir que la clorofila reaccione ante la luz solar y realice su proceso fotosintético, pudiendo así alterar los resultados tras analizar las muestras en el laboratorio.

4.2.5 Métodos de análisis de los parámetros influyentes en el aumento de la eutrofización

Los principales parámetros influyentes en el avance del estado de eutrofización de un cuerpo de agua son:

- Las formas de nitrógeno: (Nitritos, nitratos, amonio)
- La concentración de fosfatos
- La concentración de clorofila

Se incluyeron los análisis de parámetros de control estándar de calidad del agua:

- Potencial de hidrógeno pH
- Temperatura
- Color (Unidades de color UC)
- Turbidez (Unidades Nefelométricas de Turbidez NTU)
- Disco secchi

- Determinación de Nitritos (NO₂)

Procedimiento de determinación del Nitrito (NO₂) por método de diazotización
Código: 3650 – SC (Manual LaMotte - Smart 3 Colorimeter) (LaMotte, 2018) se procedió de la siguiente manera:

1. Se encendió del Colorímetro
2. Se accedió al menú de prueba
3. Se seleccionó el menú de pruebas (067 Nitrito - N LR)
4. Se seleccionó la opción de 067 Nitrite - N LR en el menú
5. Se enjuagaron los tubos (0290) con agua simple y se llenaron hasta la línea de

10 ml.

6. Se ingresó el tubo en la cámara y se escaneó en blanco
 7. Se retiró el tubo del colorímetro y se vertió 5 ml en la probeta graduada.
 8. Se vertieron 5 ml de la muestra contenida en la probeta graduada al tubo del colorímetro (para medir 5 ml de Reactivo Ácido Mixto (V-6278)
 9. Se utilizó la cuchara de 0.1 g (0699) para agregar dos medidas de reactivo revelador de color (V-6281). (Tapando y mezclar invirtiendo suavemente durante 1 minuto. Luego de 5 minutos para que se desarrolle el color al máximo).
 10. Al finalizar el período de espera de 5 minutos, se mezcló e insertó el tubo en la cámara, se cerró la tapa y se escaneó la muestra.
 11. Se anotaron todos los resultados.
- **Determinación Nitratos (NO_3)**

Procedimiento de determinación del nitrito (NO_3) por método de reducción de Cadmio, Código: 3649 – SC (Manual LaMotte - Smart 3 Colorimeter) (LaMotte, 2018).

1. Se encendió el colorímetro
2. Se ingresó al menú de pruebas
3. Se seleccionó la opción de 065 NITRATO - en el menú
4. Se enjuagaron los tubos (02909) y se llenaron las muestras de agua hasta la línea de 10 ml.
5. Se ingresó el tubo en la cámara del colorímetro, (se cerró la tapa y seleccionamos escanear en blanco)
6. Se retiró el tubo del colorímetro
7. Se agregó otra (Tableta de nitrato de grado espectrofotométrico 3881 A-H)
8. Se utilizó la trituradora de tabletas (0175) para triturar la tableta
9. Se cerró el tubo de muestra del tubo
10. Se invirtió el tubo 60 veces por minuto durante 2 minutos
11. Se esperó 5 minutos sin mezclar
12. Se insertó el tubo en la cámara, se cerró la tapa y se escaneó la muestra

13. Se tomó nota de todos los resultados

- **Determinación de Amonio (NH₄)**

Procedimiento para la determinación del Amonio (NH₄), por el método de Nesslerización Código: 3642 – SC (Manual LaMotte - Smart 3 Colorimeter) (LaMotte, 2018).

1. Se procedió a encender el colorímetro
2. Se seleccionó el menú de pruebas del colorímetro
3. Se seleccionó la prueba 005 Amonio_N LRF en el menú
4. Se lavaron los tubos (0290) con agua simple y se llenaron de agua de muestra hasta la línea de 10 ml
5. Se ingresó el tubo en la cámara, se aseguró la tapa del equipo y se escaneo en blanco
6. Se retiró el tubo del colorímetro. Se utilizó la pipeta de plástico de 1,0 ml (0354) para añadir 2,0 ml de salicilato de amoníaco n° 1 (3978), se tapó y mezcló
7. Se usó la cuchara de 0.15 g (0727) para agregar dos medidas de reactivo salicilato # 2 (7457). Se tapó y mezcló hasta disolver. Se esperó 1 minuto
8. Luego de 1 minuto se usó la cuchara de 0.1 g (0699) para agregar dos medidas de salicilato # 3 reagente Powder (7458). Se tapó y agitó durante 30 segundos
9. Se esperó 12 minutos para que se desarrolle el color al máximo, luego se mezcló e insertó el tubo en la cámara para el escaneo
10. Se anotaron todos los resultados

- **Determinación fosfatos (PO₄)**

Procedimiento para la determinación en laboratorio de fosfatos (PO₄), por el método de reducción de ácido ascórbico Código: 3653 – SC (Manual LaMotte - Smart 3 Colorimeter) (LaMotte, 2018).

1. Se encendió el colorímetro
2. Se seleccionó, la opción de todas las pruebas en el menú
3. Se seleccionó la opción de 080 Fosfato ppb en el menú
4. Se lavaron los tubos (0290) con agua simple y se llenaron hasta la línea de 10

ml del agua de muestra.

5. Se ingresó el tubo en la cámara, se cerró la tapa y se escaneo en blanco
6. Se retiró el tubo del colorímetro y se utilizó una pipeta de 1,0 ml (0354) para agregar 1,0 ml de reactivo ácido fosfato (V-6282), se tapó y mezcló
7. Se usó la cuchara de 0.1 g (0699) para agregar una medida completa de reactivo reductor de fosfato (V-6283); se tapó y se agitó hasta disolver
8. Se esperaron 5 minutos para que se desarrolle todo el color
9. Luego de los 5 minutos de espera, se mezcló, se insertó el tubo en la cámara, cerrando la tapa y se escaneó la muestra.
10. Se anotaron todos los resultados (LaMotte, 2018).

4.2.6 Procedimientos para la evaluación de las características físico químicas del agua de la laguna de Yahuarcocha

- Procedimiento para determinar el Oxígeno disuelto

De acuerdo a lo anterior, si el oxígeno disuelto es un valor que se mide en el sitio de muestreo en el mismo instante en que se toman las muestras, y debido a que el presente estudio se realizó con la finalidad de medir los parámetros físico químicos de las aguas a distintos estratos de profundidad se prosiguió de la siguiente manera en base a la guía del equipo

1. Se utilizó la botella de Van Dorn, se sumergió a las aguas de la Laguna de Yahuarcocha, tomando medidas de la cuerda de sujeción con intervalos de un metro (La profundidad máxima de la Laguna de Yahuarcocha es de 7 metros), posteriormente tras llegar a la marca se tomó en cuenta la activación del disparador para el retorno de la botella a la superficie.
2. Devolviendo el contenido de la botella a la laguna se repitió el proceso para homogenizar la muestra. (tomando la precaución de vaciar el contenido lejos de la zona de muestreo)
3. Se preparó el oxímetro, retirando la cobertura protectora del sensor y se abrió para revisar las piezas del sensor

4. Se verificó la membrana del oxímetro, verificando que no se encuentre cristalizada.
5. Se verificó el sensor de oxígeno con la solución del equipo y se mantuvo el sensor en posición vertical
6. Una vez homogenizado se sumergió la sonda del oxímetro dentro de la botella de Van Dorn, tomando en cuenta que el cable que contiene el sensor solo tiene un alcance de 1 metro por lo cual se debió repetir el mismo proceso hasta alcanzar la máxima profundidad y obtener el resultado de saturación de oxígeno a estratos profundos
7. Se registraron los resultados de saturación de oxígeno en miligramos por litro y saturación porcentual junto con los valores de temperatura en grados Centígrados.

PARÁMETROS DE CONTROL

- Determinación de la temperatura

Procedimiento para determinar la temperatura del agua

Utilizando la función que incluye el Oxímetro y en base al manual de InstruLabQ Oxitop, la determinación de la temperatura del agua se tomó de la siguiente manera:

1. Se retiró el estuche protector de la sonda del oxímetro
2. Se verificó que la membrana del sensor no se encuentre cristalizada
3. Se verificó que la sonda se encuentre calibrada en la solución de calibración
4. Se preparó y se sumergió la botella de Van Dorn en las distintas profundidades de muestreo
5. Se anotaron los valores de temperatura en grados centígrados, puesto que el Oxímetro mide la concentración de oxígeno en porcentaje, miligramos sobre litro y temperatura, siendo un dispositivo muy versátil al momento de recolectar información de distintas unidades al mismo tiempo.

- **Determinación del Color en unidades de color (UC)**

El método utilizado para el análisis del color fue mediante el uso de un colorímetro (Manual LaMotte - Smart 3 Colorimeter), propuesto por Amengual (2005).

1. Se encendió el colorímetro
2. Se abrió la opción de todas las pruebas
3. Se seleccionó la opción 027 Color del menú de pruebas
4. Se ingresó el tubo de muestra de agua en blanco para calibrar el quipo
5. Se lavaron los tubos de muestras de agua y se llenaron con 10 ml de agua de muestra de la laguna
6. Se retiró el frasco de muestra en blanco y se introdujo el frasco de muestra por analizar y se activó iniciar
7. Se anotaron los resultados en unidades de color (UC)

- **Determinación de la Turbidez en unidades Nefelométricas de turbidez**

La turbidez o turbiedad se analizó utilizando el colorímetro LaMotte – Smart 3 Colorimeter, como lo sugiere Amengual (2005).

Para su determinación, se procedió de la siguiente manera:

1. Se encendió el colorímetro
2. Se accedió al menú de todas las pruebas
3. Se seleccionó la opción 098 Turbidity
4. Se introdujo el tubo de muestra de agua en blanco y se encendió el dispositivo encerrando la máquina
5. Se lavaron los tubos de muestra con agua destilada para evitar interferencias
6. Se llenaron los frascos de muestras con el agua de la laguna hasta la marca de

10 ml

7. Se introdujo el frasco de muestra en el colorímetro y se activó la función de analizar muestra
8. Se anotaron los resultados

Mientras mayor sea la cantidad de sólidos suspendidos en el líquido, mayor será el grado de turbidez. Mientras la concentración de sólidos en suspensión sea mayor, la densidad del agua de la laguna aumentará y por ende será más difícil de tratar como lo estipula Méndez et al. (2009).

- **Determinación del pH**

El procedimiento para la determinación del pH en las muestras de agua mediante el uso del método potenciométrico, usando el potenciómetro marca Horiba modelo F-71G, es el siguiente:

1. Se retiró el estuche protector del sensor del colorímetro
2. Se encendió el potenciómetro
3. Se verificó el funcionamiento del potenciómetro marca Horiba modelo F-71G utilizando agua destilada.
4. Posteriormente se introdujo el sensor al agua de muestra que analizamos esperando 3 minutos
5. Se anotaron los resultados obtenidos

- **Determinación de la concentración de Clorofila**

Para determinar la concentración de clorofila “a” se utilizó el método espectrofotométrico propuesto por Prieto (2007).

1. Se tomaron las muestras de agua utilizando la botella de Van Dorn, almacenando las muestras en botellas ámbar para evitar la reacción química con la luz solar.
2. Se almacenaron las muestras de agua en una hielera y se transportaron al laboratorio de química analítica
3. Una vez en el laboratorio, se ensambló el equipo de succión al vacío DURAN

WHEATON KIMBLE y se conectó a una bomba de succión al vacío.

4. Los frascos de muestras de agua de 350 ml fueron vertidos en el embudo del equipo de succión y fueron filtradas a través de membranas millipore de 45 µm
5. Una vez filtradas las muestras, se retira la membrana con el concentrado de sólidos y se procede a su preparación
6. En un mortero con 10 ml de acetona se macera el filtro c que contiene los sólidos filtrados para concentrarlos en la acetona.
7. Se vierte la acetona con el concentrado de sólidos a tubos de ensayo previamente lavados.
8. Los tubos de ensayo pasan a la centrifugadora vortex para concentrar los sólidos y separar los pigmentos fotosintéticos del agua
9. Una vez realizado el proceso de centrifugación manual y de la separación del pigmento, utilizando como solvente acetona al 90%, como blanco para el espectrofotómetro.
10. Se traspasaron las muestras a celdas de cuarzo especiales del espectrofotómetro
11. Se configuró el espectrofotómetro a diversas longitudes de onda detalladas a continuación

Para el cálculo de la concentración de la clorofila “a” se utilizó la ecuación propuesta por Callejas et al. (2013):

$$\text{clorofila a} \left(\frac{mg}{m^3} \right) = \frac{\{26,7(665Ad - 665Aa).V1\}}{V2.Lc}$$

Donde:

665Ad: Lectura de absorbancia a 665 nm antes de la acidificación.

665Aa: Lectura de absorbancia a 665 nm después de la acidificación.

V1: Volumen de acetona utilizado en la extracción en litros.

V2: Volumen de muestra filtrado en litros.

Lc: Longitud de la celda espectrofotométrica en centímetros.

- **Determinación de la claridad del agua usando el disco Secchi**

La transparencia se midió con el disco Secchi, que es un dispositivo conformado por

un disco de 20 a 30 centímetros de diámetro, dividido en cuartos, que se pintan de blanco y negro alternativamente para mejorar el contraste, se usa para determinar la claridad del agua de la siguiente forma:

1. Se introdujo el dispositivo en el agua, poco a poco hasta que no sea visible.
2. Se registró la profundidad.
3. luego se sumergió nuevamente, a mayor profundidad que la anterior, hasta que no se lo pudiera observar, para luego subirlo y hacer el registro en el momento en el que fue visible nuevamente.
4. Se promedió la medida de las dos profundidades y ese valor, expresado en metros, es la transparencia medida por el disco Secchi.

De acuerdo con (Martínez, 2015) los datos de fósforo total, transparencia de la columna de agua y clorofila "a", se relacionan con el estado trófico asignado conforme a las percepciones cualitativas. Los criterios de aplicación se muestran en la siguiente tabla 3.

- **Criterios de evaluación del estado trófico**

Tabla 3.

Criterios de Evaluación del Estado Trófico

Categoría trófica	Clorofila "a" (µg/L)	Profundidad Secchi (m)	Fósforo (µg/L)
Ultra oligotrófico	< 1	>12	< 4
Oligotrófico	1 – 2,5	6 – 12	4 – 10
Mesotrófico	2,5 – 7,9	3 – 6	10 – 35
Eutrófico	8 – 25	1,5 – 3	35- 100
Hipertrófico	>25	< 1,5	>100

5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico se trabajó con el programa de Microsoft Excel, el mismo que permitió ordenar y calcular los valores determinados en el laboratorio para establecer los números representativos de la media, valores máximos y mínimos, así como también sus respectivas gráficas estadísticas.

La normalidad de los datos se estableció en función de la prueba de Carlson de Índice de estado trófico.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego del trabajo de campo, la toma de muestras, el análisis de las muestras en su aspecto físico y químico sometidos a la observación y en el laboratorio, con las respectivas tabulaciones numéricas, cálculos matemáticos y su correspondiente confrontación con las normas ambientales y propuestas teóricas de los expertos expuestas en el estado del arte se presentan los siguientes resultados:

5.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICO - QUÍMICA

En la tabla 4 que se presenta a continuación, se indican los resultados de los parámetros fisicoquímicos medidos “in situ”, de laboratorio y los cálculos estadísticos. En las tablas se representan los valores estadísticos notables como: el promedio, el máximo y el mínimo, de cada parámetro medido.

Tabla 4.

Coordenadas Geográficas. Puntos de Muestreo

COORDENADAS ZONAS DE MUESTREO			Referencias de estratos en la laguna
PUNTO DE MUESTREO	COOR_Y	COOR_X	
1	10041521,7601	821964,842318	Noroccidente
2	10041306,3464	822557,230160	Norte
3	10041516,8644	823291,595254	Nororientado
4	10040875,5189	822180,256079	Centro occidente
5	10040317,4014	822434,835978	Centro orientado
6	10040870,6231	822841,184663	Sur

- **Promedios generales**

Valores Promedios de Mediciones in situ y ex situ

Tabla 5.

Promedios Generales

	pH	Oxígeno Disuelto mg/L	Turbidez NTU	Temperatura agua (°C)	Profundidad disco secchi en (m)	Nitritos NO₂	Nitratos NO₃	Amonio NH₄	Fosfatos PO₄	Clorofila
Promedio	8,62	20%	61,69 NTU	24,8	0,3	0,11 mg/L	11,84 mg/L	2,09 mg/L	831 µg/L	104,75 µg/L
Límites permisibles	De 6,5 a 9	Mayor a >80 % saturación	Menor a 100 NTU	Menor a >40C	Menor a 1,5 metros	Mayor a 0,2 mg/L	Mayor a 13 mg/L	Mayor a 0,4 mg/L	No mayor a 100 µg/L	Hipertrófico mayor a 25 µg/L

Fuente: Elaboración propia, basado en los resultados del trabajo de campo y los límites permisibles establecidos en el Acuerdo ministerial 097, norma de calidad ambiental y descargara de efluentes, tabla 2 Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios y las normas establecidas por la OCDE para cuerpos de agua eutrofizada.

Como se puede observar (Tabla 5) los resultados demuestran el incumplimiento de los límites permisibles establecidos en el Acuerdo ministerial 097, norma de calidad ambiental y descargara de efluentes, tabla 2 Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios, emitida en el año 2015 y vigente hasta la fecha.

Los promedios mostrados en la tabla 5, representan un panorama general del estado de la laguna, por ello los datos deben ser tabulados y representados gráficamente, para detallar los cambios del medio en base a la dispersión de contaminantes por estratos.

En base a los resultados podemos ver que los valores principales causantes de los procesos de eutrofización de la laguna de Yahuarcocha, exceden los límites permisibles establecidos por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).

- **Determinación de Nitritos (NO₂)**

Datos de nitritos obtenidos en laboratorio

Tabla 6.

Concentración de Nitritos

PUNTOS MUESTREO	ESTRATO (m) /Nitritos (ppm)					
	1	2	3	4	5	6
1	0,13	0,09	0,09	0,11	-	-
2	0,13	0,09	0,10	0,11	0,10	-
3	0,14	0,08	0,10	0,11	0,10	-
4	0,13	0,10	0,11	0,11	0,10	0,11
5	0,12	0,07	0,09	0,10	0,10	-
6	0,14	0,09	0,10	0,11	0,10	-

Dispersión de nitritos

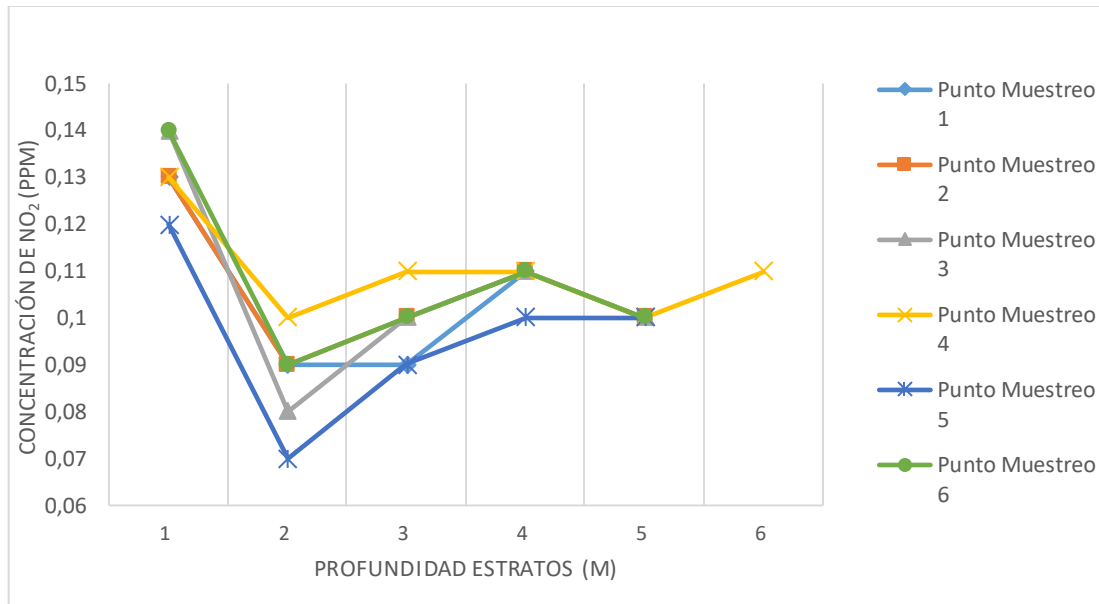


Figura 3.

Dispersión de Nitritos

Nota: Datos expresados en ppm de NO₂ por estratos según cada punto de muestreo. Adaptada de Tabla 6 concentración de Nitritos, de Oscar Méndez, 2022, (Elaboración propia)

- **Resultados**

La concentración de nitritos en todos los estratos de profundidad en base a la figura 3 de la laguna de Yahuarcocha, se encuentran dentro del cumplimiento Normativo del Acuerdo Ministerial 097, tabla 2 de Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios. Tomando en cuenta que los valores promedios de concentración de nitritos en cada estrato, no superan el límite de 0,2 mg/L.

Los nitritos se comportan como una forma de consumo de las cianobacterias durante el proceso de desnitrificación, siendo una buena razón se su moderada concentración dentro del límite de acuerdo con Ortiz (2018).

Los resultados parciales mostrados presentan consistencia con los resultados de la investigación presentada por Martínez y Palacios (2015) en el estudio de caso sobre el estado de la laguna de la Cocha en Colombia, en este sentido se presenta similitud en cuanto al estado normal de los niveles de nitritos basados en el índice trófico.

- **Determinación de Nitratos (NO₃)**

Formas de Nitrógeno - Nitratos ppm

Tabla 7.

Concentración de Nitratos

PUNTOS MUESTREO	ESTRATO/ Nitratos ppm					
	1	2	3	4	5	6
1	12,83	11,27	11,30	10,03	-	-
2	13,87	12,33	11,57	9,67	12,93	-
3	12,83	11,20	10,70	10,03	13,33	-
4	12,50	10,57	9,60	10,37	14,23	11,50
5	14,20	12,60	11,97	9,73	13,97	-
6	13,90	11,27	11,93	9,97	12,90	-

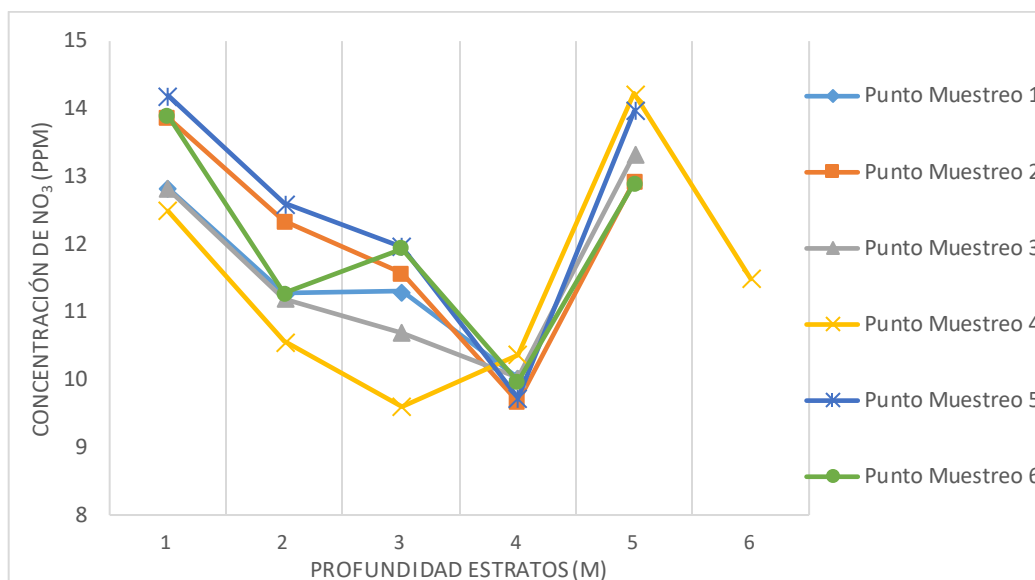


Figura 4.

Dispersión de Nitratos

Nota: Datos expresados en ppm de NO_3 por estratos según cada punto de muestreo. Adaptada de Tabla 7 concentración de Nitratos, de Oscar Méndez, 2022, (Elaboración propia)

- **Resultados**

La concentración de nitratos en los diferentes estratos de las aguas de la laguna de Yahuarcocha, muestran niveles estables y casi similares, pero existen secciones a 1 metro y a 5 metros de profundidad en los que los niveles de nitratos exceden el límite permisible establecido en el acuerdo ministerial 097, tabla 2 criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios.

Los nitratos en la mayoría de estratos se encuentran en concentraciones dentro del límite, pero las secciones de mayor concentración se pueden deber a una mayor concentración de cianobacterias, que realizan procesos, de acuerdo con Cardeñas y Sánchez (2009).

Estos valores tienen cierto sentido, se mostraron valores dentro de los límites de nitratos guardando correspondencia por los resultados presentados por el GADMI (2019).

- **Determinación de Amonio NH₄**

Tabla 8.

Concentración de Amonio

PUNTOS MUESTREO	ESTRATO/ Amonio ppm					
	1	2	3	4	5	6
1	1,66	1,94	2,00	2,07	-	-
2	1,65	1,99	2,01	2,17	2,25	-
3	1,68	2,01	2,05	2,24	2,43	-
4	1,64	2,08	2,18	2,35	2,25	2,18
5	1,64	2,01	2,20	2,21	2,34	-
6	1,73	2,11	2,20	2,45	2,29	-

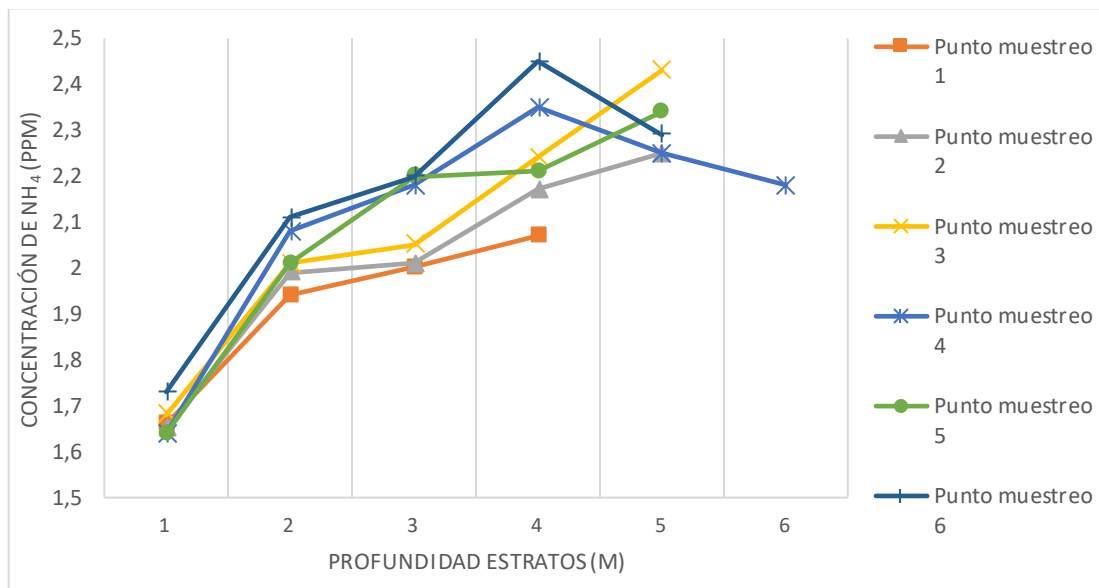


Figura 5.

Dispersión de Amonio

Nota: Datos expresados en ppm de NH₄ por estratos según cada punto de muestreo. Adaptada de Tabla 8 concentración de Amonio, de Oscar Méndez, 2022, (Elaboración propia)

- **Resultados**

Los índices de concentración de amonio en todos los puntos de muestreo a cada nivel

de estratificación de profundidad, muestran un serio incumplimiento a los límites permisibles establecidos en el Acuerdo ministerial 097, norma de calidad ambiental y descargara de efluentes, tabla 2 Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios, emitida en el año 2015 y vigente hasta la fecha.

El amonio es el resultante de los procesos de desnitrificación, realizado por la enorme masa de cianobacterias, presentes en todos los estratos de profundidad, comportándose como una fuente de consumo para realizar sus funciones fotosintéticas según lo estipulado por Cardeñas (2013).

Debido a la enorme falta de oxígeno, las cianobacterias se ven en la obligación de tomar otras fuentes para realizar sus funciones. Estos resultados son consistentes en cuanto a la investigación presentada Ledesma (2013) sobre el estado del Río Tercero en Córdoba, situada en la región centro de Argentina. En la investigación citada, de igual manera, la concentración de cianobacterias y elevada concentración de amonio, fueron signos claros de eutrofización del medio.

- **Determinación de Fosfatos PO₄**

Tabla 9.

Concentración de Fosfatos

PUNTOS MUESTREO	ESTRATO / Fosfatos ppb					
	1	2	3	4	5	6
1	1.175,67	1.303,00	653,67	714,00	-	-
2	1.107,00	1.292,00	612,33	634,00	641,00	-
3	1.202,67	1.298,00	662,00	666,33	651,67	-
4	1.196,33	1.298,33	632,33	649,67	607,67	588,00
5	1.192,00	1.284,00	633,67	636,67	653,00	-
6	1.163,00	1.252,67	643,67	669,00	635,33	-

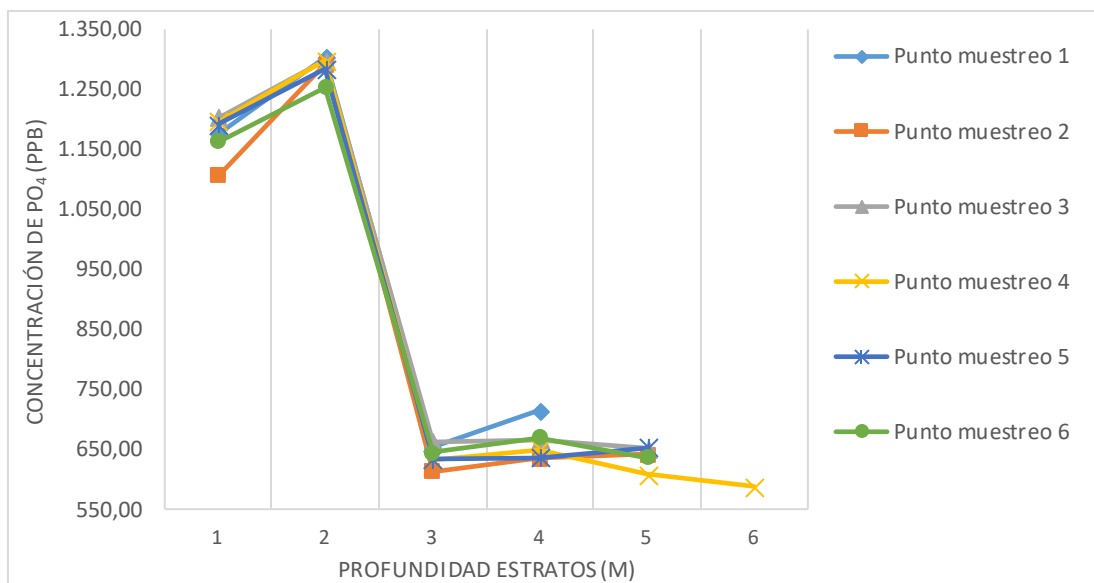


Figura 6.

Dispersión de Fosfatos

Nota: Datos expresados en ppm de PO₄ por estratos según cada punto de muestreo. Adaptada de Tabla 9 concentración de Fosfatos, de Oscar Méndez, 2022, (Elaboración propia)

- **Resultados**

Tras realizar las conversiones equivalentes de una parte por billón (ppb) siendo igual a un nano gramo sobre mililitro (ml-1), lo cual es igual a una unidad de microgramos sobre litro ($\mu\text{g/L}$). Se tiene como resultado que la concentración total de fosfatos presentes en el agua de la laguna de Yahuarcocha, excede el límite máximo permisible según los Límites permisibles Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (2015), que señala un límite de $100 \mu\text{g/L}$, incumpliendo la normativa de forma excesiva.

Los fosfatos actúan en el medio acuático como una fuente nutritiva para los organismos dependientes de él, como las algas, que son organismos que consumen grandes cantidades de oxígeno causando déficits y problemas de eutrofización en el medio, como lo sostiene Tapia (2013).

Las concentraciones de fosfatos en las aguas de Yahuarcocha son los principales indicadores de eutrofización, siendo estos resultados similares al caso del estudio presentado por Martínez y Palacios (2015) sobre el estado de la laguna de la Cocha en Colombia, en la que el principal factor de análisis para determinar la eutrofización fueron los altos niveles de fosfatos del medio, similares al presente estudio.

- **Determinación de Oxígeno Disuelto (mg/L)**

Tabla 10.

Concentración de Oxígeno

PUNTOS MUESTREO	ESTRATO / OXÍGENO DISUELTO mg/L					
	1	2	3	4	5	6
1	10,28	8,27	6,17	6,20	-	-
2	9,43	8,21	6,05	6,60	7,25	-
3	9,75	8,19	4,89	6,16	8,14	-
4	9,15	7,97	5,90	5,39	6,65	4,79
5	9,34	8,23	6,47	5,88	6,95	-
6	9,25	8,17	6,31	6,46	7,89	-

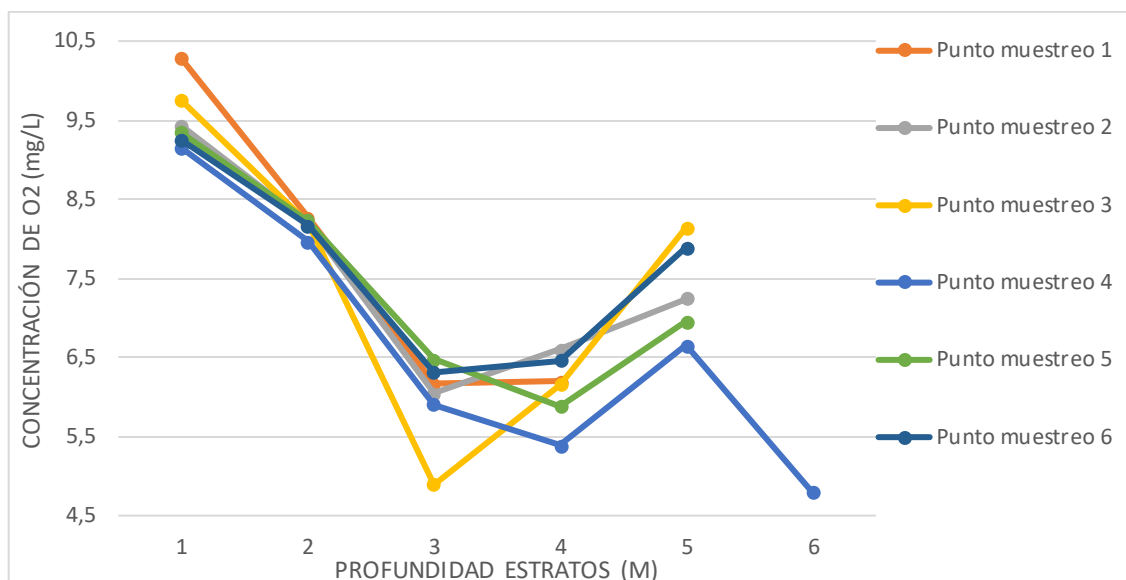


Figura 7.

Dispersión del Oxígeno

Nota: Datos expresados en ppm de PO_4 por estratos según cada punto de muestreo. Adaptada de Tabla 10 concentración de Oxígeno, de Oscar Méndez, 2022, (Elaboración propia)

- **Resultados**

Los niveles de Oxígeno de las aguas de la laguna de Yahuarcocha, cumplen lo señalado según el acuerdo ministerial 097 tabla 2: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios, pero el cumplimiento de estas normas no se refleja a estratos inferiores donde las demandas de oxígeno de la biomasa aumentan, mostrando condiciones de anoxia.

El oxígeno es la fuente de energía de la biomasa de algas para realizar la fotosíntesis y procesos de desnitrificación que consumen oxígeno.

Debido a los procesos fotosintéticos de la biomasa vegetal de la laguna de Yahuarcocha, los niveles de oxígeno en el estrato superior de las aguas superan el 100%, pero por lo mismo los niveles de saturación porcentual de oxígeno son inferiores al 80% en estratos inferiores, concentraciones que incumplen por el Acuerdo Ministerial Ecuatoriano 097.

- **Determinación de la temperatura (°C)**

Tabla 11.

Temperatura Promedio

ESTRATO / TEMPERATURA °C						
PUNTOS MUESTREO	1	2	3	4	5	6
1	21,77	21,20	21,41	21,60	-	-
2	21,73	21,37	21,30	21,40	21,37	-
3	21,73	21,53	21,31	21,67	21,77	-
4	22,60	22,03	21,55	21,67	22,17	21,50
5	22,00	21,50	21,31	21,43	21,63	-
6	22,37	22,07	21,61	21,87	21,93	-

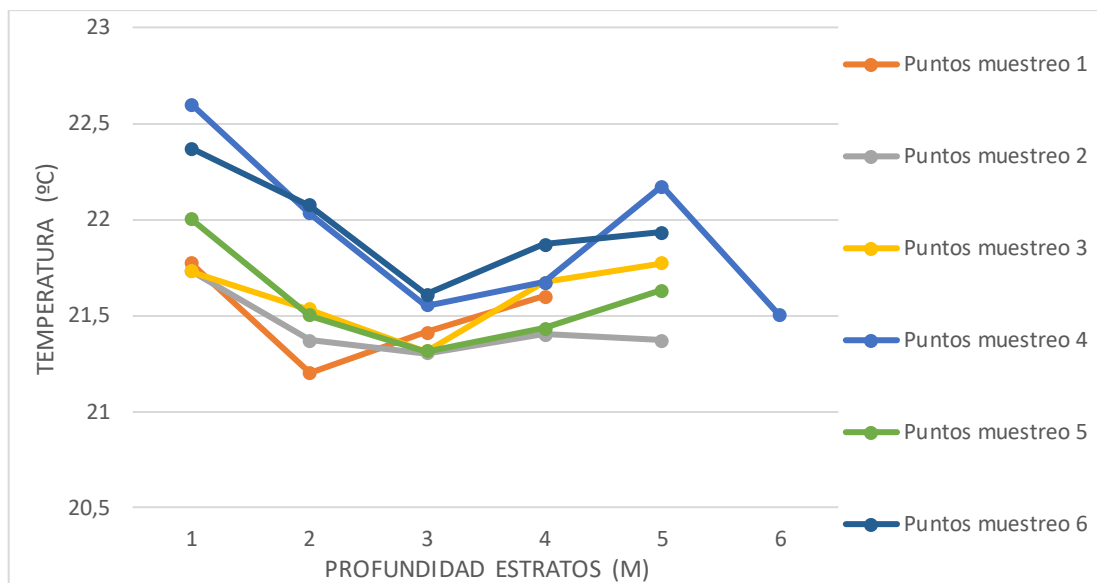


Figura 8.

Dispersión de Temperatura

Nota: Datos expresados en °C de temperatura por estratos según cada punto de muestreo. Adaptada de Tabla 11 Temperatura promedio, de Oscar Méndez, 2022, (Elaboración propia)

- **Resultados**

La temperatura del agua es inferior a los 40 °C establecidos como límite establecidos

en el acuerdo ministerial 097, tabla 2, criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios, teniendo una temperatura que no tiene demasiada variación en cada estrato de profundidad.

La temperatura, y la energía solar aumentan la actividad fotosintética de los organismos foto autótrofos, como la biomasa de algas y las colonias de cianobacterias (GADMI, 2019).

- **Determinación de Color (UC)**

Tabla 12.

Unidades de Color

PUNTOS MUESTREO	ESTRATO / UNIDADES DE COLOR (UC)					
	1	2	3	4	5	6
1	634,00	632,33	691,33	703,67	-	-
2	665,00	634,00	711,00	710,33	734,00	-
3	653,33	637,67	720,33	711,00	714,67	-
4	654,33	643,67	705,00	706,00	724,33	865,67
5	658,00	624,33	714,33	706,00	719,67	-
6	650,00	625,33	714,67	702,67	718,67	-

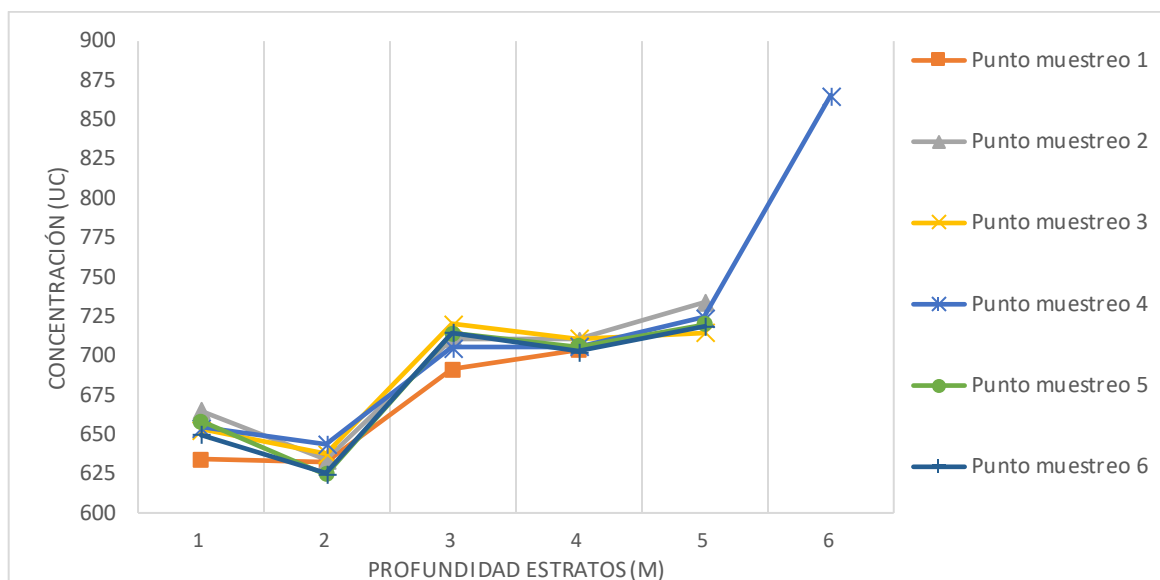


Figura 9.

Dispersión de Unidades de Color

Nota: Datos expresados en Unidades de color por estratos según cada punto de muestreo. Adaptada de Tabla 12 Unidades de color, de Oscar Méndez, 2022, (Elaboración propia)

- Resultados

La coloración del agua al contrario de la gráfica de promedio de toda la laguna, muestra niveles alarmantes de contaminación de sólidos suspendidos, superando los límites según el acuerdo ministerial 097 tabla 2: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios, que señala que se debe mantener un límite de 75 unidades de color (MAE, 2015).

El color en todos los estratos se debe a la enorme concentración de pigmentos fotosintéticos, cianobacterias y demás residuos biológicos.

La claridad del espejo de agua se puede determinar como otra señal de estado de eutrofización de un cuerpo de agua, mediante la utilización del disco Secchi, podemos evidenciar el estado según la profundidad a la que el disco es visible como lo señala Montes (2005).

Siendo el caso un claro incumplimiento a lo propuesto por la Organización para la

Cooperación y el Desarrollo Económico, señalando una visibilidad límite de un lago híper eutrofizado de 1,5 metros y el estudio de campo mostró que el equipo está a 30 centímetros de profundidad.

Determinación de la Turbidez (NTU)

Tabla 13.

Promedio Turbidez

PUNTOS MUESTREO	ESTRATO /TURBIDEZ (NTU)					
	1	2	3	4	5	6
1	61,52	55,37	55,12	62,45	-	-
2	61,35	55,64	54,96	63,20	64,60	-
3	61,88	56,01	54,26	60,15	64,15	-
4	59,28	57,17	53,10	61,33	65,07	73,38
5	61,28	54,67	54,01	60,44	63,38	-
6	60,59	56,05	53,92	58,73	63,45	-

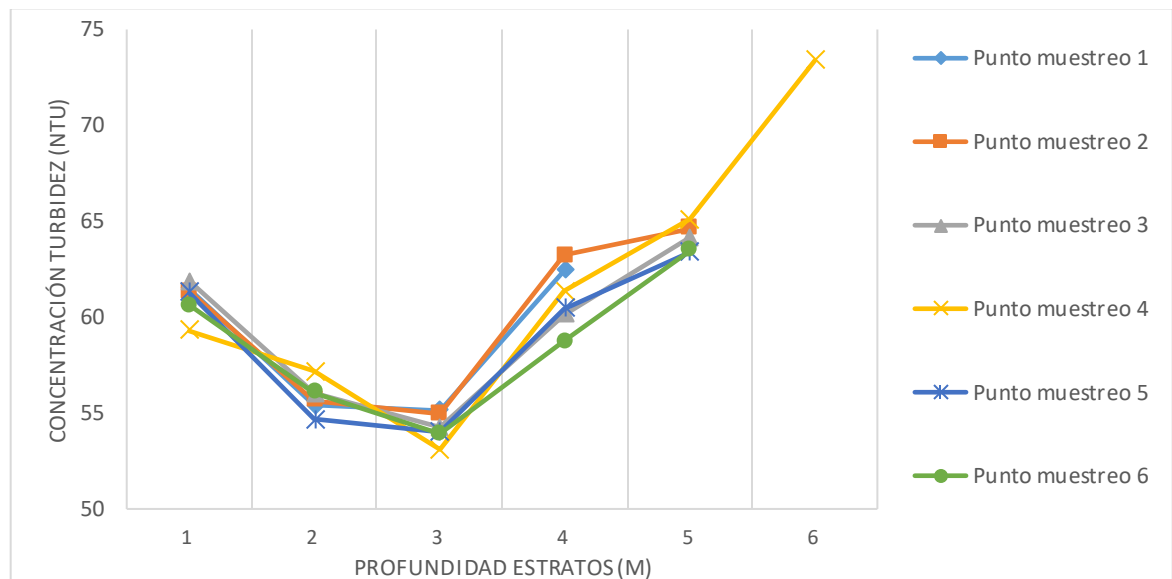


Figura 10.

Dispersión de Turbidez

Nota: Datos expresados en Unidades Nefelométricas de Turbidez por estratos según cada punto de muestreo. Adaptada de Tabla 13 Promedio turbidez, de Oscar Méndez, 2022, (Elaboración propia)

- Resultados

Los niveles de turbidez, en base a la dispersión de resultados en cada estrato de profundidad de las aguas de la laguna de Yahuarcocha, muestran que se encuentran dentro de los niveles de turbidez según el acuerdo ministerial 097 tabla 2: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios), señalando un límite de 100 NTU (MAE, 2015).

La presencia de partículas es alta, pero al momento de realizar la extracción de muestras, los sólidos se aglutinan y pareciera que la coloración del agua mejora, pero es debido a la enorme concentración de clorofila y cianobacterias, que el espejo de agua de la laguna es completamente verde (LaMotte, 2018).

La turbidez de la laguna de Yahuarcocha en estratos inferiores es un lecho lodoso conformado de materia orgánica en descomposición, debido a la poca profundidad de las aguas de Yahuarcocha. De acuerdo con Amadory Veliz (2015), estos lodos pueden alterar la percepción de la turbidez del agua.

- **Determinación del Potencial de Hidrógeno (pH)**

Tabla 14.

Promedio pH

PUNTOS MUESTREO	ESTRATO /Potencial de Hidrógeno pH					
	1	2	3	4	5	6
1	8,05	8,53	8,68	8,74	-	-
2	8,04	8,52	8,67	8,75	8,86	-
3	8,05	8,52	8,67	8,74	8,85	-
4	8,04	8,53	8,67	8,75	8,85	8,80
5	8,06	8,52	8,67	8,74	8,85	-
6	8,05	8,53	8,67	8,74	8,86	-

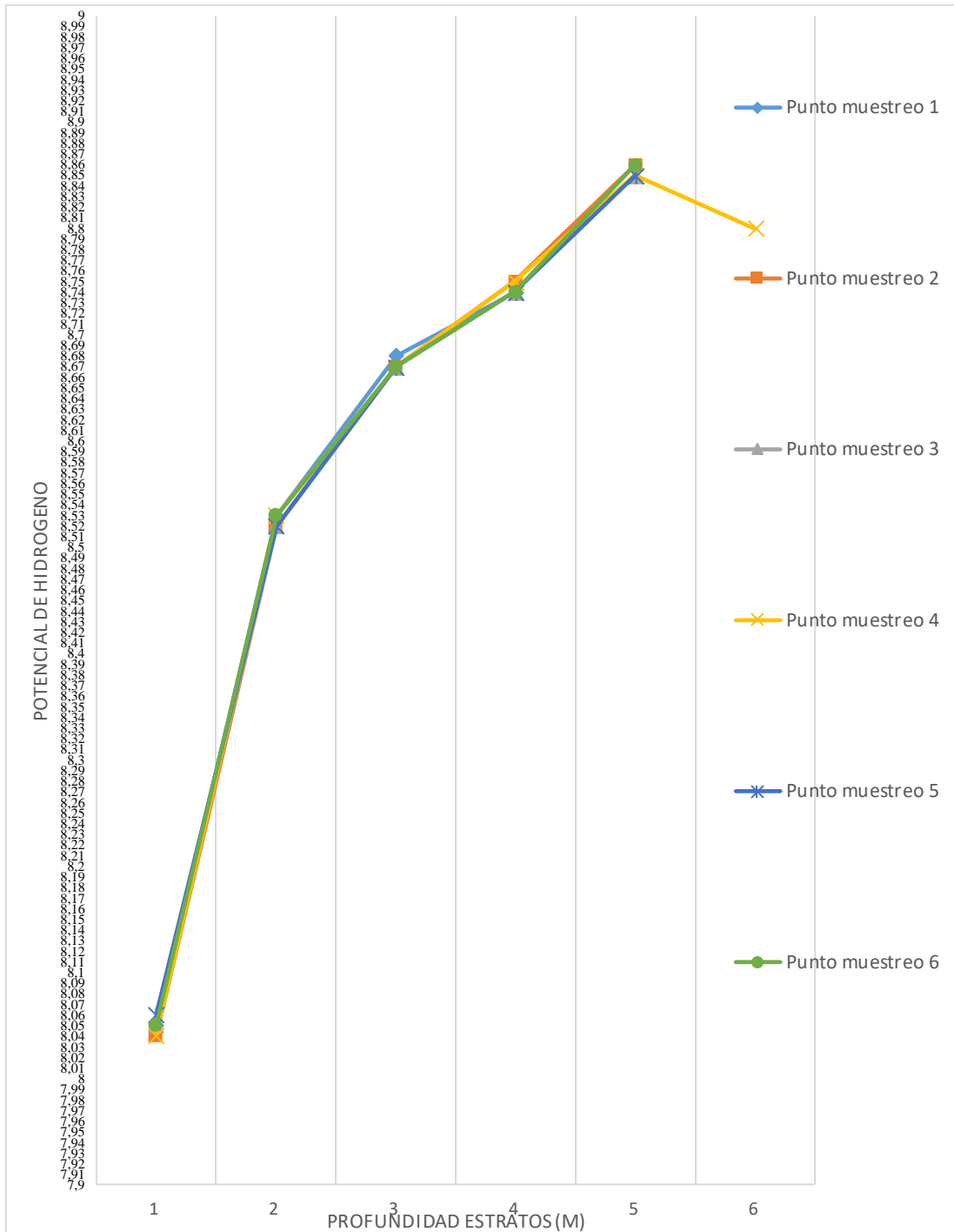


Figura 11.

Dispersión de Unidades de pH

Nota: Datos unidades de pH por estratos según cada punto de muestreo. Adaptada de Tabla 14 Promedio pH, de Oscar Méndez, 2022, (Elaboración propia)

- **Resultados**

Según los datos analizados y graficados de acuerdo a la estratificación, se muestra que el pH del agua es similar en casi todas las áreas y profundidades estratificadas. Según el acuerdo ministerial 097, tabla 2, criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios, los límites aceptables de pH son de 6,5 a 9 unidades, por lo tanto, los valores medidos se encuentran dentro de los límites.

El pH se encuentra en condición de neutralidad para la calidad del agua, pero esto supone que el medio también sea favorable para el desarrollo de la biomasa de algas y de cianobacterias, ya que se desarrollan en un medio estable y con muchos nutrientes de acuerdo con Parra (2015).

El pH también tiene relación con la formación del lecho sedimentoso de la laguna de Yahuarcocha y de la formación que ha tenido esta laguna de 12 mil años de edad según el Geoportal (2013).

- **Determinación de Clorofila**

Tabla 15.

Concentración de Clorofila

PUNTOS MUESTREO	ESTRATO (m) /Estratificación de la concentración de clorofila $\mu\text{g/L}$					
	1	2	3	4	5	6
1	188,83	9,92	95,78	89,96		
2	89,28	91,67	185,06	55,41	74,27	
3	31,47	115,62	262,72	77,31	116,31	
4	178,67	19,77	82,81	89,89	105,65	105,04
5	189,3	91,42	131,01	95,41	65,15	
6	41,47	95,59	232,77	57,33	77,31	

Fuente: elaboración propia

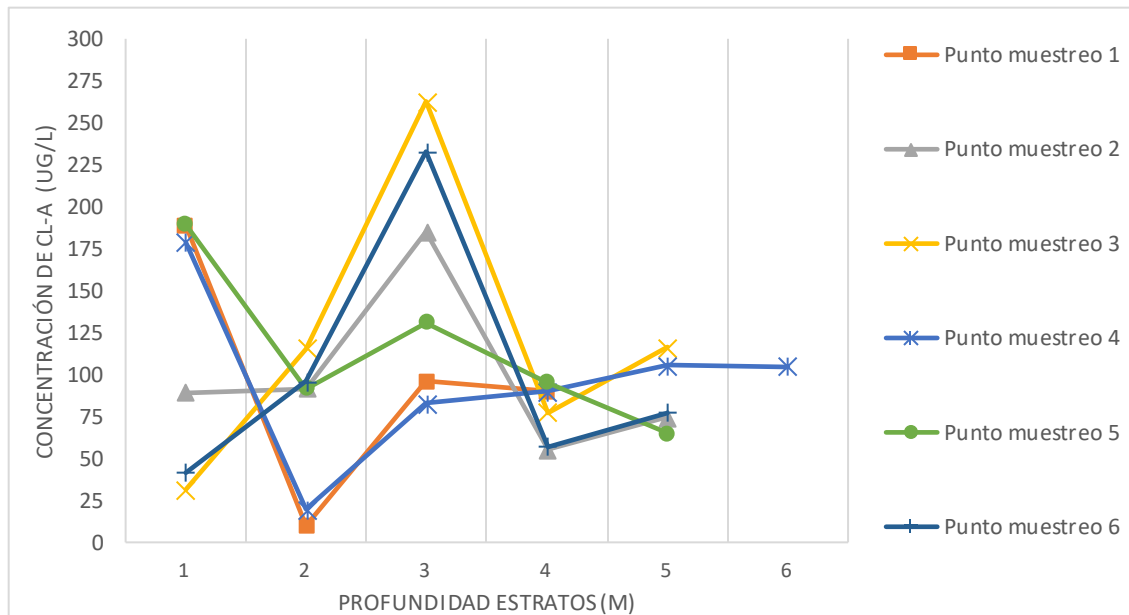


Figura 12.

Dispersión de Concentración de Clorofila

Nota: Datos expresados en $\mu\text{g/L}$ de clorofila-a por estratos según cada punto de muestreo. Adaptada de Tabla 15 Concentración de Clorofila, de Oscar Méndez, 2022, (Elaboración propia)

- Resultados

Los valores obtenidos tras el análisis de la concentración de la clorofila en $\mu\text{g/L}$ y que fueron dipuestos en un gráfico que muestra la dispersión de sus concentraciones a distintos estratos de profundidad, determinando que el estado de la laguna de Yahurcocha, según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico , las aguas de la laguna de Yahuarcocha muestran un nivel de conservación de tipo hipertrófico, superando los límites de $25 \mu\text{g/L}$ establecidos.

La clorofila presente en el agua funciona como un filtro de la luz solar que abastece la energía necesaria para los organismos fotoautótrofos como la biomasa de algas y las cianobacterias, cuyos procesos fotosintéticos consumen grandes cantidades de oxígeno como por ejemplo los procesos desnitrificantes de las cianobacterias (Toledo, 2012).

La clorofila es el punto clave que evidencia un cuerpo de agua eutrofizado como se muestra en estudios anteriores mencionados, como la laguna la Cocha o el Río Tercero en Córdoba (Argentina) (Ledesma, 2013).

- Índice trófico

Índice de estado trófico de Carlson del año 1977 o índice de estado trófico (IET), está basado en la utilización del disco Secchi, para determinar la transparencia del agua a travez de la colmna de agua de los diferentes puntos de muestreo seleccionados.

Alzaki (1981) modificó el Índice de Carlson a través de la inclusión de coeficientes específicos para cada elemento que integra la composición del estado trófico del cuerpo de agua que estamos por categorizar, se determina la biomasa a partir de la medición de la clorofila tipo "a" (Moreno 2010).

El índice trófico de Carlson se determina con las siguientes ecuaciones:

$$IETDS = 10 \left(6 - \frac{\ln(DS)}{\ln(2)} \right) = 11,42$$

$$IETCL.a = 10 \left(6 - \frac{2,04 - 0,68 \ln(104,74)}{\ln(2)} \right) = 102,76$$

$$IET \text{ Promedio} = \frac{IETDS + IETCL.a}{2} = 57,09$$

Donde:

- IETDS: Índice de estado trófico de Carlson disco Secchi.
- IETCL. "a": Índice de estado trófico de Carlson clorofila "a"
- IET Promedio: Índice de estado trófico de Carlson promedio.
- DS: Promedio del disco Secchi
- CL.a: Promedio de la concentración de clorofila

Tabla 16.

Criterios Índice de Estado Trófico

Valor índice	Categoría Trófica
< 30	Ultra oligotrófico
30 -44	Oligotrófico
44 -54	Mesotrófico
54 – 74	Eutrófico
>74	Hipertrófico

(OCDE, 2015)

Conclusión del IET

El Índice de Carlson señala que el estado de la laguna de Yahuarcocha es de tipo Eutrófico, pero lo que nos señalan sus diferentes parámetros y en base a lo mencionado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, es que su estado de conservación, según sus características es de tipo Hipertrófico.

Se tiene en cuenta que el índice de estado trófico, no ha empeorado los últimos años, eso le da a la laguna de Yahuarcocha mayor margen de tiempo para intervenir en su proceso de recuperación.

PROPUESTA

Respecto del tercer objetivo específico que dice: Presentar una propuesta de tratamiento del agua de la laguna en base a los datos obtenidos para prevenir y remediar el avance de la eutrofización; por ello me permito exponer la siguiente propuesta:

MEDIDAS DE REMEDIACIÓN, CONTENCIÓN Y MITIGACIÓN FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS EN LA LAGUNA DE YAHUARCOCHA.

Antecedentes

El cuerpo de agua de la laguna de Yahuarcocha, presenta condiciones de eutrofización muy avanzadas. Siendo la laguna de Yahuarcocha un cuerpo de agua de 12000 años de antigüedad.

Al ser un cuerpo de agua de tipo endorreico, lo cual refiere al cuerpo de agua que no tienen salida al océano y cuyos canales de alimentación son inexistentes o deficientes.

En los últimos años se han realizado estudios superficiales de control de calidad del agua de la laguna de Yahuarcocha, estableciendo que la claridad del espejo del agua, concentración de clorofila y concentración de fosfatos, corresponden a un cuerpo de agua de tipo eutrófico (PDOTI BARRA, 2021).

En base al tipo de lago y a la edad estimada de la laguna de Yahuarcocha, podemos determinar que el estado eutrófico, e incluso Hipertrófico, de la Laguna de Yahuarcocha es debido al cumplimiento del ciclo de vida de este tipo de cuerpos de agua a través de procesos de degradación naturales, en los que este tipo de cuerpo de agua pasará a convertirse en un pantano, ciénaga o humedal.

Estas características sirven como referente del interés del Gobierno Autónomo Descentralizado de Imbabura, para el establecimiento de planes de conservación de los cuerpos de agua dulce en estado eutrófico o hipertrófico.

Justificación

La eutrofización se ha vuelto un problema a nivel local en el cantón Ibarra, la

preservación de los cuerpos de agua dulce, siendo la laguna de Yahuarcocha el objeto de la presente propuesta de control de la eutrofización, Objeto de conservación de las aguas de uso humano para diversos fines (Recreación, conservación natural), deben volverse una prioridad de las actividades que debe cumplir el gobierno autónomo descentralizado de Imbabura.

Las asignaciones de distintos métodos de control de la eutrofización son requeridas, en base a las condiciones del cuerpo de agua en las que se deseen implementar, siendo el caso de la laguna de Yahuarcocha, está catalogada como un cuerpo de agua de tipo Hipertrófico.

La planeación de implementar distintos métodos de control de la eutrofización, es con base a una investigación previa del estado de conservación de los cuerpos de agua de tipo lacustre, siendo la Laguna de Yahuarcocha el objeto del presente estudio.

Metas

Debido a que se debe considerar la extensa área del espejo de agua de la laguna de Yahuarcocha, considerar la efectividad y el alcance de las metodologías de control de la eutrofización es primordial.

Teniendo un área de 240.5 hectáreas o 2405000 metros cuadrados, según el Gobierno Autónomo Descentralizado de Imbabura (PDOTI BARRA, 2021); las expectativas de cumplimiento al finalizar los proyectos de control de eutrofización son:

- Aumentar la concentración de saturación de oxígeno en los estratos inferiores del cuerpo de agua en un 20% a 6 metros de profundidad, siendo el punto más profundo de la laguna.
- Establecer los proyectos de control de eutrofización en un área de 601350 metros cuadrados (Correspondiente a la cuarta parte del área total de la laguna) al término de 5 años de implementación.
- Disminuir la concentración de la biomasa vegetal acuática del fondo del cuerpo de agua de Yahuarcocha en un 15 % en 5 años.

- Acondicionar los métodos de control de eutrofización para que sean sostenibles y reutilizables en el tiempo, de sucesión ecológica artificial de la Laguna de Yahuarcocha.

Objetivos

OBJETIVO GENERAL

Recomendar medidas de prevención, mitigación y compensación mediante la ejecución de procesos de remediación en la laguna de Yahuarcocha

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Eliminar la biomasa de algas del lecho sedimentoso de la laguna de Yahuarcocha mediante uso de dragado para controlar el proceso de eutrofización
- Aprovechar la aireación como alternativa de remediación para contener el proceso de eutrofización de la Laguna de Yahuarcocha
- Aplicar la Bio manipulación del cuerpo de agua de la laguna de Yahuarcocha para reducir la biomasa de algas y la población de cianobacterias.

Alcance

En lo que se respecta a la viabilidad de los métodos de control de los factores eutrofizantes de las aguas de la Laguna de Yahuarcocha, el alcance de efectividad de las propuestas, está basada en:

- El área de cobertura de cada método de remediación
- El coste de instalación, manejo, mantenimiento y logística
- La efectividad de un método con respecto a los demás métodos presentados
- El tiempo de efectividad del método
- La permanencia del método a largo plazo en el medio afectado

El área del espejo de agua de la laguna de Yahuarcocha es de aproximadamente 240.5 hectáreas o 2405000 metros cuadrados según el Gobierno Autónomo Descentralizado de Imbabura. Este referente pone en idea el área de trabajo afectada que requiere control de eutrofización.

Análisis FODA

Tabla 17.

FODA

Positivos	Negativos
<p style="text-align: center;">Fortalezas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los métodos de control de la eutrofización, tienen gran efectividad en áreas pequeñas. • Los métodos de control de la eutrofización son soluciones efectivas que persisten en el tiempo. • Utilizar estos métodos de control de la eutrofización, retrasarán el proceso natural de envejecimiento de los cuerpos de agua de tipo endorreico. <p style="text-align: center;">Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • Oportunidades de generar empleos en el área de conservación natural • La biomasa removida le tomara mucho tiempo volver a crecer • Los equipos de control son fáciles de conseguir, mantener y operar. 	<p style="text-align: center;">Debilidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • El mantenimiento de los métodos de control de la eutrofización • La poca cobertura de área de los métodos de control de la eutrofización • La gran área de fondo contaminado o de gran concentración de biomasa <p style="text-align: center;">Amenazas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los costos de implementación, mantenimiento y operación • La densidad de la biomasa vegetal que se debe retirar • La dificultad de obtener los permisos del gobierno Autónomo de Imbabura para cumplir los procesos mencionados.

PROPUESTAS

MEDIDAS DE REMEDIACIÓN, CONTENCIÓN Y MITIGACIÓN FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS EN LA LAGUNA DE YAHUARCOCHA

Remediación Física

Remoción de biomasa de algas mediante uso de draga tipo cuchara en el lecho sedimentoso de la laguna de Yahuarcocha

El lecho de la laguna de Yahuarcocha, es un cuerpo de agua establecido en el rango de contaminación por eutrofización de tipo Hipertrófico, esto debido no solo a la gran cantidad de contaminantes y sólidos suspendidos, sino porque también existe una gran concentración de biomasa de organismos vegetales acuáticos y organismos fotosintéticos que alteran el equilibrio de los procesos de autodepuración de las aguas; además, está repleto de algas, sedimentos y lodos residuales, productos de una degradación parcial resultante de los procesos de degradación química y microbiológica que se han visto afectados por la reducción de la saturación de oxígeno requerido para sus procesos (DBO: demanda biológica de oxígeno y DQO: demanda química de oxígeno).

Las soluciones creativas como la adición de reactivos químicos, bombas aerobias o inclusión de especies degradadoras, no serán efectivas a largo plazo si la fuente principal de contaminación sigue presente en el lecho del lago, en este caso la enorme concentración de materia orgánica y biomasa vegetal en el lecho del lago.

Por ello el presente método busca eliminar la mayor concentración de biomasa vegetal, cuya actividad fotosintética o procesos de desnitrificación, ocasionan que el porcentaje concentración de oxígeno disminuya en niveles cercanos a condiciones de anoxia, causando ineffectividad al proceso auto depurador de un lago de tipo endorreico.

La draga de cuchara está compuesta por una grúa giratoria que se encuentra instalada encima de una plataforma flotante. La grúa lleva una cuchara bivalva que puede alcanzar profundidades de hasta 50 metros, pero debido a la poca profundidad de la

laguna de Yahuarcocha, siendo su profundidad máxima de 7 metros y de cuatro metros en su punto menos profundo, la draga podrá extraer la mayor cantidad de residuos del fondo del cuerpo de agua eutrofizado (Ortiz, 2009).

La embarcación sujeta una grúa con un brazo de celosía reforzado, sobre el que cuelga, pendiente de un cable, el cucharón que dragará el fondo del lecho del cuerpo de agua eutrofizado, además la estructura de la cuchara cuenta con aberturas para drenar el agua excedente, pudiendo así eliminar la mayor cantidad de biomasa vegetal evitando que la carga de desechos contenga más agua de la necesaria.

El modo de operación de la draga es el siguiente:

- Se traslada la embarcación a las zonas de trabajo, en este caso los seis puntos de muestreo en los que se conoce la profundidad máxima en base al mapa batimétrico de la laguna.
- Descenso de los tres pilonos de anclaje que absorben los esfuerzos horizontales de la excavación, tomando en cuenta que la fuerza de la cuchara es su propio peso, así como también se utilizan estabilizadores en forma de ancla a ambos lados de la embarcación
- Descenso de la cuchara (con cierta inercia), extracción y elevación del material para posteriormente ser depositado en una embarcación de carga de desechos de biomasa.
- Se elevan los puntos de apoyo como las anclas y los spunds.
- Se traslada la embarcación a la siguiente localización para repetir el proceso de dragado (Ortiz, 2009).

El volumen de la cuchara puede variar de entre 0,75 y 200 metros cúbicos y la embarcación puede trabajar con ondulaciones máximas del terreno de fondo de 2 metros por tanto la viabilidad de este método es muy recomendable, siempre y cuando los puntos de limpieza y extracción de biomasa vegetal sean comprobados previamente con la información detallada por el mapa batimétrico de las aguas de la laguna de Yahuarcocha.

Este método es una solución más eficiente en el instante de su uso, además de ser una

garantía para que las efectividades de otros procesos de remediación puedan perdurar en el tiempo de funcionamiento y los procesos de autodepuración del cuerpo de agua eutrofizado puedan regenerarse, dando paso un proceso de sucesión ecológica (capacidad de un medio para regenerarse a sí mismo y mantenerse en el tiempo) por intervención humana (Ortiz, 2018).

Este método depende enteramente de la disposición económica del proyecto que lo lleve a cabo puesto que hay muchos factores que aumentan el coste de operación y el tiempo de finalización del dragado, como por ejemplo; la resistencia de la biomasa del fondo, el área del cuerpo de agua por tratar, la capacidad de carga de la cuchara, las horas de operación y la gestión de la biomasa extraída para darle disposición adecuada ya sea en un relleno sanitario o darle un segundo uso como fertilizante rico en fósforo en forma de turba orgánica parcialmente degradada.

Remediación Química

Efecto de la aireación como alternativa de remediación para la eutrofización de la Laguna de Yahuarcocha

Los procesos de la eutrofización, fotosíntesis y des nitrificación producen cambios en la química del agua, siendo el aumento del consumo de oxígeno la principal causa de la reducción en la eficiencia del proceso de degradación de la materia orgánica por agentes químicos y microbiológicos (Demanda biológica de oxígeno y Demanda química de oxígeno); con este precedente el lecho del lago y los estratos más profundos presentaran condiciones de anoxia, condiciones muy desfavorables tomando en cuenta la mayor cantidad de materia orgánica que debe ser degradada se encuentra en el fondo de la laguna de Yahuarcocha, volviéndose un medio favorable para el crecimiento de plantas u organismos fotosintéticos los cuales acelerarán el proceso de eutrofización de las aguas de la laguna.

La capacidad de autodepuración de la laguna está siendo superada, debido al desarrollo y procesos biológicos de los organismos fotosintéticos, por ello se toma en consideración los niveles de concentración de oxígeno de cada estrato de profundidad del cuerpo de agua; esta medida busca mejorar la eficiencia del proceso de degradación química y biológica de la materia orgánica (DQO Y DBO), incrementando artificialmente la saturación de Oxígeno del agua lo cual reducirá el concentración de oxígeno que los procesos de degradación química y biológica requieran para auto depurar el cuerpo de agua.

La aplicación de este procedimiento de remediación en el cuerpo de agua de la laguna de Yahuarcocha, estará adaptada a su plan de evaluación de contaminación en el presente estudio; por ello se implementarán 6 reactores aerobios, los cuales suministrarán un flujo constante de 30 L/ min de aire durante 12 horas, debido al estado hipertrófico del cuerpo de agua, redirigiendo el oxígeno a los estratos más profundos de la laguna en base a la profundidad máxima representada en el mapa batimétrico de la laguna de Yahuarcocha, mediante esta redirección de oxígeno, los estratos más profundos mejoraran su concentración/ saturación de oxígeno (Miligramos/ litro – Porcentaje), permitiendo que el lecho del lago, que contiene la

mayor cantidad de materia orgánica por degradar, pueda mejorar su capacidad de autodepuración en el tiempo en base a los estudios propuestos por Lecca (2014).

El diseño de la bomba de oxígeno consta de un modelo semejante a las balizas encontradas en las fronteras marítimas, este diseño permite mayor estabilidad para ubicar el dispositivo en el cuerpo de agua; por ello el dispositivo se adaptará para bombear el aire hacia el penúltimo estrato de profundidad, ubicando un tubo de distribución de aire en la parte inferior, el cual tendrá rejillas internas para que el dispositivo no llegase a atorarse con ningún objeto orgánico y no orgánico, además de implementar un pequeño sistema eléctrico de energía auto sustentable utilizando placas de energía solar como medio para suministrar la energía necesaria para el motor de la bomba de oxígeno.

La longitud del tubo distribuidor de aire se adaptará en base al punto de implementación marcado en el GPS, el cual se comprobaba mediante el uso de la información del mapa batimétrico de la laguna de Yahuarcocha para estimar su profundidad y que el tubo no se obstruya con el lecho del lago, el distribuidor de aire en la parte final del tubo consta de una salida de 4 canales angostos, para que la presión de aire aumente y la distancia de distribución de aire a los estratos más profundos aumente considerablemente.

El aire bombeado busca disminuir la DBO5 (demanda biológica de oxígeno) en un 70%, los fosfatos totales en un 75%, el nitrógeno total un 46%. Para el sedimento se busca reducir el fósforo total en un 50%, y para el nitrógeno total en un 33%; estos son valores porcentuales son representaciones basadas en la implementación de reactores aerobios como alternativa de remediación para la eutrofización de la laguna de Paca (Otzen, 2017).

Remediación Biológica

Bio manipulación del cuerpo de agua eutrofizado para reducir la biomasa de algas y la población de cianobacterias

El término de Bio manipulación se define como una serie de modificaciones en la cima de la cadena trófica del medio eutrofizado (lagos), con la finalidad de reducir la biomasa de algas, específicamente de las cianobacterias en base a la reducción de la abundancia de los peces zooplanctívoros o agregar peces piscívoros.

Este método es recomendable en lagos eutróficos someros (de poca profundidad) como es el caso del cuerpo de agua de la laguna de Yahuarcocha, para aplicar este método de forma eficiente y eficaz se debe tener conocimiento sobre el medio acuático, especialmente la naturaleza y magnitud de las interacciones de todos los seres vivos que se desarrollan en el cuerpo de agua, este método es recomendable para cuerpos de agua de 4 a 5 metros de profundidad (Quiroz, 2018).

La finalidad del método de Bio manipulación, es la de regular la población de peces piscívoros y planctívoros llegando a regular indirectamente los niveles de nutrientes que causan la eutrofización ya que estas poblaciones introducidas reducen la biomasa de algas del lecho del cuerpo de agua y por consiguiente la población de cianobacterias.

Los piscívoros son peces cuya labor es crucial para equilibrar los sistemas eutrofizados la presión por la depredación que ejercen los peces piscívoros sobre los zooplanctívoros provoca de forma indirecta una reducción de la concentración de los nutrientes fotosintéticos al reducir la masa de algas en el lecho del fondo, lo cual reduce los procesos fotosintéticos o procesos de des nitrificación, lo cuales consumen los niveles de concentración y saturación de oxígeno (mg/L - %), por consiguiente la saturación de oxígeno aumentara considerablemente y por consiguiente la capacidad de autodepuración del cuerpo de agua eutrofizado aumentará (Quiroz, 2018).

Este método resulta ser más eficiente tras una limpieza previa del fondo del lecho del cuerpo de agua eutrofizado, dragando la mayor cantidad de biomasa de algas del fondo para garantizar el éxito en el tiempo de esta medida de control biológico. En efecto la aplicación de este método es teóricamente recomendable en cuerpos de agua

eutrofizados de tipo somero de poca profundidad (4 a 5 metros de profundidad) ya que de esta manera resulta más factible el poder conocer acerca del desarrollo e interacción de las especies que viven en el cuerpo de agua eutrofizado (OCDE, 2015).

Especies alternativas

Peces del género *Ancistrus* (familia *Loricariidae*): varias especies de peces nativas de América del Sur, también poseen adaptaciones en sus bocas que les permite alimentarse de algas que buscan por los fondos de los cuerpos de agua dulce, siendo considerados como especies limpiadoras del lecho del cuerpo de agua.

- **Matriz de estrategias**

Tabla 18.

Matriz de Estrategias

Objetivos		Indicadores		Medios de verificación
Estrategia	Meta	Alcance	Periodo /Indicador	Responsable
Remediación Física	Reducción de la biomasa vegetal del fondo de la laguna en una cuarta parte del área total mediante el dragado del fondo	Reducir la biomasa vegetal del fondo en un 15%	En un periodo de 5 años /Análisis batimétrico	Gobierno Autónomo descentralizado de Imbabura
		Disminuir la DBO5 (demanda biológica de oxígeno) en un 70%		
Remediación química	Reducir los valores excedentes de los parámetros incidentes en el avance del proceso eutrofizante de las aguas de la laguna de Yahuarcocha.	Disminuir los fosfatos totales en un 75%	En un periodo de 5 años /Análisis físico químico	Gobierno Autónomo descentralizado de Imbabura
		Disminuir el nitrógeno total un 46%		
		Para el sedimento se busca reducir el fósforo total en un 50%		
Remediación biológica	Bio manipular las aguas de la laguna de Yahuarcocha, reduciendo la carga contaminante en las aguas de la laguna de Yahuarcocha	Regular la concentración de fitoplancton	En un periodo de 5 años /Análisis físico químico.	Gobierno Autónomo descentralizado de Imbabura

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

- La implementación del método de muestreo aleatorio estratificado, es el más recomendable para la evaluación del estado eutrófico de la Laguna de Yahuarcocha, puesto que los datos obtenidos, fueron diferenciados de mejor forma en base a las concentraciones de cada estrato del sitio de estudio.

- Según la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), se encuentra especificado en la Tabla 3 del presente estudio, en la cual los resultados obtenidos exceden los límites aceptables (Concentración de clorofila y claridad del disco Secchi).

- Los procesos fotosintéticos de la biomasa concentrada en la laguna de Yahuarcocha, han causado condiciones de anoxia en los estratos inferiores de las aguas dando una saturación de oxígeno por debajo del 20%.

- Las cianobacterias realizan procesos de desnitrificación por ausencia de oxígeno, estos procesos han causado que los niveles de saturación de oxígeno a 6, 5 y 4 metros de profundidad sean muy bajos dificultando la facultad auto depuradora de la laguna de Yahuarcocha.

- Los niveles bajos de fosfatos, podrían indicar que estos han precipitado al fondo del sedimento de la laguna, teniendo un lecho rico en fosfatos, favorable para el crecimiento de organismos vegetales.

- Los métodos planteados en la propuesta de control de la eutrofización son los

adecuados para el tratamiento de las aguas de la laguna de Yahuarcocha, siendo el método de dragado el más eficiente al eliminar la fuente de generación de nutrientes, es decir la biomasa de algas.

- Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, señala que los niveles de clorofila, claridad y fosfatos es de tipo Hiper trófico, pero el índice de estado trófico señala que la laguna de Yahuarcocha es de tipo Eutrófico.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

- Las entidades municipales y provinciales deben destinar todos los recursos que demande la inmediata recuperación de las aguas de la laguna de Yahuarcocha y de proyectos adjuntos.
- Implementar campañas de educación ambiental, sobre la conservación de los cuerpos de agua dulce y sobre la contaminación por eutrofización, para dar a entender la situación actual de la laguna de Yahuarcocha.
- Realizar el análisis de las muestras de agua el mismo día de su recolección, puesto que solo tienen un tiempo de utilidad de 48 horas en refrigeración.
- Realizar los procesos de análisis para la determinación de la concentración de clorofila en un lugar con poca iluminación.

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amador - Díaz, Anisley, & Veliz - Lorenzo, Eliet, & Bataller - Venta, Mayra (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 46(),1-10.

Amengual-Lorenzo, José, Llena-Puy, M^a Carmen, & Forner-Navarro, Leopoldo. (2005). Reproducibilidad en la medición del color «in vitro» e «in vivo» mediante colorímetros específicos para uso dental. *RCOE*, 10(3), 263-267.

Callejas, Rodrigo, Kania, Erika, Contreras, Américo, Peppi, Cecilia, & Morales, Luis. (2013). Evaluación de un método no destructivo para estimar las concentraciones de clorofila en hojas de variedades de uva de mesa. *Idesia (Arica)*, 31(4), 19-26.

Cárdenas Calvachi, Gloria Lucia, & Sánchez Ortiz, Iván Andrés. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. *Universidad y Salud*, 15(1), 72-88.

Céspedes Iturrat, Marcelo (2020). El agua como catalizador para la paz y seguridad mundial. *Revista Facultad de Jurisprudencia*, (7),180-206.

Durán-Domínguez-de-Bazúa, María del C., & Cárcamo-Ramírez, Herlen, & Martínez, Armando, & Carballo-Valdés, María Elena, & Cruz-Arias, Mario, & Salgado-Bernal, Irina (2011). EFECTOS AMBIENTALES DE CONTAMINANTES QUÍMICOS EN LAS AGUAS: UNA PROPUESTA BIOTECNOLÓGICA PARA SU ELIMINACIÓN. *Revista Cubana de Química*, XXIII(3),87-95.

Echeverría-Almeida José y Stephen Athens John (2017). INVESTIGACIÓN SUBACUÁTICA EN LAS LAGUNAS DE YAHUARCOCHA, SAN PABLO, MOJANDA, PROVINCIA DE IMBABURA, ECUADOR. *Revista de Arqueología Americana*,125-142.

Espinosa, Carlos, Márquez, Kretheis, & Rodríguez, Jorge. (2012). Evaluación del riesgo de eutrofización del embalse monaquito-piedra azul, estado Trujillo, Venezuela. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 27(4), 33-42.

F. Montalvo, José, García-Ramil, Ileana de los A., Almeida Rodríguez, Mariela, Betanzos Vega, Abel, & García García, Norma. (2014). Modelación de la eutrofización e índice de calidad del agua en algunas bahías del archipiélago *Sabana Camagüey*. *Tecnología Química*, 34(3), 307-323.

Fontúrbel Rada, Francisco. (2005). Indicadores fisicoquímicos y biológicos del proceso de eutrofización del Lago Titikaka (Bolivia). *Ecología Aplicada*, 4(1-2), 135-141.

GARCÍA, Mauricio, & VERA, Antonio, & BENETTI, Cesar Joao, & BLANCO,

Ligia (2016). IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS MICROHÁBITATS DE AGUA DULCE. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 32(1), 12-31.

Gil, Miriam Janet, Soto, Adriana María, Usma, Jorge Iván, & Gutiérrez, Omar Darío. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción + Limpia*, 7(2), 52-73.

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Ibarra (GADMI) (2019). PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN IBARRA. *Ibarra*.

Gómez-Márquez, José Luis, Peña-Mendoza, Bertha, Guzmán-Santiago, José Luis, & Gallardo-Pineda, Verónica. (2013). Composición, abundancia del zooplancton y calidad de agua en un microreservorio en el estado de Morelos. *Hidrobiológica*, 23(2), 227-240.

Graco, Michelle I, Ledesma, Jesús, Flores, Georgina, & Girón, Margarita. (2007). Nutrientes, oxígeno y procesos biogeoquímicos en el sistema de surgencias de la corriente de Humboldt frente a Perú. *Revista Peruana de Biología*, 14(1), 117-128.

Ledesma, Claudia, Rodríguez, Claudia María, Sánchez Delgado, Angel Ramon, Bonansea, Matias (2013). Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero, Córdoba (Argentina). *Revista Ciência Agronômica [en línea]*. 2013, 44(3), 419-425

Ledesma, M., Rodríguez, C., Ledesma, C., Bonansea, M., Pinotti, L., Scavuzzo, C., Alva, G., & Ferral, A. (2020). Análisis de la distribución temporal de la concentración de Clorofila-a en el embalse Río Tercero, Córdoba, Argentina. *Ab Intus*, (5), 83-87.

Martínez, Mery & Palacios, Sandra. (2015). Estado trófico de un lago tropical de alta montaña: Caso Laguna de la Cocha. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*. 25. 21. 10.18359/rcin.1430.

MÉNDEZ NOVELO, Roger Iván, CASTILLO BORGES, Elba René, SAURI RIANCHO, María Rosa, QUINTAL FRANCO, Carlos Alberto, GIÁCOMAN VALLEJOS, Germán, & JIMÉNEZ CISNEROS, Blanca. (2009). Comparación de cuatro tratamientos fisicoquímicos de lixiviados. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25(3), 133-145.

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). (2016). La política agropecuaria ecuatoriana hacia el desarrollo territorial rural sostenible (2015 - 2025).

Ministerio del Ambiente (MAE) (2015). Acuerdo ministerial 097, norma de calidad ambiental y descarga de efluentes, recurso agua. *Quito Ecuador*.

Montes-Hugo, Martín A., & Álvarez-Borrego, Saúl. (2005). Empirical relations to estimate underwater PAR attenuation in San Quintín Bay using Secchi depth and horizontal sighting range. *Ciencias marinas*, 31(4), 685-695.

Moreno-Arbeláez, Diana P., & Ramírez-Restrepo, John J.. (2010). VARIACIÓN TEMPORAL DE LA CONDICIÓN TRÓFICA DEL LAGO DEL PARQUE NORTE, MEDELLÍN (ANTIOQUIA), COLOMBIA. *Actualidades Biológicas*, 32(92), 75-87.

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN-ISO 5667-1:2014. (2014). CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. PARTE 1: GUÍA PARA EL DISEÑO DE LOS PROGRAMAS DE MUESTREO Y TÉCNICAS DE MUESTREO (ISO 5667-1:2006, IDT). *Quito Ecuador*.

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA ISO-5667-3:2014 (2014). CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. PARTE 3: CONSERVACIÓN Y MANIPULACIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUA. *Quito Ecuador*.

Ortiz-Sandoval, Juan J, Ortiz, Néstor, Cifuentes, Roberto, González, Jorge, & Habit, Evelyn. (2009). RESPUESTA DE LA COMUNIDAD DE PECES AL DRAGADO DE RIOS COSTEROS DE LA REGION DEL BIOBIO (CHILE). *Gayana (Concepción)*, 73(1), 64-75.

Ortiz-Villota, M. T., Romero-Morales, M. A., & Meza-Rodríguez, L. D. (2018). La biorremediación con microalgas (*Spirulina máxima*, *Spirulina platensis* y *Chlorella vulgaris*) como alternativa para tratar la eutrofización de la laguna de Ubaque, Colombia. *Rev.investig.desarro.innov*, 9(1), 163-176

Otzen, Tamara, & Manterola, Carlos. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227-232.

Parra Huertas, Ricardo Adolfo. (2015). Digestión anaeróbica: mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria alimentaria. *Producción + Limpia*, 10(2), 142-159.

Perevochtchikova, María. (2013). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestión y política pública*, 22(2), 283-312.

Prieto, Avismelsi, Bolelawsky, Lucyna, Jiménez, Edgaly, Guanipa, Yaritza, Camargo, Nuris, & Araujo, Lilia. (2007). Optimización de métodos espectrofotométricos mediante metodología de superficie de respuesta. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 30(Especial), 98-107.

Quevedo Quispe, Ariel Winston. (2021). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE HUMEDAL ARTIFICIAL PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN LA POBLACIÓN DE ALCALÁ. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación* , 19(24), 133-148.

Quiroz Fernández, Luis Santiago, Izquierdo Kulich, Elena, & Menéndez Gutiérrez, Carlos. (2018). Estudio del impacto ambiental del vertimiento de aguas residuales sobre la capacidad de autodepuración del río Portoviejo, Ecuador. *Centro Azúcar*, 45(1), 73-83.

Raffo Lecca, Eduardo, & Ruiz Lizama, Edgar (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, 17(1),71-80.

Reyes Gil, Rosa E., Galván Rico, Luis E, & Aguiar Serra, Mauricio. (2005). El precio de la contaminación como herramienta económica e instrumento de política ambiental. *Interciencia*, 30(7), 436-441

Rivas, Zulay, Sánchez, José, Troncone, Federico, Márquez, Rómulo, Ledo de Medina, Hilda, Colina, Marinela, & Gutiérrez, Elizabeth. (2009). Nitrógeno y fósforo totales de los ríos tributarios al sistema lago de Maracaibo, Venezuela. *Interciencia*, 34(5), 308-314.

Rodríguez Ayala Suly (2017). Quantitative determination of heavy metal hyperaccumulation in a macrophyte sample of *schoenoplectus californicus* from lago san Pablo, Imbabura-Ecuador. *Ciencia*, 432 - 441.

Tapia-Torres, Yunuen, & García-Oliva, Felipe. (2013). La disponibilidad del fósforo es producto de la actividad bacteriana en el suelo en ecosistemas oligotróficos: Una revisión crítica. *Terra Latinoamericana*, 31(3), 231-242.

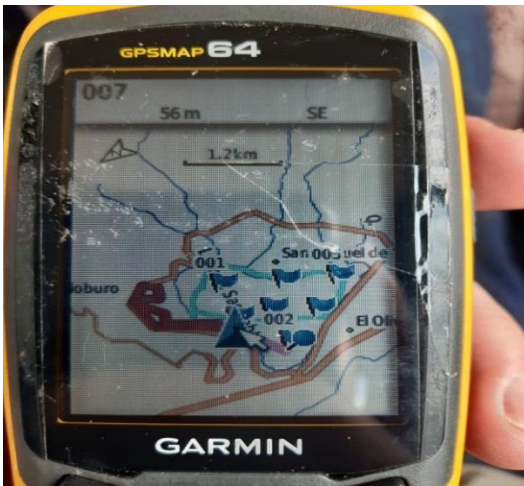
Zapata A., Ángela , & Rivera R., Carlos, & Jiménez, Paola , & Pinilla, Gabriel , & Chaparro, Beatriz , & Donato, Jhon (2005). Comparación de la estimación de la clorofila-a mediante los métodos espectrofotométrico y fluorométrico. *Acta Biológica Colombiana*, 10(2),95-103.

ANEXOS

REGISTROS DE CAMPO



Preparación de los equipos



GPS



Toma de muestras

REGISTROS DE LABORATORIO

Equipos de laboratorio



Conductímetro, colorímetro, frascos con muestras



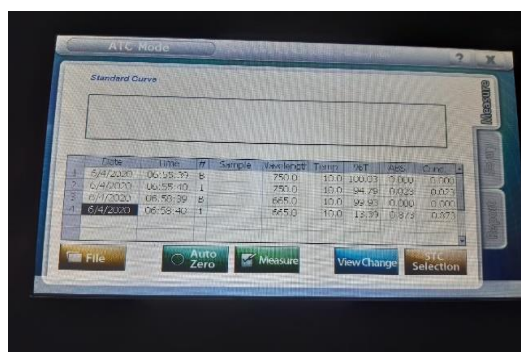
Muestras de agua



Bomba al vacío



Determinación de pH



Determinación de clorofila

- Valores de mediciones in situ y de laboratorio

Parámetros muestreo	Puntos de muestre o	PH	Oxígeno disuelto (mg/L)	Temperatura agua (°C)	Profundidad disco secchi en (m)	Nitratos (ppm)	Fosfatos (ppb)
Primer muestreo 22/03/2021	P1	8,59	7,36	21,57	0,32	11,41	1492
	P2	8,58	7,48	21,48	0,30	11,20	1477
	P3	8,58	6,67	21,89	0,32	11,35	1492
	P4	8,56	6,12	23,35	2,3	11,43	1486
	P5	8,57	6,71	21,89	0,32	11,51	1485
	P6	8,56	6,98	22,67	0,30	11,41	1474
Segundo muestreo 16/04/2021	P1	8,91	7,36	21,59	0,30	11,29	658
	P2	8,91	7,18	21,32	0,29	11,14	623
	P3	8,90	7,56	21,34	0,31	10,57	666
	P4	8,91	6,96	21,39	0,30	11,14	685
	P5	8,92	7,50	21,33	0,29	11,86	643
	P6	8,88	7,30	21,38	0,30	11,00	662
Tercer muestreo 04/05/2021	P1	8,37	5,65	21,07	0,29	13,00	583
	P2	8,36	5,78	21,03	0,31	13,14	519
	P3	8,37	5,50	21,16	0,31	12,86	558
	P4	8,35	5,17	21,11	0,28	12,71	505
	P5	8,39	5,63	21,03	0,27	14,00	551
	P6	8,37	5,88	21,07	0,30	13,43	533
Promedio		8,62	6,60	21,54	0,42	11,95	894
Máximos		9,46	10,63	24,80	2,3	18,00	2878
mínimos		7,85	0,88	20,10	0,27	6,90	289

- Concentración de nitritos (NO2) ppm

Parámetros muestreo	Puntos de muestreo	Estrato profundidad (en metros) m.					
		1	2	3	4	5	6

Primer muestreo 22/03/2021	1	0.13	0.08	0.08	0.08		
	2	0.12	0.08	0.07	0.09	0.09	
	3	0.14	0.07	0.08	0.08	0.09	
	4	0.11	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08
	5	0.13	0.07	0.08	0.08	0.09	
	6	0.15	0.08	0.07	0.08	0.08	
Segundo muestreo 16/04/2021	1	0.13	0.08	0.08	0.08		
	2	0.12	0.08	0.07	0.09	0.09	
	3	0.14	0.07	0.08	0.08	0.09	
	4	0.11	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08
	5	0.13	0.07	0.08	0.08	0.09	
	6	0.15	0.08	0.07	0.08	0.08	
tercer muestreo 04/05/2021	1	0.12	0.11	0.12	0.16		
	2	0.14	0.12	0.15	0.16	0.12	
	3	0.13	0.11	0.13	0.17	0.13	
	4	0.17	0.15	0.17	0.18	0.15	0.17
	5	0.,10	0.08	0.12	0.15	0.11	
	6	0.13	0.11	0.15	0.16	0.13	
	Promedio	0.13	0.09	0.10	0.11	0.10	0.11
	Valor máximo	0.17	0.15	0.17	0.18	0.15	0.17
	Valor mínimo	0.11	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08

- Formas de nitrógeno - nitratos ppm

Parámetros muestreo	Puntos de muestreo	Estrato profundidad (en metros) m.					
		1	2	3	4	5	6
Primer muestreo 22/03/2021	1	12.5	7.8	9.9	7.1		
	2	12.6	8	9.7	7	17.8	
	3	12,,5	7.6	10.1	7.1	18	
	4	12.5	7.7	9.8	7.1	17.7	12.5

	5	12.6	7.8	9.9	7.2	17.9	
	6	12.7	7.8	9.8	6.9	17.7	
	1	13	12	12	11		
	2	15	13	12	10	10	
Segundo muestreo 16/04/2021	3	13	11	11	10	12	
	4	14	11	9	13	12	8
	5	14	12	12	10	12	
	6	14	11	14	10	9	
	1	13	14	12	12		
	2	14	16	13	12	11	
tercer muestreo 04/05/2021	3	13	15	11	13	10	
	4	11	13	10	11	13	14
	5	16	18	14	12	12	
	6	15	15	12	13	12	
	Promedio	13.46	11.54	11.18	9.97	13.47	11.50
	Valor máximo	16	18	14	13	18	14
	Valor mínimo	11	7.6	9	6.9	9	8

- Formas de nitrógeno - amonio ppm

Parámetros muestreo	Puntos de muestreo	Estrato profundidad (en metros) m.					
		1	2	3	4	5	6
Primer muestreo 22/03/2021	1	3.65	4.69	4.8	4.82		
	2	3.77	4.81	4.99	5.02	4.98	
	3	3.62	4.73	5.01	5.09	5.04	
	4	3.64	4.75	5.12	5.25	5.09	5.12
	5	3.7	4.85	5.25	5.31	5.19	
	6	3.65	4.96	5.33	5.38	5.29	
Segundo muestreo 16/04/2021	1	0.75	0.7	0.84	1.15		
	2	0.65	0.69	0.73	0.98	1.32	

	3	0.82	0.83	0.81	1.35	1.87	
	4	0.73	0.68	0.95	1.34	1.12	0.98
	5	0.62	0.81	0.93	1.02	1.32	
	6	1.03	0.93	0.83	1.67	1.05	
	1	0.57	0.42	0.35	0.25		
	2	0.54	0.46	0.32	0.51	0.45	
tercer muestreo 04/05/2021	3	0.61	0.48	0.33	0.29	0.38	
	4	0.54	0.8	0.47	0.46	0.53	0.45
	5	0.59	0.38	0.41	0.29	0.51	
	6	0.5	0.44	0.45	0.31	0.52	
	Promedio	1.67	2.02	2.11	2.25	2.31	2.18
	Valor máximo	3.77	4.96	5.33	5.38	5.29	5.12
	Valor mínimo	0.5	0.38	0.32	0.25	0.38	0.45

- **Fosfatos ppb**

Parámetros muestreo	Puntos de muestreo	Estrato profundidad (en metros) m.					
		1	2	3	4	5	6
Primer muestreo 22/03/2021	1	2431	2818	832	696		
	2	2321	2878	821	681	745	
	3	2451	2795	845	698	754	
	4	2433	2786	855	684	743	755
	5	2455	2784	833	699	741	
	6	2461	2721	831	684	705	
Segundo muestreo 16/04/2021	1	525	521	570	785		
	2	487	497	525	698	665	
	3	559	513	589	732	667	
	4	631	596	564	764	623	686
	5	553	517	523	624	667	
	6	495	523	598	758	675	

	1	571	570	559	661	
	2	513	501	491	523	513
tercer muestreo 04/05/2021	3	598	586	552	569	534
	4	525	513	478	501	457 323
	5	568	551	545	587	551
	6	533	514	502	565	526
	Promedio	1173	1288	640	662	638 588
	Valor máximo	2461	2878	855	785	754 755
	Valor mínimo	487	497	478	501	457 323

- **Oxígeno disuelto mg/L**

Parámetros muestreo	Puntos de muestreo	Estrato profundidad (en metros) m.					
		1	2	3	4	5	6
	1	10.63	8.8	5.48	6.48		
	2	10.11	7.63	4.32	7.89	9.31	
Primer muestreo 22/03/2021	3	8.75	7.54	2.32	7.25	10.03	
	4	8.95	7.98	5.05	4.72	8.45	5.45
	5	8.62	8.01	5.44	5.57	8.67	
	6	9.59	8.54	4.86	6.51	9.58	
	1	10.63	8.8	5.48	6.48		
	2	9.24	8.45	6.48	6.03	7.23	
Segundo muestreo 16/04/2021	3	10.56	9.14	6.33	6.01	9.08	
	4	9.38	8.52	6.53	6.23	7.46	5.59
	5	9.53	8.26	6.13	6.76	8.13	
	6	9.23	7.75	6.76	6.21	8.72	
	1	9.57	7.2	7.55	5.64		
tercer muestreo 04/05/2021	2	8.94	8.54	7.36	5.88	5.21	
	3	9.95	7.89	6.01	5.23	5.31	
	4	9.13	7.42	6.12	5.21	4.03	3.34

5	9.87	8.43	7.83	5.31	4.06	
6	8.93	8.22	7.31	6.65	5.36	
Promedio	9.53	8.17	5.96	6.11	7.38	4.79
Valor máximo	10.63	9.14	7.83	7.89	10.03	5.59
Valor mínimo	8.62	7.2	2.32	4.72	4.03	3.34

Disco Secchi /Centímetros

Estrato	Profundidad análisis
Punto 1	30
Punto 2	28
Punto 3	30
Punto 4	29
Punto 5	27
Punto 6	30
Promedio	29

- **Temperatura en grados centígrados**

Parámetros muestreo	Puntos de muestreo	Estrato profundidad (en metros) m.					
		1	2	3	4	5	6
Primer muestreo 22/03/2021	1	21.7	21.1	21.52	21.8		
	2	22.3	21.3	21.45	21.3	21.7	
	3	22.6	22.1	21.21	22.1	22.5	
	4	24.8	23.2	22.32	22.6	23.5	23.2
	5	22.9	22.1	21.3	21.6	21.9	
	6	23.6	23.5	22.4	22.8	22.9	
Segundo muestreo 16/04/2021	1	21.7	21.1	21.52	21.8		
	2	21.8	21.4	21.14	21.3	21.3	
	3	21.4	21.1	21.31	21.4	21.1	
	4	21.1	21.5	21.24	21.3	21.7	21.1

	5	21.3	21.2	21.23	21.4	21.7	
	6	21.7	21.2	21.13	21.6	21.1	
	1	21.9	21.4	21.2	21.2		
	2	21.1	21.4	21.3	21.6	21.1	
tercer muestreo 04/05/2021	3	21.2	21.4	21.4	21.5	21.7	
	4	21.9	21.4	21.1	21.1	21.3	20.2
	5	21.8	21.2	21.4	21.3	21.3	
	6	21.8	21.5	21.3	21.2	21.8	
	Promedio	22.05	21.62	21.42	21.61	21.77	21.50
	Valor máximo	24.8	23.5	22.4	22.8	23.5	23.2
	Valor mínimo	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	20.2

- **Color (UC)**

Parámetros muestreo	Puntos de muestreo	Estrato profundidad (en metros) m.					
		1	2	3	4	5	6
Primer muestreo 22/03/2021	1	629	721	1014	1044		
	2	659	733	1025	1067	1098	
	3	672	719	1043	1078	1087	
	4	652	784	1021	1066	1099	1353
	5	672	699	1034	1063	1089	
	6	674	727	1056	1067	1094	
Segundo muestreo 16/04/2021	1	637	581	515	541		
	2	672	583	563	535	517	
	3	664	598	553	521	503	
	4	676	568	547	521	501	698
	5	689	598	567	534	513	
	6	631	586	534	512	497	
tercer muestreo 04/05/2021	1	636	595	545	526		
	2	664	586	545	529	587	

3	624	596	565	534	554	
4	635	579	547	531	573	546
5	613	576	542	521	557	
6	645	563	554	529	565	
Promedio	652	633	709	707	722	866
Valor máximo	689	784	1056	1078	1099	1353
Valor mínimo	613	563	515	512	497	546

- **Turbidez (NTU)**

Parámetros muestreo	Puntos de muestreo	Estrato profundidad (en metros) m.					
		1	2	3	4	5	6
Primer muestreo 22/03/2021	1	65.05	67.58	74.37	94.48		
	2	64.52	66.78	75.23	95.21	105.34	
	3	65.12	68.32	75.49	93.76	104.23	
	4	65.45	68.34	74.67	91.21	104.84	116.54
	5	64.99	67.34	73.99	93.69	101.94	
	6	64.87	68.32	75.01	94.61	101.36	
Segundo muestreo 16/04/2021	1	60.65	50.63	47.11	46.33		
	2	62.33	53.21	45.21	47.56	41.46	
	3	61.32	52.36	43.09	40.12	41.45	
	4	52.85	55.73	43.29	45.43	42.01	55.64
	5	61.32	51.32	43.19	43.87	42.78	
	6	60.05	51.61	41.11	36.96	41.75	
tercer muestreo 04/05/2021	1	58.85	47.91	43.89	46.55		
	2	57.21	46.92	44.45	46.84	46.99	
	3	59.21	47.34	44.21	46.57	46.78	
	4	59.53	47.43	41.35	47.34	48.37	47.95
	5	57.53	45.35	44.85	43.75	45.43	
	6	56.85	48.21	45.64	44.63	47.24	

Promedio	60.98	56.34	54.23	61.05	64.13	73.38
Valor máximo	65.45	68.34	75.49	95.21	105.34	116.54
Valor mínimo	52.85	45.35	41.11	36.96	41.45	47.95

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

Parámetros muestreo	Puntos de muestreo	Estrato profundidad (en metros) m.					
		1	2	3	4	5	6
Primer muestreo 22/03/2021	1	8.05	8.71	8.74	8.75		
	2	8.04	8.72	8.74	8.77	8.79	
	3	8.06	8.7	8.75	8.76	8.78	
	4	8.05	8.71	8.72	8.75	8.76	8.55
	5	8.06	8.71	8.73	8.74	8.75	
	6	8.05	8.72	8.74	8.76	8.78	
Segundo muestreo 16/04/2021	1	7.86	8.46	8.81	9.06		
	2	7.87	8.45	8.8	9.07	9.33	
	3	7.86	8.46	8.8	9.05	9.31	
	4	7.85	8.46	8.82	9.07	9.33	9.4
	5	7.87	8.45	8.82	9.07	9.33	
	6	7.87	8.46	8.8	9.,05	9.32	
tercer muestreo 04/05/2021	1	8.23	8.41	8.48	8.42		
	2	8.22	8.4	8.47	8.41	8.46	
	3	8.24	8.4	8.47	8.42	8.47	
	4	8.22	8.41	8.48	8.42	8.,46	8.45
	5	8.,24	8.4	8.47	8.41	8.47	
	6	8.24	8.41	8.48	8.42	8.47	
	Promedio	8.04	8.52	8.67	8.73	8.88	8.80
	Valor máximo	8.24	8.72	8.82	9.07	9.33	9.4
	Valor mínimo	7.85	8.4	8.47	8.41	8.46	8.45

- Concentración de oxígeno %							
Parámetros muestreo	Puntos de muestreo	Estrato profundidad (en metros) m.					
		1	2	3	4	5	6
Primer muestreo 22/03/2021	1	124 %	103.6 %	56 %	73 %		
	2	118.3 %	106.4 %	59 %	88.1 %	98.1 %	
	3	100.5 %	105.3 %	49.9 %	80.7 %	100.2 %	
	4	105.7 %	102.1 %	58.2 %	55.1 %	94.3 %	72 %
	5	100.1 %	103.9 %	57.21 %	51.2 %	96.9 %	
	6	103.1 %	104.1 %	55 %	83.7 %	94.8 %	
Segundo muestreo 16/04/2021	1	124 %	107 %	56 %	73 %		
	2	115 %	110 %	57 %	68 %	99%	
	3	112 %	103 %	65 %	81 %	91%	
	4	119 %	108 %	58 %	75 %	92 %	78 %
	5	121 %	103 %	53 %	80 %	89 %	
	6	123 %	101 %	45 %	72 %	92 %	
tercer muestreo 04/05/2021	1	107.2%	83.5%	85.2%	64.2%		
	2	102.8%	91.5%	85.9%	63.1%	61.3%	
	3	107.67%	82.8%	82.4%	65.9%	60.4%	
	4	107.12%	85.2%	82.7%	66.1%	59.8%	39.3%
	5	108.2%	84.9%	85.9%	64.9%	58.9%	
	6	106.9%	84.3%	85.2%	65.3%	59.9%	
	Promedio	120%	105%	56%	75%	93%	75%

- Promedios Longitud de onda espectrofotómetro (nm) - clorofila mg/l

LONGITUD DE ONDA ESPECTROFOTÓMETRO (nm) - CLOROFILA mg/L					
Fechas de muestreo	Puntos de muestreo	750 nm	750 nm	664 nm	665 nm
		SIN ACIDIFICAR	ACIDIFICADO	SIN ACIDIFICAR	ACIDIFICADO
Primer muestreo 22/03/2021	1	0,034	0,023	1,425	0,873
	2	0,012	0,016	0,63	0,601
	3	0,223	0,154	1,234	0,954
	4	0,001	0,004	0,712	0,449
	5	0,29	0,227	1,465	1,162
	6	0,144	0,112	1,318	1,011
Segundo muestreo 16/04/2021	1	0,01	0,01	0,713	0,452
	2	0,004	0,008	0,67	0,402
	3	0,256	0,168	1,437	0,896
	4	0,078	0,097	0,689	0,527
	5	0,242	0,203	1,739	1,521
	6	0,153	0,119	1,628	1,282
Tercer muestreo 04/05/2021	1	0,11	0,241	0,725	0,633
	2	0,063	0,142	1,341	1,003
	3	0,632	0,463	1,732	0,964
	4	0,321	0,452	0,628	0,402
	5	0,194	0,374	1, 983	1,643
	6	0,685	0,207	1, 868	1,649

- Promedios estratificados de la concentración de clorofila a por cada punto de muestreo de las aguas de la laguna de Yahuarcocha

ESTRATO (m) /Estratificación de la concentración de clorofila µg/L						
PUNTOS MUESTREO	1	2	3	4	5	6
1	188,83	9,92	95,78	89,96		
2	89,28	91,67	185,06	55,41	74,27	
3	31,47	115,62	262,72	77,31	116,31	
4	178,67	19,77	82,81	89,89	105,65	105,04
5	189,3	91,42	131,01	95,41	65,15	
6	41,47	95,59	232,77	57,33	77,31	
Promedio						104,74