

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**



**EUTROFIZACIÓN Y CALIDAD DEL AGUA EN LA LAGUNA VERDE  
POZO DEL DISTRITO DE CHAGLLA - HUÁNUCO, 2023**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:**

**ANA GABRIELA, TOLENTINO MASGO,**

**Tingo María -Perú**

**2024**



**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 059-2024-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 24 de mayo de 2024, a horas 4:00 p.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“EUTROFIZACIÓN Y CALIDAD DEL AGUA EN LA LAGUNA VERDE  
POZO DEL DISTRITO DE CHAGLLA- HUÁNUCO, 2023”**

Presentado por la Bachiller: ANA GABRIELA TOLENTINO MASGO, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de “MUY BUENA”.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 29 de mayo de 2024

  
**Dr. CÉSAR SAMUEL LÓPEZ-LÓPEZ**  
PRESIDENTE

  
**Melgo. MSc. LUIS ALBERTO SANCHEZ ROMERO**  
MIEMBRO



  
**Ing. MSc. SANDRA LORENA ZAVALA GUERRERO**  
MIEMBRO

  
**Ing. MSc. ABBY S. DA CRUZ RODRIGUEZ**  
ASESOR

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**



**EUTROFIZACIÓN Y CALIDAD DEL AGUA EN LA LAGUNA VERDE**  
**POZO DEL DISTRITO DE CHAGLLA - HUÁNUCO, 2023**

<b>Autor</b>	: Tolentino Masgo, Ana Gabriela
<b>Asesor</b>	: Ing. M.Sc. Abby Solange, Da Cruz Rodriguez
<b>Área de investigación</b>	: Ciencia y Tecnología Ambiental- PIBIOT
<b>Grupo de investigación</b>	: Ciencia y Tecnología Ambiental
<b>Línea de investigación</b>	: Tecnologías para reducir la contaminación
<b>Lugar de ejecución</b>	: Laguna Verde Pozo
<b>Duración</b>	:06 meses
<b>Financiamiento</b>	:6,350.00
<b>FIF</b>	:No
<b>Propio</b>	:Si
<b>Otros</b>	:No

**Tingo María - Perú**

**2024**



UNAS

VICERRECTORADO DE  
INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE  
INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE SOPORTE  
CIENTÍFICO  
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"  
"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 389 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

### CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% y contenido generado por Inteligencia Artificial menor o igual al 20%. Según establece el Art. 29° y 30° del Acuerdo Nro.017-2025-CIUNAS-VRI-UNAS.

### Programa de Estudio:

Ingeniería Ambiental

### Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
EUTROFIZACIÓN Y CALIDAD DEL AGUA EN LA LAGUNA VERDE POZO DEL DISTRITO DE CHAGLLA - HUÁNUCO, 2023	ANA GABRIELA, TOLENTINO MASGO	07 % Siete	Menor a 20 %

Tingo María, 24 de noviembre de 2025.

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO  
  
ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES  
JEFE

## DEDICATORIA

*A mis padres Maruja y Edrulfo,  
quienes día a día se esforzaron haciendo  
todo lo posible para brindar amor y las  
mejores condiciones de vida a sus hijos.*

*A mis hermanos Linquer y Shirley,  
por apoyarme durante todo mi proceso  
de formación profesional.*

*A mi papá Augusto y mamá Teo,  
que desde el cielo me guían y me  
protegen.*

*A mi prima Ghandy, que siempre  
me apoya en todo lo que necesito.*

*A mis fieles compañeros Mota,  
Pikachu, Pimienta, Sumini, Bebé y Gato  
Wayki, por llenar mi vida de alegría,  
compañía y amor verdadero.*

## **AGRADECIMIENTOS**

- A Dios señor dador de vida, gracias por haberme bendecido y darme una hermosa familia.
- A mis padres, hermanos y papá Augusto, muchas gracias por todo el apoyo que me brindaron, no me caben las palabras para expresar la inmensa gratitud que les tengo a ustedes.
- A mi asesora Ing. M.Sc. Abby Solange, Da Cruz Rodríguez, por apoyarme con paciencia y brindarme sus conocimientos y, sobre todo, muchas gracias por todo el tiempo brindado.
- A mis tíos Ricardo y Sonia, por ayudarme y acogirme durante todo este periodo.
- Quiero agradecer a todos mis amigos que me brindaron su apoyo en el desarrollo este trabajo, en especial a: Luz Coca, Araseli Delgado y Cristian Panduro.

## ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.	Objetivos generales .....	2
1.2.	Objetivos específicos .....	2
II.	REVISION DE LITERATURA .....	3
2.1.	Antecedentes de la investigación .....	3
2.1.1.	Antecedentes internacionales .....	3
2.1.2.	Antecedentes nacionales .....	7
2.2.	Marco teórico .....	9
2.2.1.	Recurso hídrico .....	9
2.2.2.	Ecosistemas Acuáticos .....	9
2.2.3.	Calidad del agua.....	10
2.2.4.	Parámetros fisicoquímicos del agua.....	10
2.2.5.	Parámetros microbiológicos del agua .....	16
2.2.6.	Estándar de Calidad Ambiental para Agua .....	17
2.2.7.	Eutrofización .....	17
2.2.8.	Proceso de eutrofización .....	19
2.2.9.	Consecuencias de la eutrofización .....	19
2.2.10.	Índice de estado trófico de Carlson.....	20
III.	MATERIALES Y METODOS .....	21
3.1.	Lugar de ejecución .....	21
3.1.1.	Ubicación geográfica .....	21
3.1.2.	Ubicación política .....	21
3.1.3.	Aspectos ambientales y sociales .....	22
3.2.	Materiales y métodos .....	24
3.2.1.	Materiales y equipos .....	24

3.2.2. Criterios de investigación.....	25
3.2.3. Análisis estadístico.....	26
3.3. Metodología .....	27
3.3.1. Determinación del índice de calidad ambiental del agua de la Laguna Verde Pozo .....	29
3.3.2. Determinación del índice de estado trófico del agua de la Laguna Verde Pozo .....	32
3.3.3. Estimación de la relación que existe entre el Índice de estado trófico y los parámetros fisicoquímicos y Microbiológicos del agua de la Laguna Verde Pozo . .....	33
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	34
4.1. Índice de calidad ambiental del agua de la Laguna Verde Pozo .....	34
4.1.1. Parámetros fisicoquímicos del agua de la Laguna Verde Pozo .....	34
4.1.2. Coliformes Termotolerantes del agua de de la Laguna Verde Pozo .....	46
4.1.3. Índice de calidad ambiental del agua de la Laguna Verde Pozo....	48
4.2. Índice de estado trófico del agua de la Laguna Verde Pozo .....	49
4.3. Relación que existe entre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos y el Índice de estado trófico del agua de la Laguna Verde Pozo .....	50
V. CONCLUSIONES .....	56
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	57
VII. REFERENCIAS .....	58

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
1. Descripción de cada condición trófica según el IET Carlson.....	20
2. Caracterización de lluvias según su rango de clasificación.....	22
3. Rangos de relación según el Coeficiente de correlación de Spearman.....	26
4. Fechas de muestreo.....	27
5. Ubicación geográfica y descripción de los puntos de muestreo.....	28
6. Método de evaluación de los parámetros fisicoquímicos del agua.....	29
7. Método de evaluación de los Coliformes Termotolerantes del agua.....	30
8. Clasificación del ICA-PE. ....	31
9. Clasificación del nivel de estado trófico según el parámetro evaluado.....	33
10. Niveles de temperatura en los meses evaluados.....	34
11. Niveles de pH en los meses evaluados. ....	35
12. Conductividad del agua en los meses evaluados. ....	37
13. Concentración de Oxígeno disuelto del agua.....	38
14. Concentración de Sólidos Totales Disueltos en los meses evaluados.....	40
15. Resultados de la DBO5 en los meses evaluados.....	41
16. Resultados de la concentración de Nitratos en los meses evaluados.....	42
17. Resultados de la concentración de Fósforo Total en los meses evaluados...	44
18. Resultados de la concentración de la Clorofila A.....	45
19. Resultados de la concentración de Coliformes Termotolerantes.....	47
20. Índice de calidad ambiental-agua para los 6 meses evaluados.....	48
21. Índice de estado trófico de los meses evaluados.....	49
22. Resultados de parámetros obtenidos en campos.....	67
23. Resumen de parámetros obtenidos en laboratorio.....	68
24. Prueba de normalidad.....	69
25. Extracción de Análisis de componentes principales.....	70
26. Cargas de cada variable en los dos componentes principales (PC1 y PC2) .	72

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Variaciones de temperatura y de oxígeno disuelto en un lago con estratificación térmica, en diferentes temporadas del año. ....	11
2. Comportamiento del oxígeno disuelto y las tres formas de nitrógeno en un cuerpo de agua con estratificación térmica. ....	15
3. Comparación entre un lago oligotrófico y eutrófico.....	18
4. Ubicación de la Zona de estudio.....	21
5. Medias mensuales de precipitación .....	22
6. Medias mensuales de temperatura. ....	23
7. Variación de temperatura del agua .....	35
8. Niveles de potencial de Hidrógeno .....	37
9. Conductividad del agua .....	38
10. Concentración de Oxígeno en los meses evaluados .....	39
11. Concentración de STD en los meses evaluados .....	41
12. Concentración de DBO5 en los meses evaluados.....	42
13. Concentración de Nitratos en los meses evaluados .....	43
14. Concentración de Fósforo Total en los meses evaluados .....	44
15. Concentración de Clorofila A.....	46
16. Concentración de coliformes termotolerantes .....	47
17. Índice de estado trófico de los tres parámetros evaluados Clorofila A, Fósforo y Transparencia con Disco de Secchi.. ....	50
18. Mapa de calor de Correlación de Spearman de los parámetros evaluados y de los índices de estado trófico.....	52
19. Análisis exploratorio de los parámetros evaluado con el ACP.....	53
20. Mapa de ubicación de la Zona de estudio.....	65
21. El Scree Plot del ACP.....	71
22. Portada del libro métodos estándar para la examinación del agua y aguas residuales elaborado por APHA .....	73
23. Centro poblado Verde Pozo.....	74
24. Toma de muestras de agua.....	74

<b>25. Análisis de parámetros in situ.....</b>	<b>75</b>
<b>26. Presencia de residuos sólidos en el punto 2.....</b>	<b>75</b>
<b>27. Medida de la transparencia del agua con el Disco de Secchi .....</b>	<b>76</b>
<b>28. Rotulado y almacenamiento de las muestras de agua.....</b>	<b>76</b>
<b>29. Disco de Secchi.....</b>	<b>77</b>
<b>30. Anfibio de la zona de estudio .....</b>	<b>77</b>
<b>31. Imagen microscópica del tipo de alga presente en la zona de estudio</b>	
Diatomea (Genero Stephanodiscus sp) .....	78
<b>32. Identificación microscópica de tipo de alga .....</b>	<b>78</b>
<b>33. Siembra de las muestras de agua en el caldo peptona .....</b>	<b>79</b>
<b>34. Preparación de caldo para cultivo.....</b>	<b>.79</b>
<b>35. Siembra en caldo E.coli y caldo Brilla .....</b>	<b>80</b>
<b>36. Preservación de muestras.....</b>	<b>80</b>
<b>37. Filtrado de la muestra, mezclado con acetona al 90 % .....</b>	<b>81</b>
<b>38. Centrifugado del filtrado de la muestra 24 horas después de añadida la acetona al 90% .....</b>	<b>81</b>
<b>39. Centrifugado del filtrado.....</b>	<b>82</b>
<b>40. Determinación de la absorbancia de la muestra centrifugada.....</b>	<b>82</b>
<b>41. Determinación de nitrato .....</b>	<b>83</b>
<b>42. Determinación de fósforo total .....</b>	<b>83</b>

## RESUMEN

Se determinó la relación entre la eutrofización y la calidad del agua en la Laguna Verde Pozo, ubicada en el distrito de Chaglla, Huánuco, durante 2023. Asimismo, se tomaron muestras en cuatro puntos diferentes a lo largo de un período de evaluación de seis meses, desde agosto hasta enero de 2024, abarcando tanto la temporada de estiaje como la de avenida. En el lugar de estudio, se analizaron los parámetros de pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto y sólidos totales disueltos, adicionalmente, en el laboratorio se examinaron nitratos, fósforo total, clorofila A y coliformes totales. Los resultados revelaron que el índice de estado trófico (IET) de Carlson varió según la temporada, clasificándose como hipertrófico (estiaje) y eutrófico (avenida). Asimismo, el índice de calidad del agua (ICA) se ubicó en la categoría de "pésima" con un valor de "0". En conclusión, se determinó una relación directa entre la eutrofización y la calidad del agua en la Laguna Verde Pozo.

**Palabras clave:** *eutrofización, calidad de agua, evaluación y parámetros*

## **The Eutrophication and the Water Quality of the Verde Pozo Lake in the Chaglla District of Huánuco During 2023**

### **Abstract**

The relationship between the eutrophication and the water quality of the Verde Pozo lake, located in the Chaglla district of Huánuco, [Peru], during 2023 was determined. At the same time, samples were taken from four different sampling points throughout the six month evaluation period, from August through January of 2024, including the dry season, as much as the rainy season. At the location of the study, the parameters of pH, temperature, conductivity, dissolved oxygen, and total dissolved solids were analyzed, additionally, in the laboratory, the nitrates, total phosphorous, chlorophyll-A, and total coliforms were examined. The results revealed that the Carlson trophic state index (TSI; IET – acronym in Spanish) varied according to the season, with classifications of hypertrophic (dry season) and eutrophic (rainy season). Likewise, the water quality index (WQI; ICA in Spanish) was located in the “poor” category with a value of “0”. In conclusion, it was determined that [there was] a direct relationship between the eutrophication and the water quality in the Verde Pozo lake.

**Keywords:** *eutrophication, water quality, evaluation, parameters.*

## I. INTRODUCCIÓN

La eutrofización, resultado de la abundancia de nutrientes presentes en los cuerpos de agua, los nutrientes que más influyen son el fósforo y el nitrógeno, se destaca como un desafío significativo a nivel mundial en cuanto a la calidad y utilización del agua, según la ONU DAES en 2014. Estos nutrientes provienen principalmente de actividades antropogénicas entre ellas la agricultura, el vertimiento de aguas residuales, las industrias y las emisiones generadas por la combustión de combustibles fósiles, entre otros. Los cuerpos de agua, especialmente los lagos y pantanos, experimentan impactos más intensos debido a su dinámica lenta y su capacidad para acumular contaminantes provenientes de sus alrededores.

El distrito de Chaglla, por ser un centro productor de papas, está considerado como la Capital Papera del Perú, la producción y almacenamiento de este tubérculo se enfrentan a numerosas enfermedades, lo que resulta en un uso excesivo de pesticidas para su control, esto, a su vez, provoca una mayor contaminación de los componentes ambientales tales como el aire, el agua y el suelo. Chaglla cuenta con diez lagunas, entre ellas se encuentra la Laguna Verde Pozo, con una extensión aproximada de 4294 m<sup>2</sup> y ubicada en el Centro Poblado de Verde Pozo, que cuenta con una población de 83 personas (INEI, 2017).

La Laguna Verde Pozo, conocida por su característico color verde claro en sus aguas, alberga una alta biodiversidad que incluye diversas especies de peces, anfibios, aves y plantas; sin embargo, este ecosistema se ve amenazado por graves problemas de contaminación como la disposición de residuos sólidos y la presencia de actividad agrícola. En este contexto, se hace imperativo determinar el grado de eutrofización y su calidad del agua de la Laguna Verde Pozo. La eutrofización ocasionada por la demasía de nutrientes, puede tener resultados devastadores para la vida acuática y la salud del ecosistema, por lo cual se vio la necesidad de relacionar la eutrofización con la calidad del agua de la Laguna Verde Pozo.

En el marco de este proyecto de investigación, se plantea como interrogante: ¿Cuál es la relación entre la eutrofización y la calidad del agua en la Laguna Verde Pozo del Distrito de Chaglla – Huánuco 2023?, se tiene como hipótesis que existe una relación directa entre la

eutrofización y la calidad del agua en la Laguna Verde Pozo del Distrito de Chaglla – Huánuco 2023.

### **1.1. Objetivo general**

Relacionar a la eutrofización y la calidad de agua en la Laguna Verde Pozo del distrito de Chaglla - Huánuco,2023.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Determinar el índice de calidad ambiental del agua de la Laguna Verde Pozo del distrito de Chaglla - Huánuco,2023.
- Determinar del índice de estado trófico del agua de la Laguna Verde Pozo del distrito de Chaglla - Huánuco,2023.
- Estimar la relación que existe entre el Índice de estado trófico y los parámetros fisicoquímicos y coliformes termotolerantes del agua de la Laguna Verde Pozo del distrito de Chaglla - Huánuco,2023.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Buta et al. (2023) evaluaron la evolución temporal y espacial de la eutrofización del embalse de la presa de Turawa y de su calidad del agua. Entre sus objetivos incluyeron identificar el estado trófico, los principales orígenes de contaminación y el índice de calidad del agua (ICA), todo esto mediante técnicas de análisis como el PCA, la prueba U (Mann-Whitney), HCA y con la correlación de Spearman, los resultados indicaron que el embalse mostraba una alta tendencia a la eutrofización, especialmente debido a cargas significativas de compuestos provenientes de áreas turísticas intensivas y del río Mała Panew. Los parámetros que más influyeron en el estado eutrófico fueron TP, OD, DBO5 y DQO. Los resultados indicaron que ICA del agua durante el periodo de 1998-2020 reveló un deterioro gradual, clasificándolo entre las clases II o III en promedio. Se observó un empeoramiento notable en la calidad del agua entre los años 2016-2020, evidenciando el avance de la eutrofización en la presa.

Ngadi et al. (2023) ejecutaron un estudio para hallar el grado de eutrofización del agua de la Laguna de Marchica. Utilizaron el índice trófico (TRIX), el índice de estado trófico (IET) y la relación Redfield (N/P), recolectaron muestras de agua mensualmente de marzo de 2018 a febrero de 2019 en diez puntos de la laguna. Encontraron que el TRIX varió entre 1,25 y 8,87, indicando condiciones desde oligotróficas hasta eutróficas, los valores de TSI variaron entre 28,4 y 65,1, mostrando desde un estado ultraoligotrófico hasta supereutrófico. La relación Redfield siempre fue menor a 16, señalando al fósforo como el factor limitante para el desarrollo de algas.

Medina (2023) en su estudio sobre la Reserva Natural Laguna de Tiscapa, ubicada en Managua, cerca del Lago Xolotlán. El objetivo fue evaluar su estado trófico utilizando el nivel de transparencia del cuerpo de agua, la presencia de la clorofila A y el fósforo total, mediante el IET de Carlson el cual fue modificado por Aizaki y el modelo de eutrofización establecido por la OCDE, con muestreos en distintos meses del 2022. Se proyectó

su estado en 30 años a futuro usando ecuaciones de Vollenweider y el índice OCDE para fósforo total y clorofila A. Los resultados indicaron un estado hipertrófico-eutrófico, con altos niveles de nutrientes que afectan el oxígeno y fomentan el crecimiento de algas. En simulaciones continuas o discontinuas, la laguna permaneció hipertrófica. En un escenario natural ideal, mostró un estado oligotrófico-ultra oligotrófico.

Caballero (2022) en su investigación estableció el objetivo de hallar la calidad del agua que tiene el embalse Apanás-Asturias, utilizando una variedad de parámetros que incluyeron aspectos fisicoquímicos, microbiológicos y nutrientes que se relacionan con la eutrofización del agua. Muestrearon tres puntos del embalse durante septiembre de 2019 y 2020: PTAR-Las Flores, Punto Central y Conexión Apanás-Asturias. Aunque en general el agua del embalse mostró buena calidad, se identificaron problemas como turbidez, color verdadero y altos niveles de hierro que superaban los límites recomendados. El oxígeno disuelto excedió los estándares establecidos para navegación y generación de energía en los tres puntos muestreados, mientras que las concentraciones de hierro estaban por encima de los niveles permitidos por las regulaciones ambientales. Se observaron altas concentraciones de contaminantes fecales en septiembre de 2019, principalmente en la PTAR-Las Flores. El estado trófico del embalse varió entre eutrófico y mesotrófico según los análisis encontrados por la presencia de la clorofila A y el fósforo total en los todos los puntos de muestreo y períodos analizados.

Leng et al. (2023) examinó el nivel de la eutrofización del lago Baoán con los métodos: IET, el coeficiente de absorción de materia orgánica que se encuentra disuelta mediante el análisis cromofórico y el análisis biológico del fitoplancton. Los resultados muestran que la calidad del agua del lago Baoán está afectada por la eutrofización. Este fenómeno varía a lo largo del tiempo, mostrando un aumento y luego una disminución entre 2018 y 2020, siendo más elevado en las temporadas de verano y otoño, y menor en la temporada de invierno y primavera. Además, la distribución espacial del nivel de eutrofización varía significativamente. Se identificaron el índice de permanganato y los niveles de fósforo total, nitrógeno total y clorofila A como los principales elementos que influyen en la eutrofización del lago Baoán, destacando una relación significativa entre la Cl A y el TP.

Zeng et al. (2022) investigaron los principales orígenes de la eutrofización y de la calidad del agua del lago Xingyun en el periodo del 2016 a 2021. Encontraron que el pH del cuerpo de agua y el oxígeno disuelto (OD) disminuyen con la profundidad debido a procesos físicos y bioquímicos, la Clorofila A fue mayor durante períodos

de alto caudal con variaciones verticales relevantes. Concluyendo que a calidad del agua significativamente durante períodos de bajo caudal y fue alcalina durante todo el año, mientras que el fósforo y nitrógeno varió según el flujo de agua, finalmente, el lago Xingyun presenta eutrofización en todas las temporadas y en toda su área

Arregoces et al. (2021) en su estudio evaluaron la calidad del cuerpo de agua en cuatro lagunas ubicadas en Playa Blanca durante la época seca de 2016. Utilizaron IET, basado en la concentración de clorofila A, junto con mediciones de parámetros fisicoquímicos tales como la temperatura, la salinidad, el OD y el pH, y así también de los parámetros microbiológicos como el Fitoplancton, los Coliformes fecales, la E. Coli y los pigmentos fotosintéticos. Los resultados mostraron altas concentraciones de clorofila A, indicando un florecimiento microalgal debido a la concentración elevada de organismos fitoplanctónicos como el *Synechococcus* sp. Además, todas las lagunas tuvieron bajos niveles de oxígeno disuelto y alta salinidad. Los parámetros microbiológicos superaron los límites permitidos por la normativa nacional, lo que sugiere una mala calidad del agua. Los valores de IET indicaron que las lagunas estaban en un rango de mesotrófico a hipertrófico, lo que indica que se encuentra en proceso de eutrofización.

Neverova (2021) destacó en su investigación que el cambio de los ecosistemas acuáticos está ocurriendo a un ritmo más rápido en la actualidad, principalmente debido a factores humanos en lugar de naturales. La eutrofización antropogénica es parte de estos procesos globales que se han intensificado en las últimas décadas, afectando las aguas superficiales en muchos países y generando desequilibrios ecológicos y deterioro en la calidad del cuerpo de agua de la Laguna, para así poder afirmar la seguridad ambiental de estas aguas, enfatizó la necesidad de estrategias sólidas de reducción, basadas en sistemas efectivos de monitoreo y evaluación de la eutrofización, así como en la disminución de las cargas biogénicas de diversas fuentes. El artículo aborda la esencia de la eutrofización, analiza los desafíos metodológicos en la evaluación del estado trófico y propone una metodología basada en indicadores simples y económicos para un control continuo de este proceso.

Aguilar (2020) en su investigación desarrollada evaluó la calidad del cuerpo de agua de la laguna Busa, mediante la determinación de la concentración de la clorofila A esto con el objetivo de hallar su estado trófico según la normativa TULSMA para actividades recreativas con contacto secundario. Las muestras se tomaron en enero y febrero, y los resultados indicaron que la laguna se encuentra conforme con los estándares para los parámetros fisicoquímicos tales como el pH, DBO5, conductividad eléctrica y temperatura. Aunque estos

parámetros se encuentran dentro de los límites permitidos, los resultados de eutrofización indicaron que la laguna se encuentra un estado eutrófico avanzado, sugiriendo la necesidad de tratamientos preventivos.

Zambrano (2018) en su trabajo de investigación evaluó la eutrofización del agua de la laguna El Carmen mediante dos muestreos: periodo seco y periodo lluvioso. Se analizaron parámetros fisicoquímicos y biológicos, los resultados obtenidos fueron: pH 9.1, temperatura de 25°C, transparencia de 0,42 cm, OD de 5.62 mg/L, PT de 2,16 ug/L, y concentración de Clorofila A de 0,50 mg/L. Se aplicó el Índice de Estado Trófico (IET) de Carlson modificado por Toledo, calculando el IET periodo seco (42,71) e IET periodo lluvioso (58,75). Estos valores indican un estado oligotrófico y eutrófico respectivamente. Se concluyó que la alta concentración de nutrientes provocó la propagación plantas acuáticas (algas) en estado anóxico, agotando así la concentración de oxígeno y causando la muerte de las especies acuáticas por asfixia.

Solitoke et al. (2018) en su trabajo de investigación analizaron la varianza de los algunos parámetros fisicoquímicos del cuerpo de agua del Lago Zowla y la Laguna Ané durante las estaciones seca y lluviosa de 2017. Recogieron 18 muestras de agua del complejo Lago Zowla y Laguna Aného y evaluaron 17 parámetros fisicoquímicos siguiendo los métodos estándar de AFNOR. En la estación seca, el pH promedio fue de 7,59 y la temperatura promedio fue de 31,02°C, mientras que en la estación lluviosa fueron de 7,2 y 27,46°C respectivamente. Los valores de conductividad, salinidad, Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> fueron más altos en la estación seca, indicando la influencia de aguas marinas y continentales en la laguna. Los niveles de nitratos, fosfatos y amonio fueron también fueron más bajos en la estación seca, confirmando su origen continental de las aguas.

Carrera et al. (2018) en su trabajo comprobaron el nivel de la eutrofización en el embalse de la Presa del Proyecto Multipropósito Chone, examinando en como los parámetros físico del agua cómo la temperatura, el pH y la conductividad eléctrica afectan a las concentraciones de fosfatos y el nivel de la eutrofización del agua. Muestrearon 26 puntos en diferentes épocas, analizando los datos con el software "R". Los resultados sugieren que la temperatura y la CE pueden influir en las concentraciones de fosfatos, siendo estas afectadas por las condiciones climáticas y posiblemente las características geológicas, lo que impacta la disponibilidad de fósforo y la eutrofización del embalse.

### 2.1.2. Antecedentes nacionales

Cosme (2023) en su tesis llevó a cabo muestreos bimestrales en la laguna de La Pampa ubicado en los Humedales de Villa, entre agosto de 2017 y junio de 2018, con el propósito de evaluar su estado trófico. Durante seis campañas de muestreo en cuatro ubicaciones distintas, se analizaron parámetros como temperatura, pH, conductividad, así como otros para calcular los IET con el Disco Secchi, clorofila A, fósforo y nitrógeno. Los valores más altos encontrados fueron: IET PT = 86.80, IET Cl A = 82.00, SD = 0.21 m, Chl A = 178.00 mg/m<sup>3</sup> y PT = 320.83 mg/m<sup>3</sup> según OCDE, y Cl A = 168.84 mg/m<sup>3</sup> y PT = 307.64 mg/m<sup>3</sup> según CEPIS. Como resultado se determinó que la laguna La Pampa se encuentra en un estado hipertrófico.

Cárdenas y Chávez (2022) realizaron mediciones repetidas de parámetros fisicoquímicos en el río Ichu durante épocas de verano con el objetivo de determinar su IET del agua de la zona urbana del departamento de Huancavelica. Los resultados fueron: pH de 7.42, temperatura de 13.14 °C, DBO<sub>5</sub> de 24.25 mg/L, el OD de 4.70 mg/L, la turbidez de 4.74 NTU, el nivel de transparencia de 0.17 m, concentración de nitratos con 13.43 mg/L y concentración de fosfatos con 0.59 mg/L. Además, calcularon que el IET del río con un valor de 88.56, con un IET de transparencia de 85.81. Basándose los parámetros nitratos y fosfatos, el IET del río fue de 4.21 y 87.03, respectivamente. Concluyeron que el estado trófico del río Ichu durante épocas de verano fue hipertrófico.

Ramos (2022) realizó una investigación para hallar la relación que existe entre los parámetros fisicoquímicos, biológicos y el nivel de eutrofización del agua de la Laguna de los Milagros. Para ello, realizó muestreos en tres puntos seleccionados aleatoriamente, obteniendo cinco muestras por punto con 10 parámetros evaluados por punto. Los monitoreos se realizaron en el mes de noviembre y diciembre de 2021, con los siguientes resultados: pH de 7.70 unidades, OD de 6.78 mg/L, Conductividad Eléctrica de 17.03  $\mu$ S/cm, temperatura de 24.89°C, Clorofila A de 0.004 mg/L, concentración de fósforo total menor a 0.003 mg/L, concentración de nitratos menores a 0.1679 mg/L, SST de 12.933 mg/L y una concentración de coliformes termotolerantes de 144.733 NMP/100 ml. En términos de eutrofización, observó una transparencia de 0.639 m indicando un estado eutrófico, Clorofila A de 44.869 mg/m<sup>3</sup> indicando así que el agua se encuentra en un estado de eutrofización nivel mesotrófico, fósforo total de 20.319 mg/m<sup>3</sup> indicando un estado de eutrofización nivel oligotrófico, y nitratos de 128.374 mg/m<sup>3</sup> indicandp un estado de eutrofización de nivel mesotrófico. La comparación con el estándar de calidad del agua ECA-agua mostró cumplimiento, ya que los valores se mantuvieron en niveles mínimos. En conclusión, el agua de la Laguna de los Milagros tiene un

estado de eutrofización - mesotrófico, caracterizado por una moderada productividad de nutrientes y aguas claras.

Delgado (2021) realizó un estudio de investigación en el humedal de Conococha a fin de evaluar su estado de eutrofización mediante parámetros fisicoquímicos y biológicos. El autor evaluó y encontró las causas de la eutrofización, así también analizó niveles de concentración de OD, pH, CE, temperatura, transparencia, fosfatos, nitratos y Clorofila A. Mediante muestreos en el periodo de estiaje y avenidas, se aplicaron varios índices tales como el IET de Carlson, que indicó un estado mesotrófico, los resultados analizados según el índice de Smith indican hipertrofia en el agua, la evaluación según la OCDE indica que el cuerpo de agua está clasificado como hipertrófica; y según APHA se definió como eutrófico. Estos resultados revelaron una alta productividad biológica, bajos niveles de OD, poca claridad o visibilidad del agua, y abundancia de las plantas acuáticas en el humedal de Conococha.

Osorio et al. (2020) en su estudio sobre el nivel de eutrofización en la laguna de Paca, para esta determinación usaron el IET y evaluaron los parámetros físicoquímicos como la transparencia, fósforo total y Clorofila A. Los valores obtenidos para la transparencia (48.464, 48.346 y 48.307 metros), para el fósforo total (47.132, 47.236 y 46.916 mg/m<sup>3</sup>), y para la Clorofila A (48.397, 40.741 y 44.750 mg/m<sup>3</sup>). Estos resultados indicaron que la laguna de Paca está en un estado mesotrófico. Al comparar estos resultados con datos previos de instituciones públicas, se confirmó que la laguna se mantiene en este estado. Los valores de turbidez fueron de 1.86 m, para el fósforo total de 25.385 ug/l y la Clorofila A de 5.840 ug/l, lo que evidencia un nivel moderado de eutrofia en la laguna.

Tito (2019) en su tesis, determinó la relación que existe entre el impacto ambiental y la eutrofización en los Pantanos de Villa – Chorrillos. Para el estudio utilizó un diseño no experimental y aplicado, analizando muestras de agua de la Laguna Génesis en 3 puntos de muestreo. Se midieron parámetros como temperatura, pH, CE y OD, comparándolos con estándares del ECA agua. Encontró que la CE excedía los límites establecidos, mientras que el OD estaba por debajo de lo establecido por la normativa, encontraron unas correlaciones significativas entre la Clorofila A y los sólidos suspendidos. Según el IET de Carlson la Laguna Génesis se encuentra en estados: mesotrófico, eutrófico e hipertrófico según diferentes parámetros.

## **2.2. Marco teórico**

### **2.2.1. Recurso hídrico**

Hinrichsen, et al. (1998) calculan que alrededor del 97% del agua del planeta tierra es salada y se concentra en su mayoría en los océanos, mientras que solo una pequeña fracción, menos del 3%, es agua dulce. De esta parte, cerca de dos tercios permanecen congelados en glaciares o en forma de nieve, por lo que menos del 0.5% está realmente disponible para el uso humano y para mantener con vida a los ecosistemas que se encuentran en el agua dulce.

Tucto (2014) señala que, aunque el agua es un recurso renovable, también es limitado. Explica que su capacidad para conservar la calidad a lo largo del tiempo se debe al ciclo hidrológico, un proceso natural que comprende etapas como la precipitación, el escurrimiento, la evapotranspiración y la infiltración.

### **2.2.2. Ecosistemas Acuáticos**

Sánchez et al. (2007) señala que los ecosistemas acuáticos comprenden a todas las aguas superficiales presentes en el planeta, generalmente se identifican dos tipos principales de ecosistemas: los ecosistemas loticos y los ecosistemas lenticos.

#### **– Ecosistemas loticos**

Los ecosistemas loticos, como ríos, arroyos, riachuelos, etc., están caracterizados por el movimiento de sus aguas, generalmente la intensa turbulencia asegura elevados niveles de oxígeno, disminuye las variaciones de temperatura y distribuye de manera más frecuente el fitoplancton y los nutrientes disueltos (Chavez & Orantes, 2010).

#### **– Ecosistemas lenticos**

De acuerdo con Oldani (1990), los ecosistemas lénticos, como lagos y lagunas, reciben su nombre debido a la baja velocidad con la que el agua se renueva en su interior. Esta característica está vinculada a procesos como la circulación de nutrientes, la disponibilidad de oxígeno, la productividad y la eutrofización. Además, se indica que la vegetación que ocupa estos hábitats acuáticos incluye plantas flotantes como el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), helechos como la *Salvinia* (*Salvinia* spp.), y plantas arraigadas emergentes como el Catay (*Polygonum* spp.), entre otros. En conjunto, estas plantas constituyen la principal fuente de producción primaria en este tipo de ecosistema.

La dinámica ecológica de los ecosistemas lénticos se basa en una cadena trófica en donde los productores (algas y macrófitas) capturan la energía solar y la

materia inorgánica disuelta en el agua (nutrientes, sales minerales). Estos productores generan biomasa (materia orgánica) que luego sirve como fuente de alimento para distintos consumidores. Por lo tanto, cuando productores y consumidores fallecen, sus restos se depositan en los sedimentos, donde los descomponedores degradan la materia orgánica muerta en materia inorgánica, los cuales pueden ser reutilizados por los organismos productores. (Oldani, 1990).

### **2.2.3. Calidad del agua**

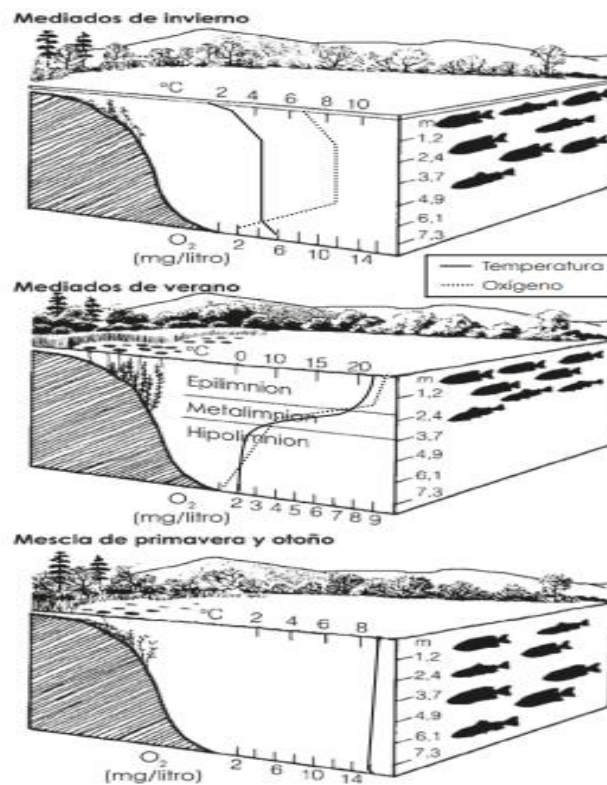
El concepto de calidad del agua puede variar y solo se vuelve significativa a escala global cuando se relaciona con su tipo de uso específico. Esto significa que el agua que sea adecuado para conservar la vida de las especies acuáticas como los peces podrían no ser apropiado para actividades recreativas como la natación, y el agua que sea segura para el consumo humano podría variar y no ser adecuada para aplicaciones industriales (Barnechea 2004).

Según la ONU (2014), evaluar la calidad del agua consiste en comparar sus propiedades fisicoquímicas con los valores de referencia definidos en diferentes estándares y normativas, para así poder determinar si cumple con los estándares de calidad.

### **2.2.4. Parámetros fisicoquímicos del agua**

#### **– Temperatura**

La temperatura es influenciada en gran medida debido a la retención de la radiación solar en los primeros niveles de un cuerpo de agua. Marín (2019), indica que las fluctuaciones de temperatura influyen en la disolución de gases y sales en el agua, en general por ello se afectan a la mayoría sus propiedades, tanto en el ámbito químico como en su comportamiento microbiológico. A pesar de que la temperatura del agua superficial se encuentra claramente relacionada con la radiación solar, las aguas profundas de los embalses y lagos experimentan un ciclo particular que se caracteriza por dos fases: la "mezcla térmica", en la cual la temperatura es uniforme en superficie y profundidad, y la "estratificación térmica", en la cual la superficie presenta aguas más cálidas, mientras que en las capas más profundas el agua es más fría, y no hay posibilidad de mezcla vertical entre estas capas de agua (Ver figura 1).



**Figura 1.** Variaciones de temperatura y de oxígeno disuelto en un lago con estratificación térmica, en diferentes temporadas del año.

Según Roldán y Ramírez (2008), el aumento de temperatura durante el verano provoca la estratificación del lago, lo que agota rápidamente los nutrientes en la superficie y reduce notablemente la productividad. En lagos poco profundos, la falta de oxígeno puede llegar a ser completa debido a la fuerte DBO y a la rápida pérdida de concentración de oxígeno disuelto en las aguas más cálidas. Esta situación puede empeorar con la contaminación por materia orgánica, lo que resulta en una desoxigenación completa del ecosistema y la generación de sustancias como el sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), provocando la muerte masiva de peces.

#### – Color

Según Marín (2019), el parámetro físico del agua caracterizado por el color es atribuida principalmente a la presencia de diversas sustancias orgánicas y químicas que se encuentran en suspensión o disueltas, derivadas principalmente de la descomposición de vegetales y otros elementos orgánicos presentes en el entorno acuático. Además, el autor afirma que hay una correspondencia o relación directa positiva entre los niveles de pH del agua y su color, observándose un aumento en la intensidad del color conforme aumenta el pH.

#### – Sólidos Totales Disueltos

Los sólidos totales disueltos del agua (STD) comprenden en su mayoría a las concentraciones sales inorgánicas, especialmente constituidas por iones como el magnesio, calcio, sodio, potasio, cloruros, sulfatos y bicarbonatos, junto con una pequeña cantidad de materia orgánica presente en el agua. Los niveles elevados de STD pueden aumentar la turbidez del agua, conllevando a elevar la temperatura del agua y disminuir las concentraciones de OD. Este fenómeno puede reflejarse en un calentamiento más rápido del agua, ya que las partículas suspendidas llegan a absorber más calor en el agua y agotan la concentración de OD, lo cual podría afectar adversamente a los organismos que se encuentran en el agua. Además, niveles elevados de sólidos pueden ralentizar el proceso de fotosíntesis ya que reducen la transferencia de luz hacia las plantas acuáticas (Hach, sf).

Roldán & Ramírez (2008) indican que la cantidad de STD puede variar significativamente dependiendo del tipo del cuerpo de agua. En aguas oligotróficas, como la mayoría de las aguas de la región andina y amazónica, los valores pueden exceder los 10 mg/L, por otro lado, la mayoría de los lagos y ríos neotropicales suelen tener niveles comprendidos entre 10 y 200 mg/L. Volpedo y Vaz dos Santos (2015) señalan que las aguas alcalinas tienden a tener altos niveles de sólidos totales disueltos.

#### – **Potencial de Hidrógeno**

El potencial de Hidrógeno (pH) término utilizado para describir la acidez o basicidad del agua, según lo revelan los análisis químicos sus niveles se sitúan en una escala que va de 0 a 14 (Sierra, 2011).

Marín (2019) señala que los lagos y lagunas que presentan un pH ácido se encuentran en regiones volcánicas, mientras que los ecosistemas con pH alto se encuentran en regiones con balance hídrico negativo (cuando la precipitación es menor que la evaporación). En su mayoría, los lagos presentan valores de pH entre un rango de 6 y 9, siendo predominantemente del tipo "bicarbonatado", lo que involucra la presencia de cantidades variables de carbonatos. Además, la fotosíntesis realizada por las algas implica la eliminación de CO<sub>2</sub>, lo que resulta en la elevación del pH. Así también el autor señala que, en las aguas naturales en especial en los lagos y los embalses, suele existir una correspondencia directa entre el color y el pH, de modo que un aumento en el segundo se refleja en un aumento en el primero. Durante la estratificación térmica, el color del agua profunda es notablemente más alto que el del agua superficial en estos entornos.

#### – **Conductividad**

Según Sierra (2011), la conductividad refleja cuántas sales o iones disueltos hay en el agua. Su unidad de medida es micromhos/cm, ( $\mu\text{mhos/cm}$ ) o Siemens/cm (S/cm). Este parámetro es un indicador indirecto de los sólidos disueltos en el agua, y las aguas con niveles altos de conductividad tienden a tener propiedades corrosivas.

Roldán y Ramírez (2008), mencionan que la conductividad eléctrica del agua refleja la cantidad de sales o sólidos disueltos, por lo que es un buen indicador de su calidad. En general, valores entre 30 y 60 S/cm se consideran normales; si son menores, el agua es poco productiva (oligotrófica), y si son mayores, presenta una alta productividad o eutrofia.

#### – Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto (OD) indica la concentración de oxígeno presente en el un cuerpo de agua, normalmente se encuentra expresada en miligramos por litro (mg/L). Cuando sus niveles son bajos, el ecosistema se desequilibra, provocando la muerte de peces, malos olores y otros problemas visibles. Esto suele ocurrir por la falta de circulación del agua y la descomposición de materia orgánica, como hojas, plantas o animales, que consumen el oxígeno disponible (Sierra, 2011).

Aknaf et al. (2015) menciona que los niveles de OD que se encuentran dentro de un rango aceptable posiblemente se atribuyen a una adecuada oxigenación del agua en la superficie, lo cual puede ser resultado del tiempo que el agua permanece en la laguna. Además, se destaca que las concentraciones bajas de OD se originan por la disminución del crecimiento y la muerte de las algas, lo que promueve el desarrollo de bacterias descomponedoras que al aumentar su concentración también aumenta su consumo de oxígeno disuelto en el agua, el autor indica que según aumenta la temperatura en el agua, disminuirá la concentración de OD en el agua.

Diaz y Rosenberg (2008) explican que la hipoxia en el agua se produce cuando los niveles de OD descienden por debajo de 2-3 mg/L, lo que puede causar estrés y problemas respiratorios en los seres acuáticos. La anoxia, por otro lado, se presenta cuando no hay oxígeno disuelto disponible, lo que resulta muy perjudicial para la vida en el agua. Niveles de OD por debajo de 0.2 mg/L indican condiciones anóxicas.

#### – Demanda Bioquímica de oxígeno

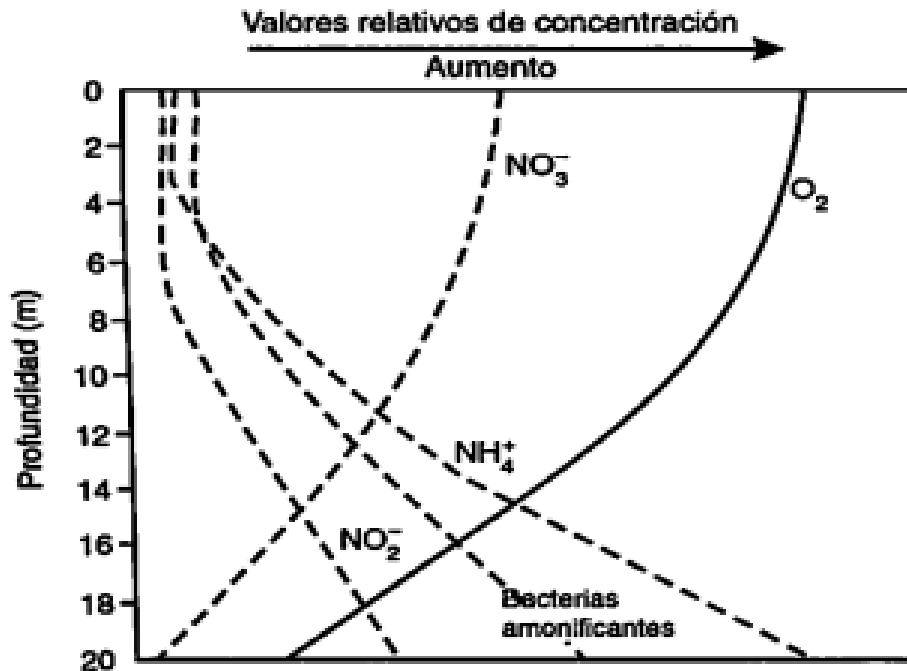
Según Sierra (2011), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es usada cómo un indicador para estimar la cantidad de materia orgánica presente en un cuerpo de agua. Este análisis calcula el oxígeno disuelto (OD) que los microorganismos acuáticos como

las bacterias, hongos y plancton requieren para descomponer y estabilizar la concentración de materia orgánica en el agua. La prueba más común en el análisis del agua es la DBO<sub>5</sub>, que consiste en incubar la muestra durante cinco días en el laboratorio y luego medir el oxígeno consumido. Los resultados se expresarán en su mayoría en miligramos por litro (mg/L) de oxígeno.

#### – **Nitrógeno**

Carlson y Simpson (1996) indican que el nitrógeno parametró químico del agua también conocido como un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas acuáticas y que su presencia puede aumentar el consumo de oxígeno, ya que es oxidado por bacterias, lo que a su vez disminuye los niveles de oxígeno. Entre las diferentes formas de nitrógeno, el nitrato se destaca como uno de los principales contaminantes de los ecosistemas acuáticos, siendo comúnmente encontrado en fuentes de contaminación relacionadas con actividades agrícolas.

Según lo expresado por Roldán y Ramírez (2008), el nitrógeno se manifiesta de diversas maneras en los entornos acuáticos, incluyendo formas como nitrato, nitrito, amoníaco y amonio (Ver figura 2), de estas formas, los nitratos y el ion amonio son cruciales para los ecosistemas que se encuentran en el agua, ya que en su mayoría representan a la principal fuente de nutrientes para los microorganismos que habitan en el agua. El autor sostiene que, en comparación con el fósforo, el nitrógeno es más abundante y fácilmente disponible en el agua, siendo el fósforo un factor más limitante en estos entornos. La proporción de las concentraciones de fósforo a nitrógeno es de alrededor de 1:10. La relevancia del nitrógeno es debida a su papel como componente fundamental de las proteínas, las cuales constituyen la base estructural de todo ser vivo.



Fuente: Roldan 2008

**Figura 2.** Comportamiento del oxígeno disuelto y las tres formas de nitrógeno en un cuerpo de agua con estratificación térmica

#### – Fósforo

Peña et al. (2005), se establece que el fósforo, proveniente de diversas fuentes como la escorrentía de cultivos agrícolas, los desechos metabólicos y los detergentes, caracterizado como uno de los principales nutrientes que inducen a la eutrofización del agua. Este fenómeno se ve acentuado por la intervención humana, lo que resulta en un crecimiento significativo en la concentración de fósforo que se vierte en los cuerpos de agua. Como resultado, se observa un notable incremento en el crecimiento de algas en ecosistemas acuáticos de agua dulce, recalcando así la relevancia crítica del fósforo como un factor determinante en el proceso de eutrofización.

Roldán y Ramírez (2008), sostienen que el fósforo desempeña un papel primordial en el metabolismo biológico como un elemento biogénico primordial. Aunque no es tan abundante como otros nutrientes, suele ser el que más limita la producción primaria. El fósforo se encuentra en el medio natural en dos formas predominantes: ortofosfatos y polifosfatos. Desde la perspectiva de la limnología, los ortofosfatos son especialmente relevantes ya que son altamente solubles y fácilmente asimilables, conocidos como fósforo soluble reactivo (FSR) o también como fósforo asimilable. Esta forma es esencial para la absorción por parte de las plantas acuáticas y el fitoplancton. Cuando el agua tiene un pH más alto o alcalino, los fosfatos se vuelven más disponibles, mientras que en aguas ácidas

disminuyen. Por eso, los lagos con pH alcalino suelen tener una mayor productividad que aquellos con pH más bajo.

Según Peña et al. (2005), el fósforo que se encuentra en los cuerpos de agua superficiales tiene dos fuentes principales entre ellas las puntuales y las no puntuales. Mientras que las fuentes puntuales son fáciles de identificar, las fuentes no puntuales se dispersan y cambian según la temperatura. Además, los agricultores utilizan fertilizantes con altas concentraciones de fósforo para mejorar el rendimiento de sus cultivos. La mayor parte del fósforo está unido a las partículas del suelo, y el escurrimiento en los cauces de regadío puede causar erosión, llevando el fósforo hacia los ecosistemas acuáticos. Este exceso de fósforo en el agua induce al crecimiento de algas.

#### – **Clorofila A**

De acuerdo con Sierra (2011), el fitoplancton, compuesto por diversas algas, presenta una variedad de pigmentos, incluyendo la Clorofila, Carotenoides y Biliproteínas. La cuantificación de la clorofila permite evaluar la presencia de fitoplancton en una zona específica. La Clorofila A, encontrada en todos los tipos de algas, muestra dos bandas de absorción: uno en la región roja del espectro visible (660 nm y 665 nm) y otro en la zona violeta, con una longitud de onda menor a 430 nm. Por otro lado, la Clorofila B está presente únicamente en algas verdes y euglenofitas, y su principal función es capturar luz para transferirla como energía a la Clorofila A. Aunque existen otras variantes de clorofila con menor importancia, los análisis de calidad del agua se centran únicamente en la Clorofila A, ya que está presente en todas las algas y sirve como un indicador confiable de la cantidad de materia vegetal en el agua. Esto permite determinar el estado trófico del cuerpo de agua. En síntesis, la relevancia de la Clorofila A radica en su amplia presencia en las algas y en su capacidad para reflejar la cantidad de biomasa vegetal existente en los ecosistemas acuáticos.

### **2.2.5. Parámetros microbiológicos del agua**

#### – **Coliformes totales**

De acuerdo con Sierra (2011), los coliformes totales pertenecen al grupo Enterobacteriaceae comúnmente encontradas en el agua, el suelo y en los intestinos de los seres humanos y animales. Pueden crecer tanto con oxígeno como sin él, y su presencia en un cuerpo de agua indica contaminación por materia orgánica, generalmente de origen fecal humano o animal.

Los coliformes no son dañinos directamente, pero su presencia indica posibles bacterias patógenas en el agua. Por eso se usan como un indicador de

contaminación, si no se detectan, el agua puede considerarse segura para el consumo humano. (Roldán y Ramírez, 2008).

– **Coliformes termotolerantes**

Según Sierra (2011), los coliformes termotolerantes constituyen un subgrupo de los coliformes totales y comprenden bacterias como *Escherichia coli* y algunas especies del género *Klebsiella*. Estas bacterias se originan principalmente en las heces de animales de sangre caliente, por lo que su detección en el agua indica de forma más certera una posible contaminación fecal. En consecuencia, su análisis se utiliza como una herramienta indirecta para estimar el riesgo de contaminación por microorganismos patógenos.

**2.2.6. Estándar de Calidad Ambiental para Agua**

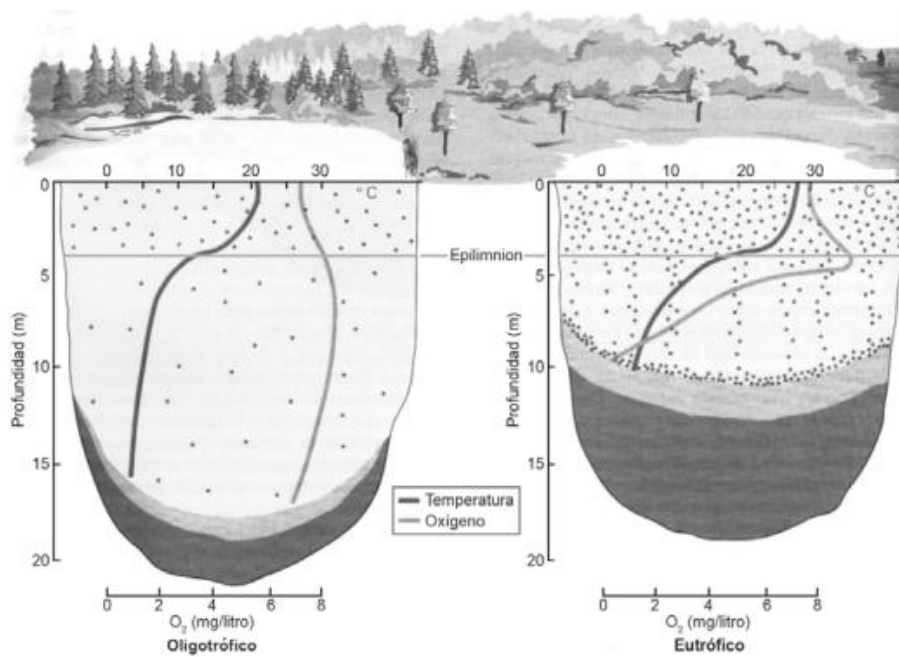
El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para el agua se define como una herramienta de gestión ambiental (IGA) que se utiliza para evaluar el estado de la calidad del agua según su uso previsto. El ECA-agua, simplifica la evaluación de los componentes de simulación de la calidad del agua en situaciones donde hay una diversidad de usos. Esta evaluación se utiliza como un punto de referencia representativo de la calidad del agua, además, posibilita la comparación entre diferentes cuerpos de agua

– **Categoría 4: conservación del ambiente acuático, Subcategoría E1: Lagunas y lagos**

Se entiende como cuerpos de agua estancados de origen natural (ecosistemas lenticos), que carecen de flujo constante, abarcando también los humedales.

**2.2.7. Eutrofización**

De acuerdo con Sierra (2011), la eutrofización se refiere a la fertilización o al aumento de nutrientes en un cuerpo de agua, lo que promueve el crecimiento de plantas en cuerpos de agua estancados. Las especies predominantes de plantas varían dependiendo de factores como la cantidad relativa del fósforo, nitrógeno, luz, temperatura y otras condiciones físicas y químicas del medio ambiente acuático. Además, el autor sugiere que la eutrofización puede ser vista como un proceso natural que tiene ciertas características de envejecimiento o maduración, las cuales implican un grado de irreversibilidad (Ver figura 3). En este contexto, la madurez no implica un estado de equilibrio, sino más bien indica un retroceso o regresión en los procesos. En la actualidad, las actividades humanas, como la liberación de nutrientes y la erosión, están acelerando este proceso de envejecimiento natural, lo que conduce a lo que se conoce como eutrofización antropogénica.



Fuente: Smith y Smith 2001

**Figura 3.** Comparación entre un lago oligotrófico y eutrófico.

La ONU (2014), indica que, a nivel mundial, la eutrofización se reconoce como uno de los principales problemas que afectan la calidad del agua. Este fenómeno se produce cuando aumenta la concentración de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, lo que deteriora los diversos usos del recurso hídrico. Las principales fuentes de aporte de estos nutrientes suelen ser las aguas residuales domésticas, que además introducen microorganismos contaminantes, el arrastre de fertilizantes y pesticidas por la escorrentía agrícola, los residuos provenientes de actividades industriales y las emisiones atmosféricas originadas por la quema de combustibles fósiles o los incendios forestales. Los lagos y lagunas resultan particularmente sensibles a los procesos de eutrofización, ya que su funcionamiento natural implica largos tiempos de retención del agua y una gran capacidad para acumular contaminantes que provienen de las cuencas que los rodean. En general, concentraciones de nitrógeno superiores a 5 mg/L suelen indicar contaminación de origen humano o animal, o bien, el arrastre de fertilizantes agrícolas hacia los cuerpos de agua.

Según Navarro et al. (2015), cuando los nutrientes en el agua son escasos, los productores primarios tales como las plantas acuáticas, entre su mayoría algas y los macrófitos generan una cantidad reducida de biomasa, lo que caracteriza al ambiente como oligotrófico, es decir, poco productivo. En contraste, en condiciones opuestas, el ambiente se vuelve eutrófico, lo que se caracteriza por una alta productividad. Los lagos eutróficos suelen ser menos profundos que los oligotróficos y muestran variaciones más marcadas en la

temperatura y la concentración de OD en el agua. Aunque estas condiciones pueden surgir naturalmente en los lagos, la introducción de desechos humanos en los entornos acuáticos acelera la productividad, es decir, impulsa el proceso de eutrofización. Este fenómeno es la principal causa de la degradación de lagos y lagunas a nivel mundial.

#### **2.2.8. Proceso de eutrofización**

Cuando un cuerpo de agua recibe demasiados nutrientes, su equilibrio se altera. El plancton crece rápidamente, el agua se vuelve turbia y la vegetación sumergida desaparece, reduciendo el oxígeno y los refugios para la vida acuática. Como el fitoplancton solo produce oxígeno en la superficie, gran parte se libera al aire y las capas profundas quedan sin oxígeno. En días soleados, pueden verse burbujas que suben desde las algas, reflejando este proceso. Solo en épocas como primavera y otoño el agua logra oxigenarse de forma más equilibrada (Chapa, 2010).

#### **2.2.9. Consecuencias de la eutrofización**

Según Smith (2003), en los ecosistemas acuáticos afectados por la eutrofización se produce un cambio profundo en la diversidad de vida. El exceso de nutrientes en el agua provoca un crecimiento desmedido de algas, cianobacterias y plantas acuáticas, lo que vuelve el agua más turbia e impide que la luz solar llegue a las zonas profundas. Esto limita la fotosíntesis y reduce la cantidad de oxígeno disuelto disponible. A la vez, los microorganismos descomponedores aumentan su actividad al recibir grandes volúmenes de materia orgánica proveniente de la superficie, lo que hace que el fondo del ecosistema se convierta en un ambiente sin oxígeno (anóxico). En estas condiciones, se forman y acumulan gases como el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), creando un entorno tóxico e inhabitable para la mayoría de las especies. Este desequilibrio generalizado ocasiona la muerte de muchos organismos, la acumulación de sustancias perjudiciales, un aumento de la sedimentación, la disminución de la vida útil del cuerpo de agua y la aparición de vectores capaces de transmitir enfermedades.

#### **2.2.10. Índice de estado trófico de Carlson**

El Índice de Estado Trófico (IET) desarrollado por Carlson (1977) se fundamenta en la estimación de la biomasa algal como indicador para determinar el grado de eutrofización o productividad de un cuerpo de agua. Este método es ampliamente empleado en los programas de monitoreo de lagos, ya que permite evaluar la calidad del agua mediante parámetros simples y económicos, como la profundidad del disco de Secchi, utilizada para medir la transparencia. El cálculo del IET se realiza a partir de una transformación logarítmica

de tres variables clave: la profundidad del disco de Secchi (Ds), el fósforo total (Pt) y la concentración de Clorofila A (Cl A). Los resultados se expresan en una escala de 0 a 100, donde cada rango numérico refleja un nivel específico del estado trófico del ecosistema acuático, lo que facilita identificar el grado de alteración o enriquecimiento de nutrientes en el agua.

**Tabla 1.** Descripción de cada condición trófica según el IET de Carlson

<b>Estado o condición trófica</b>	<b>Descripción</b>
Laguna Hipertrófica	Representa a una gran cantidad de plantas acuáticas, la falta de oxígeno en las capas inferiores del lago (hipolimnion) y como consecuencia se da una baja productividad.
Laguna Eutrófica	Si el IET de la laguna se encuentra en un rango 50 – 60, predominaran las algas azules y abundancia de plantas acuáticas. Si el IET se encuentra en un rango de 60 – 70, Se observa una elevada presencia de algas y se registran complicaciones con los niveles de oxígeno en las capas inferiores del lago (hipolimnion).
Laguna Mesotrófica	Esta laguna se destaca por su baja transparencia, evidenciando un aumento en la presencia de algas y un comienzo de disminución en los niveles de oxígeno.
Laguna Oligotrófica	El agua se presenta transparente y se garantiza una óptima oxigenación en las capas más profundas del lago (hipolimnion).

Fuente: Carlson (1977)

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

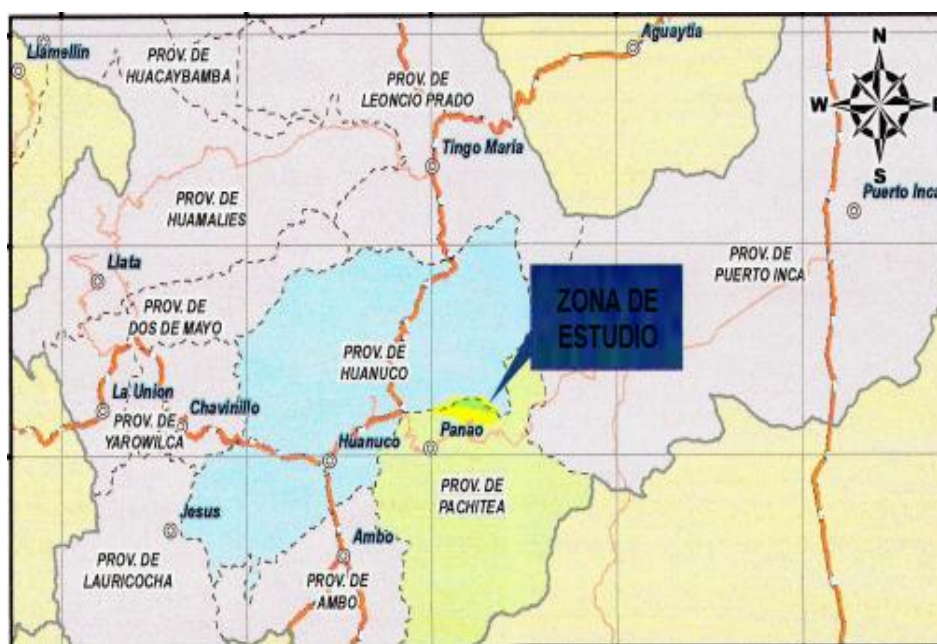
La presente investigación se desarrolló en tres lugares diferentes. La recolección de muestras tuvo lugar en la Laguna Verde Pozo, y los análisis físicoquímicos y microbiológicos del agua se llevaron a cabo en los Laboratorios de Microbiología Ambiental y Calidad de Aguas de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

##### 3.1.1. Ubicación geográfica

La Laguna Verde Pozo se encuentra geográficamente en las coordenadas UTM 399020.32 E y 8915799.14 N, con una altitud de 2354 msnm. El Laboratorio de Microbiología Ambiental está ubicado en según las coordenadas WGS 84, UTM 8970294 E y 390551 N, con una altitud de 668 msnm. Por otro lado, el Laboratorio de Calidad de Aguas está ubicado en según las coordenadas UTM 8970330 E y 390557 N, con una altitud de 668 msnm.

##### 3.1.2. Ubicación política

La investigación se realizó en el centro poblado Verde Pozo, distrito de Chaglla, provincia de Pachitea y departamento de Huánuco (Ver figura 4).



Fuente: Huming Ingenieros S. A. C., 2015

**Figura 4.** Ubicación de la Zona de estudio

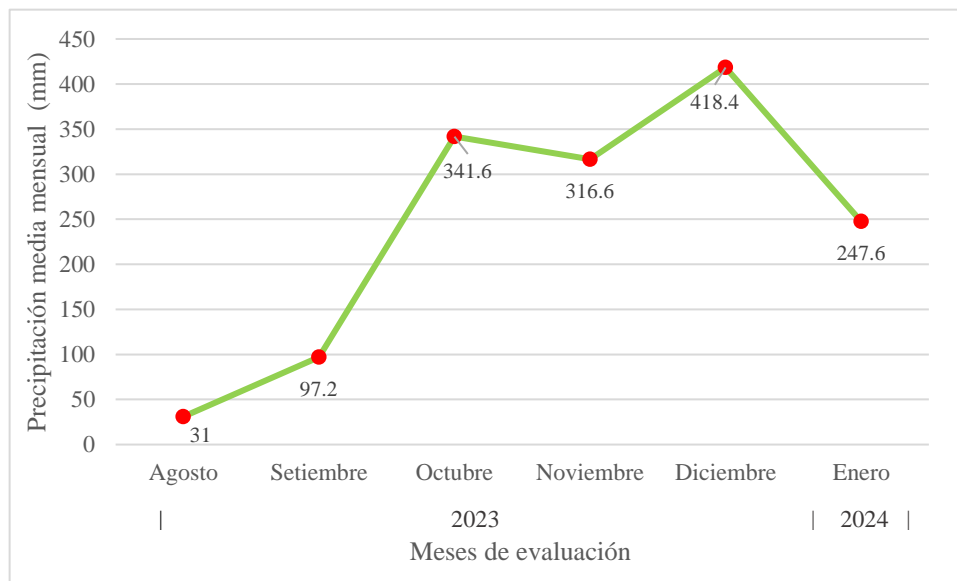
### 3.1.3. Aspectos ambientales y sociales

#### – Clima

En el distrito de Chaglla, el clima está determinado por su ubicación en la cordillera oriental de los Andes, con altitudes que varía entre los 800 msnm en el norte y los 2900 msnm en el sur. Estos climas son principalmente influenciados por la topografía y altitud del área. La zona de estudio exhibe un clima templado y altamente húmedo, característico de altitudes superiores a los 2000 msnm, correspondiente a un ecosistema de Bosque pluvial – montano bajo tropical (Walsh Peru S.A., 2010).

#### – Precipitación

La figura 5 presentan las medias mensuales de precipitación de los 06 (seis) meses de evaluación, los datos fueron obtenidos de la estación meteorológica convencional del distrito de Chaglla. El mes de agosto presentó la menor media mensual con 31 mm, mientras que el mes de diciembre presentó la mayor media mensual con 418.4 mm.



Fuente: Adaptado de SENAMHI

**Figura 5.** Medias mensuales de precipitación

Durante los meses de avenida, se registró un nivel de precipitación que se clasificó consistentemente como “Extremadamente lluvioso”.

**Tabla 2.** Caracterización de lluvias según su rango de clasificación

Caracterización de lluvias	Rangos de clasificación
Extremadamente lluvioso	>230.00 mm/mes
Muy lluvioso	185.00 mm/mes - 230.00 mm/mes
Lluvioso	140.00 mm/mes - 185.00 mm/mes

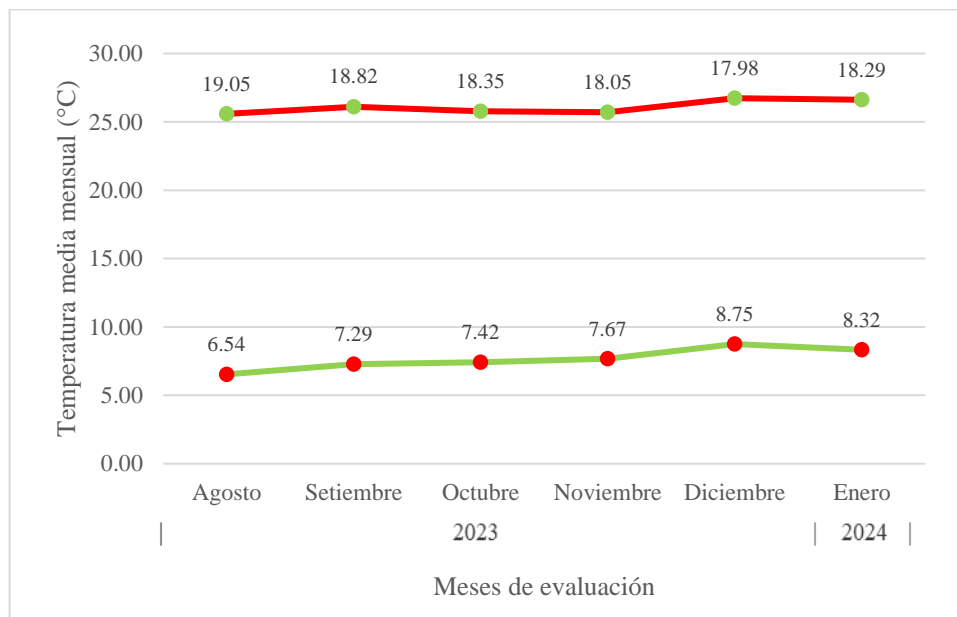
Caracterización de lluvias	Rangos de clasificación
Moderadamente lluvioso	80.00 mm/mes - 140.00 mm/mes
Ligeramente lluvioso	<80.00 mm/mes

Fuente: Adaptado de SENAMHI

### – Temperatura

Según lo afirmado por Huming Ingenieros S.A.C. (2015), en la zona de estudio, la temperatura tiende a mantenerse constante debido a la estabilidad de los factores que la regulan a lo largo del año, aunque experimenta leves cambios estacionales. Esta temperatura está influenciada por la dinámica de la nubosidad, los patrones de precipitación y la abundancia de la cobertura forestal característica del área, los cuales desempeñan un papel crucial al actuar como reguladores de las fluctuaciones térmicas.

Según la Figura 6, la temperatura media mensual de la estación meteorológica convencional del distrito de Chaglla, no presentan grandes variaciones de temperaturas durante los meses evaluados.



Fuente: Adaptado de SENAMHI

**Figura 6.** Medias mensuales de temperatura

### – Actividades socioeconómicas

En el distrito de Chaglla, la agricultura es la principal actividad económica, debido a la disponibilidad de recursos de producción adecuados, un clima propicio y suelos fértiles ideales para la agricultura. Chaglla, es reconocida por su producción destacada de papas. Además, se cultiva maíz, leguminosas y flores en menor medida (Espinoza, 2018).

Según datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) de 2017, en el Centro Poblado Verde Pozo residen 83 personas, cuya principal ocupación es la agricultura. Este centro poblado carece de instalación de salud, no dispone de suministro eléctrico y menos del 40% de las viviendas cuentan con un sistema de saneamiento básico mediante Unidades Básicas de Saneamiento (UBS).

#### – **Descripción de la zona de estudio**

El acceso a la zona de estudio comienza desde la ciudad de Huánuco por una carretera asfaltada hasta Churubamba (21 km) y posteriormente, se emplea una carretera carrozable llegando al poblado de Umari (18 km), para luego continuar hasta el poblado de Molino (16 km), Panao (5 km) y finalmente llegar al poblado de Chaglla (14 km). Desde el centro poblado de Chaglla, parte una trocha carrozable al Centro Poblado Verde Pozo (21 km), todo este trayecto dura aproximadamente 4 horas de viaje.

La Laguna Verde Pozo, cuenta con una superficie aproximada de 4294 m<sup>2</sup> y un perímetro de 252 m, es reconocida en el distrito de Chaglla por su belleza paisajística y atractivo para el turismo, el nombre distintivo del centro poblado proviene del color verde de sus aguas. En este lugar, se pueden observar plantas acuáticas tales como el jacinto de agua y plantas terrestres como el carrizo, aliso, matico, eucaliptos, plátano, café, acelgas, helechos, musgos, entre otros. En el mes de octubre se da la reproducción natural de ranas de la zona, la laguna alberga una variedad de especies de peces, como la carpa y la tilapia; además, es hábitat de aves, anfibios, insectos, setas y helechos.

### **3.2. Materiales y métodos**

#### **3.2.1. Materiales y equipos**

##### – **Materiales**

Se emplearon los siguientes materiales en el trabajo de campo: lapiceros, lápices, tablero, plumones indelebles, hojas de papel bond, cuaderno de apuntes, cinta de embalaje, cinta métrica de 100 metros, fichas de monitoreo, etiquetas de rotulado, papel tisú, papel toalla, cinta métrica, nilón, disco de Secchi, cooler y frascos muestreadores.

En el laboratorio, se utilizaron los siguientes materiales: vasos precipitados, papel filtro, tubos de ensayo, tubos de ensayo con tapa rosca, agua destilada, piceta, probeta, gradilla, embudo, matraz y pipeta.

– **Medios de cultivo y reactivos**

Se emplearon los siguientes medios de cultivo: caldo E. coli, caldo peptonado y caldo brilla. Además, como reactivos se utilizaron acetona al 90%, reactivo de nitrato Hanna y reactivo de fósforo total Hanna.

– **Equipos**

Incubadora de laboratorio BIOBASE modelo BJPX-I-250, refrigerador SAMSUNG modelo SR438, Centrifuga GEMMYCO modelo PLC-036, Multiparámetro portátil SI ANALYTICS, modelo HANDYLAB 680, espectrofotómetro marca FARLAB modelo HI 2550, fotómetro de nitrato HI97728C, fotómetro de acondicionamiento de agua HANNA, equipo Portátil de Posicionamiento Global GPS y un computador portátil de marca HP.

– **Software**

Software Microsoft Word 365, Software Excel 365, software Google Maps, y R Studio.

### 3.2.2. Criterios de investigación

– **Nivel de investigación**

Esta investigación está clasificada como descriptivo-relacional (Hernandez et al., 2014), descriptivo porque que no se manipulan las variables de investigación y relacional porque determinó el nivel de relación que pueda existir entre una variable y otra.

– **Tipo de investigación**

La presente investigación es de tipo aplicada (Hernandez et al., 2014) porque se emplearán las ciencias básicas como concepto de esta investigación.

– **Diseño de investigación**

El diseño de investigación del presente proyecto es no experimental del tipo descriptivo-relacional, a través de la cual se obtiene información sobre diferentes variables con el objetivo de comprenderlas y analizar cómo se relacionan o afectan entre sí (Hernández et al., 2014). Se utilizó como instrumento de recolección de datos a el formato Anexo N° 01: Registro de datos de toma de muestra de agua.

– **Variables de estudio e indicadores**

**Variables**

Variable X: Eutrofización

Variable Y: Calidad del agua

Variable interviniente: Laguna Verde Pozo

### **Indicadores**

X1: Índice de estado trófico (Disco Secchi)

X2: Índice de estado trófico (Clorofila A)

X3: Índice de estado trófico (Fósforo total)

Y1: Parámetros fisicoquímicos: Nitratos, Fósforo total, Transparencia del agua, Conductividad, DBO5, pH, Temperatura, Transparencia OD y Clorofila A.

Y2: Parámetros Microbiológicos: Coliformes termotolerantes.

### **3.2.3. Análisis estadístico**

Para el análisis estadístico de este trabajo de investigación, se utilizó la estadística descriptiva, se analizaron los resultados mediante la desviación estándar, varianza, media, coeficiente de variación y el coeficiente de correlación Spearman.

#### **– Coeficiente de correlación de Spearman**

La correlación de Spearman es una herramienta estadística no paramétrica que se emplea para analizar la relación que tienen dos variables. En vez de utilizar los valores originales de las variables, se basa en los rangos de los datos. Esto resulta beneficioso cuando los datos resultantes no tienen una distribución normal o cuando existen valores atípicos.

El coeficiente de correlación de Spearman puede variar entre -1 y +1. Cuando el valor se arrima a +1, indica una relación positiva fuerte, lo que significa que al aumentar una variable, la otra también tiende a incrementarse. Si el resultado está cerca de -1, la relación es negativa, es decir, cuando una variable aumenta, la otra tiende a disminuir. Por otro lado, un valor próximo a 0 sugiere que no existe una relación evidente o consistente entre ambas variables.

**Tabla 3.** Rangos de relación según el Coeficiente de correlación de Spearman

Rango	Relación
+0.91 - +1.00	Correlación positiva perfecta
+0.76 - +0.90	Correlación positiva muy fuerte
+0.51 - +0.75	Correlación positiva considerable
+0.11 - +0.50	Correlación positiva media
+0.01 - +0.10	Correlación positiva débil

Rango	Relación
0.00	No existe correlación
-0.01 - -0.10	Correlación negativa débil
-0.11 - -0.50	Correlación negativa media
-0.51 - -0.75	Correlación negativa considerable
-0.76 - -0.90	Correlación negativa muy fuerte
-0.91 - -1.00	Correlación negativa perfecta

Fuente: Adaptado de Hernández & Fernández, 1998.

### 3.3. Metodología

La investigación se ejecutó durante un período de seis (06) meses, que abarcó desde agosto del 2023 hasta enero del año 2024. A continuación, se detallan las fechas correspondientes a cada mes de muestreo.

**Tabla 4.** Fechas de muestreo

Mes de evaluación	Fecha
Agosto	30/08/2023
Setiembre	27/09/2023
Octubre	29/10/2023
Noviembre	28/11/2023
Diciembre	21/12/2023
Enero	25/01/2024

Para poder obtener resultados significativos y representativos, se determinó el tamaño de muestra a partir de un piloto, luego se utilizó la siguiente fórmula propuesta por (Hernández et al., 2014):

$$n = \frac{(Z*S)^2}{(E)^2} \quad (1)$$

Donde:

Z= Se define según el nivel de confianza





S<sup>2</sup>= Desviación estándar

E= Error máximo tolerable

Después de aplicar la ecuación 4, se obtuvo un tamaño de muestra de 3.506, redondeando se trabajó con 4 puntos de muestreo, seguidamente se identificaron los puntos con

el criterio establecido por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016) que mediante su “Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales” indica que para la ubicación de los puntos de muestreo se debe de tener en cuenta, la ubicación de ingresos y salidas de afluentes, presencia de algas u otras formaciones, zonas con eutrofización, estratificación vertical, etc., aplicando los criterios de accesibilidad, representatividad y seguridad, en la Tabla 5 se detalla las características de los puntos de muestreo de la Laguna Verde Pozo .

**Tabla 5.** Ubicación geográfica y descripción de los puntos de muestreo

Punto de muestreo	Descripción	Coordenadas UTM		Imagen
		Este X	Norte Y	
PM1	Ubicado cercano a la entrada del agua a la Laguna Verde Pozo, en su alrededor presenta, especies vegetales, como el eucalipto, carrizos, Matico, entre otros.	399015.12	8915801.73	
PM2	Punto ubicado cercano a los residuos sólidos y materia orgánica, así también se identificaron plantas acuáticas, plantaciones de plátano y café cercanos al punto de monitoreo.	398994.01	8915822.56	
PM3	Punto cercano a la trocha carrozable, presencia de materia orgánica (hojas y restos de palos).	398978.60	8915811.82	
PM4	Cercano a la salida del agua de la laguna, cercano se encuentran especies arbóreas tales como el matico, eucalipto y Aliso.	398974.41	8915793.16	

### 3.3.1. Determinación del índice de calidad ambiental del agua de la Laguna Verde Pozo

#### – Análisis de los parámetros fisicoquímicos del agua

Para cada punto de muestreo, se recolectaron dos muestras de agua en frascos oscuros de 450 ml y 1000 ml. En campo, se analizaron los siguientes parámetros: Temperatura, pH, OD, conductividad, transparencia y STD, posteriormente de la toma de muestras se etiquetaron los frascos y se conservaron en un cooler a  $5^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ , para luego ser transportadas al Laboratorio de Calidad de aguas de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en donde se llevaron a cabo análisis adicionales de DBO, Nitrato, Fósforo Total y Clorofila A. La Tabla 6 detalla los parámetros evaluados y los métodos empleados para su análisis.

**Tabla 6.** Método de evaluación de los parámetros fisicoquímicos del agua

	Parámetros	Método	Equipo o Material utilizado	Unidad de medida
Fisicoquímicos	Potencial de Hidrógeno (pH)	Método electrométrico (APHA 4500-H)	Multiparámetro portátil	pH
	Temperatura	Medición de la temperatura (APHA 2550 A)	Multiparámetro portátil	$^{\circ}\text{C}$
	Conductividad	Método electrométrico (APHA 2510 A)	Multiparámetro portátil	$\mu\text{S/cm}$
	Oxígeno disuelto (OD)	Método de electrodo de membrana (APHA 4500 O - G)	Multiparámetro portátil	mg/L
	Sólidos Totales disueltos (STD)	Medición de la STD (APHA 2540)	Multiparámetro portátil	mg/L
	Demanda biológica de Oxígeno (DBO)	Método DBO <sub>5</sub> por RAMALHO,2004.	Multiparámetro portátil	mg/L
	Nitrato	Método espectrofotométrico	Fotómetro de nitrato	mg/L
	Fósforo Total	Método espectrofotométrico	Fotómetro de acondicionamiento de agua	mg/L
	Clorofila A	Método espectrofotométrico (APHA 10200 H)	Espectrofotómetro	mg/L

Fuente: APHA, AWWA y WFF (2017)

– **Análisis de los coliformes termotolerantes**

Para evaluar los parámetros microbiológicos del agua, las muestras recolectadas en campo se transportaron al laboratorio de Microbiología Ambiental, donde se analizó la concentración de Coliformes Termotolerantes. En la Tabla 7 se detalla el parámetro evaluado y el método empleado para su análisis.

**Tabla 7.** Método de evaluación de los Coliformes Termotolerantes del agua

	Parámetro	Método	Equipo o Material utilizado	Unidad de medida
Microbiológico	Coliformes Termotolerantes	Método de los tubos múltiples	Caldo E. coli, materiales de laboratorio, incubadora.	NMP/100 ml

Fuente: López (2012)

– **Índice de calidad ambiental del agua**

Se determinó el índice de calidad ambiental del agua (ICA) siguiendo el protocolo establecido en la metodología "Metodología para la determinación del índice de calidad del agua ICA-PE, aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales". Este método evalúa la calidad del agua considerando los ciertos factores tales como de alcance, la frecuencia y la amplitud, con resultados que van desde 0 hasta 100, estos resultados indican el estado de la calidad ambiental del agua, las ecuaciones aplicadas son las siguientes:

**F1 (Alcance):** Hace referencia a la proporción de parámetros que no cumplen los criterios establecidos en la normativa, en comparación con el total de parámetros analizados.

$$F1 = \frac{\text{Número de parámetros que Incumplen los ECA-Agua}}{\text{Número Total de parámetros a evaluar}} \quad (5)$$

**F2 (Frecuencia):** Representa la proporción de resultados que no cumplen con los estándares de calidad ambiental (ECA-Agua), en relación con el total de datos obtenidos para los parámetros evaluados, considerando la información recolectada en al menos cuatro puntos de monitoreo.

$$F2 = \frac{\text{Número de parámetros que No cumplen el ECA-Agua de los datos evaluados}}{\text{Número Total de datos evaluados}} \quad (6)$$

Donde:

Datos = Resultados de los monitoreos

**F3 (Amplitud):** Es una medida que refleja cuánto varían o se dispersan los datos entre sí. Para calcularla, se suman las diferencias de cada valor respecto al conjunto total y luego se ajustan de manera proporcional al número de datos, obteniendo así un valor normalizado que representa la variabilidad del conjunto.

$$F3 = \frac{\text{Suma normalizada de excedentes}}{\text{Suma normalizada de excedentes}+1} * 100 \quad (7)$$

En donde, la suma normalizada de excedentes (nse):

$$nse = \text{Suma normalizada de excedentes} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente}}{\text{Total de datos}} \quad (8)$$

**Caso 1:** Se aplica en casos en los que la concentración del parámetro excede el límite establecido en el ECA -Agua, y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Excedente}_i = \frac{\text{Valor del parametro que INCUMPLE con el ECA-Agua}}{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA-Agua}} - 1 \quad (9)$$

**Caso 2:** Ocurre cuando la concentración del parámetro es menor que el valor establecido en el ECA-Agua, lo que no cumple con la condición señalada en el mismo; por ejemplo: OD (> 4,0), pH (>6,5).

$$\text{Excedente}_i = \frac{\text{Valor que se establece en el parametro del ECA-Agua}}{\text{Valor del parámetro que INCUMPLE el ECA-Agua}} - 1 \quad (10)$$

Cuando ya se tienen calculados los valores de F1, F2 Y F3, se procede a calcular el Índice de calidad del Agua, aplicando la siguiente formula:

$$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{3}} \quad (11)$$

El índice se muestra como un número adimensional dentro de un intervalo, lo que facilita la definición de cinco categorías de sensibilidad que reflejan y califican el estado de la calidad del agua, que son: Pésimo, Malo, Regular, Bueno y Excelente.

**Tabla 8.** Clasificación del ICA-PE

ICA -PE	Calificación	Interpretación
90-100	Excelente	El agua se encuentra en un estado de protección, sin riesgos ni daños. Las condiciones son muy similares a los niveles naturales o ideales.
75-89	Bueno	La calidad del agua se distancia ligeramente de su estado natural óptimo. No obstante, las condiciones deseables pueden estar afectadas por algunas amenazas o daños de baja magnitud.
45-74	Regular	La calidad del agua natural se ve ocasionalmente amenazada o dañada. Con frecuencia, la calidad del agua se desvía de los valores deseados, y muchos de sus usos requieren tratamiento.
30-44	Malo	La calidad del agua no alcanza los objetivos de calidad, y con frecuencia las condiciones deseadas están amenazadas o deterioradas. Se requiere tratamiento para muchos de sus usos.
0-29	Pésimo	La calidad del agua no alcanza los objetivos de calidad y frecuentemente está amenazada o dañada. Todos los usos requieren tratamiento previo.

Fuente: ANA (2018)

### 3.3.2. Determinación del índice de estado trófico del agua de la Laguna Verde Pozo

Para calcular el índice de estado trófico (IET) se utilizó la metodología propuesta por Carlson (1981), basándose en parámetros como lo es la concentración del Fósforo total, la concentración de la Clorofila A y la Transparencia mediante el disco de Secchi, el cual se basa en sumergir el disco en el lago o laguna para evaluar la penetración de la luz a través de la columna de agua. Para el cálculo del IET se utilizan las siguientes ecuaciones:

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

$$IET(Cl.A) = 10 \left( 6 - \frac{2.04 - 0.68 \ln(Cl.a)}{\ln(2)} \right) \quad (3)$$

$$IET(Pt) = 14.42 \ln(Pt) + 4.15 \quad (4)$$

Donde:

IET (Ds): Índice de estado trófico - Disco Secchi.

IET (Cl A): Índice de estado trófico - Clorofila "A"

IET (Pt): Índice de estado trófico – Fósforo total

Una vez obtenido los IET, se procede a clasificar el nivel de estado trófico, según la Tabla 9.

**Tabla 9.** Clasificación del nivel de estado trófico según el parámetro evaluado

Estado trófico	Transparencia Ds (m)	P total (mg/m <sup>3</sup> )	Cl A (mg/m <sup>3</sup> )
Oligotrófico (IET<30)	>4	< 12	< 95
Mesotrófico (30<IET<50)	4 – 2	12 -24	0.95 – 7.3
Eutrófico (50<IET<70)	1 – 0.5	24 -96	7.3 – 56
Hipertrófico (IET > 70)	< 0.5	> 96	>56

Fuente: Carlson (1977)

### 3.3.3. Estimación de la relación que existe entre el Índice de estado trófico y los parámetros fisicoquímicos y coliformes termotolerantes del agua de la Laguna Verde Pozo.

Se utilizó el programa R Studio para analizar la relación entre la eutrofización y los parámetros fisicoquímicos y coliformes termotolerantes del agua. El proceso comenzó con una prueba de normalidad utilizando la prueba de Shapiro-Wilk para los promedios mensuales de cada variable de estudio, esta prueba se realizó con la función "shapiro.test ()" para determinar la distribución de los datos. Posteriormente, se llevó a cabo la prueba de Spearman para analizar la correlación entre las variables. Para calcular la correlación de Spearman, se utilizó la función "cor ()" con el método "method = Spearman", por último, se realizó un análisis de componentes principales, se utilizó la función "prcomp". Este enfoque permitió determinar la relación entre la eutrofización y los parámetros del agua, asegurando una comprensión más clara de la interacción entre estos factores.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. Índice de calidad ambiental del agua de la Laguna Verde Pozo

#### 4.1.1. Parámetros fisicoquímicos del agua de la Laguna Verde Pozo

##### – Temperatura

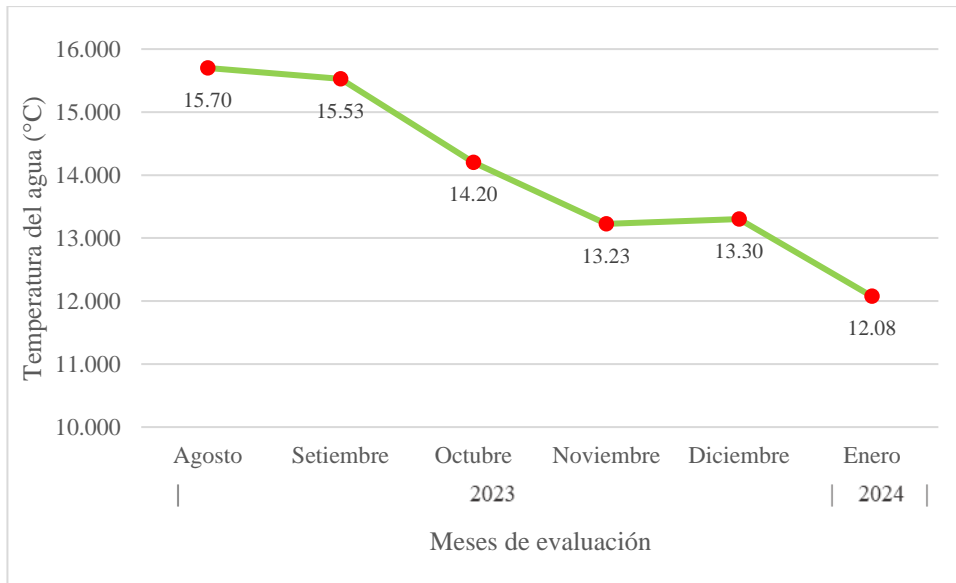
En la tabla 10 se presentan los valores de todos los puntos muestreado durante los seis meses de evaluación. Los valores de temperatura variaron según la temporada estacional, con valores promedios mensual que oscilaron entre un máximo de 15.700°C y un mínimo de 12.075 °C.

**Tabla 10.** Niveles de temperatura en los meses evaluados

Meses evaluados	Puntos muestreados (°C)				Datos estadísticos		
	PM1	PM2	PM3	PM4	$\bar{x}$	S <sup>2</sup>	S
Agosto	15.400	15.700	15.800	15.900	15.700	0.047	0.216
Setiembre	15.400	15.200	15.700	15.800	15.525	0.076	0.275
Octubre	14.400	14.100	14.000	14.300	14.200	0.033	0.183
Noviembre	12.800	13.400	13.800	12.900	13.225	0.216	0.465
Diciembre	13.100	13.400	13.400	13.300	13.300	0.020	0.141
Enero	11.900	12.200	12.100	12.100	12.075	0.016	0.126

Nota:  $\bar{x}$ : promedio, S<sup>2</sup> varianza, S: desviación estándar

Según lo establecido por la normativa nacional DS N° 004-2017-MINAM, en relación con el ECA para agua, la variación de la temperatura del agua no debe de sobrepasar los 3 °C de variación. Sin embargo, en el contexto de este estudio, en la Figura 7, se detectó que la variación de temperatura excedió este límite establecido. Este hallazgo es un indicador de que el cuerpo de agua en cuestión no está manteniendo sus condiciones naturales dentro de los parámetros considerados como óptimos para la conservación del ambiente acuático.



**Figura 7.** Variación de temperatura del agua

En este estudio, se observaron temperaturas relativamente bajas, con valores que oscilaron entre 15.70°C y 12.08°C. Comparativamente, Aguilar (2020) en su estudio reportó un promedio final de temperatura de 14.26°C. Según sus conclusiones, la temperatura tendría que ser considerablemente más alta para tener un impacto significativo en la eutrofización de la laguna.

#### – Potencial de Hidrógeno

En la Tabla 11, se presentan los resultados de los niveles de pH evaluados por mes, el pH encontrado en el agua de la Laguna Verde Pozo presentó variaciones de un mínimo de 9.508 hasta un máximo 10.430, el valor más bajo se presentó en el mes de octubre y el valor más alto se presentó en el mes de enero.

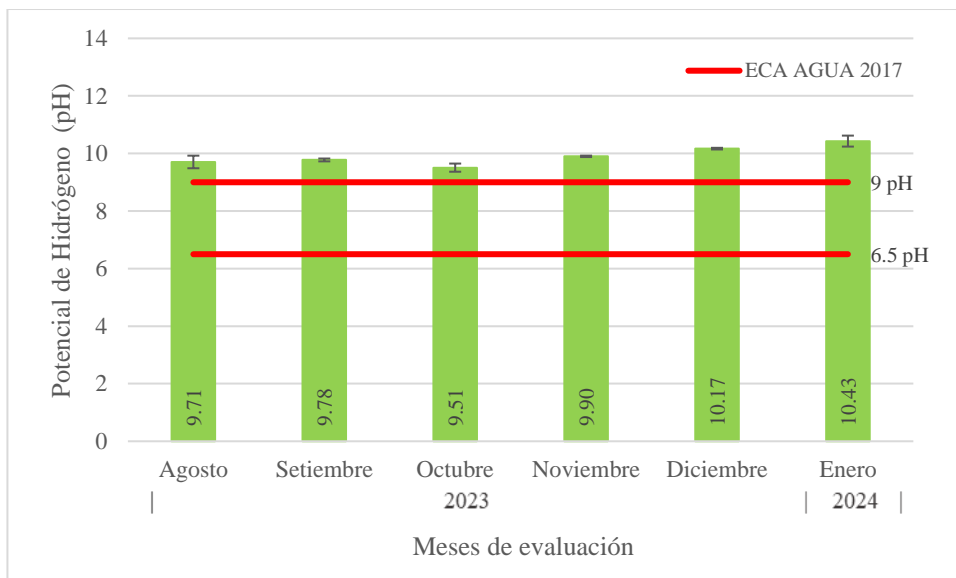
**Tabla 11.** Niveles de pH en los meses evaluados

Meses evaluados	Puntos muestreados (pH)				Datos estadísticos		
	PM1	PM2	PM3	PM4	$\bar{x}$	S <sup>2</sup>	S
Agosto	9.410	9.780	9.930	9.700	9.705	0.048	0.219
Setiembre	9.830	9.780	9.780	9.710	9.775	0.002	0.049
Octubre	9.710	9.470	9.470	9.380	9.508	0.020	0.142
Noviembre	9.890	9.870	9.920	9.920	9.900	0.001	0.024
Diciembre	10.150	10.160	10.150	10.210	10.168	0.001	0.029
Enero	10.230	10.690	10.410	10.390	10.430	0.037	0.191

Nota:  $\bar{x}$ : promedio, S<sup>2</sup> varianza, S: desviación estándar

Según lo establecido por la normativa nacional DS N° 004-2017-MINAM, en relación con el ECA para agua, los niveles de pH deben de estar comprendidos entre el rango de 6.5 a 9, cómo se observa en la Figura 8, todos los valores de pH de los meses de evaluación excedieron a lo establecido por el ECA para agua lo cual indica la naturaleza alcalina del agua.

Todos los resultados de pH en el presente estudio sobrepasaron lo establecido por la normativa ambiental (9.705, 9.775, 9.508, 9.900, 10.168, 10.430), los resultados encontrados tuvieron un leve aumento en la temporada de avenida. En comparación con lo antes mencionado, Zambrano (2018) encontró que los niveles de pH mostraron un aumento significativo durante la estación húmeda (9.24, 9.25 y 9.24) en contraste con la estación seca (9.1, 9.3 y 9.12). Este autor resalta que todos los promedios estuvieron por encima de 9, lo cual sugiere un entorno con un potencial de hidrógeno alcalino. Por otro lado, Solitoke et al. (2018) plantean la posibilidad de que la disminución del pH durante el verano esté relacionada con eventos como la muerte de algas, la descomposición de plantas y materia orgánica, factores atribuibles al proceso de eutrofización. El pH del agua es crucial para la vida de los organismos, ya que la mayoría de los ecosistemas acuáticos naturales mantienen un pH entre 5 y 9, como menciona Roldán y Ramírez (2008), este rango específico permite que la mayoría de las especies acuáticas prosperen, pero fuera de estos límites, son pocas las especies capaces de sobrevivir.



**Figura 8.** Niveles de potencial de Hidrógeno

Los resultados de pH obtenidos en este trabajo de investigación podrían ser atribuidos a diversas razones, (Caballero 2022) indica que una de las razones más importantes son las condiciones climáticas, cómo se puede observar en la Figura 8, los meses

de noviembre, diciembre y enero presentaron altos niveles de precipitaciones; es posible que los minerales con una alta concentración de carbonatos se desprendieran desde las partes superiores de las cuencas que drenan hacia la parte central de la laguna, lo que podría elevar el nivel del pH. Ngadi et al. (2023) también señalan que los niveles altos de pH pueden atribuirse al desarrollo de algas, donde se observa un consumo de CO<sub>2</sub> durante la fotosíntesis.

### – Conductividad

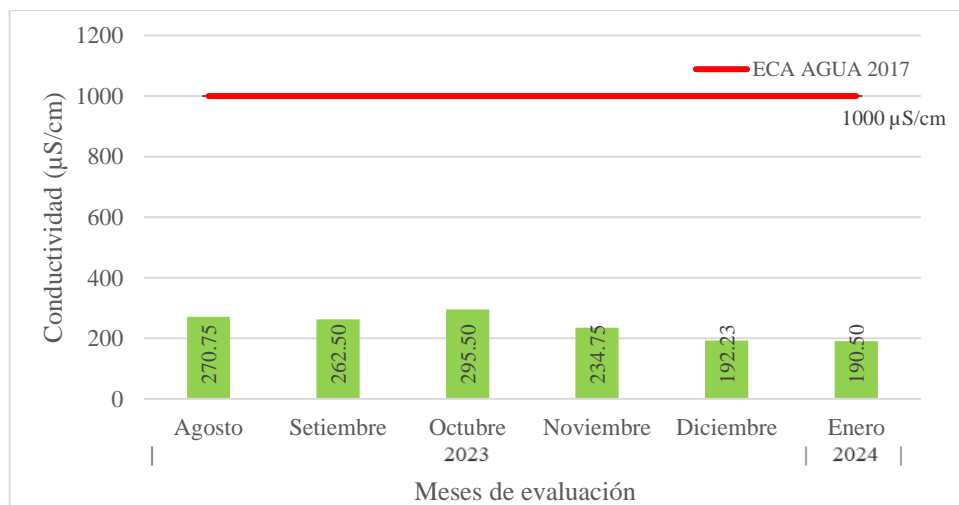
En la Tabla 12, se muestran los resultados de la conductividad del agua, se observa que el mayor valor de conductividad se presentó en el mes de octubre con 295.5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (estiaje), mientras que el valor mínimo fue de 190.50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el mes de enero.

**Tabla 12.** Conductividad del agua en los meses evaluados

Meses evaluados	Puntos muestreados ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )				Datos estadísticos		
	PM1	PM2	PM3	PM4	$\bar{x}$	S <sup>2</sup>	S
Agosto	296.000	287.000	249.000	251.000	270.750	34.920	5.909
Setiembre	266.000	247.000	243.000	246.000	262.500	15.000	3.873
Octubre	311.000	289.000	289.000	290.000	295.500	30.330	5.508
Noviembre	240.000	231.000	231.000	227.000	234.750	20.250	4.500
Diciembre	190.000	193.000	191.900	194.000	192.230	2.940	1.713
Enero	188.000	191.000	191.000	192.000	190.500	3.000	1.732

Nota:  $\bar{x}$ : promedio, S<sup>2</sup> varianza, S: desviación estándar

De acuerdo con lo observado en la figura 9, todos los valores de conductividad se encuentran dentro de lo establecidos por el ECA para agua, el cual indica que los niveles de conductividad deben ser inferiores a 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



**Figura 9.** Conductividad del agua

El valor mínimo de conductividad fue registrado en enero con 190.50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un mes que se caracteriza por pertenecer a la temporada de lluvias. Estos resultados coinciden con lo determinado por Caballero (2022), quien encontró una mínima concentración de CE de 105.70  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en septiembre, también durante el período lluvioso en su lugar de investigación. Roldán y Ramírez (2008), indicaron que los niveles normales de conductividad eléctrica suelen situarse entre 30 y 60  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Si los resultados están por debajo de este rango, sugieren oligotrofia o una baja producción, mientras que valores por encima indican eutrofia o una alta producción.

– **Oxígeno disuelto**

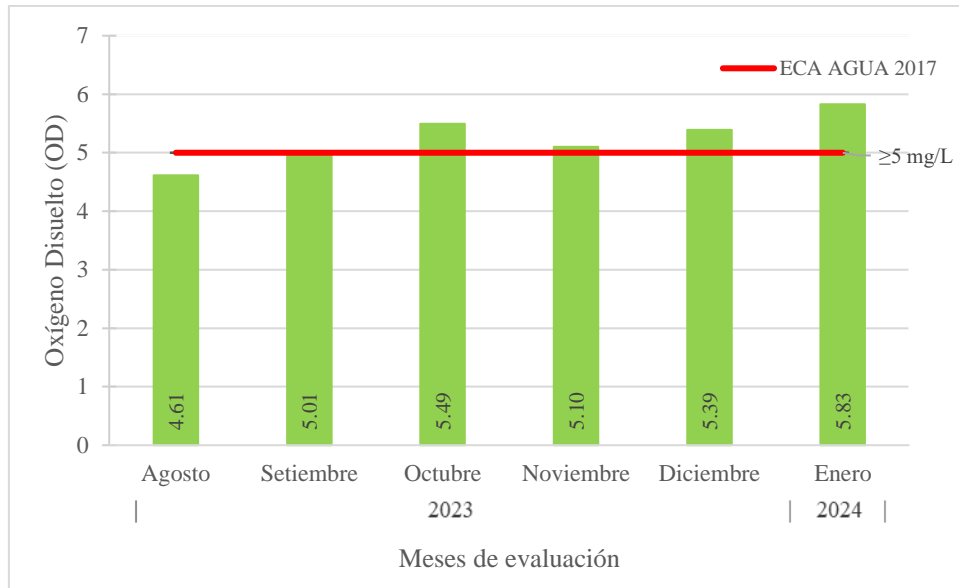
Las concentraciones de oxígeno disuelto en el agua de la Laguna Verde Pozo variaron entre el valor mínimo de 4.613 mg/L (agosto) hasta un valor máximo de 5.828 mg/L (enero), para mayor detalle ver Tabla 13.

**Tabla 13.** Concentración de Oxígeno disuelto del agua

Meses evaluados	Puntos muestreados (mg/L)				Datos estadísticos		
	PM1	PM2	PM3	PM4	$\bar{x}$	$S^2$	S
Agosto	5.020	4.150	4.390	4.890	4.613	0.169	0.411
Setiembre	5.050	5.150	4.790	5.040	5.008	0.023	0.153
Octubre	4.930	5.660	5.500	5.880	5.493	0.165	0.406
Noviembre	5.100	4.840	5.040	5.430	5.103	0.060	0.245
Diciembre	5.330	5.410	5.230	5.600	5.393	0.025	0.157
Enero	6.100	5.580	5.840	5.790	5.828	0.046	0.214

Nota:  $\bar{x}$ : promedio,  $S^2$  varianza, S: desviación estándar

Según lo establecido por el ECA para agua, los niveles de oxígeno disuelto (OD) deben de ser mayores o iguales a 5 mg/L. Según lo observado en la Figura 10, durante el mes de agosto, la concentración de oxígeno disuelto estuvo por debajo de lo establecido por la normativa ambiental.



**Figura 10.** Concentración de Oxígeno en los meses evaluados

Como se aprecia en la Figura 10, durante el mes de agosto (mes de estiaje) se registró la concentración más baja de OD, indicando que la laguna se encontraba en un estado de hipoxia. Este hallazgo coincide en parte con los resultados de Arregocés et al. (2021), quien determinó que su laguna de estudio estaba en un estado de anoxia, atribuyendo la baja concentración de OD al proceso de descomposición de la materia orgánica. Según Lara et al. (2008), la descomposición de la hojarasca en estos entornos conlleva a un aumento en la producción de materia orgánica, lo que podría provocar una reducción en los niveles de OD y una disminución en el pH debido a la liberación de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). La temperatura desempeña un papel importante en la dinámica de los gases, lo que implica que, durante períodos de clima seco, la disminución en la concentración de OD tiende a agravarse, especialmente en cuerpos de agua poco profundos donde la profundidad se reduce aún más y se ve afectada por la evaporación.

Los niveles de OD encontrados en la Laguna Verde Pozo indican que son adecuados para la mayoría de las especies de peces y otros organismos acuáticos. No obstante, es preocupante que la concentración de OD esté cercana al límite inferior, ya que este puede fluctuar considerablemente debido a factores como la actividad fotosintética de algas y plantas acuáticas, la biodegradación de contaminantes por bacterias y el aumento de la temperatura. Esto podría llevar a que la concentración de OD caiga por debajo del nivel mínimo necesario para el sustento de las especies acuáticas, resultando en la mortalidad de dichos organismos.

– **Sólidos totales disueltos**

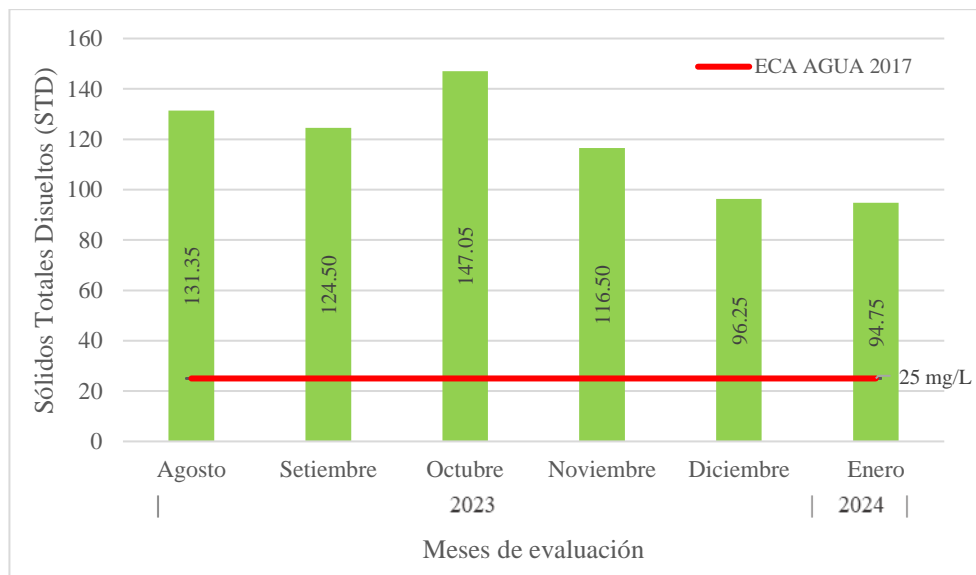
En la Tabla 14 se presentan las concentraciones de STD en el agua de la Laguna de Verde Pozo, los resultados variaron desde un máximo de 147.050 mg/L correspondiente al mes de octubre hasta un mínimo de 94.750 mg/L correspondiente al mes de enero.

**Tabla 14.** Concentración de Sólidos Totales Disueltos en los meses evaluados

Meses evaluados	Puntos muestreados (mg/L)				Datos estadísticos		
	PM1	PM2	PM3	PM4	$\bar{x}$	S <sup>2</sup>	S
Agosto	138.100	129.200	131.200	123.900	131.350	3.737	1.933
Setiembre	132.700	123.700	121.700	122.900	124.500	12.693	3.563
Octubre	154.400	144.500	144.500	144.800	147.050	24.030	4.902
Noviembre	121.000	115.700	115.700	113.600	116.500	9.980	3.159
Diciembre	95.300	96.700	95.400	97.600	96.250	1.217	1.103
Enero	93.500	95.800	95.100	94.600	94.750	0.937	0.968

Nota:  $\bar{x}$ : promedio, S<sup>2</sup> varianza, S: desviación estándar

Según el ECA para agua, los niveles de concentración deben ser menores o iguales a 25 mg/L. Sin embargo, como se evidencia en la Figura 11, todos los valores de STD excedieron los límites establecidos por el ECA para agua.



**Figura 11.** Concentración de STD en los meses evaluados

– **Demanda Bioquímica de Oxígeno**

La cantidad de materia orgánica medida en términos de DBO<sub>5</sub> en el agua de la Laguna de Verde Pozo fluctuó, registrando un valor promedio mínimo de 21.743

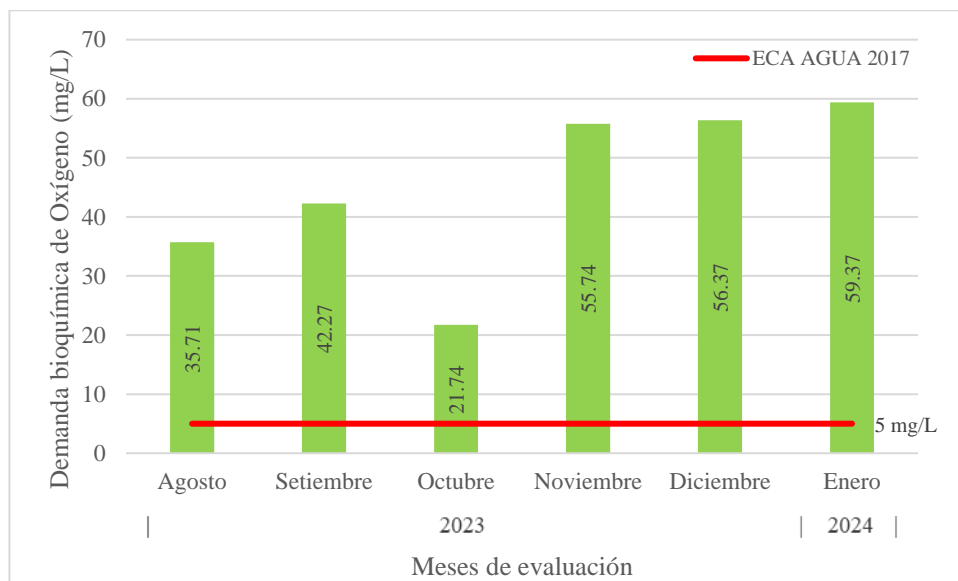
mg/L en octubre y un máximo de 59.365 mg/L en enero, como indica la Tabla 15. Esta disparidad evidencia una variación en las concentraciones entre la temporada de estiaje y la temporada avenida.

**Tabla 15.** Resultados de la DBO<sub>5</sub> en los meses evaluados

Meses evaluados	Puntos muestreados (mg/L)				Datos estadísticos		
	PM1	PM2	PM3	PM4	$\bar{x}$	S <sup>2</sup>	S
Agosto	36.52	37.1	35.79	33.44	35.713	2.582	1.607
Setiembre	47.35	35.85	40.79	45.09	42.270	25.722	5.072
Octubre	24.18	18.36	23.95	20.48	21.743	7.950	2.820
Noviembre	56.30	53.99	57.29	55.36	55.735	1.974	1.405
Diciembre	59.37	57.56	49.23	59.33	56.373	23.386	4.836
Enero	64.25	58.23	54.54	60.44	59.365	16.529	4.066

Nota:  $\bar{x}$ : promedio, S<sup>2</sup> varianza, S: desviación estándar

Según lo establecido por el ECA para agua, el valor máximo de DBO<sub>5</sub> deben de estar dentro de 5 mg/L. Sin embargo, como se puede apreciar en la Figura 12, todos los valores de DBO<sub>5</sub> registrados durante los meses de evaluación sobrepasan dicho límite establecido, lo cual indicaría un alto contenido de materia orgánica biodegradable en el agua. La creciente concentración de DBO<sub>5</sub> en el agua, puede ser atribuida a la mayor descarga durante la temporada de lluvias, la cual trae consigo una carga considerable de materia orgánica proveniente de diversas actividades humanas cerca del área de estudio.



**Figura 12.** Concentración de DBO<sub>5</sub> en los meses evaluados

En este trabajo de investigación, se observó que las concentraciones de DBO en el agua superaban ampliamente los niveles establecidos por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA), con valores que oscilaban entre 59.37 mg/L y 21.74 mg/L. Por otro lado, Cárdenas y Chávez (2022) estudiaron la concentración de DBO, encontrando una concentración promedio de 24.25 mg/L, con valores máximos de 28.70 mg/L y mínimos de 15.55 mg/L. Los autores notaron que las concentraciones de DBO aumentaban conforme avanzaba la temporada de estiaje.

#### – Nitrato

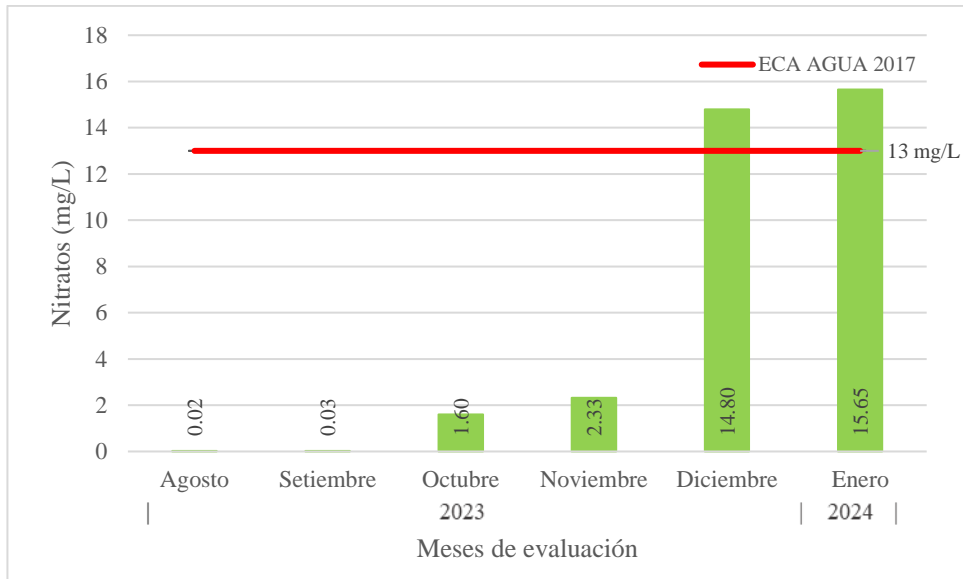
Durante los seis meses de evaluación, se registró un incremento progresivo en la concentración de nitratos en el agua de la Laguna Verde Pozo, con un promedio mínimo de 0.020 mg/L en agosto y un máximo de 15.650 mg/L en enero (ver Tabla 16).

**Tabla 16.** Resultados de la concentración de Nitratos en los meses evaluados

Meses evaluados	Puntos muestreados (mg/L)				Datos estadísticos		
	PM1	PM2	PM3	PM4	$\bar{x}$	S <sup>2</sup>	S
Agosto	0.080	0.000	0.000	0.000	0.020	0.002	0.040
Setiembre	0.090	0.000	0.010	0.000	0.025	0.002	0.044
Octubre	2.000	1.500	1.400	1.500	1.600	0.073	0.271
Noviembre	2.700	1.800	2.100	2.700	2.325	0.203	0.450
Diciembre	16.800	12.700	17.800	11.900	14.800	8.607	2.934
Enero	18.700	17.200	14.200	12.500	15.650	7.910	2.812

Nota:  $\bar{x}$ : promedio, S<sup>2</sup> varianza, S: desviación estándar

Según el ECA para agua, el valor máximo permitido para la concentración de nitratos es de 13 mg/L. Como se puede apreciar en la Figura 13, durante los meses de diciembre y enero, sobrepasaron los niveles permitidos de concentración de nitratos, alcanzando valores de 14.80 mg/L y 15.65 mg/L, respectivamente.



**Figura 13.** Concentración de Nitratos en los meses evaluados

Según lo observado en la Figura 13, durante los meses de diciembre y enero, que se caracterizan por una mayor cantidad de precipitación, se registraron las concentraciones más elevadas de nitrato. Esta observación se alinea con lo reportado Cosme (2023), quien sugiere que la presencia de nitratos puede vincularse con diversos factores, como la precipitación atmosférica, el lavado del suelo, las descargas urbanas o agrícolas, así como la fijación del nitrógeno atmosférico por parte de bacterias y cianobacterias. Roldán y Ramírez (2008), explican que conforme las escorrentías llegan a las partes más bajas de la región andina, se produce un notable incremento en el contenido de nutrientes. Esto se atribuye al arrastre de sedimentos ocasionado por las lluvias en suelos erosionados, al vertido de contaminantes y a la actividad agrícola.

#### – Fósforo Total

A lo largo de los seis meses de análisis, se observó un incremento gradual en la concentración de fósforo en el agua de la Laguna Verde Pozo, se registró un valor mínimo de 0.050 mg/L en los meses de agosto y octubre, mientras que se alcanzó un máximo de 0.186 mg/L en enero. Esta variación evidencia diferencias en las concentraciones entre la estación seca y la temporada de lluvias.

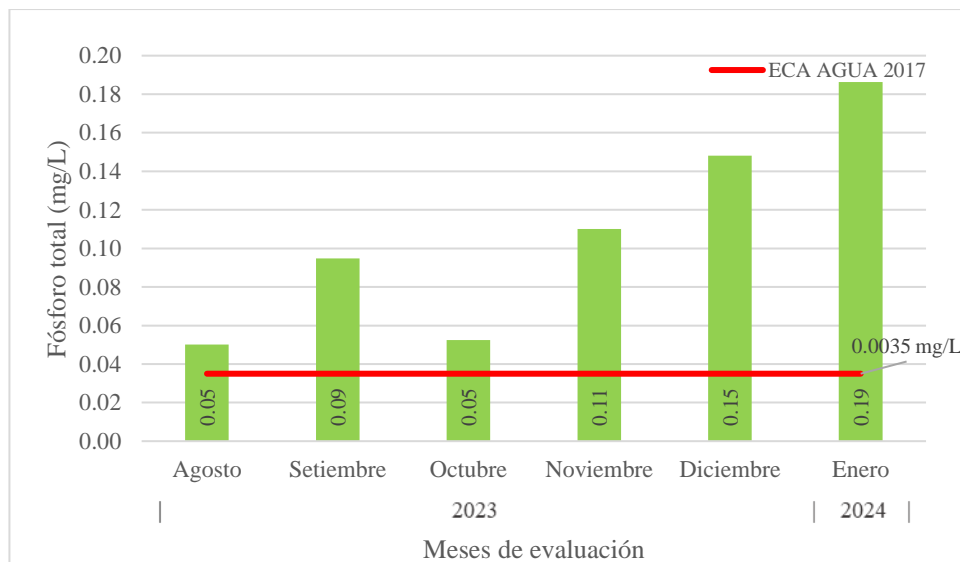
**Tabla 17.** Resultados de la concentración de Fósforo Total en los meses evaluados

Meses evaluados	Puntos muestreados (mg/L)				Datos estadísticos		
	PM1	PM2	PM3	PM4	$\bar{x}$	s <sup>2</sup>	S
Agosto	0.060	0.059	0.042	0.049	0.050	0.000	0.008
Setiembre	0.101	0.111	0.095	0.078	0.095	0.000	0.016

Meses evaluados	Puntos muestreados (mg/L)				Datos estadísticos		
	PM1	PM2	PM3	PM4	$\bar{x}$	s <sup>2</sup>	S
Octubre	0.062	0.050	0.059	0.049	0.053	0.000	0.005
Noviembre	0.206	0.157	0.101	0.072	0.110	0.002	0.043
Diciembre	0.124	0.193	0.134	0.118	0.148	0.002	0.040
Enero	0.186	0.222	0.144	0.193	0.186	0.002	0.040

Nota:  $\bar{x}$ : promedio, S<sup>2</sup> varianza, S: desviación estándar

Según lo establecido por el ECA para agua, el valor máximo permitido para la concentración de fósforo es de 0.035 mg/L. Sin embargo, como se puede observar en la Figura 14, las concentraciones sobrepasaron los niveles permitidos de concentración de fósforo total en todos los meses del período analizado.



**Figura 14.** Concentración de Fósforo Total en los meses evaluados

En su investigación sobre la Laguna de Paca, Osorio et al (2020), detectaron niveles de concentración de fósforo total que oscilaban entre 0.046 y 0.047, superando los límites establecidos por la normativa ambiental ECA. A pesar de este exceso con respecto a la normativa nacional, concluyeron que la laguna se encontraba en un estado mesotrófico, característico de cuerpos de agua poco contaminados. Estos hallazgos difieren de los obtenidos en nuestro estudio, donde se observaron concentraciones de fósforo total entre 0.05 mg/L y 0.19 mg/L. Las posibles discrepancias podrían estar relacionadas con diversos factores como la ubicación geográfica, altitud, profundidad del lago, extensión del área y las actividades humanas presentes en la zona.

### – Clorofila A

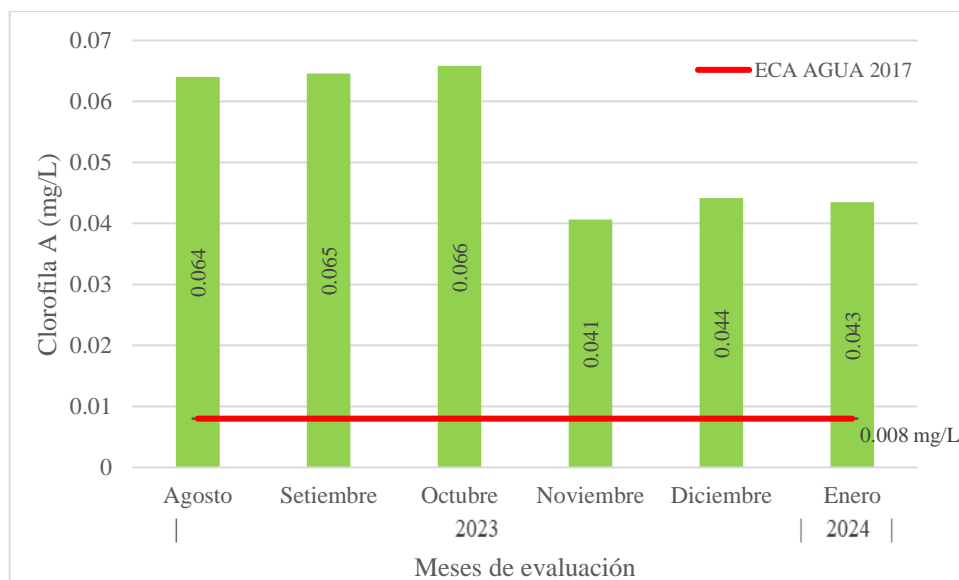
La concentración de Clorofila A encontrado en el agua de la Laguna Verde Pozo, con valores que oscilaron entre un mínimo de 0.041 mg/L (noviembre) y un máximo de 0.066 mg/L (octubre), para mayor detalle ver la Tabla 18.

**Tabla 18.** Resultados de la concentración de Clorofila A en los meses evaluados

Meses evaluados	Puntos muestreados (mg/L)				Datos estadísticos		
	PM1	PM2	PM3	PM4	$\bar{x}$	s <sup>2</sup>	S
Agosto	0.066	0.059	0.064	0.067	0.064	0.000	0.004
Setiembre	0.067	0.057	0.065	0.070	0.065	0.000	0.006
Octubre	0.079	0.068	0.064	0.052	0.066	0.000	0.011
Noviembre	0.040	0.049	0.043	0.031	0.041	0.000	0.008
Diciembre	0.048	0.042	0.046	0.041	0.044	0.000	0.003
Enero	0.048	0.042	0.041	0.042	0.043	0.000	0.003

Nota:  $\bar{x}$ : promedio, S<sup>2</sup> varianza, S: desviación estándar

De acuerdo con el ECA para agua, el valor máximo permitido para la concentración de Clorofila A es de 0.008 mg/L. No obstante, como se puede apreciar en la Figura 15, las concentraciones de clorofila A, excedieron los valores establecidos por el ECA agua durante los seis meses de evaluación.



**Figura 15.** Concentración de Clorofila A

Los valores de concentración de clorofila a en la presente investigación varían según el mes evaluado, alcanzando valores máximos durante el periodo de estiaje (0.066 mg/L) y mínimos durante el periodo de avenidas (0.041 mg/L). Estos resultados

coinciden con los obtenidos por Delgado (2021), quien indica que durante el periodo de estiaje la concentración fue de 0.038 mg/L y durante el periodo de avenidas fue de 0.032 mg/L.

En nuestro estudio, las concentraciones de STD superaron los límites establecidos por el ECA-Agua, y se observaron niveles muy bajos de transparencia del agua, influenciados por la presencia de algas en la laguna. Según Medina (2023) indica que la concentración de clorofila a en el agua es un indicador ampliamente utilizado para evaluar la productividad primaria y la biomasa algal en los ecosistemas acuáticos. En general, niveles más altos de clorofila a reflejan una mayor presencia de algas y plantas acuáticas, lo que permite estimar el grado de productividad del cuerpo de agua. Este aumento en la abundancia puede afectar la transparencia del agua al reducir la entrada de luz, lo que a su vez puede acelerar el proceso de eutrofización.

#### 4.1.2. Coliformes Termotolerantes del agua de la Laguna Verde Pozo

Como se observa en la tabla 19 se presentan bajas concentraciones de Coliformes Termotolerantes en la Laguna Verde Pozo, la concentración promedio mensual mínima se presentó en el mes de agosto con un 0.000 NMP/100 ml y la concentración máxima se presentó en el mes enero con 5.250 NMP/100 ml.

**Tabla 19.** Resultados de la concentración de Coliformes Termotolerantes

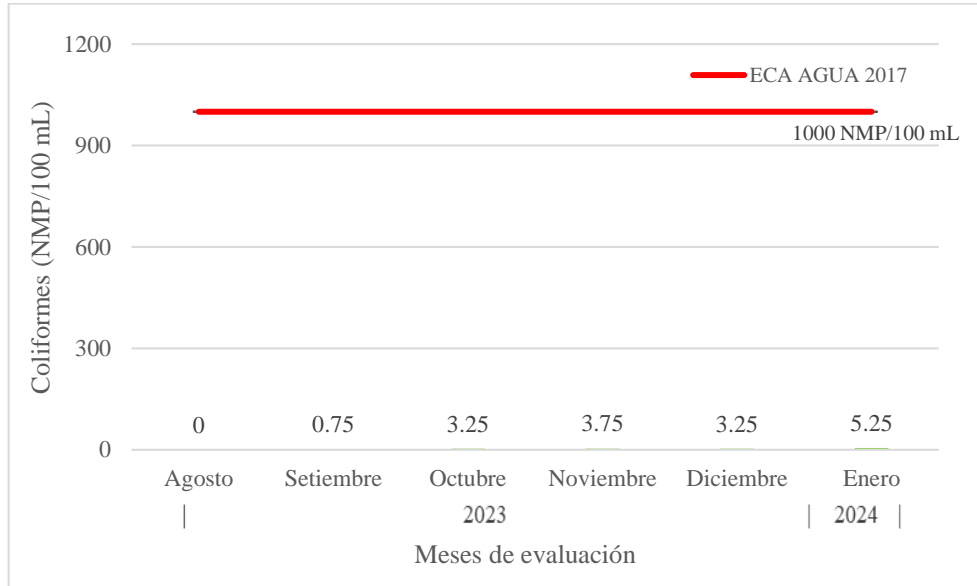
Meses evaluados	Puntos muestreados (NMP/100 ml)				Datos estadísticos		
	PM1	PM2	PM3	PM4	$\bar{x}$	s <sup>2</sup>	S
Agosto	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Setiembre	0.000	0.000	0.000	3.000	0.750	2.250	1.500
Octubre	3.000	4.000	3.000	3.000	3.250	0.250	0.500
Noviembre	3.000	4.000	4.000	4.000	3.750	0.250	0.500
Diciembre	3.000	4.000	3.000	3.000	3.250	0.250	0.500
Enero	4.000	7.000	6.000	4.000	5.250	2.250	1.500

Nota:  $\bar{x}$ : promedio, S<sup>2</sup> varianza, S: desviación estándar

Según el ECA para agua, el valor máximo permitido para la concentración de Coliformes Termotolerantes es de 1000 NMP/100 ml, como se puede observar en la Figura 16, los valores de concentración de coliformes totales no sobrepasaron los niveles permitidos por el ECA Agua.

En el presente trabajo de investigación se observaron bajas concentraciones de coliformes termotolerantes durante todos los meses evaluados, con respecto a esto Neverova (2021) menciona que las concentraciones de coliformes tienden a disminuir a

medida que aumenta el nivel de eutrofización del agua. Además, indica que esta reducción se debe a la presencia de algas en lagos eutróficos, así como a la disminución del OD y al aumento del pH, factores que pueden llevar a la inactivación de los coliformes.



**Figura 16.** Concentración de Coliformes Termotolerantes

En la Figura 16, se aprecian niveles reducidos de coliformes termotolerantes con concentraciones máxima de 5.25 NMP/100 mL, estos hallazgos pueden estar relacionado a los niveles de pH ya que en todos los meses se presentaron niveles de alcalinidad muy elevados, lo que posiblemente afectó la concentración de coliformes termotolerantes en el área de estudio, de acuerdo con Arregoces (2021), la disminución en la cantidad de microorganismos podría estar vinculada a una alta concentración de sales, ya que estas puede tener un efecto bactericida, es decir, puede matar o inhibir el crecimiento de bacterias.

#### 4.1.3. Índice de calidad ambiental del agua de la Laguna Verde Pozo

La Tabla 20 presenta el índice de calidad ambiental del agua durante los seis meses evaluados. Según esta tabla, la laguna de Verde Pozo presenta un índice de calidad ambiental clasificado como pésimo, ya que se registraron valores iguales a 0. Según la ANA (2016), esta clasificación indica que el agua no cumple con los objetivos de calidad y está constantemente amenazada o dañada.

**Tabla 20.** Índice de calidad ambiental-agua para los 6 meses evaluados

Meses Evaluados	ICA – Laguna Verde Pozo	Rango de ICA - PE	Clasificación
Agosto	0	0-29	Pésima

Meses Evaluados	ICA – Laguna Verde		Rango de ICA - PE	Clasificación
	Pozo			
Setiembre	0		0-29	Pésima
Octubre	0		0-29	Pésima
Noviembre	0		0-29	Pésima
Diciembre	0		0-29	Pésima
Enero	0		0-29	Pésima

Nota: ICA: Índice de calidad Ambiental

Durante seis meses, se llevó a cabo una evaluación exhaustiva de nueve parámetros del agua en la Laguna Verde: ocho relacionados con sus propiedades fisicoquímicas y uno con sus propiedades microbiológicas (Coliformes Termotolerantes). Sin embargo, solo dos de estos parámetros lograron cumplir con los valores establecidos por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para el agua: los Coliformes Termotolerantes y la Conductividad. Durante estos meses de evaluación, especialmente en la temporada de avenida, el parámetro que mostró la mayor variación ascendente fue la concentración de nitratos. Durante todos los meses evaluados, se obtuvo un Índice de Calidad del Agua (ICA) muy bajo, lo que clasifica una calidad pésima del agua. Nuestros resultados coinciden con los hallazgos de Zeng et al. 2022, quienes determinaron una mala calidad del agua en el lago Xingyun, especialmente durante períodos de lluvia intensa (avenida), debido al arrastre de nutrientes como nitrógeno y fósforo desde las tierras circundantes destinadas a la agricultura.

#### 4.2. Índice de estado trófico del agua de la Laguna Verde Pozo

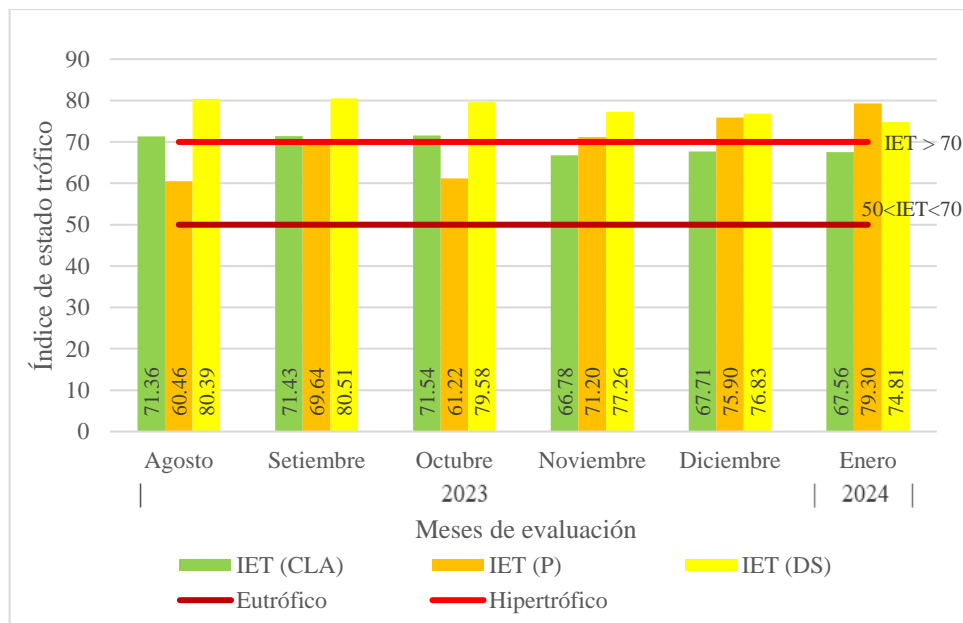
La Tabla 21 se resume el estado trófico de la laguna evaluando tres parámetros: Clorofila A, Fósforo Total y transparencia con el Disco de Secchi. Durante los primeros tres meses de muestreo, la Clorofila A indicó un estado hipertrófico con un índice superior a 70. En contraste, los últimos tres meses mostraron un estado eutrófico, con un índice entre 50 y 70. El análisis del Fósforo Total reveló un estado eutrófico al inicio y un aumento a hipertrofia al final. La transparencia, medida con el Disco de Secchi, mostró consistentemente un estado hipertrófico con índices superiores a 70 en cada mes de evaluación.

**Tabla 21.** Índice de estado trófico de los meses evaluados

Meses evaluados	Índice de estado trófico		
	Clorofila A	Fósforo Total	Transparencia

Agosto	71.358	60.464	80.395
Setiembre	71.429	69.637	80.513
Octubre	71.539	61.216	79.580
Noviembre	66.781	71.197	77.258
Diciembre	67.712	75.900	76.835
Enero	67.559	79.296	74.811

En su investigación en la laguna de Conococha, Delgado (2021) encontró que, durante el estiaje, la concentración de clorofila A fue mayor (38.178 mg/m<sup>3</sup>) que en la época de precipitación (31.696 mg/m<sup>3</sup>), lo que llevó a clasificar el estado trófico como eutrófico. Además, determinó el Índice de Estado Trófico (IET) del fósforo total, encontrando niveles más altos durante el estiaje (41.09) y menores durante la temporada de avenida (31.76), indicando un estado mesotrófico. Respecto al IET evaluado mediante la transparencia con el disco de Secchi, el autor registró un IET de 73.33 durante el estiaje y 68.73 en la época de precipitación, clasificándolo como eutrófico. Estos resultados guardan similitud con los hallazgos de nuestra investigación, aunque cabe señalar la discrepancia en el IET del fósforo total, que fue menor durante el estiaje y mayor durante la avenida. Esta variación podría estar influenciada por factores geográficos y actividades antropogénicas entre otros aspectos específicos del lugar.



**Figura 17.** Índice de estado trófico de los tres parámetros evaluados Clorofila A, Fósforo y Transparencia con Disco de Secchi.

En un estudio realizado por Ramos (2022) sobre la laguna de los Milagros, se encontró que la clorofila A tenía un índice de estado trófico (IET) mesotrófico de 44.869, el Fósforo Total presentó un IET oligotrófico de 20.319, y la transparencia con el disco de Secchi tenía un IET eutrófico de 66.469, lo que indica una buena calidad del agua en la laguna. Sin embargo, este estado eutrófico puede deberse al aumento gradual de sedimentos y altos niveles de fósforo total y nitratos en aguas residuales no tratadas, lo que favorece la formación de sedimentos y el crecimiento de algas, disminuyendo la visibilidad en las profundidades. A pesar de los resultados favorables, Neverova (2021) menciona que el método del disco de Secchi no siempre es preciso debido a diferentes causas de turbidez. En la Laguna Verde Pozo, todos los parámetros mostraron IET eutróficos e hipertroficados, por lo que se sugiere que para poder afirmar si un cuerpo de agua está completamente eutrofizado, todos los IET evaluados (Fósforo total, Clorofila A y transparencia) se deben encontrar en el rango de eutrófico e hipertrofico. Además la mayoría de los parámetros fisicoquímicos evaluados también deben estar alterados y en algunos casos no cumplir con los estándares ambientales.

#### **4.3. Relación que existe entre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos y el Índice de estado trófico del agua de la Laguna Verde Pozo.**

Se realizó una prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para determinar el tipo de correlación que debía emplearse en este estudio. Los resultados indicaron que no todos los parámetros evaluados siguen una distribución normal. Por lo tanto, se decidió utilizar la Correlación de Spearman. Consulte el anexo E para más detalles.

En la Figura 19, se presenta el mapa de calor que muestra el coeficiente de correlación de Spearman entre los parámetros evaluados y los Índices de Estado Trófico (IET) determinados. Para poder reducir las dimensiones de los parámetros evaluados se aplicó el análisis de componentes principales (ACP) (Figura 20) el cual se describe a continuación:

A través del ACP presentado en la tabla del anexo F, se puede observar que primer componente principal (CP1) tiene un autovalor inicial de 2.201, lo que explica aproximadamente el 36.68% de la varianza total en los datos originales. Esto indica que CP1 por sí solo es capaz de explicar una parte significativa de la variabilidad en los datos. El segundo componente principal (CP2) tiene un autovalor inicial de 1.253, el cual explica aproximadamente el 20.88% de la varianza total en los datos originales. La varianza acumulada total después de incluir CP1 y CP2 es del 57.56%, lo que significa que la combinación de estos dos componentes explica más de la mitad de la variabilidad en los datos.

En la figura 19, se presentan el Análisis de Componentes Principales (ACP), de la figura podemos señalar que mientras menor sea el ángulo que hay entre las flechas su correlación entre ellas será positiva y mayor, si existen dos flechas cercanas a  $180^\circ$  entre ellas, significa que tienen una correlación alta pero negativa, si el ángulo formado entre las dos flechas es de  $90^\circ$  quiere decir que no existe correlación entre las variables, la longitud de las flechas indica que tan bien representada está una variable, mientras más cercana a 1 mejor representada estará, así también se presenta un mapa de individuos la dirección de las flechas del mapa de individuos y del círculo de componentes principales nos indicará los parámetros asociados al mes de evaluación.

Parámetros	pH	Temperatura	Conductividad	OD	STD	DBO5	Clorofila_A	Nitrato	P_Total	Col_Termotolerantes	IET_CLA	IET_P	IET_DS
pH	1												
Temperatura	-0.657	1											
Conductividad	-1	0.657	1										
OD	0.429	-0.943	-0.429	1									
STD	-1	0.657	1	-0.429	1								
DBO5	1	-0.657	-1	0.429	-1	1							
Clorofila_A	-0.771	0.314	0.771	-0.143	0.771	-0.771	1						
Nitrato	0.829	-0.943	-0.829	0.829	-0.829	0.829	-0.6	1					
P_Total	0.943	-0.829	-0.943	0.657	-0.943	0.943	-0.657	0.943	1				
Col_Termotolerantes	0.667	-0.812	-0.667	0.812	-0.667	0.667	-0.638	0.899	0.812	1			
IET_CLA	-0.771	0.314	0.771	-0.143	0.771	-0.771	1	-0.6	-0.657	-0.638	1		
IET_P	0.943	-0.829	-0.943	0.657	-0.943	0.943	-0.657	0.943	1	0.812	-0.657	1	
IET_DS	-0.771	0.886	0.771	-0.771	0.771	-0.771	0.657	-0.943	-0.829	-0.841	0.657	-0.829	1

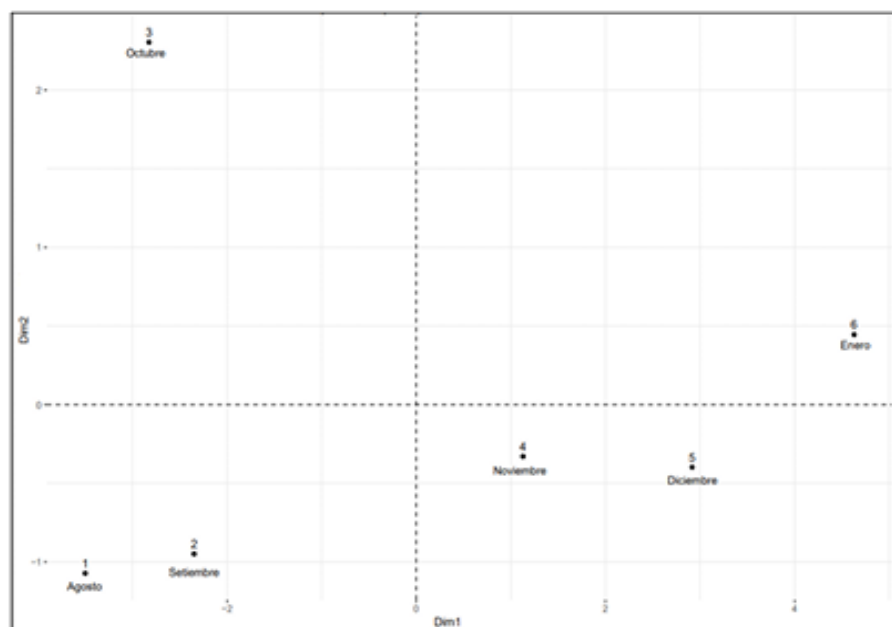
  

RANGO	RELACIÓN
+0.91 a +1.00	Correlación positiva perfecta
+0.76 a +0.90	Correlación positiva muy fuerte
+0.51 a +0.75	Correlación positiva considerable
+0.11 a +0.50	Correlación positiva media
+0.01 a +0.10	Correlación positiva débil
0.00	No existe correlación
-0.01 a -0.10	Correlación negativa débil
-0.11 a -0.50	Correlación negativa media
-0.51 a -0.75	Correlación negativa considerable
-0.76 a -0.90	Correlación negativa muy fuerte
-0.91 a -1.00	Correlación negativa perfecta

**Figura 18.** Mapa de calor de Correlación de Spearman de los parámetros evaluados y de los índices de estado trófico.

Meses de evaluación	pH	Temperatura	Conductividad	OD	STD	DBO	Clorofila A	Nitrato	P Total	Col Termotolerantes	IET Cl A	IET PT	IET DS
Agosto	9.705	16.250	270.750	4.613	131.350	35.713	0.064	0.020	0.050	0.000	71.358	60.464	80.395
Setiembre	9.775	16.025	262.500	5.008	124.500	42.270	0.065	0.025	0.095	0.750	71.429	69.637	80.513
Octubre	9.508	12.950	295.500	5.493	147.050	21.743	0.066	1.600	0.053	3.250	71.539	61.216	79.580
Noviembre	9.900	13.100	234.750	5.103	116.500	55.735	0.041	2.325	0.110	3.750	66.781	71.197	77.258
Diciembre	10.168	11.925	192.225	5.393	96.250	56.373	0.044	14.800	0.148	3.250	67.712	75.900	76.835
Enero	10.430	11.725	190.500	5.828	94.750	59.363	0.043	15.650	0.186	5.250	67.559	79.296	74.811

Mapa de individuos



Circulo de componentes principales

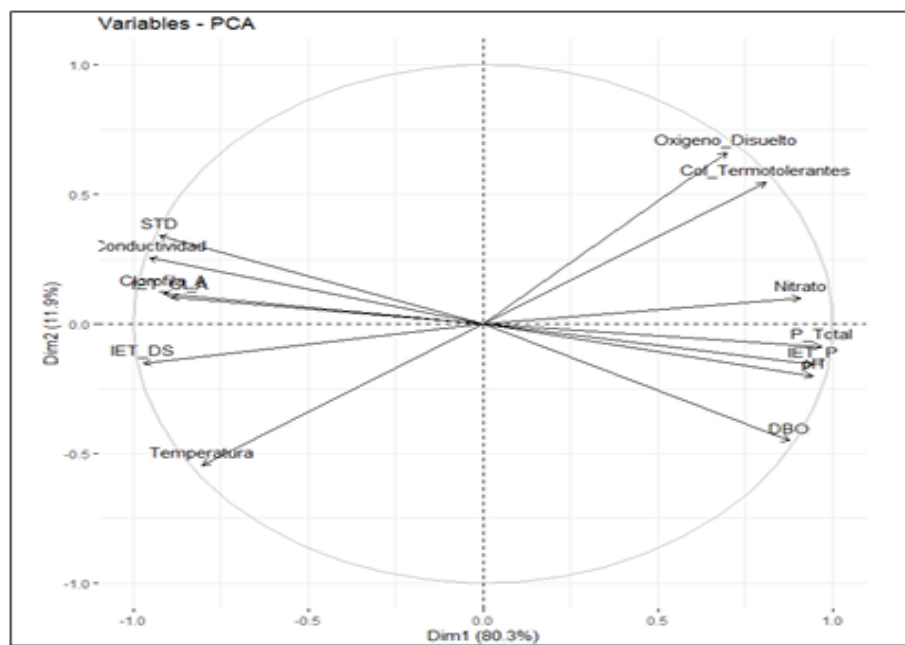


Figura 19. Análisis exploratorio de los parámetros evaluado con el ACP

En las Figuras 18 y 19, se puede apreciar una variedad de correlaciones entre diferentes parámetros. Aquellos que exhibieron una correlación positiva perfecta incluyen: STD vs Conductividad (1), pH vs DBO (1), IET P vs Nitrato (0.943), Transparencia vs Nitrato (0.943), e IET P vs pH (0.943). Además, se observan correlaciones positivas muy fuertes, como IET P vs DBO (0.943), OD vs Coliformes totales (0.812), conductividad vs IET Cl A (0.771), e IET DS vs Temperatura (0.886). Asimismo, se destacan las correlaciones negativas perfectas, como pH vs Conductividad (-1), pH vs STD (-1), Temperatura vs OD (-0.943), Conductividad vs DBO (-1), STD vs pH (-1), y STD vs DBO (-1). Además, hay correlaciones negativas muy fuertes, como Temperatura vs Nitrato (-0.943), IET P vs Conductividad (-0.943), STD vs IET P (-0.943), Nitrato vs Temperatura (-0.943), IET DS vs Nitrato (-0.943), conductividad vs IET P (-0.943), IET P vs Temperatura (-0.829), Nitrato vs STD (-0.829), conductividad vs nitrato (-0.829), coliformes termotolerantes vs Temperatura (-0.812), y Coliformes termotolerantes vs IET DS (-0.841).

En este estudio se encontró una relación negativa muy fuerte (-0.829) entre la temperatura y el fósforo total, y una variación negativa perfecta (-0.943) entre la conductividad y el fósforo. Total, estos resultados coinciden con lo reportado por Carrera et al. (2018) encontraron que, en la época de sequía, la temperatura está correlacionada de manera negativa con el fosfato. El coeficiente de evaluación entre la concentración de fosfatos y la temperatura es -0.84, lo que indica que, a medida que aumenta la temperatura, la concentración de fosfatos disminuye. La influencia de la conductividad en época de sequía tiene un comportamiento similar al de la temperatura, pues su relación es muy alta con 0.804. Con respecto al pH, el coeficiente de relación fue bajo, lo que sugiere que las variables son independientes. En época de lluvias, el coeficiente de correlación fue bajo tanto para la temperatura, CE y pH versus la concentración de fosfatos, lo que nos indicaría que estas variables son independientes en temporada de avenida.

Los resultados indican una correlación positiva muy fuerte (0.771) entre la concentración de Clorofila A y los STD, lo cual coincide en gran medida con los hallazgos de Tito (2019) quien identificó una correlación positiva perfecta entre la concentración de Clorofila A y los STD, con un coeficiente de correlación de 0.999. Esto implica que, al aumentar la concentración de clorofila A en el agua, también aumenta la concentración de sólidos disueltos.

De acuerdo con los resultados encontrados en el presente trabajo de investigación, se encontró una correlación negativamente perfecta entre la temperatura y el OD

del agua de la Laguna Verde Pozo, esto concuerda con lo reportado por Arregoces et al. (2021), quien indica que la temperatura del agua en cuerpos poco profundos desempeña un papel fundamental en la dinámica de los gases. Durante épocas secas, esta influencia se intensifica, lo que puede llevar a una disminución significativa en la concentración de oxígeno disuelto, especialmente en cuerpos de agua poco profundos afectados por la evaporación.

Buta et al. (2023) descubrieron que las algas verdeazuladas son responsables de la eutrofización en el embalse estudiado, causando un deterioro significativo en la calidad del agua. Destacaron que el fósforo total (Pt) es fundamental para las floraciones de algas, ya que es su principal fuente de alimento. Además, señalaron que parámetros como la concentración de oxígeno disuelto (OD), la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) reflejan un deterioro en las condiciones de oxígeno debido al consumo de oxígeno por parte de las algas para sus procesos vitales. Estos resultados coinciden con los hallazgos de nuestro estudio, donde también observamos una correlación positiva fuerte entre la eutrofización, la concentración de fósforo total y la DBO5. Además, encontramos una relación negativa muy fuerte entre la eutrofización y la concentración de OD.

Después de revisar los datos, podemos afirmar que ciertos elementos como el pH, DBO, Clorofila A, Nitrato, Fósforo total y coliformes termotolerantes están muy relacionados con la eutrofización. Estos elementos tienden a aumentar juntos cuando la eutrofización aumenta. Esto está respaldado por la investigación de Ramos (2022), que también encontró esta relación en la Laguna de los Milagros. En resumen, cuando estos valores suben, el nivel de eutrofización también tiende a subir. Además, podemos afirmar que a medida que los valores de estos parámetros aumentan, el nivel de eutrofización también alcanzará su punto más alto.

## V. CONCLUSIONES

1. Se determinó el índice de calidad ambiental de la Laguna Verde Pozo, el cual fue clasificado como pésimo, ya que se registraron valores iguales a 0.
2. Se determinó el índice de estado trófico del agua de la laguna de Verde Pozo, encontrando un estado hipertrófico durante la temporada de estiaje y eutrófico durante la temporada de avenida.
3. Se estimó la relación que existe entre el índice de índice de estado trófico del agua con los parámetros fisicoquímicos y coliformes termotolerantes del agua, los parámetros relacionados positiva muy fuerte con el estado trófico incluyeron a el pH, los sólidos totales disueltos, la demanda bioquímica de oxígeno, los nitratos, la clorofila A y el fósforo total.

## **VI. PROPUESTAS A FUTURO**

- Realizar un inventario de biodiversidad presentes en la laguna de Verde Pozo.
- Estudiar la presencia de cianobacterias presentes en la Laguna Verde Pozo.
- Llevar a cabo una evaluación anual de la laguna de Verde Pozo para analizar la dinámica de los parámetros ambientales a lo largo de las estaciones del año.
- Identificar posibles bioindicadores en flora y fauna en la Laguna Verde Pozo.

## VII. REFERENCIAS

- Aguilar, G. (2020). *Determinación del estado trófico actual de la laguna Busa, cantón San Fernando, mediante la cuantificación de la clorofila A*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19563>
- Aknaf, A., Akodad, M., Moumen, A., Ben Chekroun, K., Elhamouti, C., Bailal, A., y Baghour, M. (2015). Impacto del nuevo paso en la eutrofización de la laguna Marchica: estudio de los dos sitios Bou Areg y Mohandis. *J. Mater. Environ.*, 6(10), 2939–2943.
- American Public Health Association, Baird (APHA), R., Eaton, A., Rice, E., American Water Works Association, & Water Environment Federation. (2017). *Standard methods: For the examination of water and wastewater (23rd ed.)*. Washington, DC: American Public Health Association. <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.216>
- Anderson, D., Sweeney, D., y Williams, T. (1999). *Estadística para administración y economía*. México: International Thomson Editores. <https://www.upg.mx/wp-content/uploads/2015/10/LIBRO-13-Estadistica-para-administracion-y-economia.pdf>
- Arregocés, L., Zambrano, M., y Bello, M. (2021). Estado trófico de las lagunas interiores de Playa Blanca (Isla Barú) durante la época climática seca de 2016. *Bol. Cient. CIOH*, 40(2), 3-12, Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/360127633> El Estado trofico de las lagun as interiores de isla Baru durante la epoca climatica seca de 2016
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*. Recuperado de <https://www.ana.gob.pe/publicaciones/protocolo-nacional-para-el-monitoreo-de-la-calidad-de-los-recursos-hidricos-0>
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2018). *Metodología para la determinación del Índice de Calidad de Agua (ICA-PE) aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales*. Recuperado de <https://www.ana.gob.pe/publicaciones/metodologia-para-la-determinacion-del-indice-de-calidad-de-agua-ica-pe-aplicado-los>

- Barrenechea, A. (2004). Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. Editorial Acribia. Lima, Perú. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf>
- Buta, B., Wiatkowski, M., Gruss, L., Tomczyk, P. y Kasperek, R. (2023) Spatio-temporal evolution of eutrophication and water quality in the Turawa dam reservoir, Poland. *Revista Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36936-1>.
- Caballero, S. (2022). Evaluación de la calidad del agua a través de variables físicas-químicas e indicadores de eutrofización en el Embalse Hidroeléctrico Apanás - Asturias (RAMSAR No. 1137), Jinotega. *Revista Torreón Universitario*, vol. 12(33). <https://doi.org/10.5377/rtu.v12i33.15897>
- Cárdenas Y., y Chávez F. (2022). Índice de estado trófico del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje - 2021. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://repositorio.unh.edu.pe/items/7f7d707f-417b-49ee-9ea9-218a8d282aa9>
- Carlson, R. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnological Research Center*, 22(2), 361-369. <https://doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361>
- Carlson, R., y Simpson, J. (1996). Una guía del coordinador de métodos de monitoreo de lagos voluntarios. <http://www.secchidipin.org/index.php/monitoring-methods/trophic-state-equations/>.
- Carrera, D., Guerrón, E., Cajas, L., González, T., Guamán, E., y Velarde, P. (2018). Relación de temperatura, pH y CE en la variación de concentración de fosfatos en el Río Grande, Cantón Chone. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador. DOI: [10.24133/cctespe.v13i1.807](https://doi.org/10.24133/cctespe.v13i1.807)
- Chapa C. (2010). Eutrofización abundancia que mata. [https://www.researchgate.net/publication/236649916\\_Eutrofizacion\\_Abundancia\\_que\\_mata](https://www.researchgate.net/publication/236649916_Eutrofizacion_Abundancia_que_mata)
- Chávez, J., & Orantes, E. (2010). Reconocimiento de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos como alternativa para determinar la calidad de agua del río Sensunapan, departamento de Sonsonate, El Salvador C.A. <https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UES.87212>
- Cosme, P. (2023). *Determinación del estado trófico utilizando índices numéricos en la Laguna La Pampa, Humedales de Villa, Lima, Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/7909>

- Delgado C. (2021). *Caracterización del estado actual de eutrofización a partir de los parámetros físicos, químicos y biológicos del humedal de Conococha, Áncash*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo] <https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5137>
- Diaz, J., y Rosenberg, R. (2008). Zonas muertas en expansión y sus consecuencias para los ecosistemas marinos. *Science*, 321(5891), 926-929. [https://www.researchgate.net/publication/23171423\\_Spreading\\_Dead\\_Zones\\_and\\_Consequences\\_for\\_Marine\\_Ecosystems](https://www.researchgate.net/publication/23171423_Spreading_Dead_Zones_and_Consequences_for_Marine_Ecosystems)
- Espinoza, S. (2018). *Impacto ambiental de pesticidas en el cultivo de la papa en el Distrito de Chaglla, en la Provincia de Pachitea, año 2017*. [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio UDH. <http://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1340/ESPINOZA%20MACHUCA%2C%20Sherly.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hach, (sf). Sólidos totales y disueltos. Recuperado de <https://es.hach.com/parameters/solids>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). Metodología de la Investigación (6.ª ed.). McGraw Hill Education. <https://academia.utp.edu.co/grupobasicoclinicayaplicadas/files/2013/06/Metodolog%C3%ADa-de-la-Investigaci%C3%B3n.pdf>
- Hernández, R., & Fernández, C. (1998). Metodología de la investigación. México: McGraw-Hill.
- Hinrichsen, D., Robey, B. y Upadhyay, U. (1998) Soluciones para un mundo con escasez de agua. Informe N°. 14, Escuela de Salud Pública Johns Hopkins, Programa de Información sobre la Población, Baltimore. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2000792>
- Huming Ingenieros S.A.C. (2015). Estudio de Impacto Ambiental (EIA) de la hidroeléctrica Huallaga I.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2017). Población total y proyectada por sexo, según departamento, provincia y distrito, 2017. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/poblacion-y-vivienda/>
- Lara, R., Arreola Lizárraga, J. A., Calderón Aguilera, L. E., Camacho Ibar, V. F., de la Lanza Espino, G., Escofet Giansone, A., Zertuche González, J. A. (2008). Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales, en Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, 109-134. Recuperado de

[http://www2.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20I/I04\\_Losecosistemas.pdf](http://www2.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20I/I04_Losecosistemas.pdf).

- Leng, M.; Feng, L.; Wu, X.; Ge, X.; Lin, X.; Song, S.; Xu, R.; Sun, Z. (2023) Assessment of Water Eutrophication at Bao'an Lake in the Middle Reaches of the Yangtze River Based on Multiple Methods. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 3, 20 (4615). <https://doi.org/10.3390/ijerph20054615>
- López, C. (2012). *Protocolos de práctica de Microbiología Ambiental*. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María.
- Marín, R. (2019). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos* (2nd ed.). Edit. Díaz de Santos. <https://www.editdiazdesantos.com/libros/marin-galvin-rafael-fisicoquimica-y-microbiologia-de-los-medios-acuaticos-L30002100401.html>
- Medina, R. (2023). Determinación del estado trófico de la laguna de Tiscapa, ubicada en el departamento de Managua, Nicaragua. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, Vol. 18, N° 1, <https://doi.org/10.36829/08ASA.v18i1.1588>
- Ministerio del Ambiente (2017). *Estándares de Calidad Ambiental para Agua*. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones>
- Ministerio Nacional del Ambiente (MINAM). (7 de junio del 2017). *DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*. Diario el peruano. 10-19. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones>
- Moreta, P. (2008). *La eutrofización de los lagos y sus consecuencias*. [Tesis Pregrado, Universidad Técnica del Norte, Guayaquil] [https://www.academia.edu/1439928/La\\_eutrofizaci%C3%B3n\\_de\\_los\\_lagos\\_y\\_sus\\_consecuencias\\_Ibarra\\_2008Principio\\_del\\_formulario](https://www.academia.edu/1439928/La_eutrofizaci%C3%B3n_de_los_lagos_y_sus_consecuencias_Ibarra_2008Principio_del_formulario)
- Naciones Unidas. (2003). *Agua para las personas, agua para la vida: Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas (WWDR). Parte II: Un vistazo a los recursos de agua dulce del mundo*. Programa de Evaluación del Agua Mundial (WWAP), UNESCO. <http://www.unesco.org>
- Navarro, G., Aguirre, F., y Maldonado, M. (2015). *Biodiversidad, ecología y conservación del Valle Central de Cochabamba*. Centro de Biodiversidad y Genética (CBG). 300 p.

<https://www.researchgate.net/publication/284186900> Biodiversidad Ecología y Conservación del Valle Central de Cochabamba

Neverova, E. (2021). Surface Water Eutrophication in Poland: Assessment, Impacts, and Mitigation. Department of Environmental Management and Protection, Faculty of Surveying and Environmental Engineering, AGH University of Science and Technology, Kraków.

<https://www.researchgate.net/publication/349450651> Surface Water Eutrophication in Poland Assessment and Prevention

Ngadi, H., Layachi, M., Azizi, G., Baghour, M., Esseffar, S., Loukili, H., & Moumen, A. (2023). Evaluación de la calidad del agua y el riesgo de eutrofización en el sitio Ramsar en el norte mediterráneo marroquí (laguna de Marchica): Un enfoque estadístico multivariado. OLMAN-RL, Université Mohammed 1er, B.P: 300, Selouane, 62700, Nador, Morocco. Marine Pollution Bulletin.

<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115373>

Oldani, N. (1990). Variaciones de la abundancia de peces del Valle del Río Paraná (Argentina). Hidrobiología Tropical, 23(1), 67-76.

<https://www.researchgate.net/publication/286073289> Fluctuaciones de la abundancia de peces en el Alto Parana Corrientes Argentina Publicaciones de la Comisión Administradora del Río Uruguay

Organización de las Naciones Unidas. (2014). Calidad del agua.

<https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

Osorio, L., Navarro, S., y Cuellar, S. (2020). Estado actual de eutrofización utilizando el modelo matemático del índice de estado trófico (IET) en la laguna de Paca de la provincia de Jauja. Revista de la UNCP, 17(1), 139-142.

<https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2020.17.1391>

Peña, E., Palacios, M., y Ospina, N. (2005). Algas como indicadores de contaminación. Cali, Colombia. Universidad del Valle.

<https://www.researchgate.net/publication/257297411> Algas como indicadores de contaminación

Ramalho, R. (2004). Tratamiento de aguas residuales. Facultad de Ciencia e Ingeniería, Universidad Naval, Quebec, Canadá. Editorial Reverte S.A. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=30etGjzPXyWC&printsec=copyright&hl=es#v=onepage&q&f=false>

- Ramos, Y. (2022). Determinación de los parámetros fisicoquímicos, biológicos y su relación con el nivel de eutrofización en la laguna de los Milagros, Provincia de Leoncio Prado, Huánuco 2021. [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio UDH. <http://repositorio.udh.edu.pe/handle/20.500.14257/4093?show=full>
- Rodger, B., Andrew, E., & Eugene, R. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater (23rd ed.). Washington, DC: American Public Health Association.
- Roldán, G., y Ramírez, J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical (2da ed.). Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. [https://www.researchgate.net/publication/309563403\\_Fundamentos\\_de\\_limnologia\\_neotropical](https://www.researchgate.net/publication/309563403_Fundamentos_de_limnologia_neotropical)
- Sánchez, O., Herzig, M., Peters, E., Márquez-Huitzil, R., & Zambrano, L. (editores). (2007). Perspectiva de conservación de ecosistemas acuáticos en México. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/Perpectivas-sobre-conservaci%C3%B3n-de-ecosistemas-acu%C3%A1ticos-en-M%C3%A9xico.pdf>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2024). Estación meteorológica convencional del distrito de Chaglla. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
- Sierra, A. (2011). Calidad del agua, evaluación y diagnóstico (Primera edición). [https://www.academia.edu/9511155/Calidad\\_del\\_agua\\_evaluaci%C3%B3n\\_y\\_diagn%C3%B3stico](https://www.academia.edu/9511155/Calidad_del_agua_evaluaci%C3%B3n_y_diagn%C3%B3stico)
- Smith, V. (2003). Eutrofización de ecosistemas de agua dulce y marinos costeros: Un problema global. *Investigación en Ciencias Ambientales y Contaminación*, 10(2), 126-139. <https://link.springer.com/article/10.1065/espr2002.12.142>
- Solitoke, H. et al. (2018). Variabilidad estacional y espacial de parámetros fisicoquímicos de un sistema lagunar semi cerrado: el complejo de la laguna Zowla-Aného. *Revista Internacional de Estudios Ambientales*.
- Sovell, L. (2009). El tubo de transparencia. Recuperado el 21 de noviembre de 2022, de la Agencia de Control de la Contaminación: [http://www.secchidipin.org/Transparency\\_Tube.htm](http://www.secchidipin.org/Transparency_Tube.htm)
- Tito, Z. (2019). *Estimación del nivel de eutrofización mediante el índice de estado trófico y su impacto ambiental en aguas del Área Natural Protegida Pantanos de Villa – Chorrillos 2019*. [ tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo], Repositorio UCV <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/66666>

- Tucto, R. (2014). *Limnología y nivel trófico de la Laguna de Urcos-Cusco*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/1614>
- Volpedo, A., y Vaz dos Santos, A (2015). *Métodos de estudios con otolitos: principios y aplicaciones / Métodos de estudios con otolitos: principios (1a ed., edición bilingüe)*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. [https://www.researchgate.net/profile/EstebanAvigliano/publication/316695782\\_MICROQUIMICA\\_DEL\\_OTOLITO\\_CONCEPTOS\\_METODOS\\_Y\\_APLICACIONES/links/590e8fe6458515978185c9f2/MICROQUIMICA-DEL-OTOLITO-CONCEPTOS-METODOS-Y-APLICACIONES.pdf](https://www.researchgate.net/profile/EstebanAvigliano/publication/316695782_MICROQUIMICA_DEL_OTOLITO_CONCEPTOS_METODOS_Y_APLICACIONES/links/590e8fe6458515978185c9f2/MICROQUIMICA-DEL-OTOLITO-CONCEPTOS-METODOS-Y-APLICACIONES.pdf)
- Walsh Peru S.A. (2010). *Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Central Hidroeléctrica Chaglla Chaglla*. Recuperado de [https://www.academia.edu/7698082/ESTUDIO\\_DE\\_IMPACTO\\_AMBIENTAL\\_PROYECTO\\_CENTRAL\\_HIDROEL%C3%89CTRICA\\_CHAGLLA\\_CHAGLLA](https://www.academia.edu/7698082/ESTUDIO_DE_IMPACTO_AMBIENTAL_PROYECTO_CENTRAL_HIDROEL%C3%89CTRICA_CHAGLLA_CHAGLLA)
- Zambrano, A. (2018). *Evaluación del grado de eutrofización de la laguna natural El Carmen y su situación con las épocas del año*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López"].
- Zeng, Y.; Chang, F.; Wen, X.; Duan, L.; Zhang, Y.; Liu, Q.; Zhang, H. (2022). Seasonal Variation in the Water Quality and Eutrophication of Lake Xingyun in Southwestern China. *Water*. 14(3677). <https://doi.org/10.3390/w14223677>

ANEXO A

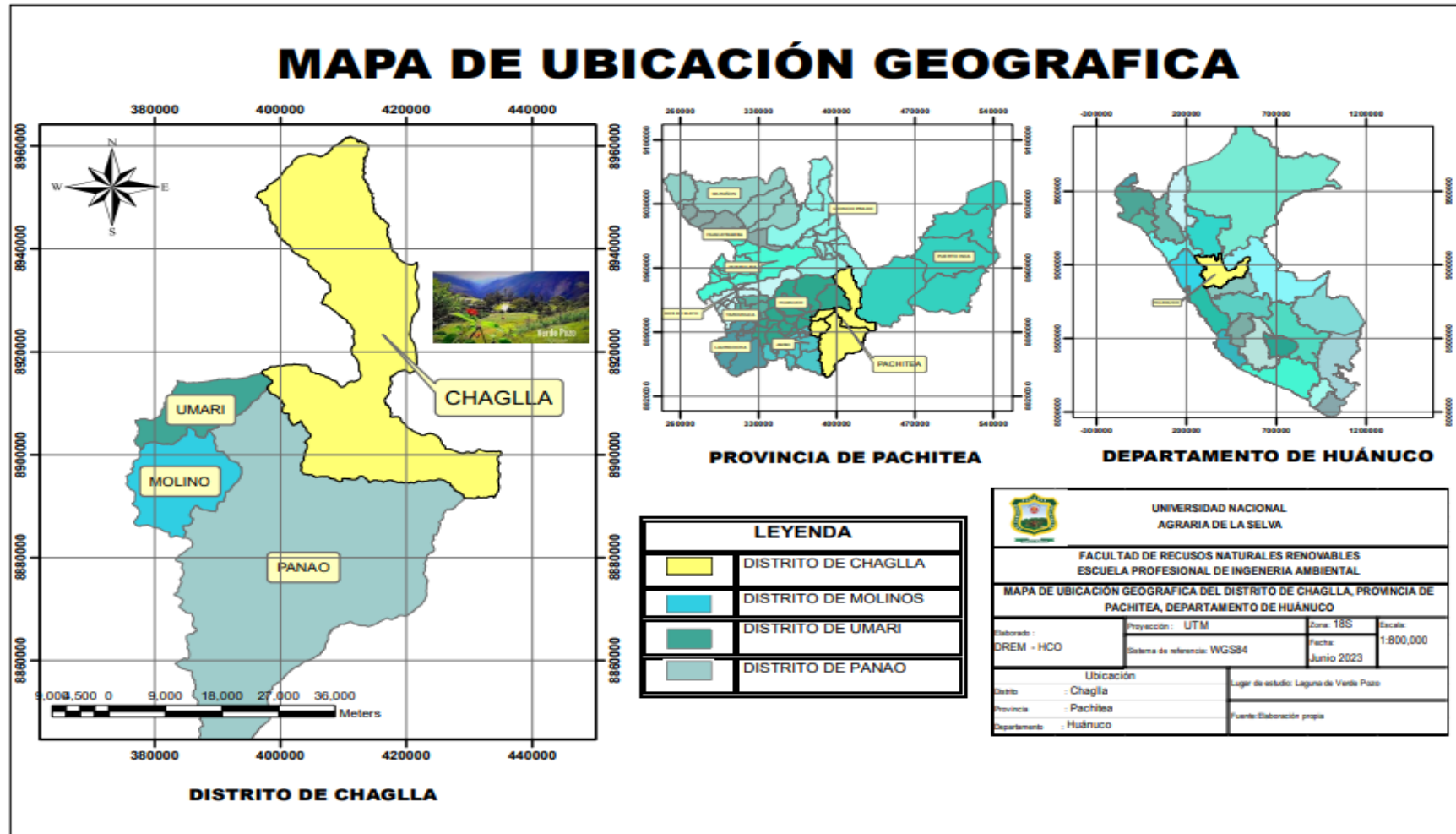


Figura 20. Mapa de ubicación de la Zona de estudio



## ANEXO C

Tabla 22. Resultados de parámetros obtenidos en campo

Mes	Punto de muestreo	Fecha	Hora	Coordenadas WGS 18L		Parámetros de campo						Observaciones
				X	Y	pH	Temp °C	OD (mg/L)	Cond (µS/cm)	STD (mg/L)	DS (m)	
Agosto	PM1	30/08/2023	10.15 am	399015	8915802	9.41	15.40	5.02	266.00	131.10	0.26	Entrada de agua hacia la laguna
	PM2	30/08/2023	11.32 am	398994	8915823	9.78	15.70	4.15	267.00	129.20	0.21	Presencia de residuos sólidos
	PM3	30/08/2023	12.05 am	398979	8915812	9.93	15.80	4.39	279.00	131.20	0.25	presencia de materia orgánica (hojas y restos de palos).
	PM4	30/08/2023	12.22 am	398974	8915793	9.70	15.90	4.89	271.00	133.90	0.26	Salida de agua
Setiembre	PM1	27/09/2023	10.06 am	399015	8915802	9.83	15.40	5.05	264.00	129.70	0.26	Entrada de agua hacia la laguna
	PM2	27/09/2023	11.11 am	398994	8915823	9.78	15.20	5.15	257.00	123.70	0.21	Presencia de residuos sólidos
	PM3	27/09/2023	11.49 am	398979	8915812	9.78	15.70	4.79	263.00	121.70	0.25	presencia de materia orgánica (hojas y restos de palos).
	PM4	27/09/2023	12.01 am	398974	8915793	9.71	15.80	5.04	266.00	122.90	0.25	Salida de agua
Octubre	PM1	29/10/2023	10.39 am	399015	8915802	9.71	14.40	4.93	301.00	154.40	0.27	Entrada de agua hacia la laguna
	PM2	29/10/2023	11.32 am	398994	8915823	9.47	14.10	5.66	289.00	144.50	0.25	Presencia de residuos sólidos
	PM3	29/10/2023	11.39 am	398979	8915812	9.47	14.00	5.50	299.00	144.50	0.25	presencia de materia orgánica (hojas y restos de palos).
	PM4	29/10/2023	12.06 am	398974	8915793	9.38	14.30	5.88	293.00	144.80	0.26	Salida de agua, se encontró un gato muerto cercano al punto
Noviembre	PM1	28/11/2023	09.50 am	399015	8915802	9.89	12.80	5.10	240.00	121.00	0.33	Entrada de agua hacia la laguna
	PM2	28/11/2023	10.22 am	398994	8915823	9.87	13.40	4.84	231.00	115.70	0.29	Presencia de residuos sólidos
	PM3	28/11/2023	10.51 am	398979	8915812	9.92	13.80	5.04	231.00	115.70	0.30	presencia de materia orgánica (hojas y restos de palos).
	PM4	28/11/2023	11.25 am	398974	8915793	9.92	12.90	5.43	237.00	113.60	0.30	Salida de agua
Diciembre	PM1	21/12/2023	10.00 am	399015	8915802	10.15	13.10	5.33	190.00	95.30	0.37	Entrada de agua hacia la laguna
	PM2	21/12/2023	11.32 am	398994	8915823	10.16	13.40	5.41	193.00	96.70	0.24	Presencia de residuos sólidos
	PM3	21/12/2023	12.05 am	398979	8915812	10.15	13.40	5.23	191.00	95.40	0.31	presencia de materia orgánica (hojas y restos de palos).
	PM4	21/12/2023	12.22 am	398974	8915793	10.21	13.30	5.60	194.00	97.60	0.34	Salida de agua
Enero	PM1	25/01/2024	10.12 am	399015	8915802	10.23	11.90	6.10	188.00	93.50	0.38	Entrada de agua hacia la laguna
	PM2	25/01/2024	10.52 am	398994	8915823	10.69	12.20	5.58	191.00	95.80	0.35	Presencia de residuos sólidos
	PM3	25/01/2024	11.33 am	398979	8915812	10.41	12.10	5.84	191.00	95.10	0.35	presencia de materia orgánica (hojas y restos de palos).
	PM4	25/01/2024	12.01 am	398974	8915793	10.39	12.10	5.79	192.00	94.60	0.36	Salida de agua

## ANEXO D

Tabla 23. Resumen de parámetros obtenidos en laboratorio

Mes	Punto de muestreo	Parámetros evaluados				
		DBO5 (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Fósforo Total(mg/L)	Clorofila A (mg/L)	Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml
Agosto	PM1	36.520	0.080	0.060	0.066	0.000
	PM2	37.100	0.000	0.059	0.059	0.000
	PM3	35.790	0.001	0.042	0.064	0.000
	PM4	33.440	0.000	0.049	0.067	0.000
Setiembre	PM1	47.350	0.090	0.101	0.067	0.000
	PM2	35.850	0.000	0.111	0.057	0.000
	PM3	40.790	0.010	0.095	0.065	0.000
	PM4	45.090	0.000	0.078	0.070	3.000
Octubre	PM1	24.180	2.000	0.062	0.079	3.000
	PM2	18.360	1.500	0.050	0.068	4.000
	PM3	23.950	1.400	0.059	0.064	3.000
	PM4	20.480	1.500	0.049	0.052	3.000
Noviembre	PM1	56.300	2.700	0.206	0.040	3.000
	PM2	53.990	1.800	0.157	0.049	4.000
	PM3	57.290	2.100	0.101	0.043	4.000
	PM4	55.360	2.700	0.072	0.031	4.000
Diciembre	PM1	59.370	16.800	0.124	0.048	3.000
	PM2	57.560	12.700	0.193	0.042	4.000
	PM3	49.230	17.800	0.134	0.046	3.000
	PM4	59.330	11.900	0.118	0.041	3.000
Enero	PM1	64.250	18.700	0.186	0.048	4.000
	PM2	58.230	17.200	0.222	0.042	7.000
	PM3	54.540	14.200	0.144	0.041	6.000
	PM4	60.440	12.500	0.193	0.042	4.000

## ANEXO E

Tabla 24. Prueba de normalidad

<b>Variable</b>	<b>Estadístico Shapiro_Wilk</b>	<b>P_valor</b>	<b>Interpretación</b>
pH	0.9637	0.8474	Sigue distribución normal
Temperatura	0.8350	0.1184	Sigue distribución normal
Conductividad	0.9116	0.4468	Sigue distribución normal
Oxígeno Disuelto	0.9892	0.9871	Sigue distribución normal
STD	0.9390	0.6511	Sigue distribución normal
DBO	0.8957	0.3489	Sigue distribución normal
Clorofila A	0.7640	0.0272	No sigue distribución normal
Nitrato	0.7410	0.0162	No sigue distribución normal
P_Total	0.9358	0.6253	Sigue distribución normal
Col_Termotolerantes	0.9216	0.5171	Sigue distribución normal
IET_Cl_A	0.7789	0.0376	No sigue distribución normal
IET_P	0.9238	0.5332	Sigue distribución normal
IET_DS	0.9019	0.3852	Sigue distribución normal

**ANEXO F.****Tabla 25.** Extracción de Análisis de componentes principales

<b>Componente</b>	<b>Autovalores Iniciales</b>	<b>Porcentaje de varianza</b>	<b>Porcentaje acumulado</b>
CP1	2.201	36.680	36.680
CP2	1.253	20.880	57.560
CP3	1.158	19.310	76.870
CP4	0.897	14.940	91.810
CP5	0.316	5.270	97.080
CP6	0.175	2.920	100.000
CP7	0.000	0.000	100.000
CP8	0.000	0.000	100.000
CP9	0.000	0.000	100.000
CP10	0.000	0.000	100.000
CP11	0.000	0.000	100.000
CP12	0.000	0.000	100.000
CP13	0.000	0.000	100.000
CP14	0.000	0.000	100.000

## ANEXO G

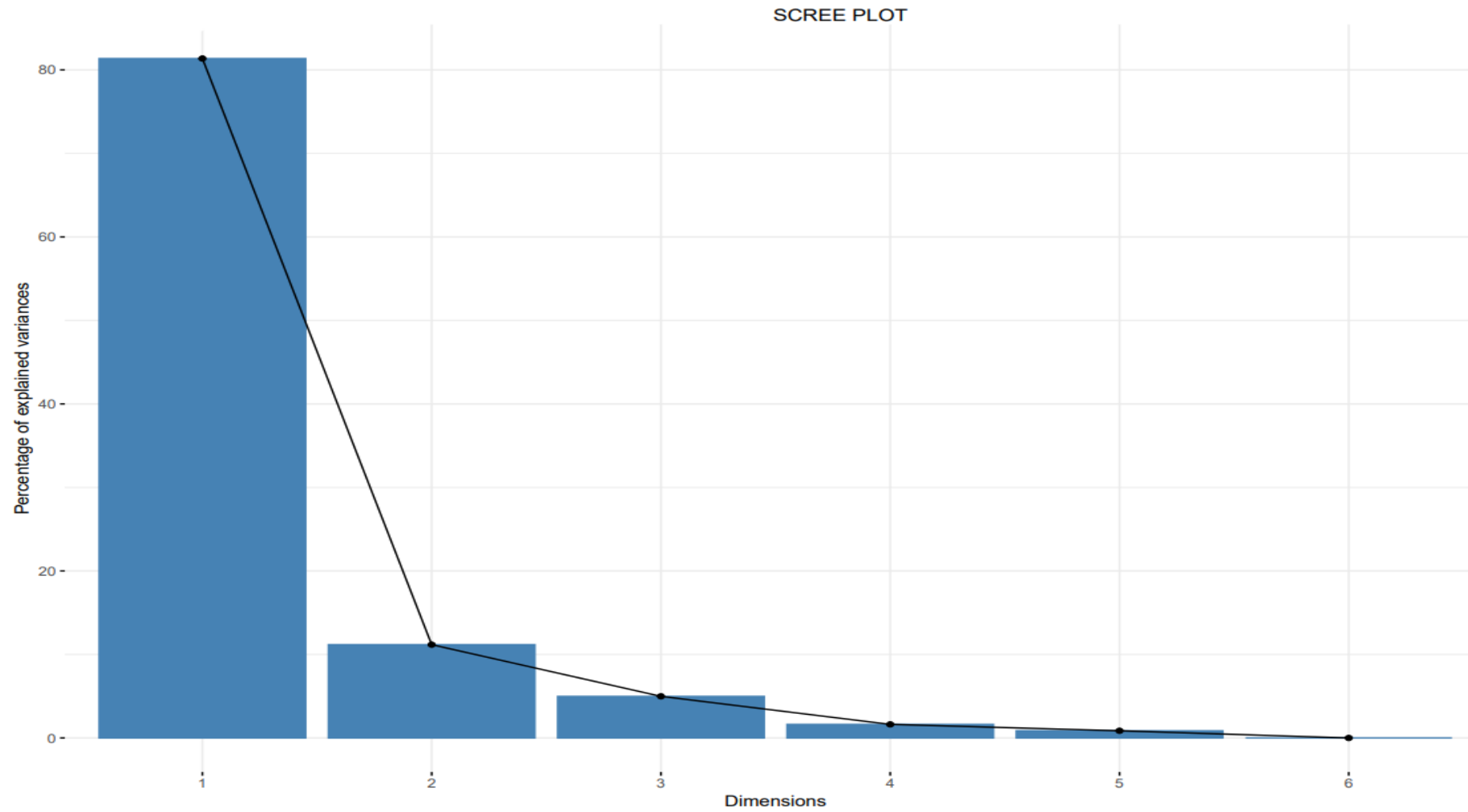


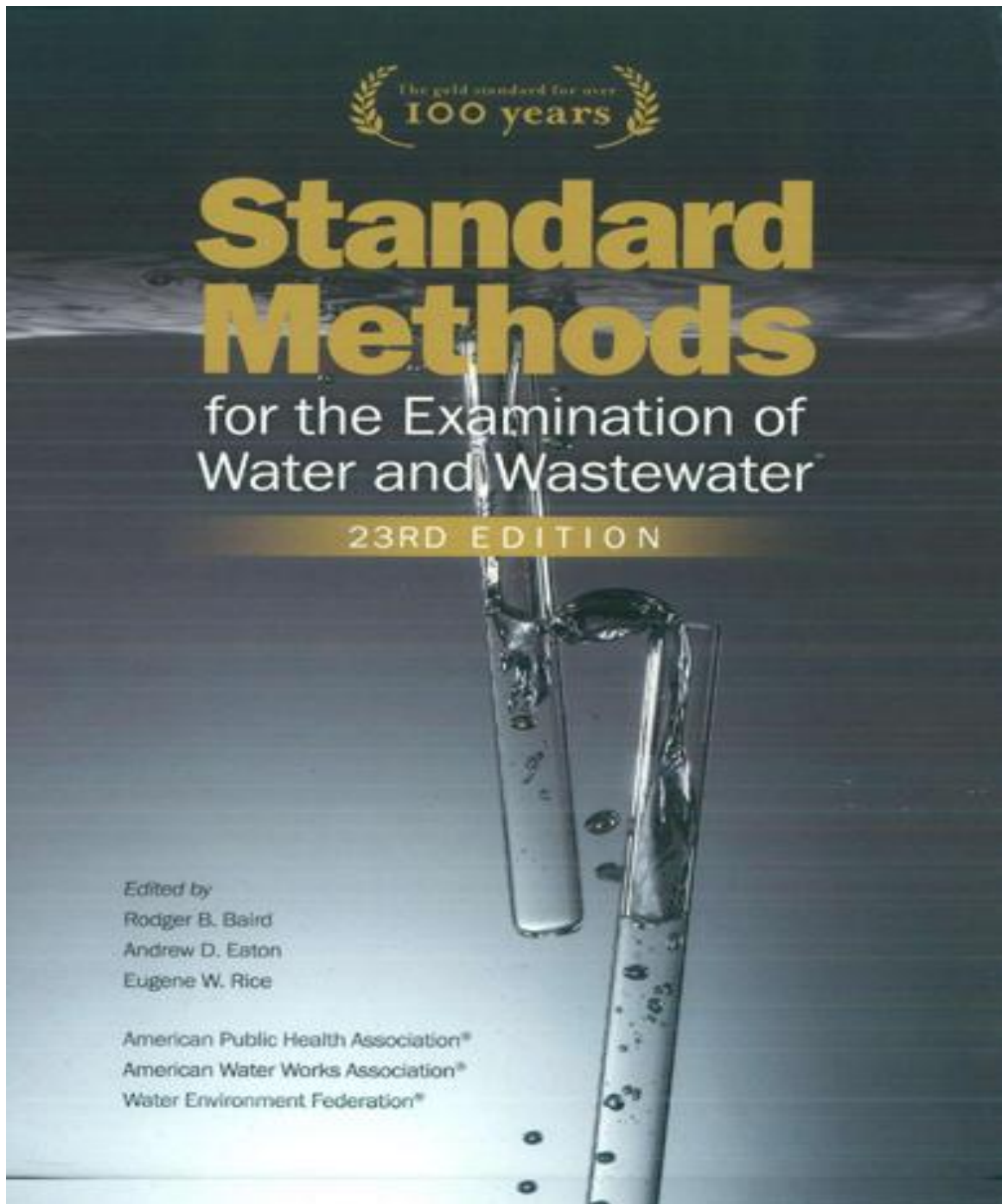
Figura 21. El Scree Plot del ACP

## ANEXO H

**Tabla 26.** Cargas de cada variable en los dos componentes principales (PC1 y PC2)

N°	Variable	PC1	PC2
1	pH	0.279	-0.171
2	Temperatura	-0.240	-0.426
3	Conductividad	-0.282	0.214
4	Oxígeno Disuelto	0.209	0.519
5	STD	-0.273	0.284
6	DBO	0.258	-0.371
7	Clorofila_A	-0.271	0.102
8	Nitrato	0.269	0.068
9	P_Total	0.286	-0.082
10	Col_Termotolerantes	0.242	0.428
11	IET_Cl_A	-0.264	0.091
12	IET_P	0.278	-0.139
13	IET_DS	-0.289	-0.113

## ANEXO I



**Figura 22.** Portada del libro métodos estándar para la examinación del agua y aguas residuales elaborado por APHA

**ANEXO J. Panel fotográfico****Figura 23.** Centro poblado Verde Pozo**Figura 24.** Toma de muestras de agua



**Figura 25.** Análisis de parámetros in situ



**Figura 26.** Presencia de residuos sólidos en el punto 2



**Figura 27.** Medida de la transparencia del agua con el Disco de Secchi



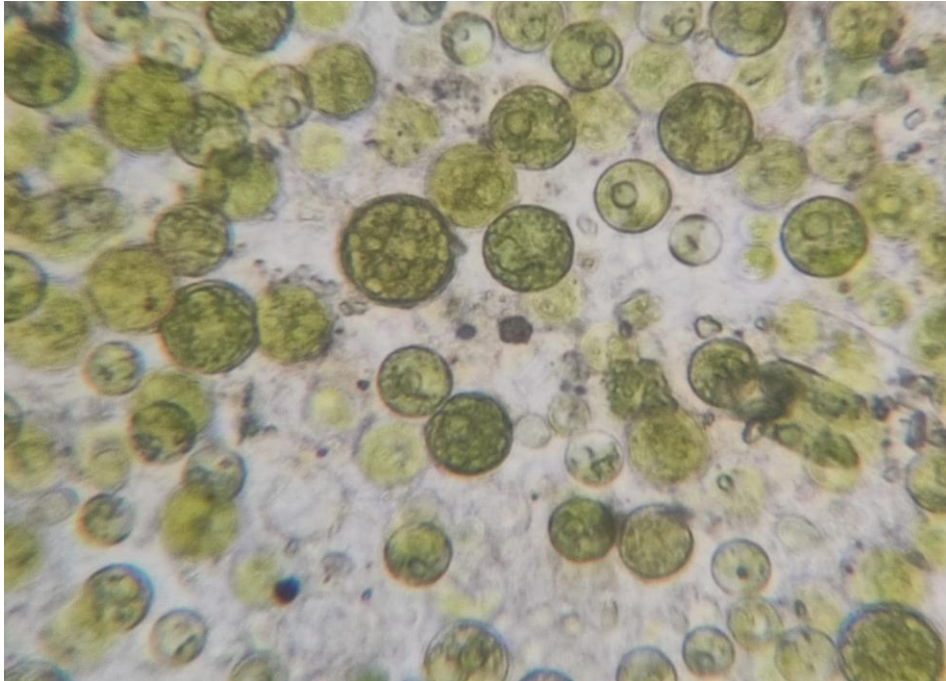
**Figura 28.** Rotulado y almacenamiento de las muestras de agua



**Figura 29.** Disco de Secchi



**Figura 30.** Anfibio de la zona de estudio



**Figura 31.** Imagen microscópica del tipo de alga presente en la zona de estudio  
Diatomea (Genero *Stephanodiscus* sp)



**Figura 32.** Identificación microscópica de tipo de alga



**Figura 33.** Siembra de las muestras de agua en el caldo peptona



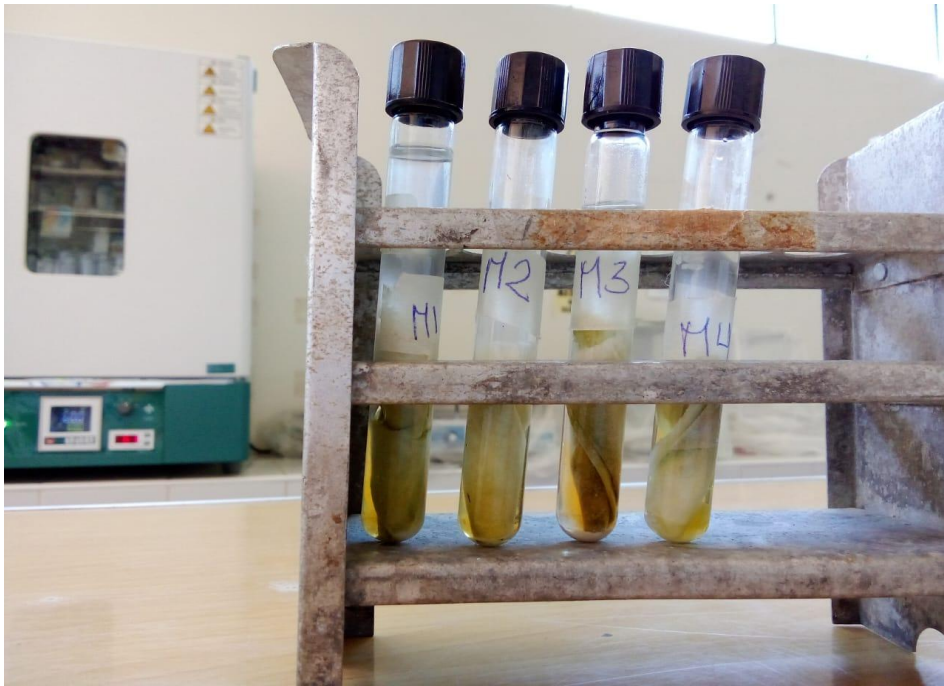
**Figura 34.** Preparación de caldo para cultivo



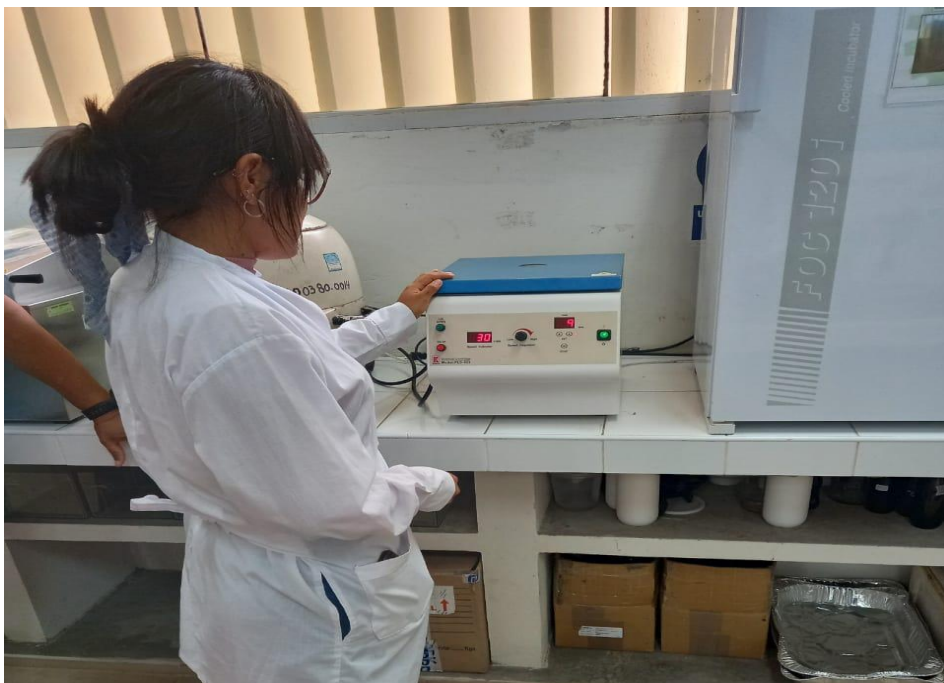
**Figura 35.** Siembra en caldo E.coli y caldo Brilla



**Figura 36.** Preservación de muestras



**Figura 37.** Filtrado de la muestra, mezclado con acetona al 90 %



**Figura 38.** Centrifugado del filtrado de la muestra 24 horas después de añadida la acetona al 90%



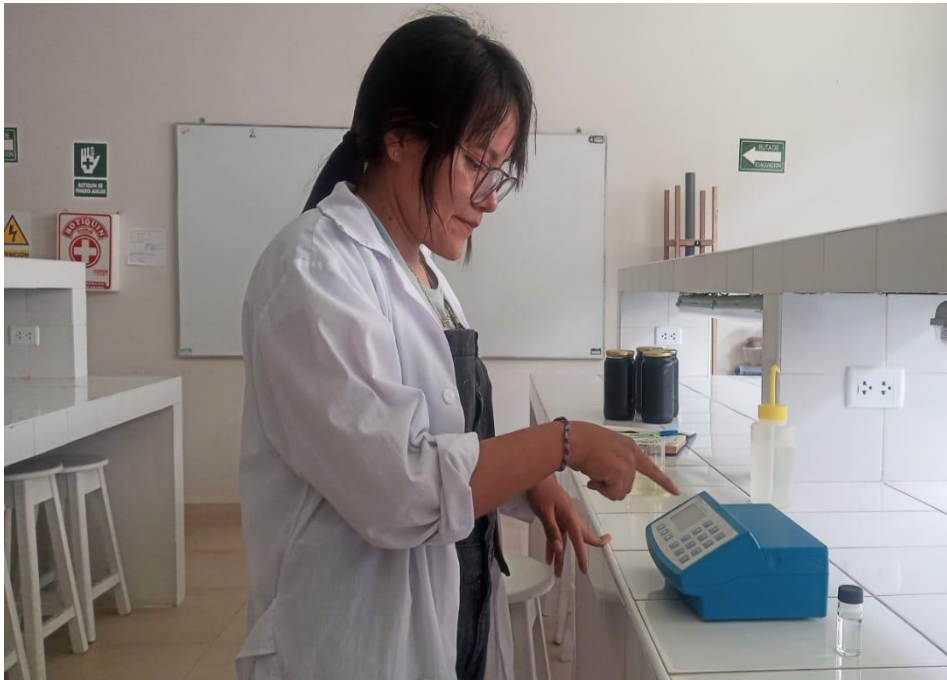
**Figura 39.** Centrifugado del filtrado



**Figura 40.** Determinación de la absorbancia de la muestra centrifugada



**Figura 41.** Determinación de nitrato



**Figura 42.** Determinación de fósforo total