

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO**



**Facultad de Ingeniería**

**Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos**

**NUTRIENTES EN LA LAGUNA EL GALLINAZO EN EL BOSQUE SECO  
CAÑONCILLO, LA LIBERTAD – PERÚ 2022**

**Bach. Acuña Vásquez, Jessica Mariela**

**Bach. Marín Fernández, Yuleydi Janet**

**Asesor:**

**Dr. Persi Vera Zelada**

**Cajamarca - Perú**

**Noviembre - 2022**

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO**



**Facultad de Ingeniería**

**Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos**

**NUTRIENTES EN LA LAGUNA EL GALLINAZO EN EL BOSQUE SECO  
CAÑONCILLO, LA LIBERTAD – PERÚ 2022**

**Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar el  
Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos**

**Bach. Acuña Vásquez, Jessica Mariela**

**Bach. Marín Fernández, Yuleydi Janet**

**Asesor:**

**Dr. Persi Vera Zelada**

**Cajamarca - Perú**

**Noviembre - 2022**

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y**

**PREVENCIÓN DE RIESGOS**

**APROBACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO**

**PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE  
RIESGOS**

**TÍTULO DE LA TESIS**

**NUTRIENTES EN LA LAGUNA EL GALLINAZO EN EL BOSQUE SECO  
CAÑONCILLO, LA LIBERTAD – PERÚ 2022**

**Presidente:** \_\_\_\_\_

**Secretario:** \_\_\_\_\_

**Vocal:** \_\_\_\_\_

**Asesor:** \_\_\_\_\_

## **DEDICATORIA**

Le dedicamos a Dios, por  
guiarnos en este camino, ya que  
gracias a él hemos logrado  
concluir nuestra carrera  
profesional, a nuestros padres por  
su amor, paciencia y apoyo  
incondicional en todos estos  
años, y a todas las personas que  
contribuyeron con sus consejos y  
aliento para seguir adelante en  
nuestra formación profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios por habernos dado fortaleza espiritual, a nuestra familia; en especial a nuestros padres quienes son nuestros pilares fundamentales y con sus consejos y apoyo incondicional nos motivaron a seguir siempre adelante.

Así mismo agradecer a nuestro asesor Dr. Persi Vera Zelada quien, con su experiencia y conocimiento nos guió durante todo nuestro proyecto para poder concluirlo con éxito.

Y a todos nuestros docentes de la Escuela de Ingeniería Ambiental por sus enseñanzas y apoyo brindado en el transcurso de nuestra formación profesional.

## RESUMEN

La presente investigación se desarrolló a causa de la problemática que conlleva la aceleración del proceso de eutrofización de los cuerpos de agua. Por ello, se decidió evaluar la laguna El Gallinazo, ubicada en el Bosque Seco Cañoncillo, departamento de La Libertad y se planteó como objetivo la determinación de su estado de eutrofización según la concentración de nutrientes y la transparencia del agua. Se establecieron 4 puntos de muestreo y se extrajeron 3 muestras réplicas (12 muestras en total); se analizaron en campo la temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, pH y transparencia; en laboratorio se analizaron las concentraciones de nitratos y fosfatos; y en gabinete se determinó el Índice de Eutrofización por Nutrientes (I) y el Índice de Estado Trófico Modificado por Toledo (IETM). Los resultados del “I” de ambos nutrientes resultaron ser menores a 3; mientras que los del IETM se encontraron en el intervalo de 30 a 44. Además, el análisis estadístico mediante la aplicación de la prueba de Wilcoxon permitió identificar valores de significancia de 0.068 para el “I” y de 0.458 para el IETM, aceptando de esta manera la hipótesis nula que afirma que el estado de eutrofización de la laguna El Gallinazo es oligotrófico.

**Palabras Clave:** Eutrofización, estado de eutrofización, laguna El Gallinazo, nutrientes, transparencia.

## ABSTRACT

The present research was developed due to the problems associated with the acceleration of the eutrophication process of water bodies. Therefore, it was decided to evaluate the El Gallinazo lagoon, located in the Cañoncillo Dry Forest, department of La Libertad, and the objective was to determine its eutrophication status according to the concentration of nutrients and the transparency of the water. Four sampling points were established and three replicate samples were extracted (12 samples in total); temperature, dissolved oxygen, conductivity, pH and transparency were analyzed in the field; nitrate and phosphate concentrations were analyzed in the laboratory; and the Nutrient Eutrophication Index (I) and the Toledo Modified Trophic State Index (IETM) were determined in the laboratory. The results of the "I" for both nutrients were found to be less than 3; while those of the IETM were found to be in the range of 30 to 44. In addition, the statistical analysis using the Wilcoxon test identified significance values of 0.068 for the "I" and 0.458 for the IETM, thus accepting the null hypothesis that the eutrophication state of El Gallinazo lagoon is oligotrophic.

**Keywords:** Eutrophication, eutrophication status, El Gallinazo lagoon, nutrients, transparency.

## ÍNDICE

Dedicatoria .....	i
Agradecimiento .....	ii
Resumen .....	iii
ABSTRACT .....	iv
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	10
1. Planteamiento del problema de investigación.....	10
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	10
1.2. Definición del problema .....	11
1.3. Objetivos.....	11
1.3.1. General.....	11
1.3.2. Específicos.....	12
1.4. Justificación e importancia .....	12
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	15
2. Fundamento teórico de la investigación.....	15
2.1. Antecedentes teóricos .....	15
2.2. Bases teóricas.....	20
2.2.1. Eutrofización.....	20
2.2.2. Proceso de eutrofización .....	21
2.2.3. Niveles de eutrofización.....	23
2.2.4. Causas de la eutrofización.....	25
2.2.5. Consecuencias de la eutrofización .....	27
2.2.6. Nutrientes en el proceso de eutrofización .....	29
2.2.7. Otros factores relacionados al proceso de eutrofización.....	30
2.2.8. Índice de Estado Trófico (IET) .....	33

2.2.9. Índice de Estado Trófico Modificado por Toledo (IETM) .....	34
2.2.10. Índice de Eutrofización por Nutriente (I).....	34
2.3. Definición de términos básicos.....	35
2.3.1. Cuerpo de agua.....	35
2.3.2. Sistema acuático.....	35
2.3.3. Laguna.....	36
2.3.4. Fitoplancton.....	36
2.3.5. Estado de eutrofización .....	36
2.3.6. Disco Secchi.....	37
2.4. Hipótesis .....	37
2.4.1. Operacionalización de Variables.....	37
<b>CAPÍTULO III: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>39</b>
3. Metodología de la investigación .....	39
3.1. Tipo de investigación.....	39
3.2. Diseño de la investigación .....	39
3.2.1. Localización del área de estudio .....	40
3.3. Población y muestra.....	42
3.3.1. Población.....	42
3.3.2. Muestra.....	42
3.3.3. Unidad de análisis .....	42
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	43
3.4.1. Materiales y equipos .....	44
3.4.2. Ubicación de los puntos de muestreo.....	45
3.4.3. Recolección de muestras .....	47
3.4.4. Medición de parámetros de campo .....	48
3.4.5. Trabajo de laboratorio.....	49

3.5. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos.....	52
3.6. Interpretación de datos.....	54
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
4. Resultados y discusiones.....	56
4.1. Presentación, análisis e interpretación de los resultados .....	56
4.1.1. Resultados de los parámetros de campo.....	56
4.1.2. Resultados de los nutrientes.....	65
4.1.3. Resultados del Índice de Eutrofización por Nutrientes.....	68
4.1.4. Resultados del Índice de Estado Trófico Modificado por Toledo	72
4.1.5. Correlaciones.....	73
4.2. Discusión de resultados .....	78
4.3. Contrastación de hipótesis .....	81
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	84
5.1. Conclusiones .....	84
5.2. Recomendaciones.....	86
ANEXOS.....	92
ANEXO A.....	92
ANEXO B .....	95
ANEXO C .....	97
ANEXO D.....	99
ANEXO E .....	100

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	38
Tabla 2. Coordenadas UTM de la ubicación de la laguna El Gallinazo .....	42
Tabla 3. Coordenadas UTM de los puntos de muestreo .....	46
Tabla 4. Clasificación del Índice de Eutrofización de Nutrientes .....	53
Tabla 5. Clasificación del Índice de Estado Trófico de Modificado por Toledo ..	54
Tabla 6. Resultados de temperatura (°C) de la laguna El Gallinazo .....	57
Tabla 7. Resultados de oxígeno disuelto (mg/L) de la laguna El Gallinazo .....	59
Tabla 8. Resultados de conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) de la laguna El Gallinazo .....	61
Tabla 9. Resultados de pH de la laguna El Gallinazo .....	62
Tabla 10. Resultados de transparencia (m) de la laguna El Gallinazo .....	64
Tabla 11. Resultados de nitratos (mg/L) de la laguna El Gallinazo.....	66
Tabla 12. Resultados de fosfatos (mg/L) de la laguna El Gallinazo .....	67
Tabla 13. Resultados del Índice de Eutrofización por Nutrientes según nitratos de la laguna El Gallinazo .....	69
Tabla 14. Resultados del Índice de Eutrofización por Nutrientes según fosfatos de la laguna El Gallinazo .....	71
Tabla 15. Resultados del Índice de Estado Trófico Modificado por Toledo según la transparencia de la laguna El Gallinazo .....	72
Tabla 16. Prueba de normalidad de los parámetros principales .....	74
Tabla 17. Coeficiente de correlación de Spearman entre las variables analizadas	75
Tabla 18. Contrastación de hipótesis.....	82

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la laguna El Gallinazo.....	41
Figura 2. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo.....	46
Figura 3. Distribución de la recolección de muestras .....	48
Figura 4. Resultados de temperatura (°C) promedio de los puntos de muestreo ..	58
Figura 5. Resultados de oxígeno disuelto (mg/L) promedio de los puntos de muestreo .....	60
Figura 6. Resultados de conductividad eléctrica (µS/cm) promedio de los puntos de muestreo .....	61
Figura 7. Resultados de pH promedio de los puntos de muestreo .....	63
Figura 8. Resultados de transparencia (m) promedio de los puntos de muestreo .	64
Figura 9. Resultados de nitratos (mg/L) promedio de los puntos de muestreo .....	66
Figura 10. Resultados de fosfatos (mg/L) promedio de los puntos de muestreo ..	68
Figura 11. Resultados del Índice de Eutrofización por Nutrientes según nitratos de los puntos de muestreo.....	70
Figura 12. Resultados del Índice de Eutrofización por Nutrientes según fosfatos de los puntos de muestreo.....	71
Figura 13. Resultados del Índice de Estado Trófico Modificado por Toledo según la transparencia de los puntos de muestreo.....	73
Figura 14. Diagrama de dispersión de nitratos - fosfatos.....	76
Figura 15. Diagrama de dispersión de nitratos - transparencia .....	77
Figura 16. Diagrama de dispersión de fosfatos - transparencia .....	78

# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

## 1. Planteamiento del problema de investigación

### 1.1. Descripción de la realidad problemática

Los lagos y lagunas son importantes ecosistemas de agua dulce que proveen del recurso hídrico tanto a los seres humanos como a los animales y que albergan gran cantidad de organismos vivos y microorganismos. Además, en algunos casos sus aguas son destinadas a actividades económicas, tales como agrícolas, ganaderas, turísticas y recreativas.

Según el Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI, 2015) existen 12 202 lagunas alrededor de todo el territorio peruano, de las cuales, el 61% pertenece a la vertiente del Atlántico, el 32% a la vertiente del Pacífico y el 7% a la vertiente del Titicaca.

Estos cuerpos de agua suelen verse afectados por un fenómeno llamado eutrofización, que consiste en el crecimiento y desarrollo excesivo de vegetación, a raíz del aumento de nutrientes, principalmente nitratos y fosfatos, que pueden ser introducidos en el agua mediante diversas fuentes; como puntuales (vertimientos directos) o en amplias áreas de terreno por la escorrentía (Blancas y Hervás, 2001).

Los problemas de eutrofización se relacionan con las condiciones ambientales de los ambientes acuáticos; por lo que se considera

actualmente, una de las problemáticas principales a nivel mundial que deteriora e impacta directamente la calidad de las aguas superficiales (Delbene, 2020), y por lo tanto influye negativamente en el desarrollo de la vida acuática por las condiciones anóxicas que se propician (García, 2016). Es por ello, que se considera importante detectar a tiempo el nivel de eutrofización de un cuerpo de agua para poder actuar rápidamente y evitar pérdidas de los organismos e incluso de todo el cuerpo de agua, pues, en algunos casos han desaparecido totalmente, llegando a convertirse en tierra sólida.

## **1.2. Definición del problema**

¿Según la concentración de nutrientes y la transparencia del agua, que estado de eutrofización presenta la laguna El Gallinazo en el Bosque Seco de Cañoncillo en La Libertad – Perú, en el año 2022?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. General**

- Determinar el estado de eutrofización según la concentración de nutrientes y la transparencia del agua en la laguna El Gallinazo en el Bosque Seco de Cañoncillo, en La Libertad – Perú en el año 2022.

### **1.3.2. Específicos**

- Medir parámetros en campo: temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y pH de todas las muestras de agua recolectadas de los puntos de muestreo establecidos.
- Identificar la concentración de nitratos y fosfatos existente en la laguna El Gallinazo.
- Identificar la transparencia de la laguna El Gallinazo a través del método del Disco Secchi.
- Comparar los resultados obtenidos con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría 4: conservación del ambiente acuático, E1: lagos y lagunas (D.S. N°004-2017-MINAM).
- Indicar el estado de eutrofización a partir de las variables analizadas en la laguna El Gallinazo
- Correlacionar las principales variables: nitratos y fosfatos, nitratos y transparencia, y fosfatos y transparencia, a partir de los resultados obtenidos.

### **1.4. Justificación e importancia**

El proceso acelerado de eutrofización es un tema muy preocupante, porque puede llegar a causar efectos irreversibles en los cuerpos de agua,

los cuales se dan en su mayoría mediante el aumento de las concentraciones de nutrientes, que provoca la aparición de gran cantidad de algas. Los efectos más alarmantes a los que conlleva este problema son la muerte de peces u otros organismos que necesitan una cantidad de oxígeno disuelto adecuada y buena penetración de luz, así como de otras condiciones ambientales, que en estos casos se ven alteradas por la eutrofización; la alteración del ecosistema acuáticos; la pérdida de la calidad de servicios ecosistémicos e incluso la pérdida total de ellos; y en algunos casos la extinción total del cuerpo de agua.

La laguna El Gallinazo contiene gran biodiversidad, por lo que se ha convertido en el hábitat de múltiples especies y es representante de un lindo paisaje natural. Además, es una de las lagunas del Bosque Seco Cañoncillo más visitadas por los turistas. Sin embargo, en los últimos tiempos se ha venido notado una mayor extensión de área ocupada por especies fitoplanctónicas y una disminución de su volumen de agua. Estas razones hacen que se considere que esta laguna se encuentre en un proceso de eutrofización, a pesar de que esté ubicada en un Área de Conservación Privada, pues, el aumento de las concentraciones de nutrientes puede deberse a muchas causas, incluso pueden ser provenientes de las aguas subterráneas que la conforman.

Al determinar el estado de eutrofización de la laguna El Gallinazo, se logrará plantear algunas recomendaciones según sea la clasificación

obtenida y se estaría aportando con información actualizada, ya que, no existen estudios sobre este tema que se hayan realizado en la laguna. Este tipo de investigación es importante porque al dar a conocer el nivel trófico se puede actuar rápidamente a través de múltiples planes de gestión y mecanismo para evitar pérdidas ecosistémicas lamentables en un futuro.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2. Fundamento teórico de la investigación

#### 2.1. Antecedentes teóricos

Maldonado (2018) realizó un trabajo de investigación titulado “Determinación del estado trófico de la Laguna de San Miguel Almaya. Capulhuac, Estado de México” con el objetivo principal de conocer la condición de la laguna de San Miguel y así poder clasificarla según su nivel trófico. Para este fin, se determinaron dos fechas de muestreo correspondientes a la época de estiaje y a la de lluvia, y se establecieron 9 puntos de muestreo; de cada uno de ellos se extrajeron dos muestras (500 mL de cada una aproximadamente), una muestra superficial y una a profundidad con respecto al visor del Disco Secchi. Se analizaron parámetros en campo como transparencia mediante el método del Disco Secchi, pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y temperatura; mientras que en laboratorio se analizaron el fósforo total, nitrógeno total Khendal y clorofila de tipo a, b y c. Los valores de la media anual obtenidos de fósforo total (26.27 mg/L), clorofila-a (33.38 mg/L) y transparencia (0.52 m) fueron analizados según la clasificación de estado trófico de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y comparados con los otros parámetros restantes. Finalmente, el estudio dio como resultado que la laguna de San Miguel se encontraba en un proceso de transición entre los estados de eutrófico e

hipereutrífico, siendo influenciada principalmente por el crecimiento demográfico y las actividades económicas que la involucran.

Bem, Borba y Rodrigues (2013) desarrollaron una investigación titulada “Avaliação do estado trófico de um lago urbano raso” donde el objetivo principal fue evaluar el nivel de eutrofización del lago del río Barigui, por ser uno de los tantos problemas causados por la contribución de contaminantes provenientes de fuentes puntuales y difusas. El número de campañas de las que constó la investigación fue 4 (abril, junio, septiembre y diciembre) y se determinaron 2 puntos de muestreo, el primero con características lóxicas y con 0.5 m de profundidad y el segundo con características lénticas y con 1.5 m de profundidad. En el primer punto se tomaron muestras superficiales y en el segundo muestras superficiales y a 0.5 m de profundidad. Los parámetros analizados fueron clorofila-a (sus valores promedio variaron entre 0.23  $\mu\text{g/L}$  y 10.89  $\mu\text{g/L}$ ), fósforo total (sus valores promedio variaron entre 0.22 mg/L y 0.35 mg/L), ortofosfato (sus valores promedio variaron entre 0.08 mg/L y 0.22 mg/L), nitrógeno total (sus valores promedio variaron entre 2.12 mg/L y 2.77 mg/L), nitrógeno amoniacal (sus valores promedio variaron entre 0.28 mg/L y 0.67 mg/L), oxígeno disuelto (sus valores promedio variaron entre 5.09 mg/L y 6.50 mg/L) y pH (sus valores promedio variaron entre 6.83 y 7.37). Finalmente, se aplicó el índice de estado trófico de Lamparelli, modificado para lagos y embalses, llegando así a concluir que el lago clasificaba entre los estados supereutrífico a hipereutrífico según los valores de fósforo total; mientras

que, se clasificaba entre ultraoligotrófico y supereutrófico según los valores de clorofila-a. Además, se demostró que en el lago Barigui el nitrógeno era el nutriente limitante para el florecimiento de algas.

López y Madroño (2015) realizaron un estudio titulado “Estado trófico de un lago tropical de alta montaña: caso laguna de La Cocha” a causa de la importancia de esta laguna en Colombia por albergar gran biodiversidad y ser parte del humedal laguna de La Cocha, denominado sitio Ramsar. Para este estudio, las autoras decidieron evaluar los índices de estado trófico mensualmente durante 6 meses (enero - junio) del año 2013 para obtener datos representativos de las temporadas con mayor y menor grado de precipitaciones. Se establecieron 10 puntos de muestreo con la finalidad de abarcar mayor número de ambientes de la laguna, de cada punto se analizó la columna de agua con respecto a clorofila-a y a transparencia. Los valores obtenidos permitieron afirmar que el valor promedio mayor de transparencia fue de 5.92 m en el mes de febrero y el menor de 3.16 en el mes de junio; y que el valor promedio mayor de clorofila-a fue de 1.68  $\mu\text{g/L}$  en el mes de febrero y el menor de 1.29  $\mu\text{g/L}$  en el mes de enero. Todos los valores fueron interpretados según el índice de estado trófico de la OCDE, el de Carlson y el de Carlson modificado por Toledo; dando como resultado del primer índice un estado oligotrófico según la clorofila-a, mientras que, según la transparencia se indicó un estado oligotrófico, mesotrófico y eutrófico; el segundo indicó un estado oligotrófico según la clorofila-a y transparencia a excepción de los puntos

9 y 10 en los meses de abril y junio; y el último índice indicó un estado ultraoligotrófico a oligotrófico. Finalmente, se concluyó que, al obtener dichas clasificaciones de estado trófico de la laguna de La Cocha posee una buena calidad de sus aguas, sin embargo, se debe realizar un seguimiento constante por la importancia del humedal Ramsar.

Ortega (2014) desarrolló una investigación titulada “Relación entre la carga de nutrientes y el estado trófico de la bahía interior del lago Titicaca Puno – 2015” a partir de la problemática del vertimiento de efluentes de aguas residuales en la bahía interior, aportando así gran cantidad de contaminantes y nutrientes al agua. Para esta investigación se establecieron 4 puntos de muestreo representativos teniendo en cuenta las zonas próximas a las descargas de los efluentes. En cada punto se analizaron de manera in situ el oxígeno disuelto, temperatura, conductividad, salinidad, pH y transparencia; mientras que los parámetros analizados en laboratorio fueron la demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno total, fósforo total y clorofila-a. Los resultados de los parámetros principales indicaron un valor promedio de 8.25 mg/m<sup>3</sup> de fósforo total, de 125.2 mg/m<sup>3</sup> de clorofila-a, y valores de transparencia decrecientes a partir de 0.51 m. Luego de obtener estos resultados se procedió a aplicar el índice de estado trófico propuesto por Carlson, para así poder determinar la correlación existente entre este y las otras variables. Además, se hizo uso del programa Statistgraphis v. 5.2. para las pruebas de regresión lineal. Finalmente, se concluyó que, según los valores de fósforo total, la bahía se clasifica como

eutrófica, acercándose a hipertrófica; y los valores de clorofila-a y de la transparencia mediante el disco Secchi indicaron un nivel eutrófico. Además, todas las correlaciones fueron significativas a nivel bilateral.

Flores-Gómez, Siu, Ttira, Cerna y Castro (2018) realizaron un trabajo de investigación titulado “Parámetros de calidad del agua y estado trófico de humedal artificial costero: caso de laguna “La Mansión” – Lima (Perú)” por la importancia de este tipo de humedales vinculada al aporte de servicios ecosistémicos y a su funcionamiento como refugio de aves costeras. El análisis limnológico consistió de 3 evaluaciones en un solo mes (mayo) en 12 estaciones de muestreo, analizando de cada muestra la temperatura, transparencia (resultado del promedio total igual a 81.1 cm), conductividad eléctrica (resultado del promedio total igual a 340.8  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), pH (resultado del promedio total igual a 8.88) y oxígeno disuelto (resultado del promedio total igual a 9.19 mg/L). Finalmente, se aplicó el criterio OCDE y se concluyó que la calidad del agua de la laguna La Mansión era adecuada para su uso en riego de vegetales y que su estado trófico se categorizaba como hipertrófico.

Ciriaco et al. (2021) en su estudio “Identification of the trophic state of the San Nicolas lake, Namora-Peru through the quantification of chlorophyll a, nitrates, phosphates and transparency” se planteó como objetivo la identificación del estado trófico de la laguna San Nicolás, por ser una de las más representativas de su región y por la destrucción

progresiva de los sistemas acuáticos que representa la eutrofización. Su estudio se realizó durante una única campaña de muestreo y se establecieron 6 estaciones representativas, relacionadas a la influencia de algunas actividades desarrolladas en la zona como la agricultura, ganadería, turismo, pesca y lavado de ropa, que pueden aportar contaminantes y nutrientes al agua. De cada estación se obtuvieron muestras a 0 m, 1.5 m y 3 m, sumando un total de 18 y se analizaron pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura y transparencia de manera in situ; mientras que en laboratorio se analizaron clorofila-a, nitratos y fosfatos. Luego se determinó el índice de estado trófico de Carlson, modificado por Aizaki et al., con respecto a los valores de clorofila-a y transparencia, dando como resultado promedio 64.72 y 66.55 respectivamente; y el índice de eutrofización por nutrientes según Karydis et al., con respecto a los valores de nitratos y fosfatos, que dio como resultado 2.53 y 3.35 respectivamente. Finalmente, se concluyó que la laguna San Nicolás se encontraba en un estado eutrófico según el primer índice analizado y en un estado oligotrófico - mesotrófico según el segundo.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Eutrofización**

La palabra “Eutrofización” tiene un origen terminológico proveniente del griego “εὐτροφία” (eutrophia), que significa “buen estado de nutrición”. La eutrofización se define como un proceso

natural, provocado por el enriquecimiento excesivo de nutrientes en los cuerpos de agua (Paredes, 2020).

Sin embargo, con el paso de los años, este proceso se ha visto acelerado por las actividades antropogénicas, donde se desechan sustancias con gran contenido de nutrientes (nitrógeno y fósforo) que logran depositarse en los sistemas acuáticos mediante diversas formas.

Cuando este proceso ocurre de forma natural, es gradual y lento; mientras que, cuando ocurre de manera artificial o cultural se convierte en un proceso acelerado y desordenado con respecto a la producción de fitoplancton, lo que hace que sea imposible para el sistema acuático mantener la misma velocidad de esta, llegando a provocar un desequilibrio ecológico en este (Ferreira et al., 2005, citado por, Bem, Borba & Rodrigues, 2013).

### **2.2.2. Proceso de eutrofización**

El proceso de eutrofización se inicia cuando un cuerpo de agua en estado oligotrófico se enriquece de nutrientes y estos comienzan a provocar muchos cambios. Al inicio, todos los nutrientes introducidos logran proliferar de una manera más rápida el plancton y por lo tanto la turbidez del agua aumenta, causando pérdidas de

alimento, hábitat y oxígeno disuelto del proceso de fotosíntesis. Con el tiempo estos problemas se van agravando, pero, el más preocupante es la pérdida del oxígeno disuelto; en condiciones normales, la fotosíntesis provee de este a los sistemas acuáticos. Sin embargo, al encontrarse el fitoplancton en la superficie, la saturación de oxígeno, el cual es atrapado por las algas filamentosas y luego liberado hacia la superficie, no logrando proporcionar oxígeno a toda la columna de agua, a excepción de algunos momentos en las estaciones de primavera y otoño. Además, se sabe que el índice de crecimiento y producción del fitoplancton es muy elevado; incluso, en condiciones óptimas para su desarrollo puede llegar a duplicar su masa en tan solo un día. Al morir, este desciende y se asienta al fondo del cuerpo de agua, formando depósitos espesos de detritos (Nebel y Wright, 1999, citado por Ávila, 2019).

Al aumentar los detritos, asciende la población de descomponedores (mayormente bacterias), generando así una nueva demanda de OD, consumido en la respiración. El resultado final es la sofocación de los organismos del sistema como los peces y crustáceos por el agotamiento del OD en el agua (Ávila, 2019).

### **2.2.3. Niveles de eutrofización**

Los cuerpos de aguas se pueden clasificar de acuerdo al nivel de eutrofización en el que se encuentres, los cuales pueden ser ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutróficos e hipereutrófico.

#### **a. Ultraoligotrófico**

Se denomina así a las masas de agua limpias con muy baja productividad y nutrientes en concentraciones insignificantes que no logran perjudicar ni alterar los usos del agua (CETESB, 2013, citado por, Soares & Schröder, 2015).

#### **b. Oligotrófico**

Un ecosistema acuático se clasifica con un estado oligotrófico, debido a que presenta una concentración pobre de nutrientes, por lo que sus características son: aguas claras y transparentes con buen índice de penetración de luz solar, tasa baja de crecimiento de algas y presencia de una poca cantidad de fauna. En este estado, los bioindicadores pueden confirmar la adecuada oxigenación del agua mediante la biota como los macroinvertebrados acuáticos de los órdenes Ephemeroptera,

Plecoptera y Trichoptera, y los peces Salmónidos (Vásquez et al., 2012).

**c. Mesotrófico**

Los lagos con esta clasificación presentan una productividad media, mayor a la de los oligotróficos y menor que los eutróficos. Se caracterizan por ser sistemas acuáticos con aguas claras, con flora acuática sumergida y nutrientes en concentraciones medias (Ortega, 2014).

**d. Eutrófico**

Los medios eutróficos presentan una disponibilidad alimentaria apta para lograr desarrollar gran cantidad de flora acuática (Zouiten, 2012).

**e. Hipereutrófico**

Los cuerpos de agua denominados hipereutróficos se caracterizan por estar muy afectados a causa de altas concentraciones de materia orgánica y nutrientes, significando alteraciones en su uso, en las floraciones de algas y en la mortalidad de los peces (CETESB, 2013, citado por, Soares & Schröder, 2015).

#### **2.2.4. Causas de la eutrofización**

Según Barceló (2020), las principales causas de la contaminación orgánica antropogénicas que proporciona una excesiva cantidad de nutrientes a los cuerpos de agua, acelerando el proceso de eutrofización, derivan de: la contaminación agropecuaria, los contaminantes forestales, contaminación atmosférica y la contaminación urbana. El autor las describe de la siguiente manera:

##### **a. Contaminación agropecuaria**

Proveniente de las granjas agrarias y ganaderas que contaminan de manera difusa los suelos y masas de agua con fertilizantes de tipo inorgánico de origen industrial o extractivo. Por lo general, son abonos que por la explotación agrícola llegan hasta los acuíferos y se depositan en ellos.

Hace unas décadas, los excrementos de los animales de la producción ganadera también formaban parte de las causas más comunes de eutrofización, debido a que el ganado pastaba libremente en zonas naturales, provocando vertidos de sus desechos en el agua, pero, en la actualidad, la mayoría de las actividades ganaderas se realizan en zonas más apartadas

Estas actividades aportan nitrógeno al agua en forma de nitrato y amonio; y fósforo en forma de fosfato. Además, también son fuente de potasio y magnesio que impiden el desarrollo de ciertas especies y benefician al de otras como algunas algas, que llegan a crecer abundantemente.

#### **b. Contaminantes forestales**

Son resultantes del abandono de los residuos forestales y residuos de actividades madereras en los cuerpos de agua o próximos a ellos, que por múltiples razones se terminan incorporando al agua. Esto eleva la materia orgánica disuelta ya existente y favorece la proliferación de algunas especies de flora eutrófica como lo son los berros y lentejas de agua, especies que van disminuyendo el área de los espejos de agua.

#### **c. Contaminación atmosférica**

Principalmente por óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), los cuales reaccionan con el agua atmosférica y forman iones de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y sulfato (SO<sub>4</sub><sup>=</sup>) que al estar en contacto con el suelo forman sales solubles. Es así que se solubilizan los cationes del suelo y conllevan a la pérdida de nutrientes de este. Finalmente, las sales son arrastradas por

diversos factores hacia los cuerpos de agua provocando aceleramiento del proceso de eutrofización.

#### **d. Contaminación urbana**

Esta contaminación hace referencia principalmente a los efluentes urbanos que no han pasado por ningún tratamiento previo o los que obtuvieron un tratamiento parcial, pues, estos aportan nutrientes mediante dos formas: por residuos orgánicos, logrando enriquecer al ecosistema con elementos previamente considerados como limitantes; y por residuos inorgánicos como, por ejemplo, el fosfato que se utiliza en la fabricación de detergentes como emulgente.

#### **2.2.5. Consecuencias de la eutrofización**

En la primera fase de la eutrofización, es habitual que la proliferación de algas provoque un entubamiento de las aguas, impidiendo así el paso de la luz hasta aguas más profundas del ecosistema, por lo que, el proceso de fotosíntesis se hace imposible en el fondo, disminuyendo así la producción de oxígeno libre y aumentando la actividad metabólica y la demanda de oxígeno de los descomponedores de materia orgánica. Por ello, la actividad aerobia en el fondo, logra agotar el poco oxígeno que quedaba, volviendo así anóxico al ambiente. Todas estas alteraciones logran hacer inviable

la vida de muchas de las especies anteriormente existentes en el sistema acuático afectado (Barceló, 2020).

La eutrofización se puede confundir o interpretar a simple vista como tan solo el cambio de aspecto de un cuerpo de agua, no obstante, es mucho más que eso, como el desarrollo desmedido de las cianobacterias, que generan toxinas, desoxigenación, pérdida de zooplancton y peces; al suceder esto, se degradan los servicios ecosistémicos brindados por el cuerpo de agua afectado y en el caso de que el agua sea utilizada para consumo humano y bebida de animales, ocasionaría un desabastecimiento importante (Bojórquez, 2017).

Algunas de las toxinas de las cianobacterias en el agua son más tóxicas por unidad de masa que una serpiente (cobra) y, por tanto, dañan a los seres humanos y a otros organismos que dependen de ella. Las toxinas de las algas pueden ser consumidas y bioacumuladas por los peces y crustáceos, provocando un envenenamiento por su ingesta; este tipo de daño no es tan usual, pero, no se descarta. Sin embargo, es mucho más frecuente la mortandad del ganado que consume el agua infestada por estas floraciones (Pedrozo & Ramírez, 2020).

## **2.2.6. Nutrientes en el proceso de eutrofización**

La comprensión de la dinámica que presentan las poblaciones de fitoplancton se ha centrado en el análisis de la función de los nutrientes en el proceso de eutrofización. Los principales nutrientes que provocan este proceso son el carbono, el fósforo y el nitrógeno, que son requeridos para el crecimiento de las especies biológicas acuáticas al igual que el silicio en el caso de que exista una importante presencia de diatomeas. Sin embargo, considerando las fuentes naturales y antropogénicas de los nutrientes en el agua, se logra observar que el carbono y el silicio no son limitantes (Zouiten, 2012), quedando como los más importantes el fósforo y el nitrógeno.

### **a. Nitratos**

En aguas subterráneas y superficiales, la concentración de los nitratos, por lo general no es elevada. Sin embargo, esta puede aumentar por las filtraciones o las escorrentías de las tierras agrícolas o por la contaminación causada por residuos humanos o animales como consecuencia del proceso de oxidación del amoníaco y fuentes similares (Espinel, 2018).

Los nitratos son tóxicos para los peces a causa de la conversión de pigmentos respiratorios, pues, se caracterizan por su incapacidad para transportar y liberar oxígeno. Cabe resaltar

que los animales de agua dulce son más tolerantes a las altas concentraciones de nitratos en comparación con los animales marinos (Laug, 2016), pero eso no significa que no sean afectados.

#### **b. Fosfatos**

Los fosfatos son sales o ésteres del ácido fosfórico. Su composición está dada por un átomo de fósforo y cuatro átomos de oxígeno, estos último se encuentran de forma tetraédrica alrededor del único átomo de fósforo (Ortega, 2014).

Los fosfatos son los compuestos más importantes que forma el fósforo, pues, son esenciales en los proceso metabólicos y fotosintéticos (Maldonado, 2018).

### **2.2.7. Otros factores relacionados al proceso de eutrofización**

#### **a. Transparencia**

La transparencia, es también conocida como claridad o visibilidad del agua y se refiere a la interferencia del paso de la luz en un cuerpo de agua por los materiales suspendidos. Las unidades con las que se representa son las de longitud y se mide a partir de un disco Secchi. Se encarga de representar la zona

fótica, la cual se describe como la zona del agua hasta donde logra penetrar la luz y donde se puede realizar los procesos fotosintéticos (Sierra, 2011).

## **b. Temperatura**

La temperatura del agua afecta el proceso de eutrofización de acuerdo al piso altitudinal. Esto se debe a que actúa como un parámetro que puede acelerar o disminuir la velocidad de las reacciones químicas en algún momento, incluidos los ciclos de descomposición de la materia orgánica que ocurren en la columna de agua y las zonas bentónicas. Es más probable que la eutrofización ocurra en ecosistemas acuáticos ubicados al nivel del mar o en pisos basales, donde las temperaturas ambientales e hídricas superan los 24°C; y es menos probable su incidencia en pisos pre montanos, donde las temperaturas varían entre 17°C y 24°C, y en los pisos montanos bajos, que se caracterizan por presentar temperaturas menores a 15.5°C (Vásquez et al., 2012).

## **c. Oxígeno disuelto**

El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno en estado gaseoso que se encuentra disuelto en el agua y se mide en unidades de mg/L. Forma parte de las condiciones fundamentales para la existencia, crecimiento y reproducción de

forma adecuada de peces y otros tipos de organismos acuáticos. También, se considera una prueba fácil y simple de realizar, pero, con gran importancia al momento de identificar la contaminación de los ecosistemas acuáticos mediante sus concentraciones (Sierra, 2011).

#### **d. Conductividad eléctrica**

Mide la capacidad que posee el agua para conducir corriente eléctrica por medio de la concentración de iones en solución (cloruro, sulfato, calcio, nitratos, fosfato, magnesio, etc.) en unidades de microsiemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). En los cuerpos de agua dulce se relaciona principalmente con la geología del terreno (Peña, Cantera & Muñoz, 2012).

#### **e. pH**

El pH es el potencial de hidrógeno y se representa mediante el logaritmo decimal negativo resultante del valor molar de los iones de hidrógeno y se evalúa en base a una escala que comprende valores de 0 a 14. En una situación equilibrada, el agua pura presenta una concentración de hidrógeno de  $10^{-7}$  M y un pH de 7 (neutro); mientras que en aguas naturales este varía entre 6 y 9, dependiendo de algunas características como el drenaje de la cuenca, la fotosíntesis, la capacidad de

amortiguación, la oxidación de materia orgánica y la transformación química de sustancias minerales, como también el incremento de contaminantes. La presencia de valores superiores a 9.5 e inferiores a 4.5 representan efectos letales para los organismos, sin embargo, existen algunos que se adaptan a valores mucho más extremos. Además, a través de este parámetro es posible identificar zonas con presencia de contaminación industrial y calcular las formas de carbono inorgánico (Arocena, 2016.).

#### **2.2.8. Índice de Estado Trófico (IET)**

Fue propuesto por Carlson (1977) con el propósito de obtener un nuevo enfoque de clasificación de estado trófico de los lagos, implicando nuevos métodos para su definición y clasificación. Los métodos o sistemas tradicionales solían dividir su clasificación en tres estados: oligotrófico, mesotrófico y eutrófico; mientras que en este se agregó el estado hipereutrófico. El método se basa en las concentraciones de nitrógeno, fósforo y en la transparencia del agua, obtenida mediante un disco Secchi.

Además, según el autor, el estado trófico se determina a partir de la evaluación de criterios como:

- La forma de la curva de oxígeno.

- La composición de las especies de fauna o fitoplancton en el fondo del sistema.
- La concentración de nutrientes.
- Medidas de biomasa o producción

### **2.2.9. Índice de Estado Trófico Modificado por Toledo (IETM)**

Tiene como base al Índice de Estado Trófico de Carlson (1977), el cual fue desarrollado para el análisis de lagos y embalses ubicados en zonas templadas, motivo por el que Toledo et al. (1985) lo modificó para su aplicación en lagos y embalses de zonas tropicales, pues, los ecosistemas acuáticos de estas zonas presentan una productividad mayor, que ocurre por la elevada absorción de los nutrientes, ya que, poseen mayor capacidad de metabolismo con respecto a ellos en comparación con los ecosistemas de zonas templadas. Por este motivo, se permite que los límites de estado trófico sean más altos con respecto a los cuerpos de agua en estaciones frías (Rocha, 2006, citado por, Madrid, 2015).

### **2.2.10. Índice de Eutrofización por Nutriente (I)**

Este índice fue propuesto por Karydis et al. (1983). Está diseñado principalmente para generar resultados específicos e individuales de cada nutriente y para proyectar simpleza en

tecnología y en la interpretación de datos. En general, se creó con los siguientes criterios:

- Ser específico para cada nutriente.
- Tener en cuenta la carga de nutrientes en el área.
- Ser adimensional y tener aplicación general para varios tipos de agua.
- Ser sensible a los efectos estresantes de la eutrofización.
- Simplificar las actividades de recopilación de datos y el cálculo.

### **2.3. Definición de términos básicos**

#### **2.3.1. Cuerpo de agua**

Los cuerpos de agua son todos los sistemas naturales o artificiales que posean agua, ya sea estancada o en movimiento de manera constante o temporal. Estos pueden ser pozos, ríos, lagunas, lagos, océanos, quebradas o estuarios marinos (Marrero, 2018).

#### **2.3.2. Sistema acuático**

Hace referencia a todos los cuerpos de agua, como lo son los lagos, las presas, los ríos, los manantiales, los estuarios, etc., los

cuales contienen componentes abióticos que funcionan de manera integrada y conjunta con organismos vivos como un sistema natural (Marrero, 2018).

### **2.3.3. Laguna**

Es un depósito de agua natural, por lo general este tipo de ecosistemas acuáticos son de agua dulce, poco profundos, pequeños y abiertos, que pueden encontrarse conectados a cuerpos de agua mayores. El cociente de la relación entre la línea de la zona litoral y el área del espejo de agua abierto en este caso suele presentar valores medios (Marrero, 2018).

### **2.3.4. Fitoplancton**

Son microorganismos que viven en una columna de agua, con la capacidad de realizar fotosíntesis. Su tamaño varía entre 20 y  $2 \times 10^2$  milimicras. Al ser autótrofos, se consideran productores primarios, que en conjunto con otros fotosintetizadores son parte de los niveles o estados tróficos de los cuerpos de agua (Marrero, 2018).

### **2.3.5. Estado de eutrofización**

Representa las condiciones en las que se encuentra un cuerpo de agua, a partir de la concentración de nutriente y los contaminantes

que ingresen a él, ya que mediante estos factores logra determinar la situación trófica o de eutrofización (Ortega, 2014).

#### **2.3.6. Disco Secchi**

Es un instrumento destinado para medir la distancia hasta la que penetra la luz en cuerpos de agua (ríos, lagos, mares, etc.) y, por lo tanto, también sirve para la evaluación de la turbidez (Ortega, 2014).

### **2.4. Hipótesis**

H<sub>0</sub>: De acuerdo a la concentración de nutrientes y la transparencia del agua en la laguna El Gallinazo en el Bosque Seco de Cañoncillo, en La Libertad – Perú 2022, su estado no es oligotrófico.

H<sub>a</sub>: De acuerdo a la concentración de nutrientes y transparencia del agua en la laguna El Gallinazo en el Bosque Seco de Cañoncillo, en La Libertad – Perú 2022, su estado es oligotrófico.

#### **2.4.1. Operacionalización de Variables**

##### **– Variable independiente**

**Concentración de nutrientes:** análisis mediante el método colorimétrico.

**Transparencia del agua:** análisis mediante el índice de transparencia Secchi.

– **Variable dependiente**

**Estado de eutrofización:** análisis mediante el índice de Eutrofización de Nutrientes (I) y el índice de Estado Trófico Modificado por Toledo (IETM).

Tabla 1.

*Operacionalización de variables*

Tipo de variable	Variable	Definición	Indicador	Unidad
<b>Independiente</b>	Concentración de nutrientes en el agua de la laguna	Sustancias presentes en el agua provenientes de fuentes antropogénicas o naturales.	Nitratos	mg/L
			Fosfatos	mg/L
	Transparencia del agua	Se refiere a la claridad de un cuerpo de agua, mediante la profundidad máxima a la que puede penetrar la luz solar	Transparencia Secchi	m
<b>Dependientes</b>	Estado de eutrofización	Nivel de la relación existente entre la concentración de nutrientes de un cuerpo de agua y el crecimiento de materia orgánica.	Eutrofización de nutrientes (I)	Estado de eutrofización
			Estado trófico modificado por Toledo (IETM)	Estado de eutrofización

Fuente: elaboración propia

## **CAPÍTULO III: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

### **3. Metodología de la investigación**

#### **3.1. Tipo de investigación**

La presente investigación es de tipo descriptiva – correlacional, ya que solo se analizó la concentración de los nutrientes (nitratos y fosfatos) de la laguna El Gallinazo tal cual se obtuvieron en un determinado tiempo y espacio. A partir de ello, también se determinó el estado de eutrofización mediante dos índices ya establecidos previamente.

Además, también recibe la clasificación de investigación básica por el fin que representa, pues, busca generar información real para contribuir con futuros trabajos de investigación y con algunas clasificaciones de la laguna El Gallinazo, considerando que es un cuerpo de agua poco estudiado.

#### **3.2. Diseño de la investigación**

La investigación presenta un diseño No Experimental - Transversal, dado que, en este caso el estado de eutrofización solo se observa y analiza sin realizar modificaciones en ninguna etapa del procedimiento ni intervenciones en su desarrollo.

### **3.2.1. Localización del área de estudio**

El área de estudio es la laguna El Gallinazo, localizada en el Bosque Seco Cañoncillo, distrito de San José, provincia de Pacasmayo, departamento de La Libertad en el norte del Perú.

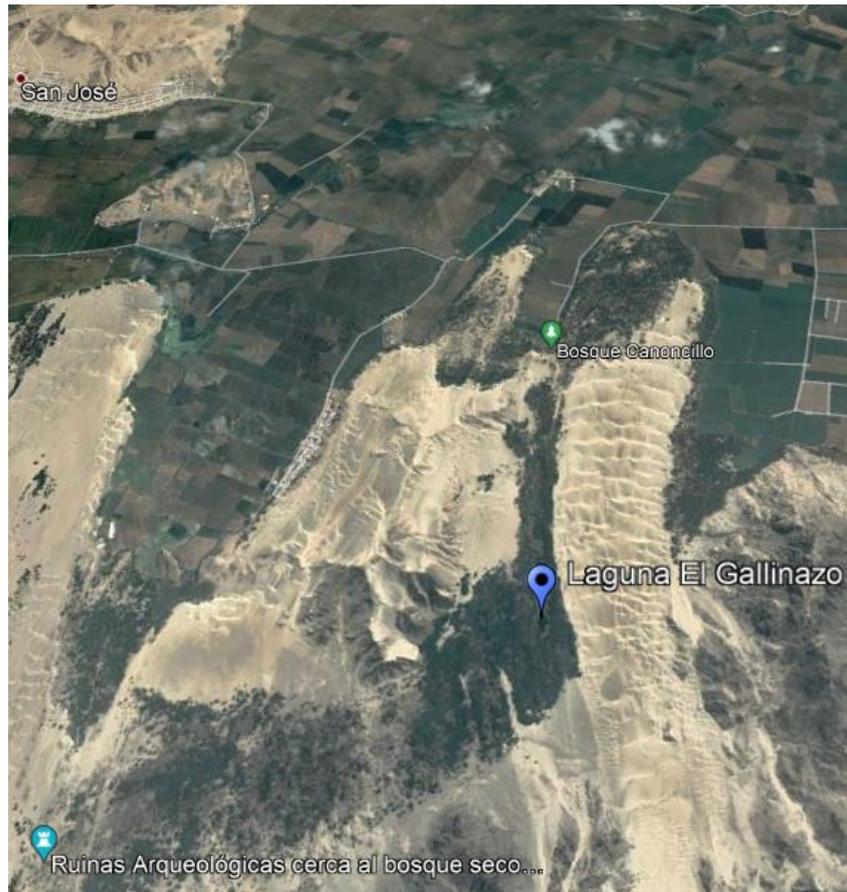
El Bosque Seco Cañoncillo es considerado un Área de Conservación Privada y se ubica en la zona baja del valle Jequetepeque. Su extensión comprende un total de 1 310.9 ha, de las cuales, 600 ha son de algarrobal, 10 ha de lagunas y humedales, 20 ha de restos arqueológicos y 680.9 ha de desierto y cerros tutelares (Cañoncillo, Santonte, Prieto y Espinal). Esta área limita por el Norte con los terrenos de cultivo de Cultambo y con la comunidad de Tecapa, por el Sur con el cerro Chilco y la comunidad de San Pedro de Lloc, por el Este con los terrenos de cultivo de Pampa Hureque y la comunidad de Santa María, y por el Oeste con los terrenos de cultivo de San Pedro de Lloc y la comunidad de Santonte (Murga, 2013).

El Bosque Seco Cañoncillo se ubica en la ecorregión yunga y corresponde a la zona de vida Desierto Premontano Tropical (Lostaunau, 2015), por lo tanto, presenta unos escasos vientos y precipitaciones menores a 100 mm en cada temporada; y un clima

cálido que es constante todo el año que consta de un promedio anual superior a los 24°C (Murga, 2013).

Figura 1.

*Ubicación geográfica de la laguna El Gallinazo*



Fuente: elaboración propia a partir de Google Earth Pro

Las coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) con respecto a aproximadamente el centro de la laguna se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2.

*Coordenadas UTM de la ubicación de la laguna El Gallinazo*

Área de estudio	Coordenada X	Coordenada Y	Zona
Laguna El Gallinazo	674 068	918 27 21	17 M

Fuente: elaboración propia

### **3.3. Población y muestra**

#### **3.3.1. Población**

La población de esta investigación corresponde a toda el área de la laguna El Gallinazo.

#### **3.3.2. Muestra**

La muestra está constituida por el volumen necesario para un total de 12 muestras de agua de 100 mL cada una, extraídas de los 4 puntos de muestreo establecidos en la laguna El Gallinazo. De cada punto se tomaron 3 muestras para replicar su análisis.

#### **3.3.3. Unidad de análisis**

El agua de la laguna El Gallinazo en diferentes profundidades en el Bosque Seco de Cañoncillo.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Los procedimientos de la toma de muestras de agua y de la determinación de la ubicación de los puntos de muestreo se basaron únicamente en el “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales” de la Autoridad Nacional del Agua (2016), presentado mediante la Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA.

Por otro lado, los análisis de nitratos y fosfatos se llevaron a cabo siguiendo los procedimientos descritos en el manual propuesto por HACH Company (2019) titulado “Water Analysis Handbook”; mientras que para la transparencia se tomó como referencia el “Manual de Técnicas Analíticas para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos y Contaminantes Marinos” del Instituto de Investigación Marinas y Costeras (2003).

Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en su categoría 4, correspondiente a la conservación de la vida acuática, propuestos por el Ministerio del Ambiente (2017) en su última actualización presentada en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, fueron aplicados, para así, poder determinar el cumplimiento de los parámetros medidos con respecto a la normativa nacional.

### **3.4.1. Materiales y equipos**

#### **a. Materiales**

- Botas de Jebe
- chaleco salvavidas.
- Guantes de látex.
- Libreta de campo.
- 12 frascos de plástico de 100 mL.
- Wincha.
- Etiquetas adhesivas.
- Cooler.
- Lapiceros.
- Marcador indeleble.
- Papel toalla.
- Pizeta.
- Guardapolvo.
- Reactivo PhosVer 3.
- Reactivo NitraVer 5.
- Agua destilada.
- 02 celdas de muestra.

#### **b. Equipos**

- GPS de la marca Garmin, modelo 60CSx.

- Multiparámetro de la marca HACH, modelo HQ40d - Multi.
- Colorímetro de la marca HACH, modelo DR 890.
- Muestreador de agua Alpha estilo Van Dorn.
- Disco Secchi.
- Cámara fotográfica.

### **3.4.2. Ubicación de los puntos de muestreo**

Los puntos de muestreo fueron ubicados estratégicamente en zonas donde se presencié gran cantidad de afloramientos de algas, ya que, son indicadoras de la presencia de nutrientes en el agua. El número de puntos se estableció con respecto al área de la laguna (9612 m<sup>2</sup> obtenido a partir del programa Google Earth), considerándose entonces 4 puntos. Estos se nombraron con las iniciales PM (punto de muestreo) seguidas del número de punto correspondiente (1, 2, 3 y 4).

Las coordenadas de cada punto fueron registradas en el sistema UTM y se ubicaron en el mapa a través del programa Google Earth Pro mediante marcadores.

Tabla 3.

*Coordenadas UTM de los puntos de muestreo*

<b>Punto de muestreo</b>	<b>Coordenada X</b>	<b>Coordenada Y</b>	<b>Zona</b>
PM1	674061	9182677	17 M
PM2	674102	9182712	17 M
PM3	674098	9182711	17 M
PM4	674082	9182759	17 M

Fuente: elaboración propia

Figura 2.

*Ubicación geográfica de los puntos de muestreo*



Fuente: elaboración propia a partir de Google Earth Pro

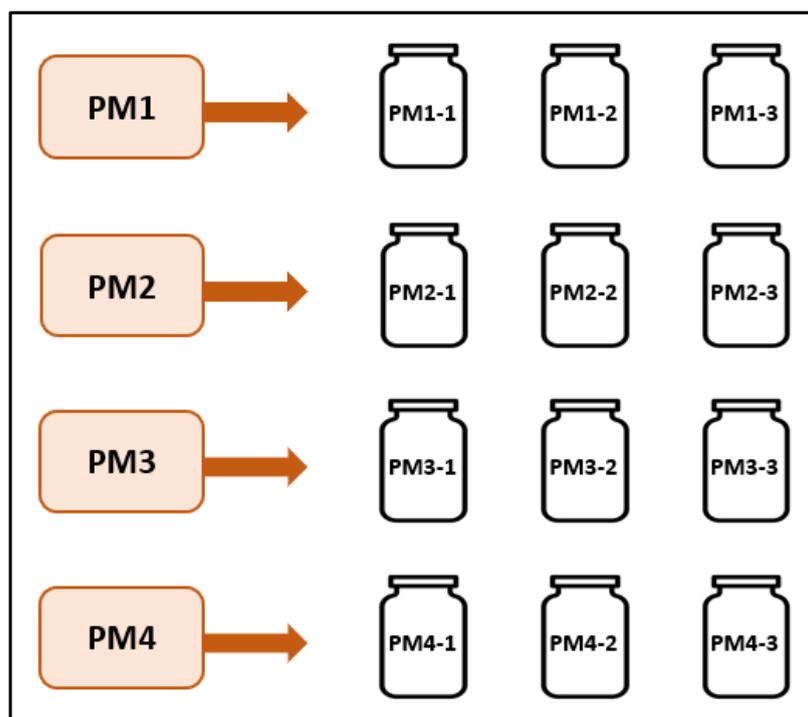
### 3.4.3. Recolección de muestras

La recolección de las muestras se realizó desde un bote, portando el equipo de protección personal (EPP) establecido y todos los materiales requeridos. Las muestras extraídas fueron 12 en total, pues, se tomaron 3 de cada uno de los 4 puntos de muestreo con el fin de analizar cada punto y parámetro por triplicado. Además, se consideró analizar estas muestras réplica para obtener resultados con mayor grado de precisión.

Todas las muestras fueron de tipo simple o puntual y para su extracción se utilizaron frascos de 100 mL previamente enjuagados y etiquetados con el nombre del punto de muestreo seguido por un guion y el número de réplica (1, 2 y 3), tal y como se muestra en la Figura 3. Los frascos fueron llenados y cerrados herméticamente para evitar algún derrame e interferencia en los componentes de las muestras, para luego ser almacenados en un cooler y trasladarlos hacia el laboratorio, donde se analizaron los parámetros correspondientes.

Figura 3.

*Distribución de la recolección de muestras*



Fuente: elaboración propia

#### **3.4.4. Medición de parámetros de campo**

Los parámetros de campo analizados en todas las muestras fueron temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y pH; estos se midieron mediante un multiparámetro portátil HACH - HQ40d-Multi calibrado.

Cada sensor del multiparámetro fue introducido en las muestras de agua, para luego presionar el botón “LEER” y anotar el valor indicado en la pantalla según cada parámetro y muestra. Los

sensores fueron utilizados en una muestra a la vez para evitar la contaminación del agua de las demás y la alteración de los resultados. Por ello, luego de su uso en cada muestra se enjuagaron con agua destilada y se secaron para seguir utilizándolos hasta haber terminado de evaluar todas las muestras.

Además, en cada punto de muestreo se midió la transparencia del agua en campo, mediante el método del Disco Secchi, que consistió en sumergir el disco verticalmente hasta la profundidad en la que desapareció, marca la cuerda en la superficie, retirar el disco del agua y medir con una wincha la distancia entre la marca y el disco, para luego anotar la medida obtenida en metros (m).

#### **3.4.5. Trabajo de laboratorio**

La identificación de las concentraciones de nitratos y fosfatos se llevó a cabo mediante un colorímetro HACH – DR 890 debidamente configurado.

##### **a. Identificación de la concentración de nitratos**

- El procedimiento se inició preparando la muestra en una celda de vidrio de 10 m, llenándola y agregándole el contenido de un sobre del reactivo NitraVer 5, luego se

tapó la celda y se agitó durante 1 minuto para que el reactivo se logre disolver, pasado el tiempo se colocó en una superficie plana y se dejó reposar por 5 minutos. Mientras tanto, se preparó el blanco, llenando otra celda con 10 mL de muestra, se tapó y se limpió hasta quedar completamente seca y sin ninguna mancha.

- Para el inicio de la medición de las concentraciones, se insertó la celda del blanco en el colorímetro, se tapó y se presionó el botón “Cero” con lo que la pantalla mostró un valor de 0,0 mg/L  $\text{NO}_3^-$ , después de eso se retiró la celda. Luego de haber transcurrido los 5 minutos de reposo de la muestra preparada, se esperó un minuto más, se limpió al igual que la celda anterior y se insertó en el colorímetro, se lo tapó, se presionó el botón con la palabra “Leer” y por último se anotó el valor mostrado en la pantalla.

El procedimiento descrito se realizó con cada una de las muestras, luego de haber lavado y secado ambas celdas correctamente.

## **b. Identificación de la concentración de fosfatos**

- Este procedimiento, al igual que el anterior, se inició preparando la muestra en una celda de vidrio de 10 mL, llenándola y agregándole el contenido de un sobre del reactivo PhosVer 3, inmediatamente se tapó la celda y se agitó vigorosamente durante 20 a 30 segundos para que el reactivo se logre disolver, pasado el tiempo se colocó en una superficie plana y se dejó reposar por 2 minutos. Mientras tanto, se preparó el blanco, llenando otra celda con 10 mL de muestra, se tapó y se limpió hasta quedar completamente seca y sin ninguna mancha.
- Para el inicio de la medición de las concentraciones, se insertó la celda del blanco en el colorímetro, se tapó y se presionó el botón “Cero” con lo que la pantalla mostró un valor de 0,0 mg/L  $\text{NO}_3^-$ , después de eso se retiró la celda. Luego de haber transcurrido los 2 minutos de reposo de la muestra preparada, se limpió al igual que la celda anterior y se insertó en el colorímetro, se lo tapó, se presionó el botón con la palabra “Leer” y por último se anotó el valor mostrado en la pantalla.

El procedimiento descrito se realizó con cada una de las muestras, luego de haber lavado y secado ambas celdas correctamente.

### 3.5. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y análisis de los datos obtenidos para la determinación del estado de eutrofización se realizó en gabinete empleando las metodologías de dos índices.

#### a. Índice de Eutrofización de Nutrientes (I)

Con los resultados promedio de cada punto de muestreo, tanto de nitratos como de fosfatos, se logró calcular el “I” de cada uno de estos nutrientes. El proceso consistió en aplicar la siguiente fórmula propuesta por Karydis et al. (1983), para luego clasificar la laguna según los datos de la Tabla 4.

$$I = \frac{C}{C - \log X} + \log A$$

Donde:

I, es el Índice de Eutrofización de Nutrientes.

C, es el logaritmo de la concentración total del nutriente en un área.

X, es la concentración total del nutriente en una determinada estación.

A, es el número de estaciones.

Tabla 4.

*Clasificación del Índice de Eutrofización de Nutrientes*

Valor del índice	Clasificación
$I > 5$	Eutrófico
$3 < I < 5$	Mesotrófico
$I < 3$	Oligotrófico

Fuente: elaborado a partir de Moreno et al., 2010

**b. Índice de Estado Trófico Modificado por Toledo (IETM)**

Este índice posee 3 formulas distintas que corresponden individualmente a clorofila a, fósforo total y transparencia. En la investigación, solo se evaluó transparencia del agua, por lo que se utilizó únicamente la siguiente fórmula propuesta por Toledo (1985), citada por, López & Madroño (2015):

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

Donde:

$IETM_{DS}$ , es el Índice de Estado Trófico modificado por Toledo, según los valores de transparencia a partir de la medida del Disco Secchi (m).

Luego de obtener el resultado del IETM<sub>DS</sub> de todos los datos promedio de los puntos de muestreo, se clasificó a cada uno de ellos y también al promedio total en base a lo referido en la Tabla 5.

Tabla 5.

*Clasificación del Índice de Estado Trófico de Modificado por Toledo*

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

Fuente: López & Madroño, 2015.

### 3.6. Interpretación de datos

Al obtener todos los datos necesarios para la investigación, se procesaron en el software Excel 2016 con el fin de realizar tablas y figuras para su mejor comprensión y explicación.

Los datos de las 3 réplicas de cada punto fueron promediados para la obtención de un único valor representativo de cada punto de muestreo, al conjunto de esos valores con respecto a cada parámetro medido, se le determinó la desviación estándar, la varianza y el promedio total.

Además, se halló la correlación existente entre los datos de nitratos, fosfatos y transparencia haciendo uso del software SPSS (Statistical Package for Social Sciences). Para ello, se buscó determinar el coeficiente de correlación, en este caso de rangos de Spearman con el fin de identificar cuan relacionadas se encontraban las variables en esta investigación. Para la interpretación de sus resultados, se tomó como base lo establecido por Montes (2021), quien indica que los grados de relación son los siguientes según el coeficiente de correlación:

-0.91 a -1.00: Correlación negativa.

-0.76 a -0.90: Correlación negativa muy fuerte.

-0.51 a -0.75: Correlación negativa considerable.

-0.11 a -0.50: Correlación negativa media.

-0.01 a -0.10: Correlación negativa débil.

0.00: No existe correlación.

+0.01 a +0.10: Correlación positiva débil.

+0.11 a +0.50: Correlación positiva media.

+0.51 a +0.75: Correlación positiva considerable.

+0.75 a +0.90: Correlación positiva muy fuerte.

+0.91 a +1.00: Correlación positiva perfecta.

## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4. Resultados y discusiones**

#### **4.1. Presentación, análisis e interpretación de los resultados**

En este apartado se presentan todos los resultados obtenidos en campo, laboratorio y gabinete del análisis de las aguas de la laguna El Gallinazo, llevados a cabo de acuerdo a los objetivos planteados inicialmente. Estos se muestran a continuación a modo de tablas y figuras. Además, antes de la presentación de cada uno de ellos, se incluye una breve interpretación en relación a lo obtenido.

En todas las tablas de resultados se incluyen datos estadísticos como el promedio ( $\bar{x}$ ) de las 3 réplicas por punto de muestreo, el promedio ( $\bar{x}$ ) total de los 4 puntos, la varianza ( $\sigma^2$ ) y desviación estándar ( $\sigma$ ) de ese promedio. También, se incluyen los ECA para Agua - Categoría 4 en los resultados de los parámetros de campo y de los nutrientes.

##### **4.1.1. Resultados de los parámetros de campo**

Se presentan los resultados de temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, pH y transparencia, medidos en campo de todas las muestras de agua extraídas de la laguna El Gallinazo.

La temperatura promedio determinada en la laguna El Gallinazo fue de 21.96°C. El valor mínimo corresponde a PM4 con 21.90°C y el máximo corresponde a PM2 con 22.03°C, tal y como se muestran en la Tabla 6 y la Figura 4. Por otro lado, se obtuvo una varianza de 0.00 y una desviación estándar de 0.06, lo que indica que los datos de los promedios de las réplicas de cada punto de muestreo se encuentran agrupados muy cerca al valor del promedio total de temperatura (21.96°C). Estos datos se muestran en la Tabla 6 y la Figura 4.

Tabla 6.

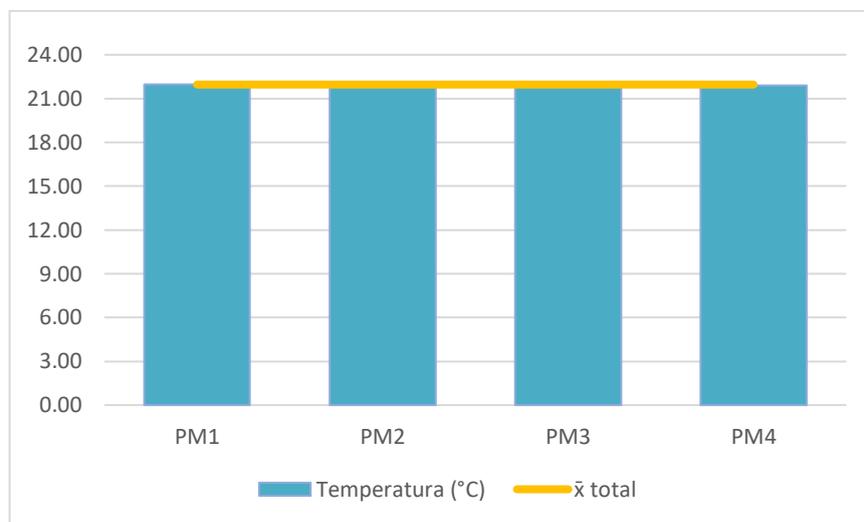
*Resultados de temperatura (°C) de la laguna El Gallinazo*

Punto de muestreo	Código de réplica	Temp. (°C)	$\bar{x}$ de réplicas	$\bar{x}$ total	$\sigma^2$	$\sigma$	ECA
PM1	PM1-1	22.00	21.97	21.96	0.00	0.06	-
	PM1-2	22.00					
	PM2-3	21.90					
PM2	PM2-1	21.80	21.93				
	PM2-2	22.00					
	PM2-3	22.00					
PM3	PM3-1	22.10	22.03				
	PM3-2	22.00					
	PM3-3	22.00					
PM4	PM4-1	21.80	21.90				
	PM4-2	22.00					
	PM4-5	21.90					

Fuente: elaboración propia

Figura 4.

*Resultados de temperatura (°C) promedio de los puntos de muestreo*



Fuente: elaboración propia

El oxígeno disuelto promedio determinado en la laguna El Gallinazo fue de 5.85 mg/L. El valor mínimo corresponde a PM4 con 3.84 mg/L y el máximo corresponde a PM2 con 7.43 mg/L. Por otro lado, se obtuvo una varianza de 2.23 y una desviación estándar de 1.49, lo que indica que los datos de los promedios de las réplicas de cada punto de muestreo se encuentran agrupados muy cerca al valor del promedio total de OD (5.85 mg/L). Además, PM4 es el único punto por debajo del ECA mínimo de oxígeno disuelto (5 mg/L). Estos datos se muestran en la Tabla 7 y la Figura 5.

Tabla 7.

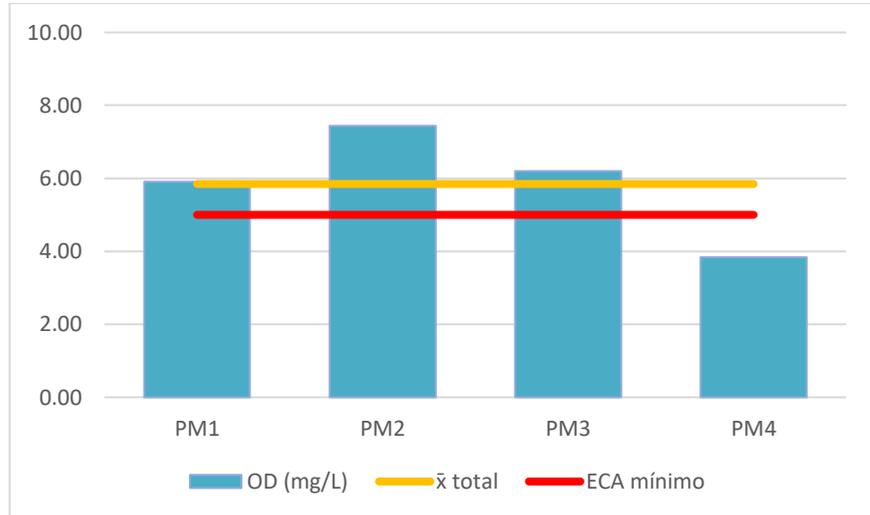
*Resultados de oxígeno disuelto (mg/L) de la laguna El Gallinazo*

Punto de muestreo	Código de réplica	Oxígeno disuelto (mg/L)	$\bar{x}$ de réplicas	$\bar{x}$ total	$\sigma^2$	$\sigma$	ECA
PM1	PM1-1	5.95	5.91	5.85	2.23	1.49	< 5
	PM1-2	5.82					
	PM2-3	5.96					
PM2	PM2-1	6.97	7.43	5.85	2.23	1.49	< 5
	PM2-2	8.13					
	PM2-3	7.20					
PM3	PM3-1	6.14	6.20	5.85	2.23	1.49	< 5
	PM3-2	6.23					
	PM3-3	6.24					
PM4	PM4-1	3.70	3.84	5.85	2.23	1.49	< 5
	PM4-2	3.76					
	PM4-5	4.05					

Fuente: elaboración propia

Figura 5.

*Resultados de oxígeno disuelto (mg/L) promedio de los puntos de muestreo*



Fuente: elaboración propia

La conductividad eléctrica promedio determinada en la laguna El Gallinazo fue de 389.75  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El valor mínimo corresponde a PM2 con 392.33  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y el máximo corresponde a PM4 con 410.67  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Por otro lado, se obtuvo una varianza de 66.18 y una desviación estándar de 8.13, lo que indica que los datos de los promedios de las réplicas de cada punto de muestreo se encuentran agrupados no muy cerca al valor del promedio total de conductividad (398.75  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Además, todos los puntos, incluyendo el promedio total, se encuentran por debajo del ECA máximo de conductividad eléctrica (1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Estos datos se muestran en la Tabla 8 y la Figura 6.

Tabla 8.

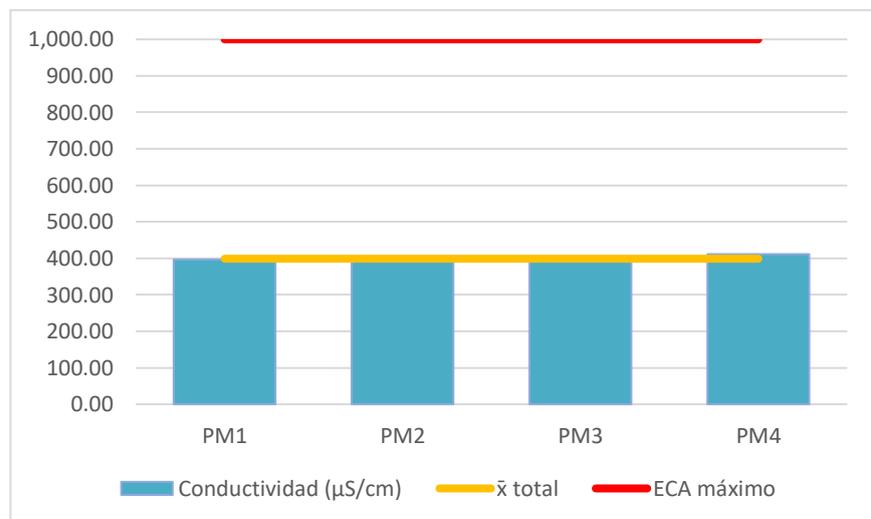
*Resultados de conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) de la laguna El Gallinazo*

Punto de muestreo	Código de réplica	Conduc. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	$\bar{x}$ de réplicas	$\bar{x}$ total	$\sigma^2$	$\sigma$	ECA
PM1	PM1-1	396.00	396.33	398.75	66.18	8.13	1000
	PM1-2	395.00					
	PM2-3	398.00					
PM2	PM2-1	391.00	392.33	398.75	66.18	8.13	1000
	PM2-2	394.00					
	PM2-3	392.00					
PM3	PM3-1	396.00	395.67	398.75	66.18	8.13	1000
	PM3-2	396.00					
	PM3-3	395.00					
PM4	PM4-1	414.00	410.67	398.75	66.18	8.13	1000
	PM4-2	415.00					
	PM4-5	403.00					

Fuente: elaboración propia

Figura 6.

*Resultados de conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) promedio de los puntos de muestreo*



Fuente: elaboración propia

El pH promedio determinado en la laguna El Gallinazo fue de 7.90. El valor mínimo corresponde a PM2 con 7.83 y el máximo corresponde a PM1 y PM3 con 7.96. Por otro lado, se obtuvo una varianza de 0.01 y una desviación estándar de 0.07, lo que indica que los datos de los promedios de las réplicas de cada punto de muestreo se encuentran agrupados muy cerca al valor del promedio total de pH (7.90). Además, todos los puntos, incluyendo el promedio total, se encuentran por encima del ECA mínimo de pH (6.5) y por debajo del ECA máximo (9). Estos datos se muestran en la Tabla 9 y la Figura 7.

Tabla 9.

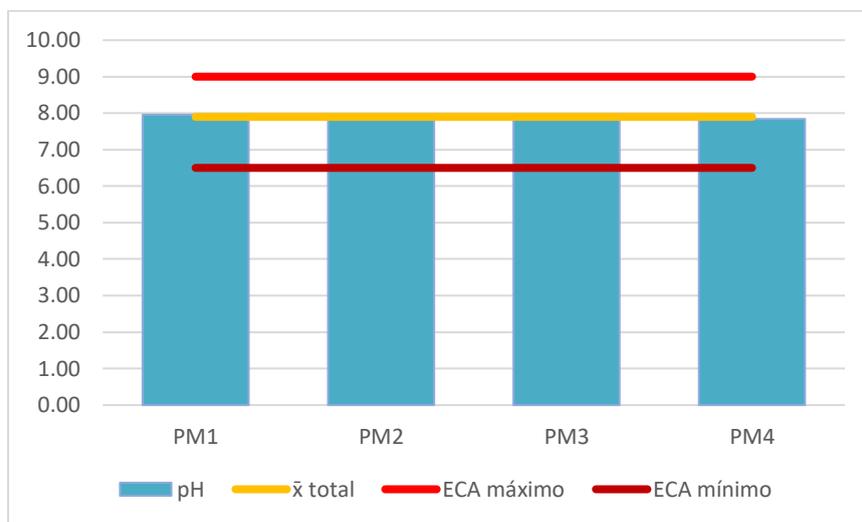
*Resultados de pH de la laguna El Gallinazo*

Punto de muestreo	Código de réplica	pH	$\bar{x}$ de réplicas	$\bar{x}$ total	$\sigma^2$	$\sigma$	ECA
PM1	PM1-1	7.95	7.96	7.90	0.01	0.07	a
	PM1-2	7.98					
	PM2-3	7.96					
PM2	PM2-1	8.12	7.83				
	PM2-2	7.26					
	PM2-3	8.12					
PM3	PM3-1	7.96	7.96				
	PM3-2	7.94					
	PM3-3	7.97					
PM4	PM4-1	7.84	7.84				
	PM4-2	7.84					
	PM4-5	7.83					

Fuente: elaboración propia

Figura 7.

*Resultados de pH promedio de los puntos de muestreo*



Fuente: elaboración propia

La transparencia promedio determinada en la laguna El Gallinazo fue de 2.65 m. El valor mínimo corresponde a PM1 y PM4 con 2.50 m y el máximo corresponde a PM2 y PM3 con 2.80 m. Por otro lado, se obtuvo una varianza de 0.03 y una desviación estándar de 0.17, lo que indica que los datos de los promedios de las réplicas de cada punto de muestreo se encuentran agrupados muy cerca al valor del promedio total de transparencia (2.65 m), Estos datos se muestran en la Tabla 10 y la Figura 8.

Tabla 10.

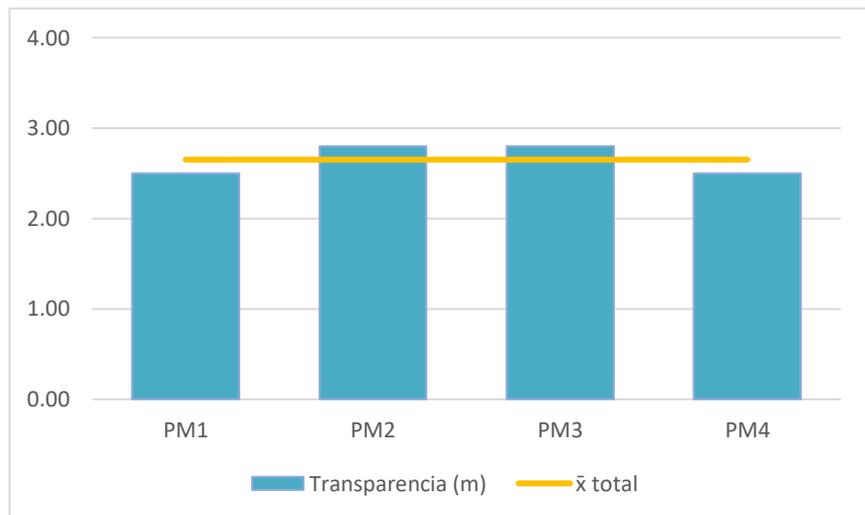
*Resultados de transparencia (m) de la laguna El Gallinazo*

Punto de muestreo	Transparencia (m)	$\bar{x}$ total	$\sigma^2$	$\sigma$	ECA
PM1	2.50				
PM2	2.80				
PM3	2.80	2.65	0.03	0.17	-
PM4	2.50				

Fuente: elaboración propia

Figura 8.

*Resultados de transparencia (m) promedio de los puntos de muestreo*



Fuente: elaboración propia

#### **4.1.2. Resultados de los nutrientes**

Se presentan todos los resultados de nitratos y fosfatos obtenidos en laboratorio de todas las muestras de agua extraídas de la laguna El Gallinazo.

El valor promedio de nitratos determinado en la laguna El Gallinazo fue de 1.25 mg/L. El valor mínimo corresponde a PM2 con 0.93 mg/L y el máximo corresponde a PM4 con 1.60 mg/L. Por otro lado, se obtuvo una varianza de 0.09 y una desviación estándar de 0.29, lo que indica que los datos de los promedios de las réplicas de cada punto de muestreo se encuentran agrupados muy cerca al valor del promedio total de nitratos (1.25 mg/L). Además, todos los puntos, incluyendo el promedio total, se encuentran muy por debajo del ECA máximo de nitratos (13 mg/L). Estos datos se muestran en la Tabla 11 y la Figura 9.

Tabla 11.

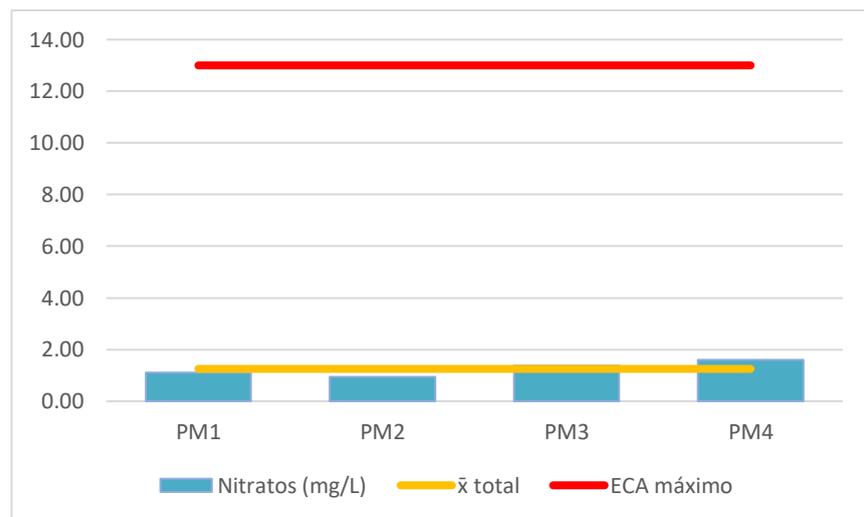
*Resultados de nitratos (mg/L) de la laguna El Gallinazo*

Punto de muestreo	Código de réplica	Nitratos. (mg/L)	$\bar{x}$ de réplicas	$\bar{x}$ total	$\sigma^2$	$\sigma$	ECA
PM1	PM1-1	1.00	1.10	1.25	0.09	0.29	13
	PM1-2	1.00					
	PM2-3	1.30					
PM2	PM2-1	0.80	0.93				
	PM2-2	1.20					
	PM2-3	0.80					
PM3	PM3-1	1.20	1.37				
	PM3-2	1.50					
	PM3-3	1.40					
PM4	PM4-1	1.70	1.60				
	PM4-2	1.70					
	PM4-5	1.40					

Fuente: elaboración propia

Figura 9.

*Resultados de nitratos (mg/L) promedio de los puntos de muestreo*



Fuente: elaboración propia

El valor promedio de fosfatos determinado en la laguna El Gallinazo fue de 0.71 mg/L. El valor mínimo corresponde a PM2 con 0.52 mg/L y el máximo corresponde a PM4 con 0.61 mg/L. Por otro lado, al igual que en los resultados de nitratos, se obtuvo una varianza de 0.09 y una desviación estándar de 0.29, lo que indica que los datos de los promedios de las réplicas de cada punto de muestreo se encuentran agrupados muy cerca al valor del promedio total de fosfatos (0.71 mg/L). Estos datos se muestran en la Tabla 12 y la Figura 10.

Tabla 12.

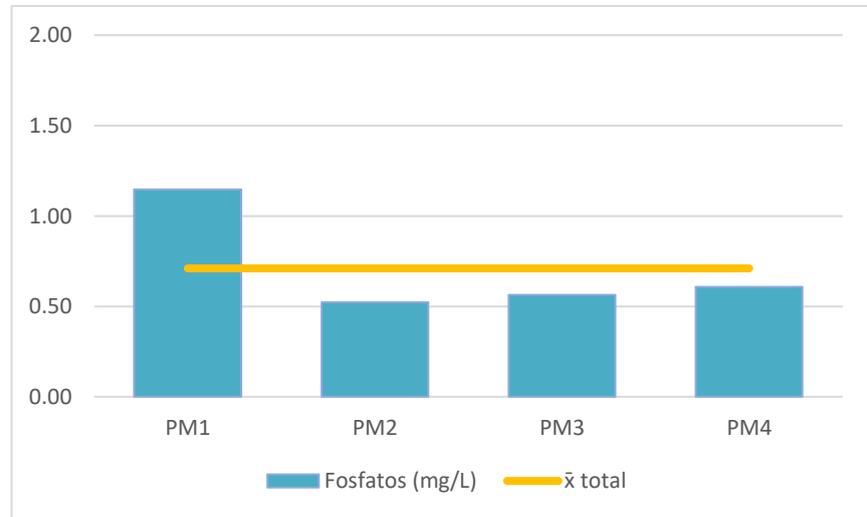
*Resultados de fosfatos (mg/L) de la laguna El Gallinazo*

Punto de muestreo	Código de réplica	Fosfatos (mg/L)	$\bar{x}$ de réplicas	$\bar{x}$ total	$\sigma^2$	$\sigma$	ECA
PM1	PM1-1	1.08	1.15	0.71	0.09	0.29	-
	PM1-2	1.16					
	PM2-3	1.2					
PM2	PM2-1	0.62	0.52				
	PM2-2	0.32					
	PM2-3	0.63					
PM3	PM3-1	0.67	0.56				
	PM3-2	0.49					
	PM3-3	0.53					
PM4	PM4-1	0.65	0.61				
	PM4-2	0.6					
	PM4-5	0.57					

Fuente: elaboración propia

Figura 10.

*Resultados de fosfatos (mg/L) promedio de los puntos de muestreo*



Fuente: elaboración propia

#### **4.1.3. Resultados del Índice de Eutrofización por Nutrientes**

Los resultados del Índice de Eutrofización por Nutrientes se obtuvieron en gabinete a partir de los promedios de cada punto de muestreo, con relación a los nitratos y fosfatos, mediante la metodología anteriormente descrita.

El valor promedio determinado del Índice de Eutrofización por Nutrientes mediante nitratos de la laguna El Gallinazo fue de 2.57. El valor mínimo corresponde a PM2 con 2.22 y el máximo corresponde a PM4 con 2.98. Por otro lado, se obtuvo una varianza de 0.11 y una desviación estándar de 0.34, lo que indica que los datos de cada punto de muestreo se encuentran agrupados muy cerca al

valor del promedio total de “I” (2.57). Además, todos los resultados son menores que 3, lo que los incluye en el rango de oligotrófico. Estos datos se muestran en la Tabla 13 y la Figura 11.

Tabla 13.

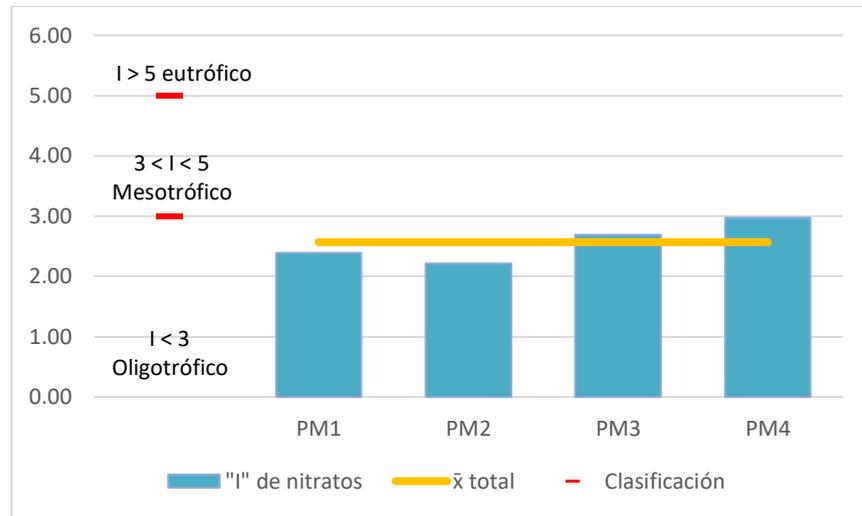
*Resultados del Índice de Eutrofización por Nutrientes según nitratos de la laguna El Gallinazo*

Punto de muestreo	I de nitratos	Clasif	$\bar{x}$ total	Clasif.	$\sigma^2$	$\sigma$
PM1	2.39	Oligotrófico				
PM2	2.22	Oligotrófico				
PM3	2.69	Oligotrófico	2.57	Oligotrófico	0.11	0.34
PM4	2.98	Oligotrófico				

Fuente: elaboración propia

Figura 11.

*Resultados del Índice de Eutrofización por Nutrientes según nitratos de los puntos de muestreo*



Fuente: elaboración propia

El valor promedio determinado del Índice de Eutrofización por Nutrientes mediante fosfatos de la laguna El Gallinazo fue de 2.19. El valor mínimo corresponde a PM2 con 1.87 y el máximo corresponde a PM1 con 2.96. Por otro lado, se obtuvo una varianza de 0.27 y una desviación estándar de 0.52, lo que indica que los datos de cada punto de muestreo se encuentran agrupados muy cerca al valor del promedio total de "I" (2.19). Además, todos los resultados son menores que 3, lo que los incluye en el rango de oligotrófico. Estos datos se muestran en la Tabla 14 y la Figura 12.

Tabla 14.

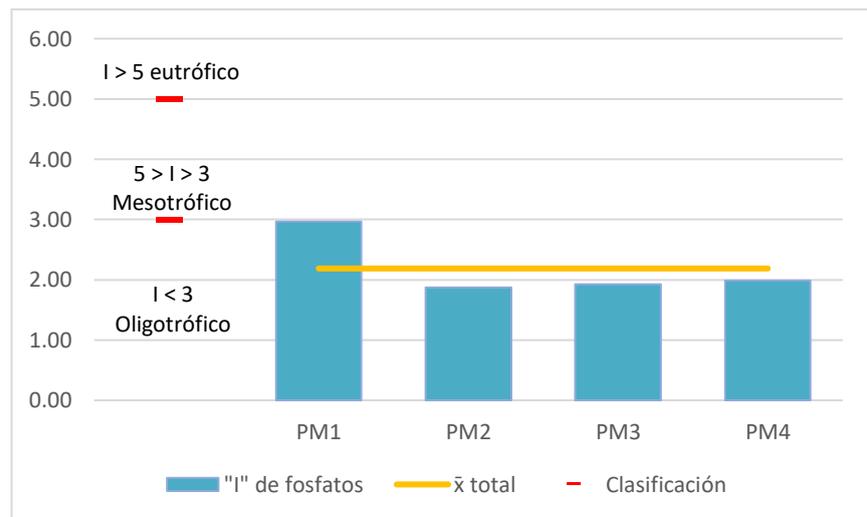
*Resultados del Índice de Eutrofización por Nutrientes según fosfatos de la laguna El Gallinazo*

Punto de muestreo	I de fosfatos	Clasif	$\bar{x}$ total	Clasif.	$\sigma^2$	$\sigma$
PM1	2.96	Oligotrófico				
PM2	1.87	Oligotrófico				
PM3	1.93	Oligotrófico	2.19	Oligotrófico	0.27	0.52
PM4	1.99	Oligotrófico				

Fuente: elaboración propia

Figura 12.

*Resultados del Índice de Eutrofización por Nutrientes según fosfatos de los puntos de muestreo*



Fuente: elaboración propia

#### 4.1.4. Resultados del Índice de Estado Trófico Modificado por Toledo

El valor promedio determinado del Índice de Estado Trófico Modificado por Toledo mediante la transparencia de la laguna El Gallinazo fue de 36.73. El valor mínimo corresponde a PM2 y PM3 con 35.91 y el máximo corresponde a PM1 y PM4 con 37.55. Por otro lado, se obtuvo una varianza de 0.89 y una desviación estándar de 0.94, lo que indica que los datos de cada punto de muestreo se encuentran agrupados cerca al valor del promedio total de IETMDS (36.73). Además, todos los resultados se encuentran en el intervalo de 30 – 44 denominado oligotrófico. Estos datos se muestran en la Tabla 15 y la Figura 13.

Tabla 15.

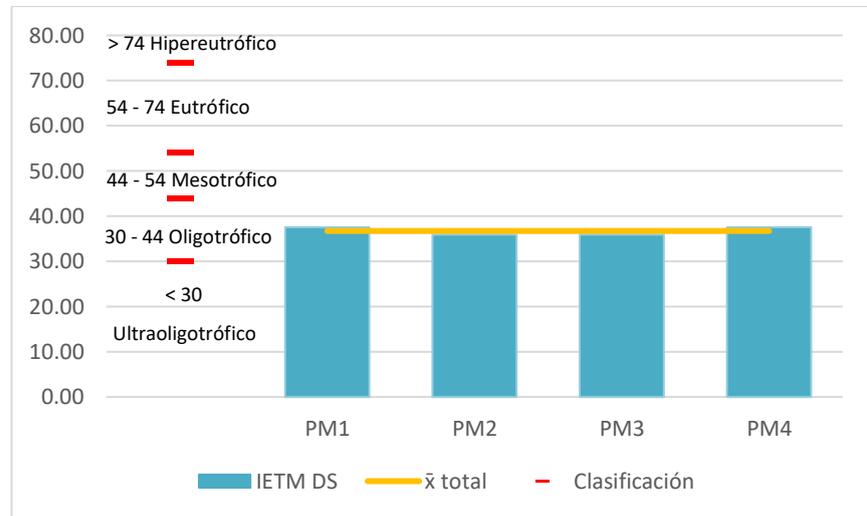
*Resultados del Índice de Estado Trófico Modificado por Toledo según la transparencia de la laguna El Gallinazo*

Punto de muestreo	IETM <sub>DS</sub>	Clasif	$\bar{x}$ total	Clasif.	$\sigma^2$	$\sigma$
PM1	37.55	Oligotrófico	36.73	Oligotrófico	0.89	0.94
PM2	35.91	Oligotrófico				
PM3	35.91	Oligotrófico				
PM4	37.55	Oligotrófico				

Fuente: elaboración propia

Figura 13.

*Resultados del Índice de Estado Trófico Modificado por Toledo según la transparencia de los puntos de muestreo*



Fuente: elaboración propia

#### 4.1.5. Correlaciones

Para el análisis de correlación, inicialmente se realizaron las pruebas de normalidad en relación a las variables principales que se analizaron en la investigación con un nivel de significancia del 5% (0.05), para lo cual se establecieron las siguientes hipótesis:

$H_0$ : La distribución es normal.

$H_a$ : La distribución no es normal.

En la Tabla 16 se muestra el resultado de las pruebas de normalidad de los tres parámetros principales (nitratos, fosfatos y

transparencia) analizados en la laguna El Gallinazo. En este caso, como la muestra posee un tamaño menor a 50 se tomaron en consideración solo los resultados generados a través del método de Shapiro-Wilk, donde se obtuvieron valores de significancia menores a 0.05 a excepción del caso de los nitratos, donde la significancia resultó ser 0.876.

Tabla 16.

*Prueba de normalidad de los parámetros principales*

Parámetros	Prueba de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Nitratos	0.194	4	.	0.976	4	0.876
Fosfatos	0.382	4	.	0.743	4	0.033
Transparencia	0.307	4	.	0.729	4	0.024

Nota: a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: elaboración propia a partir del software SPSS

Al ser la significancia de los nitratos mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se afirma que la distribución de esta variable es normal. Sin embargo, como la significancia de los fosfatos y transparencia son menores a 0.05, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_a$ ), afirmando de esta manera que para ambos casos la distribución no es normal.

Al haberse obtenido en su mayoría distribuciones no normales, el método para la determinación de las correlaciones debió ser no paramétrico, por lo que se empleó el método de correlación de Spearman.

En la Tabla 17 se muestran los coeficientes de correlación de Spearman obtenidos de las correlaciones entre los resultados de nitratos, fosfatos y transparencia.

Tabla 17.

*Coefficiente de correlación de Spearman entre las variables analizadas*

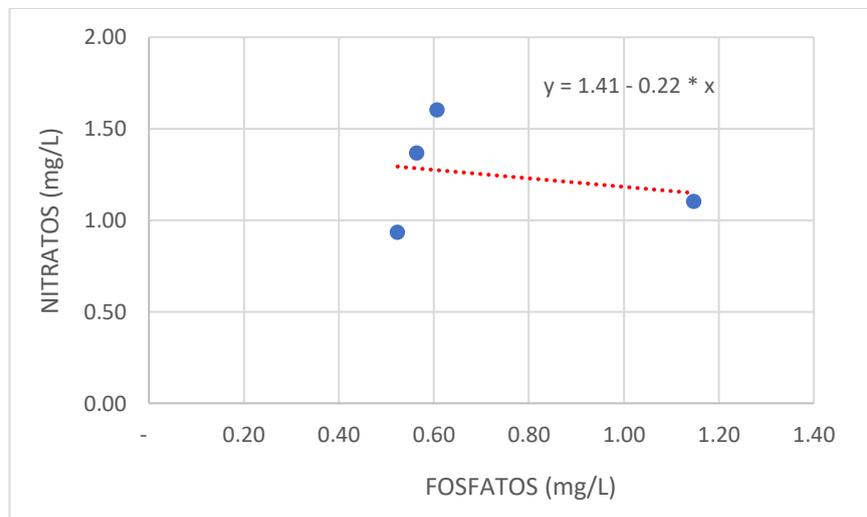
<b>Rho de Spearman</b>				
		<b>Nitratos</b>	<b>Fosfatos</b>	<b>Transparencia</b>
<b>Nitratos</b>	Coeficiente de correlación	1.000	.400	-.447
	Sig. (bilateral)	.	.600	.553
	N	4	4	4
<b>Fosfatos</b>	Coeficiente de correlación	.400	1.000	-.894
	Sig. (bilateral)	.600	.	.106
	N	4	4	4
<b>Transparencia</b>	Coeficiente de correlación	-.447	-.894	1.000
	Sig. (bilateral)	.553	.106	.
	N	4	4	4

Fuente: elaboración propia a partir del software SPSS

La Figura 14 muestra el gráfico de dispersión de las variables nitratos y fosfatos, siendo la ecuación de esta relación  $y = 1.41 - 0.22 * x$ , con un coeficiente de correlación de Spearman de 0.600, por lo que se afirma una correlación positiva considerable.

Figura 14.

*Diagrama de dispersión de nitratos - fosfatos*

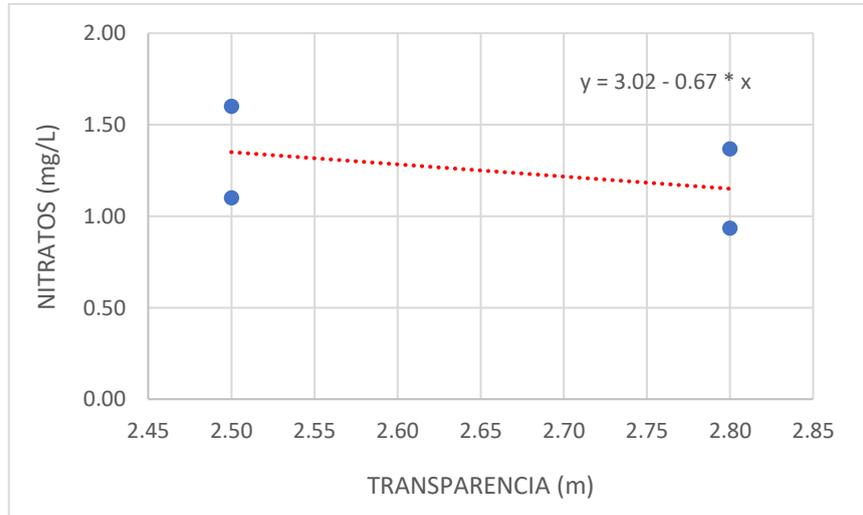


Fuente: elaboración propia

La Figura 15 muestra el gráfico de dispersión de las variables nitratos y transparencia, siendo la ecuación de esta relación  $y = 3.02 - 0.67 * x$ , con un coeficiente de correlación de Spearman de -0.447, por lo que se afirma una correlación negativa media.

Figura 15.

*Diagrama de dispersión de nitratos - transparencia*

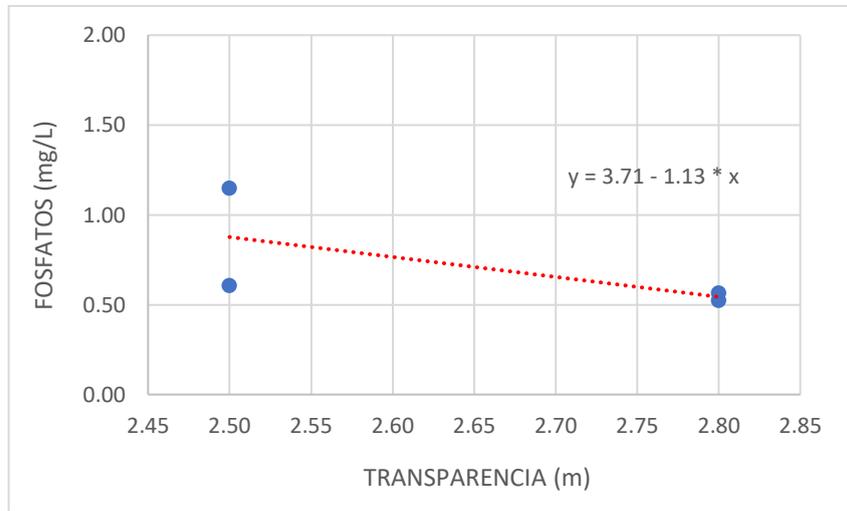


Fuente: elaboración propia

La Figura 16 muestra el gráfico de dispersión de las variables fosfatos y transparencia, siendo la ecuación de esta relación  $y = 3.71 - 1.13 * x$ , con un coeficiente de correlación de Spearman de  $-0.894$ , por lo que se afirma una correlación negativa muy fuerte.

Figura 16.

*Diagrama de dispersión de fosfatos - transparencia*



Fuente: elaboración propia

#### 4.2. Discusión de resultados

El Índice de Eutrofización por Nutrientes según nitratos y fosfatos; y el Índice de Estado Trófico Modificado por Toledo según la transparencia, indicaron un estado oligotrófico, que hace referencia a aguas con una baja concentración de nutrientes, con una buena oxigenación en toda la columna de agua y una muy buena claridad (transparencia) (Zouiten, 2012).

La temperatura promedio de la laguna dio como resultado 21.96°C. Este parámetro es uno de los más importantes cuando se requiere evaluar el estado de eutrofización, pues, es fundamental para crecimiento de muchas especies fitoplanctónicas. Por falta de información de datos

anuales no se logró comparar con el ECA, sin embargo, el valor obtenido no representa una cifra alarmante, pues, Maldonado (2018) afirma que por lo general la eutrofización se manifiesta y aumenta a temperaturas mayores a 24°C.

El oxígeno disuelto promedio de la laguna dio como resultado 5.85 mg/L y al igual que la temperatura es uno de los más importantes en el proceso de eutrofización. Sus valores pueden variar en el transcurso del día en lagos y estanques con altas concentraciones de nutrientes, puesto que, estos se relacionan con la actividad fotosintética de algas y otras especies de flora acuática (Watch, 2003, citado por, Díaz & Sotomayor, 2013). Sin embargo, en la laguna evaluada no se reportó un promedio alarmante de este parámetro, excepto en el punto PM4, donde resultó un valor de 3.84, lo que se relaciona a la presencia de mayor cantidad de algas en ese punto de muestreo.

La conductividad eléctrica promedio de la laguna dio un resultado de 398.75  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , por lo que se encuentra por debajo del ECA máximo. Este valor de conductividad no se relaciona directamente con el nivel trófico de la laguna, ni con otros indicadores vinculados a problemas de la calidad de sus aguas. Sin embargo, si se relaciona con los cambios de las escorrentías mediante algunos cambios de las tasas de flujo o incrementos del material erosionable. También, puede contribuir al grado de permanencia de los nutrientes en el agua (Fundamentals of Environmental Measurements,

2015). Pero, al ser un valor relativamente bajo, no se considera un factor determinante.

El pH promedio de la laguna es representado por un valor de 7.90, el cual se encuentra dentro del rango del ECA nacional, con un valor óptimo para el desarrollo adecuado del ecosistema acuático, siendo esto, característico del estado oligotrófico. Este parámetro influye en gran medida en el crecimiento y desarrollo de una elevada cantidad de organismo, por lo tanto, también en los procesos de eutrofización. Además, también influye en la especiación de nutrientes en el agua, por lo que su disponibilidad y absorción podría disminuir en algunos casos. Sin embargo, el valor obtenido en la investigación no se encuentra en niveles que puedan afectar a la laguna El Gallinazo, pues, según Arocena (2016) los valores que representan efectos letales son los mayores a 9.5 y los menores a 4.5.

La transparencia promedio de la laguna resultó ser 2.65 m, este valor indica la estimación de la distancia final a la que la luz penetra en el agua, por lo que, mediante la transparencia obtenida se puede suponer la existencia de estratificación en las zonas más profundas (Espinell, 2018) de la laguna El Gallinazo. También, tiene relación con la concentración obtenida de nutrientes, pues, al recibir una cantidad de luz adecuada, los nitratos y fosfatos del agua tienden a disminuir, por lo que la cantidad de fitoplancton decrece (Arse, 2015, citado por, Díaz & Sotomayor, 2013).

El resultado promedio de nitratos obtenido fue de 1.25 mg/L y el de fosfatos fue de 0.71 mg/L, el primer valor se encuentra muy por debajo del ECA máximo; mientras que el segundo valor no se logró comparar con el ECA a causa de la inexistencia de este para fosfatos. A pesar de ello, se considera una muy baja concentración de ambos nutrientes, pues, esto también se reflejó en los resultados oligotróficos obtenidos a partir de ellos. Además, el motivo principal de este resultado sería que, al estar ubicada la laguna en un Área de Conservación Privada, está alejada de fuentes contaminante, tales como las actividades agrícolas, ganadera e industriales, las cuales logran incrementar los nutrientes en el agua, afectando así a los ecosistemas acuáticos y al medio ambiente (Madrid, 2015).

#### **4.3. Contrastación de hipótesis**

En la Tabla 18 se presenta la contrastación de la hipótesis según los nutrientes y la transparencia del agua, que fue realizada haciendo uso de la prueba de Wilcoxon con un 95% de intervalo de confianza y 5% (0.05) de nivel de significancia.

Teniendo en cuenta las hipótesis planteadas inicialmente, se contrastaron los datos obtenidos a partir del análisis del Índice de Eutrofización de Nutrientes según los resultados de nitratos y fosfatos, y

del Índice de Estado Trófico Modificado por Toledo (IETM) según la transparencia.

El Índice de Eutrofización de Nutrientes indica que un estado oligotrófico se representa de manera cuantitativa por un rango de valores entre 0 y 3, por lo que se tomó como valor de prueba la mediana (1.5), resultando una significancia de 0.068, tanto para el índice según los nitratos, como para el índice según fosfatos. Por otro lado, la mediana de los valores cuantitativos que indican un estado oligotrófico en el IETM fue 37.00, resultando una significancia de 0.458 para el IETM según la transparencia.

Tabla 18.

*Contrastación de hipótesis según los nutrientes*

	<b>Hipótesis nula</b>	<b>Prueba</b>	<b>Sig.<sup>a,b</sup></b>	<b>Decisión</b>
1	La mediana de I_Nitratos es igual a 1.50.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	0.068	Conserve la hipótesis nula.
2	La mediana de I_Fosfatos es igual a 1.50.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	0.068	Conserve la hipótesis nula.
3	La mediana de IETM_Transparencia es igual a 37.00	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	0.458	Conserve la hipótesis nula.

Nota: a: El nivel de significación es de .050; b: Se muestra la significancia asintótica.

Fuente: elaboración propia a partir del software SPSS

Al ser los tres valores de significancia mayores que 0.05 se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se descarta la hipótesis alternativa ( $H_a$ ). De esta manera, se afirma que de acuerdo a la concentración de nutrientes y la transparencia del agua en la laguna El Gallinazo en el Bosque Seco de Cañoncillo, en La Libertad – Perú 2022, su estado es oligotrófico, el cual es característico de una baja concentración de nutrientes y, por lo tanto, también un bajo nivel de biomasa. Sin embargo, a pesar de los resultados, se logra identificar a simple vista espacios de la laguna donde si existe gran cantidad de fitoplancton, lo que asegura que el desarrollo de algunas especies de flora acuática no está relacionado netamente con las concentraciones de nutrientes, sino, que las poblaciones de estas son determinadas por la pérdida del volumen de agua que existe en el sistema, por lo que se les hace mucho más fácil proliferarse en condiciones normales, llegando a alcanzar estados más altos de eutrofización. Por otro lado, se desconoce la causa exacta de la pérdida del volumen de la laguna, pero, se intuye que es a causa de filtraciones subterráneas, además de las consecuencias del cambio climático progresivo.

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- El estado de eutrofización de la laguna El Gallinazo en el bosque seco Cañoncillo es oligotrófico, a partir del Índice de Eutrofización por Nutrientes según las concentraciones de nitratos (2.57) y fosfatos (2.19), y del Índice de Estado Trófico Modificado por Toledo según los valores de transparencia del agua (36.73), indicando una buena calidad del cuerpo de agua y condiciones óptimas para el desarrollo de la gran biodiversidad que alberga.
- A partir del análisis de los parámetros de campo se obtuvo una temperatura promedio de 21.96°C, un valor de oxígeno disuelto promedio de 5.85 mg/L, una conductividad eléctrica promedio de 398.75  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y un pH promedio de 7.90. No encontrándose ningún valor alarmante que pueda significar alguna alteración del medio.
- Los principales parámetros analizados para la identificación del estado de eutrofización fueron nitratos, fosfatos y transparencia. La concentración promedio de nitratos fue de 1.25 mg/L y la de fosfatos fue de 0.71 mg/L; mientras que el valor promedio de la transparencia fue de 2.65 m. Al existir baja cantidad de nutrientes y una buena transparencia del agua, no existe un crecimiento excesivo de fitoplancton que pueda alterar el ecosistema acuático de la laguna. Al menos no por concentraciones altas de nutriente.

- Los valores de conductividad eléctrica, pH y nitratos cumplieron con los ECA para Agua, categoría 4 (D.S. N° 004-2017-MINAM). Sin embargo, los valores de oxígeno disuelto en todos los puntos se encontraban por encima del ECA mínimo requerido (5 mg/L) a excepción del punto PM4 que fue 3.84 mg/L, por lo que no cumplió con el ECA. Por otro lado, el ECA de temperatura ( $\Delta 3$ ) no se pudo determinar por falta de datos para la determinación del promedio mensual multianual del área. Además, no se realizó la comparación con los valores de fosfatos y transparencia por ser inexistentes los ECA nacionales para estos parámetros.
  
- La correlación nitratos vs fosfatos fue de 0.400; al ser positiva indica que es directamente proporcional y puede estar relacionada a la existencia de una misma fuente de aporte de nutrientes hacia la laguna, donde diversos organismos los absorben según sus diferentes necesidades. Las correlaciones nitratos vs transparencia fue de -0.447 y de fosfatos vs transparencia fue de -0.894; ambos casos tienen concordancia y representan su relación en condiciones normales, pues, el aumento de nutrientes conlleva a una disminución de transparencia y viceversa.

## 5.2. Recomendaciones

- Implementar un plan de monitoreo constante en la laguna El Gallinazo, pues, aunque en esta investigación el estado de eutrofización resultó ser oligotrófico, con el tiempo podría variar y perjudicar seriamente a este cuerpo de agua.
- Realizar estudios relacionados con las características generales y limnológicas de la laguna, pues, se carece de información histórica, lo que limita la realización de comparaciones de la calidad y composición de sus aguas a través del tiempo.
- Realizar estudios hidrográficos de la laguna El Gallinazo, con el fin de determinar exactamente sus conexiones subterráneas y poder identificar las razones de la pérdida de su volumen.

## LISTA DE REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arocena, R. (Ed.). (2016). Principios y métodos de limnología: ejemplo de Uruguay. DIRAC, Montevideo, Uruguay.
- Ávila, J. A. (2019). Consulta Eutrofización. Eutrofización y Estados Tróficos. Consultado en [https://www.academia.edu/39008971/Consulta\\_Eutrofizaci%C3%B3](https://www.academia.edu/39008971/Consulta_Eutrofizaci%C3%B3)
- Barceló, J. L. (2020). Cambio climático sin complejos. Sekotia, España.
- Bem, C. C., Borba, M. C., & Rodrigues, J. C. (2013). Avaliação do estado trófico de um lago urbano raso. REGA, 10(1), 41-51.
- Blancas, C., & Hervás, E. (2001). Contaminación de las aguas por nitratos y efectos sobre la salud. Junta de Andalucía, Sevilla, España.
- Bojórquez, L. (2017). Nociones sobre contaminación ambiental. En: Contaminación química y biológica en la zona lacustre de Xochimilco. Universidad Autónoma Metropolitana, (130), 277-332.
- Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. Limnology and Oceanography, 22(2), 361-369. doi: 0.4319/lo.1977.22.2.0361
- Ciriaco, J. E., Lanfranco, L. J., López, C. C., Izquierdo, C. R., Velásquez, M. R., & Sánchez, M. A. (2021). Identification of the trophic state of the San Nicolas Lake, Namora-Peru through the quantification of chlorophyll a, nitrates, phosphates and transparency. In: Iano Y., Saotome O., Kemper G., Mendes de Seixas A.C., Gomes de Oliveira G. (eds) Proceedings of the 6th Brazilian Technology Symposium (BTSym'20). BTSym 2020. Smart Innovation, Systems and Technologies, 233 (14), 110-120. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-75680-2\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-030-75680-2_14)

Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. (7 de junio de 2017). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Diario Oficial El Peruano.

Delbene, L. (2020). Estrategias de desarrollo eutrofizadas. Fundación Friedrich Ebert Stiftung, Montevideo, Uruguay.

Díaz, A. C., & Sotomayor, L. F. (2013). Evaluación de la eutrofización de la laguna Conococha – Ancash a agosto de 2012. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Ánchas, Perú.

Espinel, V. D. (2018). Influencia de la actividad antropogénica en la calidad del agua del embalse La Esperanza, Ecuador. Tesis doctoral. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

Flores-Gómez, S., Siu, J., Ttira, E., Cerna, T., & Castro, A. (2018). Parámetros de calidad del agua y estado trófico de humedal artificial costero: caso de laguna “La Mansión” – Lima (Perú). Revista de Investigación: Ciencia, Tecnología y Desarrollo, 4(1), 31-43.

Fundamentals of environmental measurements. (2015). Water Temperature. Consultado en <http://www.fondriest.com/environmentalmeasurements/parameters/water-quality/water-temperature/>

García, M. (2016). Eutrofización: un visión general. CienciAcierta, (47).

HACH Company. (2019). Water Analysis Handbook. (10ma ed.). Loveland, Colorado, Estados Unidos.

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. (2003). Manual de técnicas

analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos. INVEMAR, Santa Marta, Colombia.

Karydis, M., Ignatiades, L., & Moschopoulou, N. (1983). An Index associated with nutrient eutrophication in the marine environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 16 (3), 339-344. doi:10.1016/0272-7714(83)90151-8

Laug, C. B. (2016). Diagnóstico de eutrofización en la presa de Valsequillo (Manuel Ávila Camacho). Tesis de maestría. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México.

López, M. L., & Madroñero, S. M. (2015). Estado trófico de un lago tropical de alta montaña: caso laguna de La Cocha. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 21-42.

Lostanau, T. (2015). Elaboración de un plan interpretativo aplicable en el área de conservación Privada Bosque Natural Cañoncillo, departamento de La Libertad. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

Madrid, E. (2015). Calidad del agua y estado trófico en el lago de Güija y sus ríos afluentes y efluentes para un programa de monitoreo, en el departamento de Santa Ana, El Salvador. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Managua, Nicaragua.

Maldonado, D. K. (2018). Determinación del estado trófico de la Laguna de San Miguel Almaya. Capulhuac, Estado de México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del estado de México. Estado de México, México.

Marrero, C (compilador). (2018). Glosario acuático: vocablos relacionados con

humedales, ecología acuática y otras actividades concernientes al medio acuático. Guanare, Venezuela.

Ministerio de Agricultura y Riego. (2015). Lagunas. Consultado en <https://www.minagri.gob.pe/portal/42-sector-agrario/recurso-agua/326-lagunas>

Montes, A., Ochoa, J., Juárez, B., Vásquez, M., & Díaz, C. (2021). Aplicación del coeficiente de correlación de Spearman en estudio de fisioterapia. SIEP, (14), 1-4.

Murga, V. B. (2013). El desarrollo del turismo sostenible en el Área de Conservación Privada Bosque Natural El Cañoncillo. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú.

Ortega, G. F. (2015). Relación entre la carga de nutrientes y el estado trófico de la bahía interior del lago Titicaca Puno – 2015. Tesis de pregrado. Universidad Privada San Carlos. Puno, Perú.

Paredes, I. (2020). Presiones antrópicas y en la marisma de Doñana y sus cuencas vertientes. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Sevilla. Sevilla, España.

Pedrozo, A., & Ramírez, N. (2020). La eutrofización de cuerpos de agua: un síntoma antropogénico que requiere atención. Perspectivas IMTA, N°8. doi: [doi.org/10.24850/b-imta-perspectivas-2020-08](https://doi.org/10.24850/b-imta-perspectivas-2020-08)

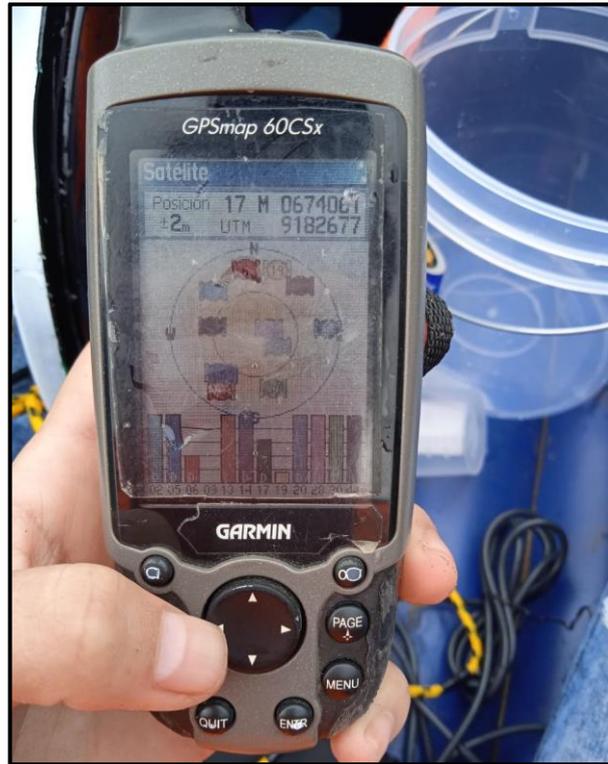
Peña, E. J., Cantera, J. R., & Muñoz, E. (2012). Evaluación de la contaminación en ecosistemas acuáticos, un estudio de caso en la laguna de Sonso, cuenca alta del río Cauca. Programa Editorial Universidad del Valle. Cali, Colombia.

- Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA. (11 de enero de 2016). Aprueban el “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales”. Diario oficial El Peruano, 13 de enero de 2016.
- Sierra, C.A. (2011). Calidad del agua: evaluación y diagnóstico. Primera edición. Universidad de Medellín. Medellín, Colombia.
- Soares, G., & Schröder, N. T. (2015). Análise do estado trófico de uma bacia de acumulação em um complexo industrial. *Revista de Iniciação Científica da ULBRA*, 1(13), 2018-231.
- Vásquez, G. L., Herrera, L., Cantera, J. R., Galvis, A., Cardona, D. A., & Hurtado, I. C. (2012). Metodología para determinar niveles de eutrofización en ecosistemas acuáticos. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 24, 112-128.
- Zouiten, H. (2012). Análisis mediante modelado avanzado de procesos de eutrofización en lagunas litorales: aplicación a masas de agua atlánticas y mediterráneas. Tesis doctoral. Universidad de Cantabria. Santander, España.

## ANEXOS

### ANEXO A

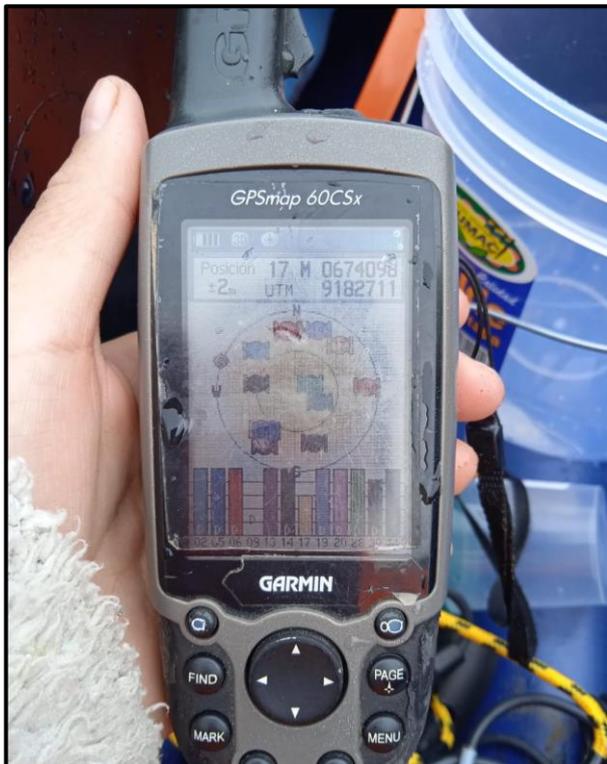
Registro fotográfico de las coordenadas UTM de los puntos de muestreo establecidos en la laguna El Gallinazo.



Punto PM1



Punto PM2



Punto PM3



Punto PM4

## ANEXO B

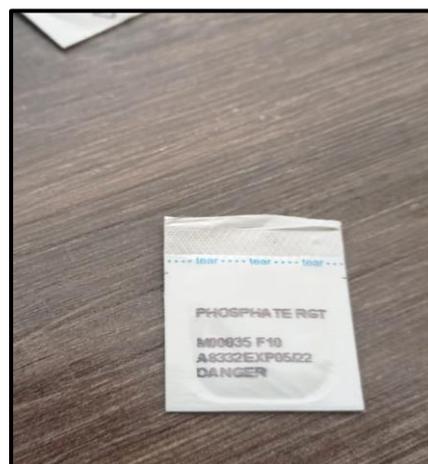
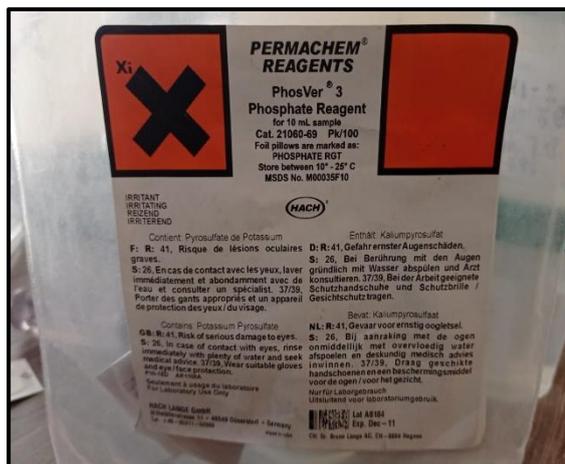
### Registro fotográfico del análisis de muestras en el laboratorio



Muestras de agua obtenidas de la laguna El Gallinazo



Reactivo NitraVer 5



Reactivo PhosVer 3



Uso del colorímetro para la determinación de nutrientes

## ANEXO C

Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría 4: conservación del ambiente acuático del D.S. N° 004-2017-MINAM.

18		NORMAS LEGALES			Miércoles 7 de junio de 2017 /  El Peruano	
Categoría 4: Conservación del ambiente acuático						
Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(µS/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoniaco Total (NH <sub>3</sub> )	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspensos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
<b>INORGÁNICOS</b>						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
<b>ORGÁNICOS</b>						
<b>Compuestos Orgánicos Volátiles</b>						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
<b>BTEX</b>						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<b>Bifenilos Policlorados</b>						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
<b>PLAGUICIDAS</b>						
<b>Organofosforados</b>						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
<b>Organoclorados</b>						
Aldrin	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrin	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,000019	0,000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,000087	0,000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,000023	0,000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,000038	0,000038	0,000038	0,000036	0,000036
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<b>Carbamato</b>						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
<b>MICROBIOLÓGICO</b>						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

## ANEXO D

Ficha de registro de los datos de campo.

Punto de Muestreo	Réplica	Lugar	Coordenadas		Fecha	Hora	Parámetros				
			X	Y			Temp. (°C)	OD (mg/L)	Cond. (µS/cm)	pH	Transparencia (m)
PM1	PM1-1	Laguna E1	674061	9182677	10/06/21	8:00 am	22.00	5.95	396.00	7.95	2.50
	PM1-2					8:15 am	22.00	5.82	395.00	7.98	
	PM1-3	Gallinazo				8:32 am	21.90	5.96	398.00	7.96	
PM2	PM2-1	Laguna E1	674102	9182712	10/06/21	8:57 am	21.80	6.97	391.00	8.12	2.80
	PM2-2					9:13 am	22.00	8.13	394.00	7.26	
	PM2-3	Gallinazo				9:28 am	22.00	7.20	392.00	8.12	
PM3	PM3-1	Laguna E1	674098	9182711	10/06/21	9:55 am	22.10	6.14	396.00	7.96	2.80
	PM3-2					10:12 am	22.00	6.23	396.00	7.94	
	PM3-3	Gallinazo				10:29 am	22.00	6.24	395.00	7.97	
PM4	PM4-1	Laguna E1	674082	9182759	10/06/21	10:50 am	21.80	3.70	414.00	7.84	2.50
	PM4-2					11:06 am	22.00	3.76	415.00	7.84	
	PM4-3	Gallinazo				11:23 am	21.90	4.05	403.00	7.83	

## ANEXO E

Registro fotográfico de las tomas de muestra de campo



